

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Energetická náročnost drážní dopravy

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Zbyněk Vondrášek, Ph.D.

Autor práce: Bc. Václav Chouň

© 2019 ČZU v Praze

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Václav Chouň

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Energetická náročnost drážní dopravy

Název anglicky

Energy demands of rail transport

Cíle práce

- 1) Úvod
- 2) Podstata výpočtů energetické náročnosti drážní dopravy
- 3) Energetické výpočty pro konkrétní situaci
- 4) Provozní doporučení pro konkrétní případ dráhy
- 5) Závěr

Metodika

Studie energetické náročnosti přepravních procesů se zaměřením na drážní dopravu. Zpracování podkladů pro konkrétní případ s doporučením pro provoz tažného vozidla a jeho výkonnosti.

Doporučený rozsah práce

40 – 55 s.

Klíčová slova

Drážní doprava, energetická náročnost, výkonnost vozidla

Doporučené zdroje informací

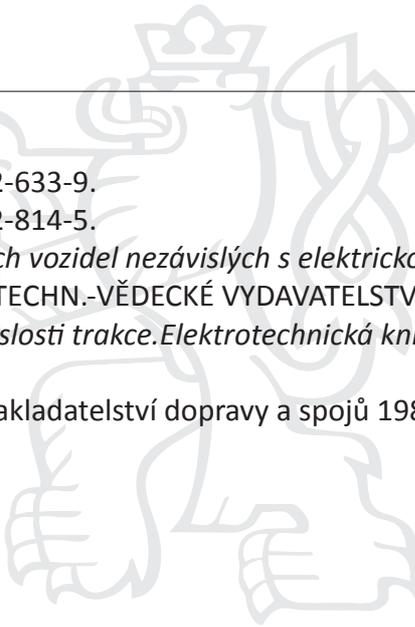
Danzer J./ Elektrická trakce 1, Plzeň: ZČU 2000, ISBN 80-7082-633-9.

Danzer J./ Elektrická trakce 2, Plzeň: ZČU 2001, ISBN 80-7082-814-5.

JANSA, F. *Dieselektrická vozba II. – Elektrická výzbroj hnacích vozidel nezávislých s elektrickou trakcí.* Česká elektrotechnická knihovna, sv. 14. PRAHA: TECHN.-VĚDECKÉ VYDAVATELSTVÍ, 1952.

JANSA, F. *Dieselektrická vozba I. – Theorie elektrické nezávislosti trakce.* Elektrotechnická knihovna, sv. 8. PRAHA: TECHN.-VĚDECKÉ VYDAVATELSTVÍ, 1951.

Jansa F./ Dynamika a energetika elektrické trakce; PRAHA: Nakladatelství dopravy a spojů 1980.



Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – TF

Vedoucí práce

Ing. Zbyněk Vondrášek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

Elektronicky schváleno dne 2. 2. 2018

prof. Ing. Jaromír Volf, DrSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2018

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 03. 2019

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Energetická náročnost drážní dopravy vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 31. 3. 2019

Podpis:

Bc. Václav Chouň

Děkuji konzultantovi Ing. Jiřímu Princovi, konzultantovi Ing. Bc. Milanu Zedníkovi a vedoucímu práce Ing. Zbyňku Vondráškovi, Ph.D. za cenné rady a odbornou pomoc při tvorbě diplomové práce. Poděkování patří též Bc. Anetě Hauptové za spolupráci při získávání potřebných údajů pro praktickou část diplomové práce.

Abstrakt: Diplomová práce se zabývá problematikou energetické náročnosti železniční dopravy a řeší energetické výpočty v oblasti posuzování a dimenzování napájení elektrizovaných železnic společně s ověřováním či navrhováním dimenzí trakčního vedení. Autor v teoretické části práce popisuje elektrickou trakci a elektrickou vozbu současně s jejich klasifikací a zhodnocením. Dále pak uvádí možnosti napájení elektrizovaných drah různými druhy trakčních napájecích soustav, popisuje členění elektrický trakčních zařízení a zmiňuje popis a rozdělení trakčního vedení společně se zpětnou cestou trakčního proudu. Na konci teoretické části uvádí metody energetických výpočtů. V praktické části se autor zaměřuje na energetické výpočty konkrétní trakční napájecí stanice a ověřuje dimenze trakčního vedení a zpětné cesty trakčního proudu v konkrétních traťových úsecích.

Klíčová slova: drážní doprava, energetická náročnost, energetické výpočty, elektrická trakce, trakční vedení, napájení elektrizovaných drah

Energy demands of rail transport

Summary: The diploma thesis focuses on energy demands of rail transport and it shows energy calculations for assessing and projecting power supply and also for verifying or designing overhead lines. In the theoretical part the author describes an electric traction and types of electric railway vehicles with their classification and evaluation together. Furthermore he describes the power supply of electrified railways with different types of supply systems. He describes types of electric traction devices and describes overhead lines and reverse current path. At the end of the theoretical part he presents methods of energy calculations. In the practical part the author focuses on specific energy calculations for the power station and he verifies the traction lines and the electric reverse current path on the railways.

Key words: rail transport, demands of energy, energy calculations, electric traction, overhead lines, electric power-supply of railways

OBSAH

1	Úvod	1
2	Cíle práce	2
3	Metodika práce	3
4	Literární rešerše	4
4.1	Elektrická trakce a názvosloví v oboru.....	4
4.1.1	Definice elektrické trakce.....	4
4.1.2	Elektrická vozba	4
4.1.3	Přívod proudu do elektrických vozidel.....	5
4.2	Hnací vozidla s elektrickou trakcí a jejich klasifikace	7
4.2.1	Hnací vozidla se závislou elektrickou trakcí.....	7
4.2.2	Hnací vozidla s nezávislou elektrickou trakcí	8
4.2.3	Hnací vozidla s polozávislou elektrickou trakcí.....	8
4.2.4	Tažná síla hnacího vozidla	9
4.2.5	Výkon hnacího vozidla.....	9
4.2.6	Proud odebíraný hnacím vozidlem.....	9
4.3	Zhodnocení elektrické vozby s vozidly se závislou elektrickou trakcí.....	10
4.4	Elektrická trakční zařízení	12
4.4.1	Pevná elektrická trakční zařízení.....	12
4.4.2	Pohyblivá elektrická trakční zařízení	12
4.4.3	Převozná měnírny	12
4.5	Napájení elektrizovaných drah	13
4.5.1	Typy trakčních soustav a elektrizace drah v Evropě.....	13
4.5.2	Typy trakčních soustav a elektrizace drah v ČR	14
4.5.3	Stejnoseměrná trakční napájecí soustava 3 kV	16
4.5.4	Střídavá trakční napájecí soustava 25kV, 50Hz	18
4.5.5	Trakční měnírny	19
4.5.6	Trakční transformovny	22
4.6	Trakční vedení	23
4.6.1	Trolejového vedení a jeho druhy	23
4.6.2	Části trakčního vedení a používané sestavy trolejového vedení	27

4.6.3	Používané sestavy trolejového vedení.....	29
4.7	Zpětná vodivá cesta trakčního proudu.....	30
4.7.1	Železniční svršek	30
4.7.2	Kolejnice.....	31
4.7.3	Bludný proud	32
4.8	Grafikon vlakové dopravy	32
4.9	Energetické výpočty	34
4.9.1	Počtení metoda energetických výpočtů.....	34
4.9.2	Simulační metoda energetických výpočtů.....	35
5	Energetické výpočty pro konkrétní situaci	36
5.1	Podklady pro energetické výpočty	36
5.1.1	Údaje o traťových úsecích.....	37
5.2	Postup energetických výpočtů.....	38
5.3	Stanovení úseků s redukovánými sklony	39
5.3.1	Vzorový výpočet redukováného sklonu	41
5.4	Určení měrných odporů od směrových oblouků	42
5.4.1	Vzorové stanovení měrných odporů oblouků.....	42
5.5	Denní dopravní tok jednotlivých druhů dopravy.....	43
5.6	Spotřeba elektrické energie jednotlivými druhy vlaků.....	46
5.6.1	Spotřeba elektrické energie v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí.....	48
5.6.2	Spotřeba elektrické energie v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové.....	48
5.7	Stanovení podílů na spotřebě elektrické energie	49
5.7.1	Podíl na spotřebě elektrické energie v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí	50
5.7.2	Podíl na spotřebě elektrické energie v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové	51
5.8	Celková denní spotřeba elektrické energie TNS Týniště nad Orlicí.....	53
5.9	Střední, efektivní a maximální výkon TNS Týniště nad Orlicí.....	54
5.10	Tažná síla, výkon a odebíraný proud danými druhy vlaků.....	56
5.10.1	Vzorové výpočty v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí.....	57
5.10.2	Vzorové výpočty v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové.....	58

5.11	Maximální úbytek napětí	59
5.11.1	Maximální úbytek napětí v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí	60
5.11.2	Maximální úbytek napětí v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové	63
5.12	Minimální zkratový proud a meze pro nastavení proudových ochran	65
5.12.1	Minimální zkratový proud v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí	66
5.12.2	Minimální zkratový proud v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové	67
6	Shrnutí výsledků	68
6.1.1	TNS Týniště nad Orlicí	68
6.1.2	Úsek Choceň – Týniště nad Orlicí.....	68
6.1.3	Úsek Týniště nad Orlicí – Hradec Králové	69
6.1.4	Výsledky stanovené simulační metodou energetických výpočtů	70
7	Závěr	71
8	Seznam použitých zdrojů	73
9	Seznam tabulek	76
10	Seznam obrázků.....	78
	Obsah příloženého CD	80
	Příloha 1	81
	Příloha 2	88
	Příloha 3	96
	Příloha 4	103

1 Úvod

S narůstající populací se zvyšují nároky na rozvoj infrastruktury a průmyslu. Tato skutečnost má za následek zvýšení intenzity městské, příměstské a dálkové dopravy po celém světě. Takto nastolený trend způsobuje potřebu výstavby nové dopravní infrastruktury a neustálých rekonstrukcí a modernizací stávající dopravní infrastruktury tak, aby vyhovovala daným požadavkům.

Není tomu jinak ani v železniční dopravě, kde jsou také kladeny nároky na rekonstrukce, modernizace a elektrizace stávajících železničních sítí či požadavky na zhotovení nových železničních sítí. Tato nezbytnost rozděluje tři spolu úzce související kategorie požadavků, a to na ekologické, přepravní a energetické. Hlavním ekologickým požadavkem, který vzniká vlivem snižování emisí ze zdrojů znečišťujících ovzduší, je nutnost provozování železniční dopravy v závislé elektrické trakci. Tímto jsou řízeny elektrizace železničních tratí a koridorů. Hlavním přepravním požadavkem, vznikajícím s přibývajícím počtem vlaků, je potřeba navýšení propustnosti tratí, a tedy i přepravních výkonů v nich se uskutečňujících. Na tomto základě vzniká nezbytnost zdvoukolejňování dosud jednokolejných tratí. Do hlavních energetických požadavků patří především zvyšování traťové rychlosti a hmotnosti vlaků osobní a nákladní dopravy. V případě elektrizovaných tratí rostou nároky na příkon dodávaný trakčním vedením do hnacích vozidel se závislou elektrickou trakcí a nároky na napájení těchto tratí.

Podstatou práce je seznámení s energetickými výpočty stanovujícími energetickou náročnost drážní dopravy, elektrickou trakcí, klasifikací elektrických hnacích vozidel, napájením elektrizovaných železničních drah, trakčním vedením a zpětným vedením trakčního proudu. Dále pak výpočtem a stanovením podkladů pro výkonové dimenzování trakční napájecí stanice Týniště nad Orlicí a ověřením dimenzí trakčního vedení v traťových úsecích Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí – Hradec králové s případným doporučením.

2 Cíle práce

Hlavním cílem této práce je seznámení s podstatou a metodami energetických výpočtů pro posouzení napájení železničních tratí a stanovení energetické náročnosti a spotřeby energie železniční dopravy na traťových úsecích Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí – Hradec Králové přecházejících z Pardubického do Královehradeckého kraje.

Energetické výpočty jsou hlavním podkladem pro návrh silnoproudé technologie určité napájecí stanice či stanic. V případě daných traťových úseků, slouží především ke kontrole a výpočtu výkonového dimenzování pro modernizaci trakční napájecí stanice (TNS) Týniště nad Orlicí, a to na základě výhledových podkladů stanovených dopravní technologií. Úkolem těchto výpočtů je stanovit výhledovou spotřebu energie a potřebné výkony pro trakční napájecí stanici (TNS) Týniště nad Orlicí a ověřit dimenze trakčního vedení, napájecího vedení a zpětného vedení.

3 Metodika práce

Metodika práce určuje zpracování potřebných stávajících a výhledových podkladů a dokumentů pro traťové úseky Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí – Hradec Králové stanovených dopravní technologií. Výpočet energetické náročnosti přepravních procesů v těchto traťových úsecích a následné určení největší dopravní a energetické vytíženosti v danou denní dobu. Dále pak současné stanovení podkladů pro dimenzování trakční napájecí stanice (TNS) Týniště nad Orlicí a kontrola dimenze trakčního vedení, napájecího vedení a zpětného vedení.

4 Literární rešerše

4.1 Elektrická trakce a názvosloví v oboru

4.1.1 Definice elektrické trakce

Pojem trakce pochází z latiny. Toto slovo je odvozeno od latinského slova trahere (trahi, tractum), což se dá přeložit jako tahat, vozit či táhnout. [1]

Princip elektrické trakce je tedy založen na skutečnosti, že pohonem hnacího vozidla je elektromotor, který v tomto případě nazýváme motorem trakčním. [1]

4.1.2 Elektrická vozba

Elektrickou vozbou nazýváme mechanizovanou pozemní dopravu, jejíž prvotní zdroj energie k pohonu je energie elektrická, přivedená k jízdni dráze. [2]

Všechna hnací vozidla s elektrickým pohonem hnacích kol jsou zahrnuta do skupiny vozidel, které využívají elektrickou trakci. K rozpohybování soupravy se využívá přeměny elektrické energie, která je dodávána vnějším zdrojem či baterií, na energii kinetickou. V případě, že tato přeměna probíhá naopak, tedy s využitím přeměny energie kinetické na energii elektrickou, jedná se o tzv. rekuperaci. [1, 2]

Elektrická vozba se dělí podle

- ❖ jízdni dráhy na
 - kolejovou (konvenční),
 - silniční,
 - zvláštní (nekonvenční – lanovou, visutou, sedlovou, vedenou po vzdušném polštáři či magnetickou levitací);

- ❖ proudové soustavy na
 - stejnosměrnou,
 - střídavou sníženého kmitočtu 16,7 Hz (dříve $16 \frac{2}{3}$ Hz),
 - střídavou průmyslového kmitočtu 50 Hz či 60 Hz;

- ❖ druhu dopravy na:
 - železniční,
 - průmyslovou,
 - důlní,
 - městské hromadné dopravy (MHD). [1, 2]

4.1.3 Přívod proudu do elektrických vozidel

Přívod proudu do elektrických vozidel se děje kontaktem s přívodním vedením taženým podél jízdni dráhy. Přívodní vedení tak tvoří soustavu rozvodu trakčního proudu, což nazýváme trakční sítí. [2]

Trakční síť se obvykle skládá z vrchního, případně i spodního vedení, které musí být izolováno od země, a ze zpětného vedení realizovaného jízdniemi kolejnicemi, či zvláštní zpětnou kolejnicí. V případě bezkolejových elektrických drah je přívod a odvod proudu u vozidel zajištěn dvoupólovým vrchním trolejovým vedením. Trakční síť je napájena elektrickou energií po určitých úsecích z elektrických napájecích stanic. [2]

Elektrické napájecí stanice jsou podle druhu trakční proudové soustavy:

- ❖ trakčními transformovnými (určenými pro transformaci střídavého napětí),
- ❖ trakčními měnirnými (určenými pro přeměnu trojfázové střídavé soustavy na stejnosměrnou),
- ❖ spínacími stanicemi (určenými k elektrickému propojení úseků trakčního vedení). [2]

Elektrická hnací vozidla odebírají proud z přívodního vedení (trakčního vedení) pomocí sběrače. Současná elektrická hnací vozidla na elektrizovaných železnicích využívají dvou typů sběračů proudu:

- ❖ pantografu (dvouramenného sběrače),
- ❖ polopantografu (jednoramenného sběrače). [3]

Konstrukce dvouramenného sběrače proudu tzv. pantografu je zobrazena na obrázku 1.



Obrázek 1 Pantograf

Konstrukce jednoramenného sběrače proudu tzv. polopantografu je zobrazena na obrázku 2.



Obrázek 2 Polopantograf [3]

4.2 Hnací vozidla s elektrickou trakcí a jejich klasifikace

Hnací vozidla s elektrickou trakcí rozdělujeme dle

- ❖ napájecí soustavy na
 - stejnosměrné,
 - střídavé,
 - vícesystémové (multisystémové);

- ❖ závislosti na přívodu elektrické energie na vozidla s elektrickou trakcí
 - závislou,
 - nezávislou,
 - polozávislou. [2]

4.2.1 Hnací vozidla se závislou elektrickou trakcí

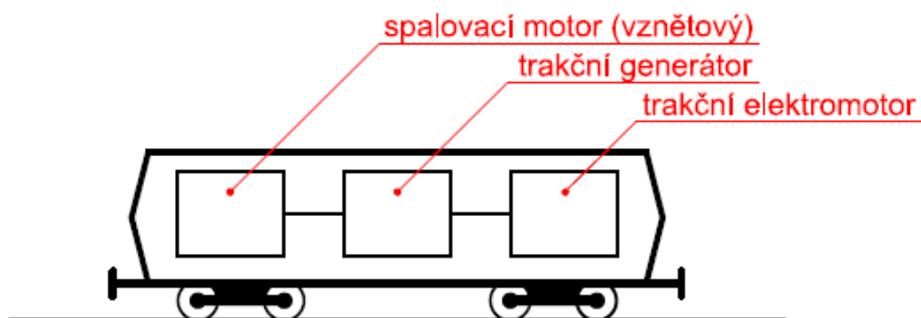
Tato hnací vozidla jsou závislá na přívodu elektrické energie podél jízdní dráhy zajištěného přívodním vedením neboli trakčním vedením. Princip funkce a připojení vozidel se závislou elektrickou trakcí k trakčnímu vedení jsou znázorněny na obrázku 3. [4]



Obrázek 3 Blokové schéma hnacího vozidla se závislou elektrickou trakcí (převzato a upraveno z [5])

4.2.2 Hnací vozidla s nezávislou elektrickou trakcí

Tato hnací vozidla nevyžadují připojení k elektrické trakční síti, jelikož jsou vybavena vlastním zdrojem elektrické energie, a tato energie je přímo vyráběna na palubě tohoto vozidla. Zástupci kategorie jsou dieselelektrická hnací vozidla, jejichž funkce je zobrazena blokovým schématem na obrázku 4. [4, 5]

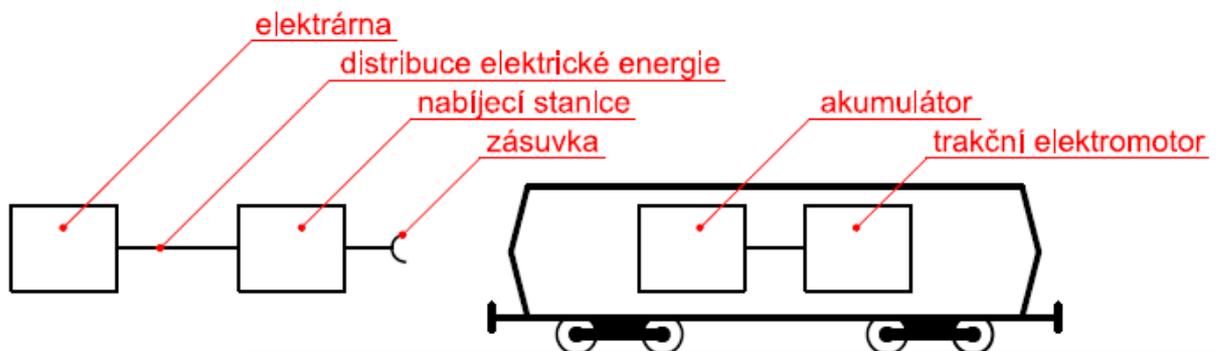


Obrázek 4 Blokové schéma hnacího vozidla s nezávislou elektrickou trakcí (převzato a upraveno z [5])

4.2.3 Hnací vozidla s polozávislou elektrickou trakcí

I tato kategorie hnacích vozidel nevyžaduje připojení k elektrické trakční síti. Vozidla jsou opět vybavena vlastním zdrojem elektrické energie, avšak s omezeným dojezdem. Dojezd je zde závislý na energii v zásobníku a na vzájemné vzdálenosti nabíjecích stanic. Do této kategorie patří hnací vozidla vybavená akumulátory nebo hybridní hnací vozidla. [4, 5]

Princip funkce těchto vozidel je zobrazen na obrázku 5



Obrázek 5 Blokové schéma hnacího vozidla s polozávislou elektrickou trakcí (převzato a upraveno z [5])

4.2.4 Tažná síla hnacího vozidla

Tažnou sílu hnacího vozidla vypočítáme ze vzorce:

$$F_{th} = G_V \cdot (p_{ov} + s_{red}) = (m \cdot g + o_v) \cdot (p_{ov} + s_{red}) \quad [N] \quad (4.1)$$

G_V – adhezní tíha vlakové soupravy se započítanými odpory (vozidlovými či traťovými) [kN],

p_{ov} – měrný jízdní odpor vlakové soupravy [N/kN],

s_{red} – redukováný profil trati [%o],

m – hmotnost vlakové soupravy [t],

g – tíhové zrychlení [-],

o_v – přídatný odpor [kg/t]. [6, 7]

4.2.5 Výkon hnacího vozidla

Výkon hnacího vozidla je dán vzorcem:

$$P_h = \frac{F_{th} \cdot v_h}{3600} \quad [kW] \quad (4.2)$$

F_{th} – tažná síla hnacího vozidla [N],

v_h – rychlost vlakové soupravy [km/h]. [6, 7]

4.2.6 Proud odebíraný hnacím vozidlem

Proud, který je odebíráán hnacím vozidlem při daném výkonu, je dán vzorcem:

$$I = \frac{P_h \cdot 1000}{\eta_L \cdot \eta_{TV} \cdot U} \quad [A] \quad (4.3)$$

P_h – výkon hnacího vozidla [kW],

η_L – účinnost lokomotivy ($\eta_L = 0,88$) [-],

η_{TV} – účinnost trakčního vedení ($\eta_{TV} = 0,9$) [-],

U – jmenovité napětí [V]. [6, 7]

4.3 Zhodnocení elektrické vozby s vozidly se závislou elektrickou trakcí

Elektrická vozba na železnicích s kolejovými vozidly, která jsou závislá na napájení z trakčního vedení je nejvýkonnějším druhem pozemní dopravy. [4]

K provozu takovéto vozby jsou potřeba

- ❖ zdroje elektrické energie (elektrárny),
- ❖ distribuční rozvody elektrické energie vedením velmi vysokého napětí (VVN) ze zdrojů k trakčním napájecím stanicím (TNS),
- ❖ trakční napájecí stanice ve funkci trakčních měničů či trakčních transformoven (dle potřebného druhu napájecí soustavy trakčního vedení),
- ❖ rozvod trakčního proudu trakčním vedením k elektrickým vozidlům a svod trakčního proudu zpětným vedením zpět do napájecí stanice,
- ❖ elektrická hnací vozidla. [4]

V porovnání s elektrickou vozbou nezávislou, u které jsou z předešlých bodů potřeba pouze hnací vozidla, je elektrická vozba závislá, z hlediska investic velmi ekonomicky nákladná. Další nevýhodou je také potřeba trakčního vedení, které se může snadno dostávat do neprovozného stavu vlivem nehody. Tyto nevýhody jsou však vyvažovány a v mnoha směrech i převažovány celou řadou předností. [4]

Přednosti závislé elektrické vozby jsou

- ❖ vhodné vlastnosti trakčních motorů:
 - dočasné proudové i výkonové přetížení konvenčně až na dvojnásobek jmenovitých parametrů (např. při rozjezdu či při brzdění),
 - snadná regulace výkonu,
 - využitelnost trakčního motoru k elektrodynamickému brzdění,
 - velký měrný hmotnostní výkon (až 250 kW/t)
 - dynamicky vyvážený chod,
 - ekologicky nezávadný provoz (bez zplodin a téměř i bez hluku),
 - snadná údržba a obsluha;

- ❖ možnosti (z dopravního hlediska):
 - dynamicky lepší stavby hnacích vozidel (zvýšení adhezní tažné síly a výkonu),
 - zvýšení rychlosti expresních vlaků (ve speciálních případech až na 400 km/h),
 - zvýšení hmotnosti vlaků (i na tratích s prudkými sklonovými poměry),
 - dodání hnacímu vozidlu teoreticky neomezeného příkonu (skrz proud přiváděný trakčním vedením);

- ❖ možnosti (z energetického hlediska):
 - využití energie z uhlí, jádra, vody a větru,
 - zajištění vysoké účinnosti elektrických hnacích vozidel (okolo 90 %),
 - zajištění vysoké účinnosti elektrické vozby jakožto celku. [4]

Tabulka 1 prezentuje jmenovité účinnosti elektrické vozby jakožto celku při napájení z různých zdrojů elektrické energie.

Tabulka 1 Účinnost závislé elektrické vozby (převzato a upraveno z [4])

Druh elektrárny	účinnost elektrárny [%]	jmenovitá účinnost elektrické vozby [%]
parní kondenzační (do 100 MW)	20–25	13–17
parní kondenzační (500 MW a více)	30–35	20–14
dieselgenerátorová	35–38	24–26
vodní	78–80	53–55
jaderná nízkotlaká	15–18	12–15
<i>Poznámka:</i> účinnost parní vozby je nejvýše 10–12 %		

4.4 Elektrická trakční zařízení

Elektrická trakční zařízení dělíme do dvou kategorií:

- ❖ pevná (stacionární),
- ❖ pohyblivá (mobilní). [2]

4.4.1 Pevná elektrická trakční zařízení

Slouží k napájení dráhy elektrickou energií. Mezi tyto zařízení řadíme trakční napájecí stanice s rozvodnami vysokého napětí, transformátory, usměrňovači, rozvodnami trakčního proudu, napáječi, zpětnými kabely a s celým rozvodem trakčního proudu trakčním vedením a kolejnicovým vedením. [2]

4.4.2 Pohyblivá elektrická trakční zařízení

Těmito zařízeními jsou vybavena všechna hnací vozidla s elektrickou trakcí. Jejich úkolem je zejména přeměňovat přiváděnou elektrickou energii do vozidla na užitečnou práci. Do této kategorie patří také elektrická zařízení vlečných vozů, která jsou napájena z hnacích vozidel (např. klimatizace či elektrické vytápění). [2]

4.4.3 Převozné měnírny

Převozné měnírny jsou zvláštním případem pevných trakčních zařízení, jelikož jsou využívány k zesílení či nahrazení činnosti pevných napájecích stanic ve funkci trakčních měníren, tedy pro napájení stejnosměrným proudem. Využití převozných měníren k zesílení či nahrazení pevných trakčních měníren je zpravidla dočasným řešením dané situace. Jejich obrovskou výhodou je možnost poměrně snadného přemístění, čehož je hojně využíváno v případě poruchy, údržby nebo rekonstrukce napájecích stanic. [2]

Na obrázku 6 je vyobrazena převozná měnírna výrobního označením EZB PM I. vyrobená společností Elektrizace železnic a.s. Tato měnírna je určena k dočasnému napájení stejnosměrné trakční soustavy 3 kV.



Obrázek 6 Převozná měnírna EZB PM I [8]

4.5 Napájení elektrizovaných drah

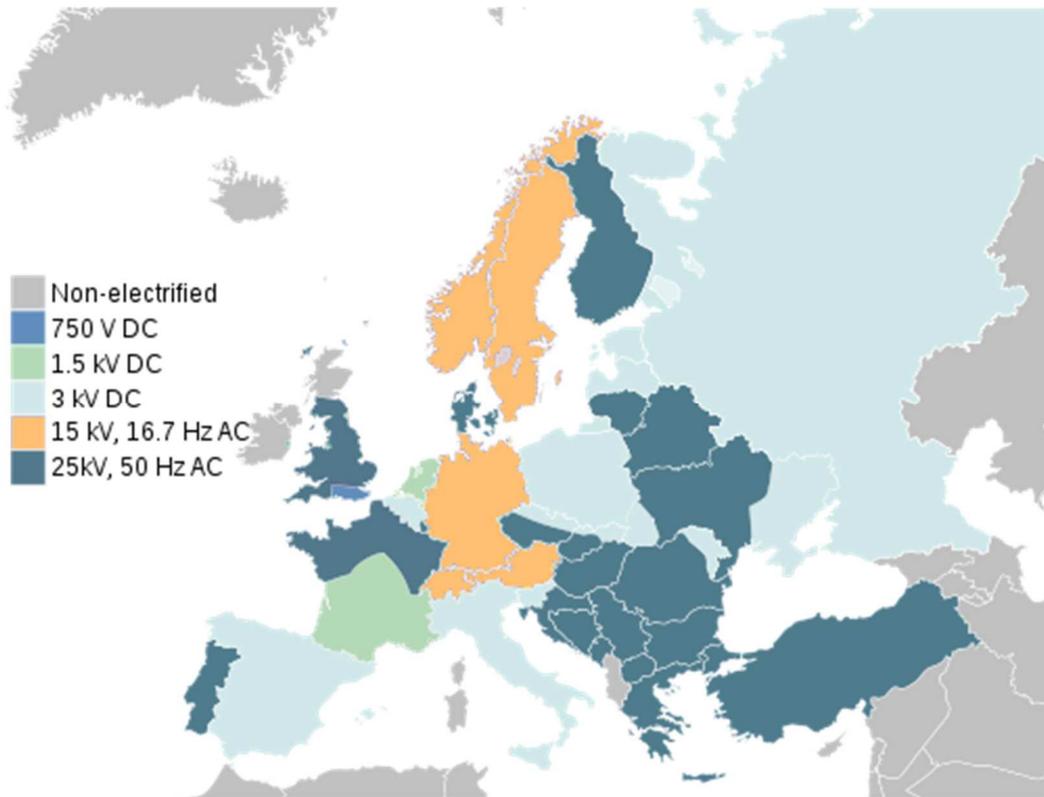
4.5.1 Typy trakčních soustav a elektrizace drah v Evropě

V evropských státech je v současnosti využíváno jak stejnosměrných (DC), tak i střídavých (AC) trakčních soustav o různých napěťových hladinách (viz obrázek 7). [8]

Používanými trakčními napájecími soustavami v Evropě jsou

- ❖ soustavy stejnosměrné:
 - 0,75 kV,
 - 1,5 kV,
 - 3 kV;

- ❖ soustavy střídavé:
 - 15 kV, 16,7 Hz (dříve 16 a 2/3 Hz),
 - 25 kV, 50 Hz. [9]



Obrázek 7 Elektrizovaná železniční síť Evropy [9]

Z obrázku 7 je patrné, že vlaková souprava tažená elektrickým hnacím vozidlem jedoucí například z Polska přes Českou republiku do Francie, teoreticky musí být schopna pracovat ve čtyřech různých trakčních soustavách. To v případě, pokud vezmeme v potaz podmínku, že při této cestě nemá dojít k přepřažení tažného vozidla. [9]

4.5.2 Typy trakčních soustav a elektrizace drah v ČR

V současnosti máme v České republice čtyři typy trakčních napájecích soustav, a to

- ❖ stejnosměrné:
 - 3 kV,
 - 1,5 kV;
- ❖ střídavé:
 - 25 kV, 50 Hz,
 - 15kV, 16,7 Hz. [9]

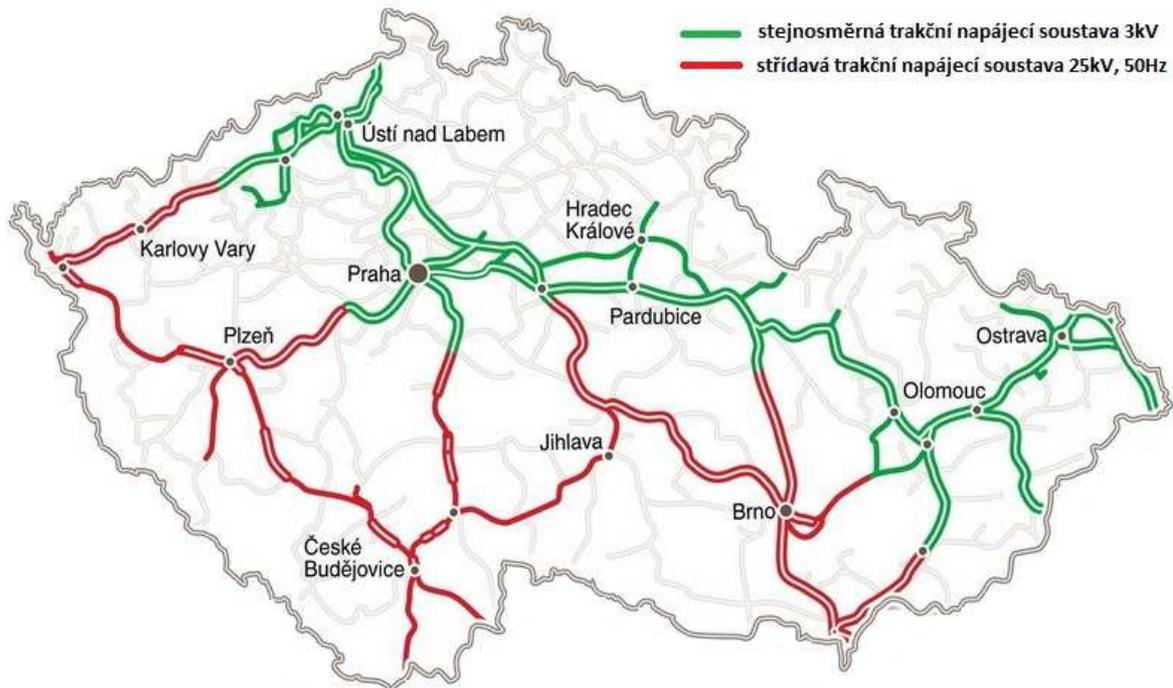
O stejnosměrnou trakční napájecí soustavu se v České republice zasloužil František Křížík. Koncem čtyřicátých let 20. století se vlivem potřeby vyššího výkonu úměrného napětí a nepřímo úměrného podélné impedanci (odporu) vedení, přistoupilo na zvýšení napěťové hladiny stejnosměrné trakční napájecí soustavy na 3 kV. V roce 1949 byla započata elektrizace páteřní železniční trati v tehdejší Československu na tuto napěťovou hladinu. Došlo tak k elektrizaci trati Děčín – Praha – Česká Třebová – Ostrava – Valašské Meziříčí – Žilina – Košice – Čierna nad Tisou. [9]

Vlivem rozvoje polovodičů v elektrotechnice došlo v šedesátých letech minulého století v Evropě k prosazení trakční napájecí soustavy 25 kV, 50 Hz. O zavedení této trakční napájecí soustavy na našem území bylo rozhodnuto v roce 1959. V tomto období byla zároveň dokončována elektrizace výše zmiňované trati Děčín – Čierna nad Tisou, která rozdělila tehdejší Československo na severní část se stejnosměrnou trakční napájecí soustavou (3 kV) a část jižní se střídavou trakční napájecí soustavou (25 kV, 50 Hz). Rozdělením vznikl požadavek na zavedení vícesystémových lokomotiv. [9]

Stejnosemřná trakční soustava 1,5 kV je České republice v současné době použita pouze na jednokolejnou železniční trati Tábor – Bechyně. [10]

Střídavou trakční soustavu 15 kV, 16,7 Hz, v České republice v současné době využívá pouze jednokolejná mezinárodní železniční trať Znojmo – Šatov – Retz. Železniční stanice Retz leží v Rakousku. [10]

Obrázek 8 představuje zjednodušenou mapu používaných trakčních napájecích soustav na území České republiky. Chybí zde zmiňovaná trať Tábor – Bechyně, napájená stejnosměrnou trakční napájecí soustavou 1,5 kV, a trať Znojmo – Šatov – Retz, napájená střídavou trakční napájecí soustavou 15 kV, 16,7 Hz. Z této mapy je zřejmé pomyslné rozdělení republiky na severní část se stejnosměrnou trakční napájecí soustavou 3 kV a část jižní se střídavou trakční napájecí soustavou 25 kV, 50 Hz.



Obrázek 8 Zjednodušená mapa trakčních napájecích soustav na území ČR (převzato a upraveno z [11])

4.5.3 Stejnoseměrná trakční napájecí soustava 3 kV

Je realizována a dimenzována na vysoké proudy, řádově tisíce ampér. Trakční vedení je u této soustavy napájeno trakčními měnírnami, které jsou napájeny z distribuční sítě. Charakteristickým znakem této soustavy je systém napájení, kdy jsou jednotlivé traťové úseky (až 25 km) napájeny ze dvou napájecích stanic umístěných na koncích těchto úseků, jedná se o tzv. dvoustranné napájení. Dvoustranné napájení zajišťuje vysokou spolehlivost napájení a souměrné rozložení zátěže na obě trakční napájecí stanice ve funkci trakčních měníren. [12]

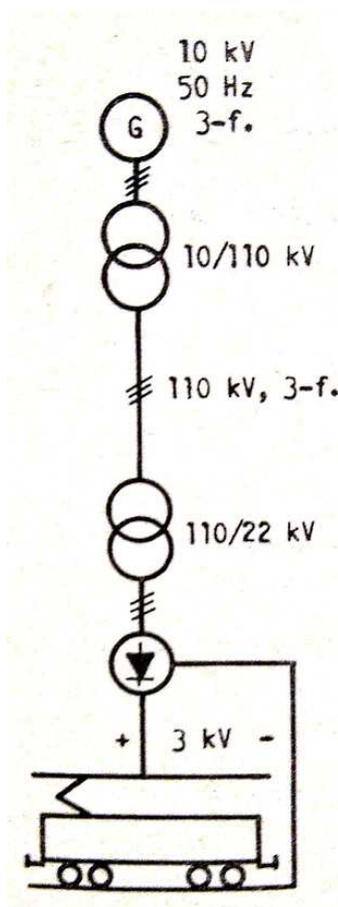
Výhodami této trakční napájecí soustavy jsou

- ❖ jednodušší elektrické vybavení hnacích vozidel,
- ❖ lehké regulovatelné rozjezdy hnacích vozidel,
- ❖ možnost snadné rekuperace. [13]

Mezi nevýhody této trakční napájecí soustavy patří

- ❖ zatěžování vysokými trakčními proudy, tím pádem vznik vysokých ztrát ve vedení (oproti střídavým trakčním napájecím soustavám),
- ❖ potřeba většího množství trakčních napájecích stanic ve funkci trakčních měníren (oproti počtu transformoven u střídavých trakčních napájecích soustav),
- ❖ složitější technologie trakčních měníren (TM),
- ❖ problémové zhášení oblouku,
- ❖ vznikající bludné proudy v okolí zpětné cesty trakčního proudu. [13]

Způsob napájení stejnosměrné trakční napájecí soustavy je zobrazen schématem (viz obrázek 9). Dále je z obrázku 9 zřejmá cesta elektrické energie od její výroby přes transformaci a usměrnění v trakční měničce až k její spotřebě elektrickým hnacím vozidlem na železnici. Vyobrazeno je zde i zpětné vedení trakčního proudu zpět do trakční měničny zajištěné pojížděnými kolejkami. [14]



Obrázek 9 Schéma napájení stejnosměrné trakční napájecí soustavy (převzato a upraveno z [14])

4.5.4 Střídavá trakční napájecí soustava 25kV, 50Hz

U střídavé trakční napájecí soustavy je obtížně proveditelné její oboustranné napájení, proto je většinou provozována pouze jako paprskové napájení z trakční transformovny, a to vývodem vždy pro každou kolej v každém směru. Důvodem obtížného oboustranného napájení jsou přetoky vyrovnávacích proudů, tzv. tranzitní proudy, vznikající vlivem vzájemného posunu jednotlivých proti sobě jdoucích fází mezi trakčními transformovny. V současnosti jsou již vyvinuta speciální zařízení, která jsou schopna zajistit takřka bezproblémové oboustranné napájení tratí se střídavou trakční napájecí soustavou avšak jsou pouze ve zkušebním provozu a cesta k jejich běžnému používání ještě nějakou dobu potrvá [12]

Trakční transformovna napájí trakční vedení až po spínací stanici. Spínací stanice pak dokáže prodloužit daný napájený úsek, pokud dojde k výluce či poruše jedné ze sousedních trakčních transformoven. [12]

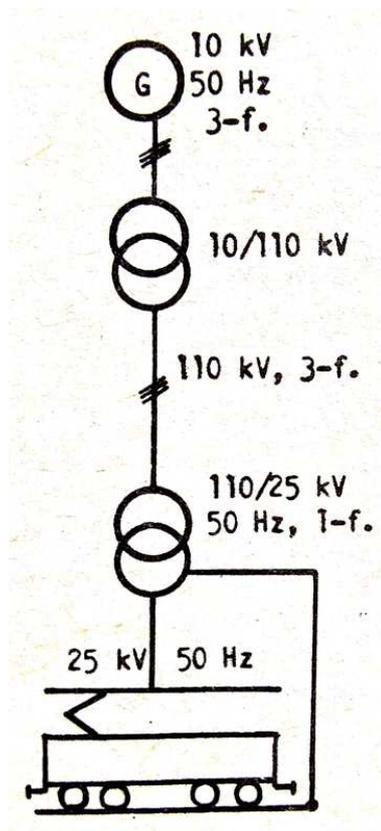
K výhodám této trakční napájecí soustavy patří:

- ❖ nízké ztráty v trakčním vedení (v porovnání se soustavami nižších napěťových hladin),
- ❖ může být použito trakční vedení s menšími průřezy vodičů,
- ❖ potřeba menšího počtu trakčních napájecích stanic (delší napájené úseky než u stejnosměrných napájecích soustav),
- ❖ jednodušší technologie trakčních transformoven (než u trakčních měničů). [13]

Mezi nevýhody této trakční napájecí soustavy patří:

- ❖ nesymetrická zátěž distribuční napájecí sítě trakčními transformovny,
- ❖ není zde možná rekuperace (v současnosti je její možnost pouze testována),
- ❖ nutnost omezení deformace časového průběhu proudu, který je ze soustavy odebírán (zejména u hnacích vozidel starší konstrukce). [13]

Způsob napájení střídavé trakční napájecí soustavy je zobrazen schématem (viz obrázek 10). Dále je z obrázku 10 zřejmá cesta elektrické energie od její výroby přes transformaci v trakční transformovně, až k její spotřebě elektrickým hnacím vozidlem na železnici. Také je zde vyobrazeno i zpětné vedení trakčního proudu zpět do trakční transformovny zajištěné pojížděnými kolejnicemi. [14]



Obrázek 10 Schéma napájení střídavé trakční napájecí soustavy (převzato a upraveno z [14])

4.5.5 Trakční měnírny

Trakční napájecí stanice jsou ve stejnosměrné trakční napájecí soustavě měnírnami, v nichž se usměrňuje trojfázový proud vysokého napětí o frekvenci 50 Hz na proud stejnosměrný. K usměrnění trojfázového střídavého proudu je využívána výkonová polovodičová technika obsahující diody a tyristory. [2]

Hlavní součásti trakční měnírny jsou:

- ❖ trojfázová venkovní transformovna (probíhá zde transformace primárního velmi vysokého napětí distribuční na napětí vysoké, které je vstupem do měnírny),
- ❖ trojfázová vnitřní rozvodna (rozděluje přívod do usměrňovacích agregátů),
- ❖ usměrňovací agregáty (skládající se z transformátoru a křemíkového diodového usměrňovače),
- ❖ stejnosměrné rozvaděče pro trolejový rozvod (kladný pól),
- ❖ stejnosměrné rozvaděče pro zpětné vedení (záporný pól),
- ❖ rozvody vlastní spotřeby,

- ❖ panely místního a dálkového ovládní,
- ❖ kontrolní panely. [2, 13]

Způsoby napájení stejnosměrných elektrizovaných drah jsou:

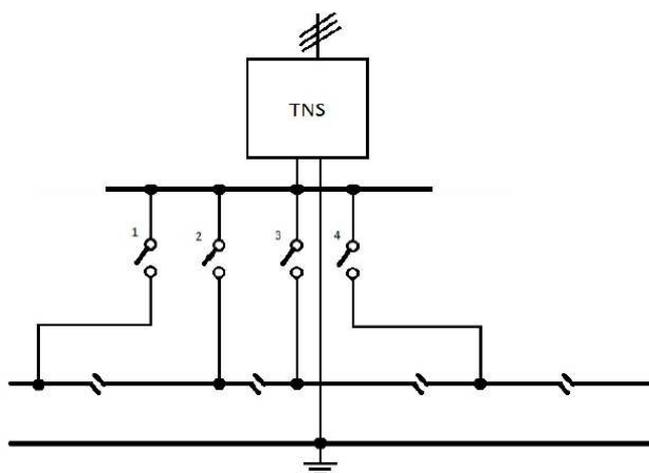
- ❖ jednostranná,
- ❖ dvoustranná,
- ❖ čtyřstranná. [4]

Jednostranné napájení

Může být v provedení

- ❖ soustředném (z jedné napájecí stanice je proud přiváděn kabely do několika napájecích úseků),
- ❖ rozloženém (napájí se vždy jen dva sousední napájecí úseky). [4]

Na obrázku 11 je zobrazeno soustředné napájení čtyř napájecích úseků.

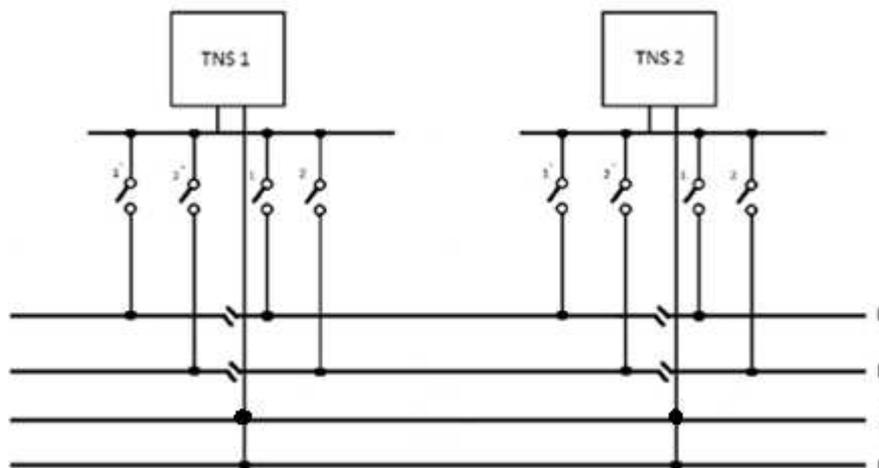


Obrázek 11 Napájení jednostranné soustředná (převzato a upraveno z [4])

Dvoustranné napájení

Nejčastěji se provádí jako rozložené, kdy jsou jednotlivé napájecí úseky napájeny ze dvou stran. Délku úseku lze prodloužit na dvojnásobek oproti jednostrannému napájení (při stejném odběru a stejném odporu trakčního vedení) s ohledem na úbytek napětí a proud, který protéká napáječem. [4]

Na obrázku 12 je příklad dvoustranného rozloženého napájení dvoukolejné trati. U takového napájení se realizuje napájení pravé a levé koleje odděleně, aby mohly být provedeny jednotlivé výluky těchto kolejí. [4]

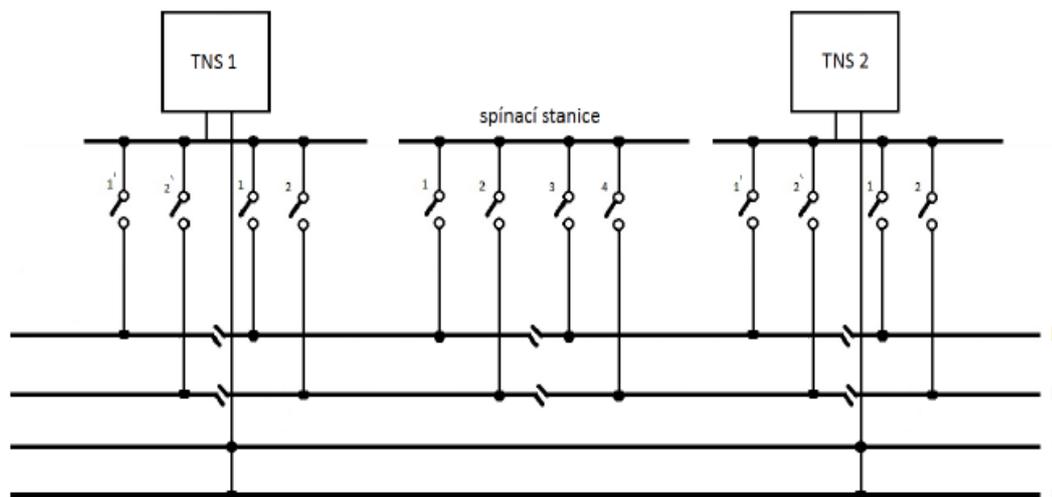


Obrázek 12 Napájení dvoustranné rozložené pro dvoukolejnou trať (převzato a upraveno z [4])

Čtyřstranné napájení

Tento typ stejnosměrného napájení lze provést na dvoukolejných úsecích, které jsou napájeny dvoustranně. Vprostřed těchto úseků se umístí spínací stanice a úsekový dělič. Spínací stanice tak umožňuje vzájemné propojení všech částí trakčního vedení v daném úseku. [4]

Na obrázku 13 je zobrazeno čtyřstranné napájení dvoukolejné trati se spínací stanicí umístěnou vprostřed tohoto úseku. [4]



Obrázek 13 Napájení čtyřstranné pro dvoukolejnou trať se spínací stanicí (převzato a upraveno z [4])

4.5.6 Trakční transformovny

Trakční napájecí stanice jsou ve střídavé trakční napájecí soustavě transformovny, v nichž dochází k přímé transformaci velmi vysokého napětí sítě 110 kV na napětí 25 kV, 50 Hz. Provádějí tedy jednoduchou jednofázovou transformaci napětí. Jejich vzájemná vzdálenost může dosahovat až 60 km. Mohou být realizovány ve venkovním provedení, tedy bez nákladných staveb. Mají nízké činné ztráty a lze je jednoduše řídit i dálkově. [4]

Hlavní součásti trakční transformovny jsou:

- ❖ rozvodna velmi vysokého napětí sítě 110 kV (venkovního provedení s dvojitými přívody napětí 110 kV),
- ❖ regulační transformátory 110 kV/ 27 k, 50 Hz, 10-16 MVA,
- ❖ třífázová rozvodna 25 kV,
- ❖ pomocné budovy se zdrojem nízkého napětí z místní sítě či transformátoru vlastní spotřeby,
- ❖ pomocná, ochranná a řídicí zařízení (umístěné v pomocné budově). [2, 13]

4.6 Trakční vedení

Trakčním vedením nazýváme soustavu vodičů dodávající elektrickou energii do hnacích vozidel. Elektrickou energii hnací vozidlo z trakčního vedení odebírá prostřednictvím sběrače proudu. Trakční vedení sestává ze všech silových vodičů a vodivých konstrukcí nutných pro přenos elektrické energie do hnacího vozidla včetně

- ❖ zesilovacího vedení,
- ❖ napájecích převěsů,
- ❖ odpojovačů a odpínačů,
- ❖ úsekových děličů,
- ❖ zařízení pro ochranu před přepětím, částí závěsů neizolovaných od vodičů,
- ❖ izolátorů spojených s živými částmi. [15, 16]

Jeho součástí nejsou:

- ❖ souběžná napájecí vedení,
- ❖ zemnicí lana a vodiče zpětného vedení. [15]

Provádí se jako jedнопólové či dvouпólové. Jedнопólovým trakčním vedením označujeme vedení, u kterého je zpětné vedení proudu zajištěno pojezdovými kolejnici. Na elektrizovaných železnicích se nejčastěji setkáme se systémem, kde je proud do hnacích vozidel přiváděn prostřednictvím trolejového vedení a zpětný proud pak odváděn prostřednictvím pojížděných kolejníc. [4]

4.6.1 Trolejového vedení a jeho druhy

Trolejové vedení musí zajišťovat nepřetržitou dodávku elektrické energie do hnacích vozidel k němu připojených prostřednictvím smýkajícího se sběrače proudu. Sběrač proudu je odpružený, aby nedocházelo k jeho odskokům či kmitům, které by zapříčinily opalování trolejového vodiče vlivem vznikajících elektrických oblouků. [2, 4]

Trolejový vodič musí být veden tak, aby kopíroval sklonové poměry koleje, nad kterou je veden v ideálním případě, aby byl stále rovnoběžný s touto kolejí. Rovnoměrné opotřebovávání ploch sběrače proudu hnacího vozidla je zajištěno přesně vymezenou geometrickou polohou trolejového vodiče nad kolejí, tzv. klikatostí. Tyto vlastnosti musí trolejový vodič splňovat za každých podmínek, tedy i při odvanutí větrem, námraze a variabilních okolních teplotách.

Nároky na trolejové vedení se úměrně zvyšují s rostoucí jízdní rychlostí hnacích vozidel. [2, 4, 22]

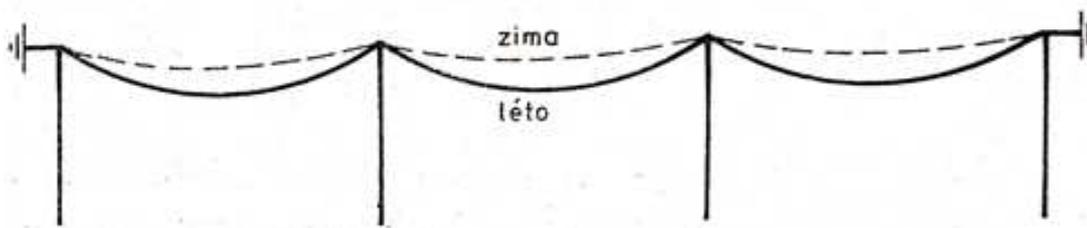
Trolejové vedení může být konstruováno jako

- ❖ prosté,
- ❖ řetězovkové. [4]

Prosté trolejové vedení

Prostým trolejovým vedením nazýváme vedení bez nosného lana, které je nenapínané. Trolejový vodič je u toho vedení zformován mezi podpěrami nebo závěsy vlastní tíhou do tvaru řetězovky. Průhyb trolejového vodiče je v létě větší než v zimě, což způsobuje tepelná dilatace. Tento druh trolejového vedení je vhodný pouze pro nižší rychlosti jízdy (zpravidla do 60 km/h). [2, 4]

Schematicky znázorněné prosté trolejové vedení je na obrázku 14. Realizované prosté trolejové vedení je potom zobrazeno na obrázku 15



Obrázek 14 Schéma prostého trolejového vedení [4]

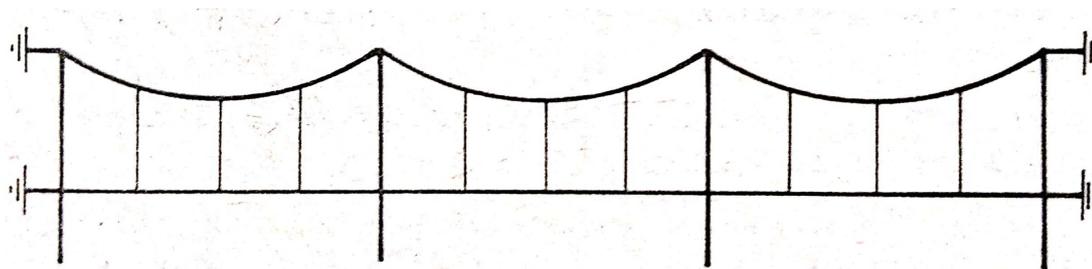


Obrázek 15 Realizované prosté trolejové vedení

Řetězovkové trolejové vedení

Řetězovkové trolejové vedení tvoří nosné lano ve tvaru řetězovky a vodorovný trolejový vodič k němu zavěšený. Zavěšení trolejového vodiče je provedeno v rovnoměrných odstupech za pomoci věšáků. Celé toto sestavení je pak neseno konzolami na trakčních podpěrách, svislými izolovanými konzolami (SIK) či příčnými směrovými lany na trakčních branách. [4, 16]

Schematicky znázorněné řetězovkové trolejové vedení je na obrázku 16 a již realizované řetězovkové trolejové vedení na obrázku 17.



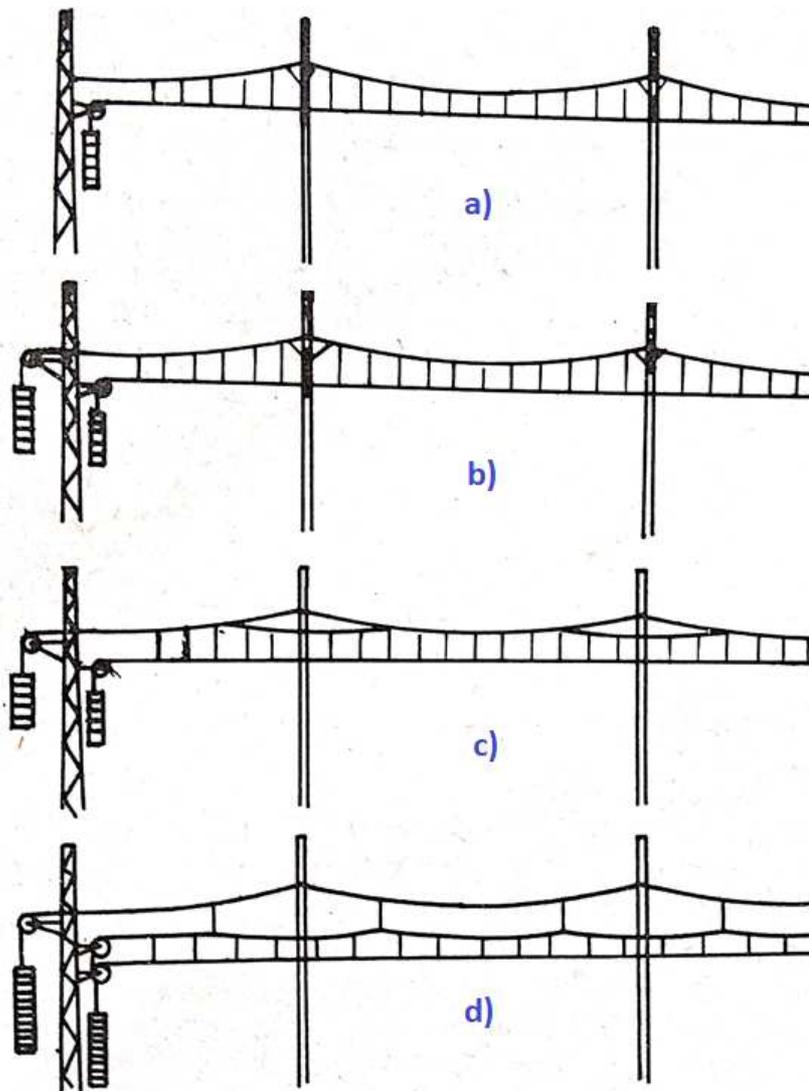
Obrázek 16 Schéma řetězovkového trolejového vedení [4]



Obrázek 17 Realizované řetězovkové trolejové vedení

Existuje několik typů řetězkových trolejových vedení:

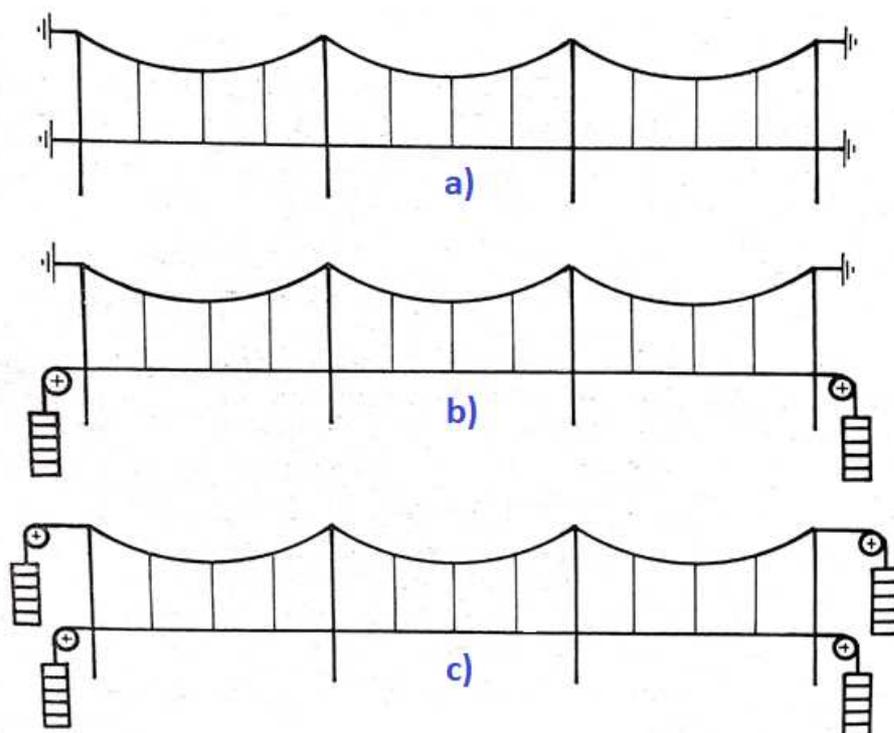
- ❖ s pevně kotveným nosným lanem a napínaným trolejovým vodičem (viz obrázek 18 a),
- ❖ s napínaným nosným lanem a trolejovým vodičem (viz obrázek 18 b),
- ❖ s napínaným nosným lanem a trolejovým vodičem s pomocným lanem pod závěsy (viz obrázek 18 c),
- ❖ s napínaným nosným lanem a trolejovým vodičem s pomocným závěsným lanem (viz obrázek 18 d). [2]



Obrázek 18 Typy řetězkových trolejových vedení (převzato a upraveno z [2])

Dle kompenzace teplotní roztažnosti trolejového vodiče jej třídíme na:

- ❖ vedení nekompensované – s trolejovým vodičem i nosným lanem řetězovky uchycenými pevně na kotevních bodech (viz obrázek 19 a),
- ❖ vedení polokompensované – s nosným lanem pevně uchyceným na kotevních bodech a trolejovým vodičem napínaným napínacím zařízením udržujícím stálý tah (viz obrázek 19 b),
- ❖ vedení plně kompensované – s trolejovým vodičem i nosným lanem napínaným samočinným (viz obrázek 19 c). [2, 4]



Obrázek 19 Druhy řetězovkového trolejového vedení dle kompenzace teplotní roztažnosti trolejového vodiče (převzato a upraveno z [4])

4.6.2 Části trakčního vedení a používané sestavy trolejového vedení

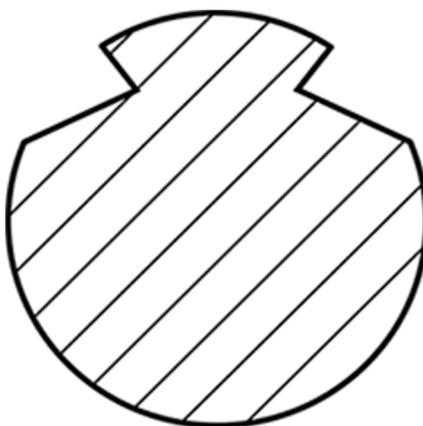
Trolejový vodič (trolej, TR)

Trolejový vodič má speciálně tvarovaný profil se zářezy sloužícími k jeho uchycení věšákovou svorkou nebo závěsem na konzole či směrovém laně (bočním držákem). Je vyráběn z tvrdé elektrolytické mědi, případně mědi legované kadmíem (Cd), berylliem (Be) nebo stříbrem (Ag), aby bylo dosaženo její větší tvrdosti a pevnosti. Trolejové vodiče mají dané průřezy závislé na typu trakční napájecí soustavy (viz tabulka 2). [2, 4]

Tabulka 2 Průřezy trolejových vodičů (převzato a upraveno z [4])

materiál	průřez [mm ²]
měď (Cu)	150
	100
	80

Na obrázku 20 je zobrazen speciálně tvarovaný profil trolejového vodiče.



Obrázek 20 Profil trolejového vodiče [18]

Nosné lano (NL)

V sestavě trolejového vedení má za úkol nést trolej, jenž je na něm zavěšen pomocí věšáků, tedy je s trolejem vodivě propojeno. Nejčastěji bývá v provedení měděném, bronzovém či ocelovém (AlFe 6 – pletené hliníkové lano s ocelovým středním vodičem zvyšujícím pevnost celého lana). Nosná lana jsou také daného průřezu, jako je tomu u trolejových vodičů (viz tabulka 3). [4]

Tabulka 3 Průřezy nosných lan (převzato a upraveno z [4])

materiál	průřez [mm ²]
měď (Cu)	120
	95
bronz (Bz)	90
	50

Zesilovací vedení (ZV)

Zesilovací vedení, jiným názvem paralelní cesta trakčního proudu, má za úkol zvětšení vodivého průřezu trolejového vodiče, a tím snížení jeho proudového zatížení a způsobeného oteplení. Tohoto je potřeba zejména v úsecích tratí s prudkým táhlým stoupáním nebo úsecích silně dopravně zatížených. Je zavěšeno zpravidla souběžně s trolejovým vedením na stožárech trakčního vedení pomocí konzol k tomu určených. V určitých vzdálenostech je s trolejovým vedením vodivě propojeno. Vzhledem k proudovému zatížení daného traťového úseku mohou být použita až tři lana zesilovacího vedení. Zpravidla mají daný průřez (viz tabulka 4). [4]

Tabulka 4 Průřezy zesilovacího vedení (převzato a upraveno z [4])

materiál	průřez [mm ²]
měď (Cu)	120
AlFe 6	240

4.6.3 Používané sestavy trolejového vedení

V elektrizované železniční síti České republiky jsou používány sestavy trolejového vedení zmíněné v tabulce 5.

Tabulka 5 Používané sestavy trolejového vedení (převzato a upraveno z [17])

trakční napájecí soustava (označení)	označení	kolej	plně kompenzovaná sestava trolejového vedení – trolej + nosné lano (TR + NL)
stejnoseměrná 3 kV	J	hlavní	150 mm ² Cu + 120 mm ² Cu
		vedlejší	100 mm ² Cu + 50 mm ² Bz
střídavá 25 kV, 50 Hz	S	hlavní	100 mm ² Cu + 50 mm ² Bz
		vedlejší	80 mm ² Cu + 50 mm ² Bz

Poznámka: Cu – měď, Bz – bronz

4.7 Zpětná vodivá cesta trakčního proudu

Zpětná vodivá cesta trakčního proudu je jak u stejnosměrné trakční napájecí soustavy, tak i u trakční napájecí soustavy střídavé zajištěna pojezdovými kolejnicemi a zpětnými kabely propojujícími kolejnice s napájecí stanicí. Jednotlivé kolejnice jsou mezi sebou propojeny podélnými a příčnými propojkami. [13, 22]

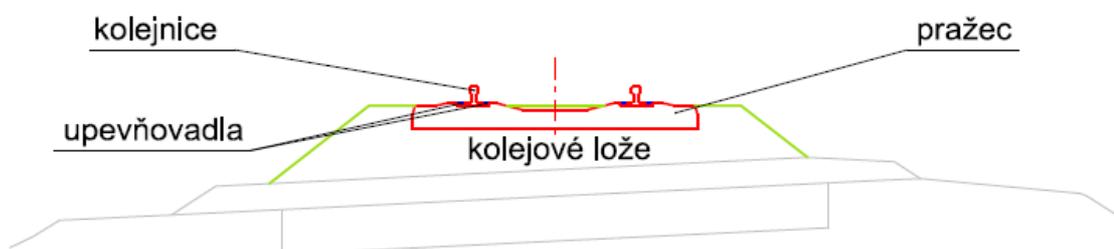
Úkolem těchto zpětných vedení, kolejnic a zpětných kabelů, je zajistit bezpečný a spolehlivý přenos zpětného trakčního proudu zpět do napájecí stanice tak, aby v ideálním případě nevznikaly žádné bludné proudy. Z tohoto plyne, že zpětná vedení musejí mít co nejmenší elektrický odpor. [13, 22]

4.7.1 Železniční svršek

Železniční svršek je prvkem železniční trati, který zajišťuje bezpečnou jízdu hnacích vozidel. Jeho konstrukcí je zajištěno přenášení zatížení od hnacích vozidel směrem do železničního spodku. [19]

Železniční svršek je složen z

- ❖ kolejnic (zajišťujících vedení zpětného trakčního proudu u elektrizovaných železnic),
- ❖ upevňovadel,
- ❖ pražců,
- ❖ kolejového lože (viz obrázek 21). [19]



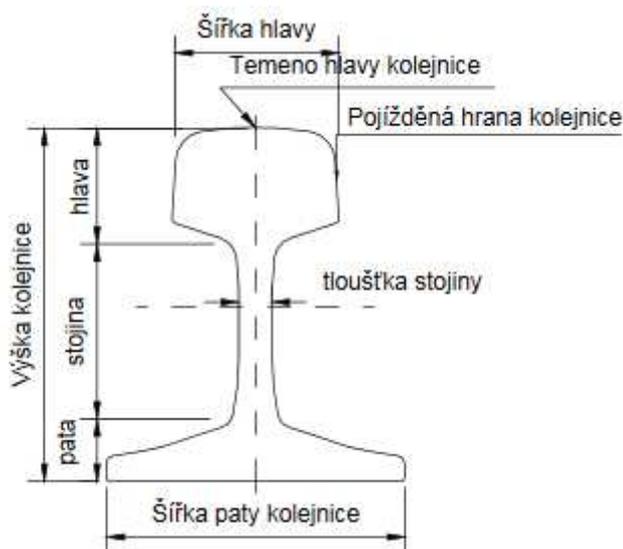
Obrázek 21 Kolejový svršek (převzato a upraveno z [19])

4.7.2 Kolejnice

Kolejnice je základním a nejdůležitějším prvkem železničního svršku. Její funkcí je

- ❖ přejímání kolejových sil a jejich přenášení na kolejnicové podpory (příčné pražce či pevné betonové podloží u pevných jízdních drah),
- ❖ vedení kol hnacího vozidla,
- ❖ přenášení příčných sil na kolejnicové podpory (pražce či pevné betonové podloží),
- ❖ přejímání brzdných a rozjezdových sil hnacího vozidla a vozů k němu připojených,
- ❖ vedení zpětného trakčního proudu u elektrizovaných tratí,
- ❖ zajištění napájení kolejových obvodů zabezpečovacího zařízení (ke zjištění obsazenosti či neobsazenosti dané trati či traťového úseku). [20]

Tvar kolejnice s okótovanými a popsány hlavními částmi je na obrázku 22.



Obrázek 22 Tvar kolejnice s popisem hlavních částí [20]

Materiál kolejnic

Materiál kolejnic a jeho složení se odvíjí od mechanických požadavků na kolejnici. K výrobě kolejnic, určených na běžné a koridorové tratě, se používá tzv. kolejnicová ocel s označením UIC 900A. [20]

V chemickém složení kolejnicové oceli je velmi důležitý obsah uhlíku, který ovlivňuje její pevnost, odolnost a křehkost, a obsah legujících prvků. Nejčastějšími legujícími prvky ke zlepšení mechanických vlastností kolejnic jsou mangan (Mn), chrom (Cr) a nikl (Ni). [20]

Zlepšováním mechanických vlastností kolejnicové oceli příměsemi uhlíku a legujících prvků (zejména manganu) dochází ke znatelnému zvýšení elektrického odporu kolejnice, což je nežádoucí vlastností z hlediska zpětného vedení trakčního proudu. Zpětný trakční proud v takovémto případě vyhledává jiné cesty k vracení se zpět do napájecí stanice, tedy cesty s menším elektrickým odporem (zejména půdu). Zpětný proud, který takto vybočí ze zpětné vodivé cesty realizované pojížděnou kolejnicí se nazývá tzv. bludným proudem. [20]

4.7.3 Bludný proud

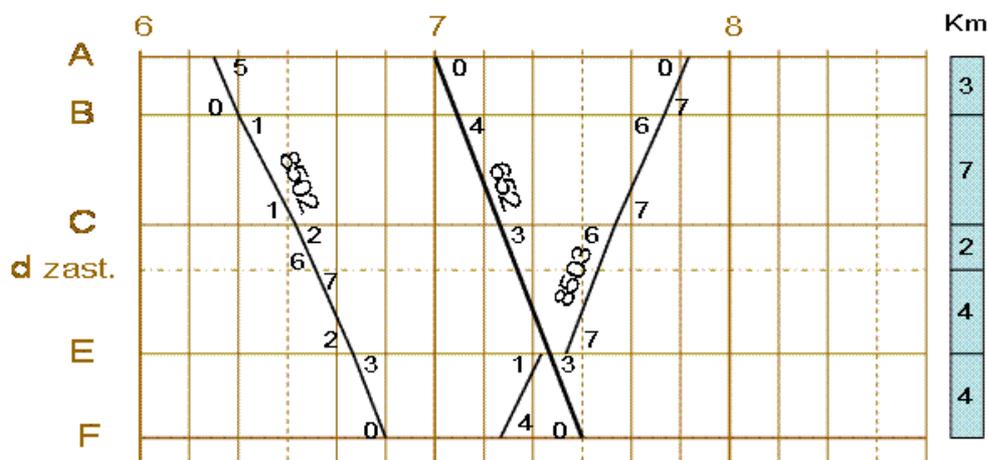
Bludný proud je proudem, který se v obvodu, u něhož je jeden pól úmyslně či náhodně uzemněn, vrací zpět do zdroje zemnicím materiálem, místo konkrétním zpětně vedeným vodičem. [13]

Vlivem vlhkosti a různého chemického složení zeminy, v níž protékají bludné proudy, dochází v zemině k elektrochemické korozi kovových předmětů umístěných v blízkosti zařízení, z něhož bludné proudy pocházejí. U elektrizovaných železnic je tato elektrochemická koroze velmi nežádoucím jevem, jelikož jsou jí zasaženy kovové konstrukce v blízkém okolí tratí. Zejména trakční stožáry, kovové konstrukce železničních mostů a kovová potrubí. Vzhledem k této skutečnosti, kvůli bludným proudům, nesmí být spojena s drážní zemí, tedy ukolejněna, cizí (mimodrážní) vodivá zařízení. Vodivá zařízení či potrubí vedoucí přes drážní pozemek a odbočující mimo něj musí být izolována. [13]

4.8 Grafikon vlakové dopravy

Základním nástrojem pro organizaci vlakové dopravy je tzv. grafikon vlakové dopravy (GVD). Ten se zpracovává zpravidla na období jednoho roku. [21]

Při tvorbě grafikonu vlakové dopravy je hlavním úkolem časové rozplánování jízd předem stanovených typů vlaků dopravní technologií či rozplánování stávající železniční dopravy na určité trati. Sestavením grafikonu dané trati tak dojde k přesnému grafickému určení časové polohy jednotlivých vlaků v závislosti na jejich kilometrické poloze v trati. Jednotlivé vlaky jsou označeny druhovou značkou a číslem pro jejich snadnou identifikaci (většinou se jedná o číslo linky). [21]



Obrázek 23 Obecný grafikon vlakové dopravy [21]

Obrázek 23 znázorňuje výřez obecného grafikonu vlakové dopravy. Veličinou vodorovné osy je čas, který je zde vyneseno po deseti minutách. V horní části vodorovné osy jsou pak číslicemi zapsány celé hodiny (v tomto případě 6, 7, 8). Veličinou svislé osy je vzájemná vzdálenost jednotlivých železničních stanic a zastávek trati v kilometrech. Zde jsou jednotlivé stanice obecně označeny písmeny A, B, C, E, F a zastávka písmenem d. V konkrétním grafikonu jsou tato písmena nahrazena názvy jednotlivých stanic a zastávek. Vlaky jsou zde zakresleny tlustými černými čarami a označeny identifikačním číslem. Pro upřesnění časové polohy určitého vlaku se v některých případech do grafikonu, k čáře tento vlak představující, zapisují časové údaje. [21]

V případě, že je daná trať dvoukolejná, mohou se čáry představující jízdu jednotlivých vlaků v grafikonu vzájemně křížit v jakékoliv kilometrické poloze trati. Pokud je trať jednokolejná, ke křížení čar představujících jízdy vlaků může v grafikonu docházet pouze v železničních stanicích. Příkladem je na obrázku 23 vlak s označením 8503, který vyjíždí ze stanice F v 7:14 a dorazí do stanice E v 7:21, kde čeká na průjezd vlaku s označením 652 z opačného směru. Poté vlak 652 ze stanice E pokračuje dále jízdě v 7:27 a jede až do stanice A, kam dorazí v 7:50. [21]

4.9 Energetické výpočty

Energetické výpočty se v železniční dopravě používají ke kontrole a stanovení výkonového dimenzování napájecích stanic pro dané tratě či úseky tratí. Cílem těchto výpočtů je určení spotřeby energie na dané trati a potřebného výkonu pro danou napájecí stanici či stanice, ze kterých bude tato trať napájena. Energetické výpočty mají dále v dané trati ověřit, případně navrhnout, dimenzování trakčního vedení, napájecího vedení a vedení zpětného.

Existují dvě metody provádění energetických výpočtů:

- ❖ metoda početní,
- ❖ metoda simulační.

4.9.1 Početní metoda energetických výpočtů

Početní metoda energetických výpočtů spočívá v určení potřebných veličin a jejich výsledků ke kontrole a stanovení dimenzí napájecích stanic a k ověření či případnému navržení dimenzí trakčního vedení, napájecího vedení a zpětného vedení pomocí daného postupu výpočtu. Tento postup výpočtu stanovuje potřebné vzorce a grafy k odečítání hodnot pro jednotlivé druhy vlaků, nutné pomocné výpočty.

Výchozími podklady pro početní metodu energetických výpočtů v dané trati či úseku trati jsou

- ❖ výhledové hmotnosti vlaků dle jejich druhu,
- ❖ výhledové počty projíždějících vlaků za den,
- ❖ spočtený redukovaný podélný profil (případně reálný podélný profil, z něhož se redukovaný podélný profil dopočítá),
- ❖ určené odpory oblouků,
- ❖ křivky měrných spotřeb dle jednotlivých druhů vlaků,
- ❖ výkonové křivky napájecích stanic,
- ❖ určená denní špičková vytížení (případně výřez z grafikonu vlakové dopravy v době maximální dopravy a následné stanovení špičkového vytížení),
- ❖ určené druhy vlaků v denních špičkových vytíženích (lze také stanovit dle výřezu z grafikonu vlakové dopravy v době maximální dopravy).

4.9.2 Simulační metoda energetických výpočtů

Simulační metoda energetických výpočtů spočívá v simulaci daných situací na trati počítačovým simulačním softwarem a následném určení potřebných veličin a jejich výsledků ke kontrole a stanovení dimenzí napájecích stanic a ověření či případnému navržení dimenzí trakčního vedení, napájecího vedení a zpětného vedení pomocí výpočetního softwaru.

Simulační software vychází ze známých sklonových a směrových poměrů dané trati. Ty jsou určeny stávajícím zaměřením trati (v případě ověřování dimenzí na stávajících tratích) nebo podklady ze studie či projektu stavby (v případě návrhu dimenzí).

Metodika výpočtu simulační metody energetických výpočtů:

1. rozmístění vlaků v trati na základě jízdního řádu či grafikonu simulačním softwarem,
2. stanovení potřebných příkonů pro tyto vlaky (v dané poloze v trati) na základě jízdních odporů, hybností a trakčních charakteristik,
3. odeslání stanovených potřebných příkonů výpočetnímu softwaru,
4. vypočítání rozložení požadovaných výkonů mezi jednotlivé dotčené napájecí stanice výpočetním softwarem,
5. stanovení ztrát v trakčním vedení a dostupného výkonu pro jednotlivé vlaky výpočetním softwarem,
6. odeslání dostupného výkonu pro jednotlivé vlaky simulačnímu softwaru,
7. převzetí dostupných výkonů a stanovení ujeté vzdálenosti pro jednotlivé vlaky za jednu sekundu.

Celý tento proces se od bodu 2 opakuje pro každou sekundu v jízdním řádu.

5 Energetické výpočty pro konkrétní situaci

Energetické výpočty byly provedeny kvůli posouzení napájení a stanovení energetické náročnosti a spotřeby energie železniční dopravou na železniční trati Velký Osek – Choceň, s identifikačním číslem 020, elektrizovanou stejnosměrnou trakční soustavou. Předmětem řešení byly konkrétní traťové úseky Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí – Hradec Králové. V případě daných traťových úseků byly energetickými výpočty stanoveny podklady pro dimenzování trakční napájecí stanice (TNS) Týniště nad Orlicí, ve funkci trakční měřírny, ve variantě úplného zdvoukolejnění obou traťových úseků. Dále byly v této variantě ověřeny a navrženy dimenze trakčního a zpětného vedení jednotlivých kolejí. Celý výpočet byl proveden pomocí početní metody energetických výpočtů.

Vzhledem k velkému rozsahu výpočtů jsou tyto obsaženy na příloženém CD, soubor xchov001_DP-výpočty.xlsx.

5.1 Podklady pro energetické výpočty

Výchozími podklady pro stanovení energetických výpočtů pro posouzení a dimenzování trakční napájecí stanice (TNS) Týniště nad Orlicí a ověření dimenzí trakčního a zpětného vedení traťových úseků Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí – Hradec Králové byly:

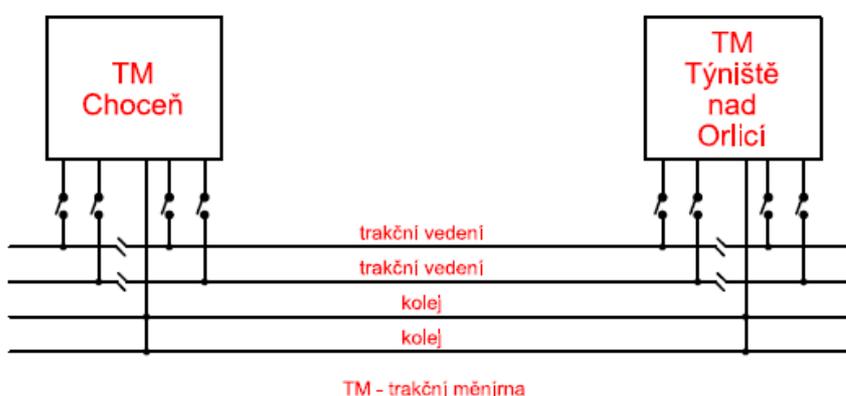
- ❖ podélné profily obou traťových úseků se sklonovými poměry,
- ❖ směrové poměry traťových úseků,
- ❖ odpory směrových oblouků,
- ❖ délky obou traťových úseků (se vzájemnými vzdálenostmi železničních stanic a zastávek),
- ❖ výhledový rozsah osobní a nákladní dopravy v elektrické trakci na traťových úsecích (ve variantě úplného zdvoukolejnění),
- ❖ průměrné hmotnosti vlaků v elektrické trakci dle jejich druhu,
- ❖ křivky měrné spotřeby elektrické energie dle duhu vlaků v elektrické trakci,
- ❖ křivky trvalého efektivního a maximálního výkonu napájecích stanic,
- ❖ odpor v cestě trakčního proudu (odpor trakčního vedení, odpor zpětné cesty),
- ❖ jmenovité parametry trakčních napájecích stanic (ve funkci trakčních měření) [23].

5.1.1 Údaje o traťových úsecích

Návrhem varianty úplného zdvoukolejnění traťových úseků Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí – Hradec Králové zde došlo k potřebě stanovení výhledového rozsahu dopravy, který byl stanoven dopravní technologií. Z tohoto vyplynula nutnost posouzení napájení obou traťových úseků a nutnost vytvoření podkladů pro dimenzování napájecí stanice Týniště nad Orlicí stejnosměrnou trakční napájecí soustavou. [24]

Traťový úsek Choceň – Týniště nad Orlicí

Tento traťový úsek o délce zhruba 23 km je oboustranně napájen z napájecích stanic Choceň a Týniště nad Orlicí, které jsou zde ve funkci trakčních měníren (viz obrázek 24). [23]



Obrázek 24 Schéma napájení traťového úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Traťový úsek Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

Tento traťový úsek o délce zhruba 22 km je oboustranně napájen z napájecích stanic Týniště nad Orlicí a Hradec Králové, které jsou zde také ve funkci trakčních měníren (viz obrázek 25). [23]



Obrázek 25 Schéma napájení traťového úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

5.2 Postup energetických výpočtů

Energetické výpočty byly prováděny dle následujícího postupu.

1. Stanovení úseků s redukovanými sklony z podélného profilu traťového úseku s reálnými sklonovými poměry.
2. Určení odporů směrových oblouků.
3. Výpočet denních dopravních toků jednotlivých druhů dopravy z výhledového rozsahu dopravy.
4. Výpočet spotřeby elektrické energie jednotlivými druhy vlaků v daném traťovém úseku.
5. Stanovení podílu na spotřebě energie jednotlivých napájecích stanic v daném traťovém úseku (vzhledem k oboustrannému napájení).
6. Výpočet celkové denní spotřeby elektrické energie dané napájecí stanice.
7. Stanovení středního, efektivního a maximálního výkonu napájecí stanice.
8. Výpočet, tažné síly, výkonu a odebíraného proudu hnacích vozidel v daném traťovém úseku.
9. Výpočet maximálního úbytku napětí v daném traťovém úseku.
10. Výpočet minimálního zkratového proudu v daném traťovém úseku a stanovení mezí pro nastavení proudových ochran v dané napájecí stanici. [25]

5.3 Stanovení úseků s redukovanými sklony

Úseky s redukovanými sklony byly stanoveny v traťových úsecích Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí a Hradec Králové ze známého podélného profilu trati. Prvním kritériem pro stanovení počátků a konců těchto úseků byly železniční stanice a zastávky, odkud se vlaky, zejména osobní dopravy, rozjíždějí či zde zastavují. Kritériem druhým byly důležité body, kde nastává změna sklonů, tedy stoupání přechází v klesání či naopak. Reálné sklonové poměry trati spolu s úseky s redukovanými sklony jsou na obrázku 26. [23, 24]

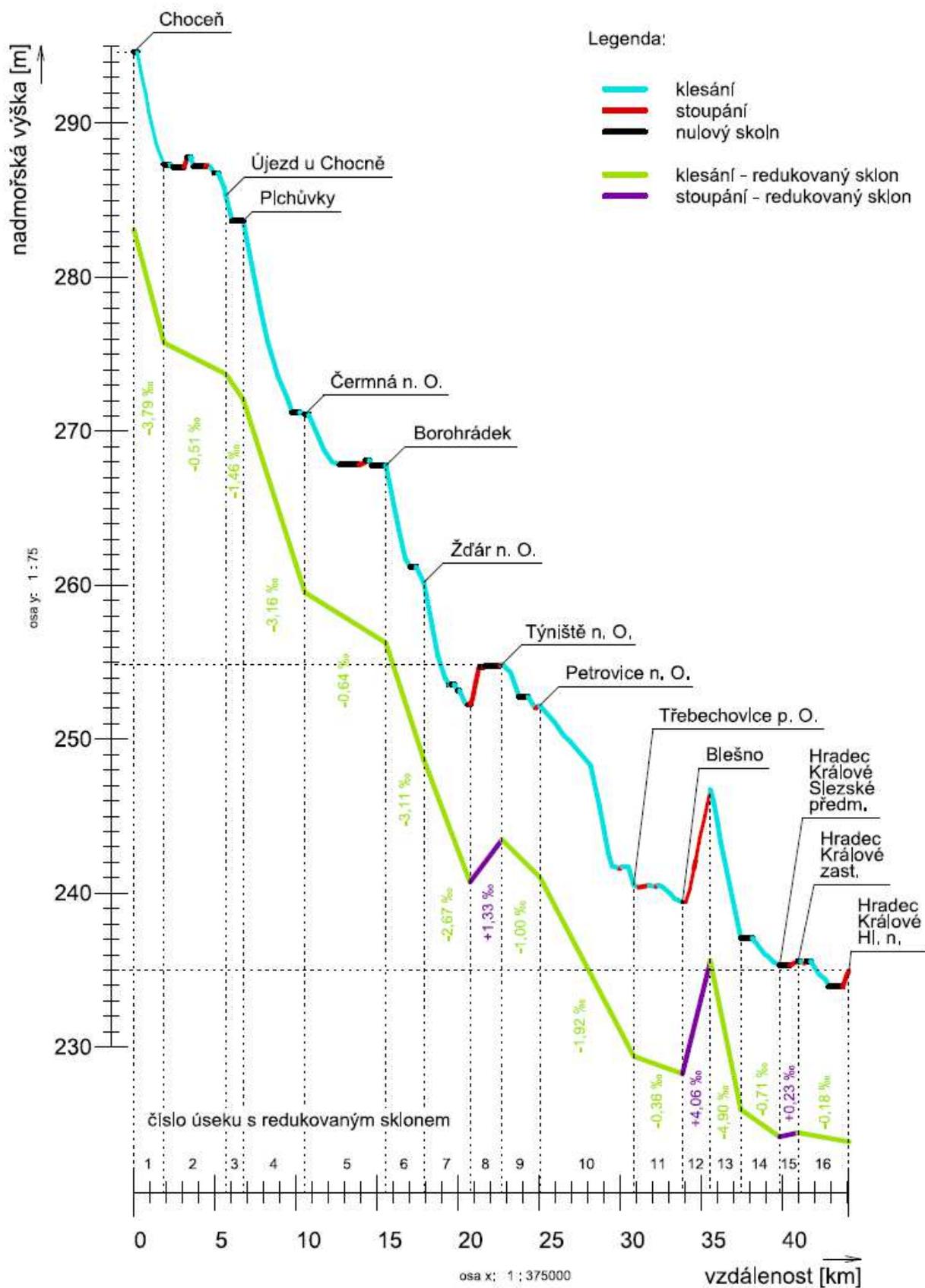
Redukované sklony byly z podélného profilu trati vypočítány váženým aritmetickým průměrem, jelikož byly známy reálné sklonové poměry i s jejich délkami v obou traťových úsecích Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí a Hradec Králové.

Redukované sklony ze známých reálných sklonových poměrů byly vypočítány dle vzorce (5.1).

$$s_{red} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad [‰] \quad (5.1)$$

s_i – reálný i -tý sklon úseku [‰],

l_i – délka i -tého úseku [m]. [25]



Obrázek 26 Reálné a redukované sklony v trati Choceň–Týniště nad Orlicí–Hradec Králové

5.3.1 Vzorový výpočet redukovaného sklonu

Pro vzorový výpočet byl zvolen úsek číslo 5 (viz tabulka 6). Redukovaný sklon se pro tento úsek vypočítá dle vzorce:

$$s_{red} = \frac{\sum_{i=1}^{10} s_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^{10} l_i} =$$

$$= \frac{0 - 2,34 \cdot 944 - 1,51 \cdot 497 - 0,35 \cdot 500 + 0 + 0,32 \cdot 300 + 2,18 \cdot 88 + 0 - 1,93 \cdot 181 + 0}{5006}$$

$$= -0,640 \text{ ‰}$$

Tabulka 6 Redukovaný sklon ze sklonů reálných

Rozdělení trat'ových úseků do úseků s redukovaným sklonem					
Pořadové číslo	číslo úseku s redukovaným sklonem	s_i [‰]	l_i [m]	s_{red} [‰] ve směru Choceň – Týniště nad Orlicí	s_{red} [‰] ve směru Týniště nad Orlicí – Choceň
1	5	0,00	227	-0,64	0,64
2		-2,34	944		
3		-1,51	497		
4		-0,35	500		
5		0,00	1199		
6		0,32	300		
7		2,18	88		
8		0,00	213		
9		-1,93	181		
10		0,00	857		

Poznámka: znaménko minus představuje klesání a znaménko plus představuje stoupání

5.4 Určení měrných odporů od směrových oblouků

Měrné odpory směrových oblouků vycházejí z tabulky 7, ze které je patrné, že závisejí na poloměru oblouku. [25]

Tabulka 7 Měrné odpory oblouků v závislosti na poloměru (převzato a upraveno z [25])

Poloměr oblouku [m]	Odpor oblouku působící na soupravu [kg/t]
1 - 499	1
500 - 999	0,75
1000 - 4999	0,5
5000 a více	0

Celkový měrný odpor oblouků v daném úseku s redukovaným sklonem se vypočítá dle vzorce:

$$O_c = \sum_{i=1}^n O_i \quad (5.2)$$

O_i – odpor i -tého oblouku [kg/t]. [25]

5.4.1 Vzorové stanovení měrných odporů oblouků

Měrné odpory oblouků byly stanoveny dle tabulky 7 nejprve pro jednotlivé reálné úseky ve kterých se nacházejí a následně sečteny pro daný úsek s redukovaným sklonem (viz tabulka 8).

$$O_c = \sum_{i=1}^4 O_i = 0,750 + 0,750 + 1,000 + 0,500 = 3,000 \text{ kg/t}$$

Tabulka 8 Celkové měrné odpory oblouků

Celkové měrné odpory oblouků				
číslo úseku s redukovaným sklonem	pořadové číslo oblouku	r [m]	O_i [kg/t]	O_c [kg/t]
1	1	800	0,75	3
	2	550	0,75	
	3	402	1	
	4	4000	0,5	

5.5 Denní dopravní tok jednotlivých druhů dopravy

Denní dopravní tok vychází z výhledového rozsahu dopravy, který byl stanoven dopravní technologií. Výhledový rozsah dopravy je uveden v tabulce 9 a v tabulce 10.

Tabulka 9 Rozsah osobní dopravy (převzato a upraveno z [24])

Vlaky osobní dopravy							
směr jízdy	typ	elektrická jednotka	četnost [vlak/den]	rychlost [km/h]	hmotnost soupravy [t]	délka soupravy [m]	přepravní systém
Choceň - Hradec Králové	Sp	RegioPanter (ř. 440)	6	120	160	79,4	regionální
Hradec Králové - Choceň	Sp	RegioPanter (ř. 440)	6	120	160	79,4	regionální
Choceň - Hradec Králové	Os	RegioPanter (ř. 440)	9	120	160	79,4	regionální
Hradec Králové - Choceň	Os	RegioPanter (ř. 440)	9	120	160	79,4	regionální

Tabulka 10 Rozsah nákladní dopravy (převzato a upraveno z [24])

Vlaky nákladní dopravy							
směr jízdy	typ	lokomotiva	četnost [vlak/den]	rychlost [km/h]	hmotnost soupravy [t]	délka soupravy [m]	vozy ložené/prázdné
Choceň - Hradec Králové	NEx	Vectron	12	100	1950	740	ložené
Hradec Králové - Choceň	NEx	Vectron	12	100	1950	740	ložené
Choceň - Hradec Králové	NEx	Vectron	6	100	1950	650	ložené
Hradec Králové - Choceň	NEx	Vectron	6	100	1950	650	ložené
Choceň - Hradec Králové	NEx	Vectron	6	100	1000	650	prázdné
Hradec Králové - Choceň	NEx	Vectron	6	100	1000	650	prázdné
Týniště nad Orlicí - Hradec Králové	NEx	Vectron	9	100	1400	740	ložené
Hradec Králové - Týniště nad Orlicí	NEx	Vectron	9	100	980	740	prázdné
Choceň - Hradec Králové	Pn	Vectron	2	80	1600	650	ložené
Hradec Králové - Choceň	Pn	Vectron	2	80	1600	650	ložené

Výhledovým rozsahem dopravy na traťových úsecích Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí a Hradec Králové byly stanoveny čtyři druhy vlaků hmotnostně se od sebe lišících, u kterých se předpokládá, že zde budou jezdit ve variantě úplného zdvoukolejnění (viz tabulka 9 a tabulka 10). Těmito druhy vlaků jsou:

- ❖ Sp – spěšné vlaky,
- ❖ Os – osobní vlaky,
- ❖ NEx – rychlé nákladní vlaky (nákladní expresy),
- ❖ Pn – pomalé nákladní vlaky. [24]

Denní dopravní toky osobní a nákladní dopravy v jednotlivých směrech jízdy jsou uvedeny v tabulce 11 a v tabulce 12. Tyto dopravní toky byly vypočítány dle vzorce:

$$Q_m = \sum_T C \cdot m_v \quad (5.3)$$

T – množina vlaků z rozsahu dopravy,

C – četnost vlaků v daném směru [vlak/den],

m_v – hmotnost vlaku [t]. [25]

Vzorový výpočet (vychází z tabulky 9):

$$Q_m = \sum_{\{Sp, Os\}} C \cdot m_v = 6 \cdot 160 + 9 \cdot 160 = 2400 \text{ t/den}$$

Výpočty denního dopravního toku nákladní dopravy pro různé směry jízdy byly stanoveny obdobně.

Tabulka 11 *Denní dopravní tok osobní dopravy*

Denní dopravní tok osobní dopravy		
směr jízdy	denní dopravní tok [t/den]	druh vlaků
Choceň - Hradec Králové	2400	Sp, Os
Hradec Králové - Choceň	2400	

Tabulka 12 *Denní dopravní tok nákladní dopravy*

Denní dopravní tok nákladní dopravy		
směr jízdy	denní dopravní tok [t/den]	druh vlaků
Choceň - Hradec Králové	44300	Nex, Pn
Hradec Králové Choceň	44300	
Týniště nad Orlicí - Hradec Králové	12600	
Hradec Králové - Týniště nad Orlicí	8820	

5.6 Spotřeba elektrické energie jednotlivými druhy vlaků

Měrné spotřeby elektrické energie na pantografu u lokomotivy daných druhů vlaků byly odečteny pro jednotlivé traťové úseky Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí – Hradec Králové ve všech jejich úsecích s redukovanými sklony ve směru Choceň – Hradec Králové a protisměru Hradec Králové – Choceň z křivek v grafu na obrázku 27. Potřebné hodnoty měrné spotřeby elektrické energie tak byly dle stanoveného rozsahu dopravy odečteny z grafu (viz obrázek 27) pouze pro Sp vlaky (křivka číslo 5), Os vlaky (křivka číslo 4), NEx vlaky (křivka číslo 9) a Pn vlaky (křivka číslo 6).

Následně byly z těchto odečtených hodnot vypočítány spotřeby elektrické energie v úsecích s redukovanými sklony v daném směru či v protisměru dle vzorce (5.4):

$$E_s = W \cdot m_o \cdot l_{sred} [Wh] \quad (5.4)$$

W – měrná spotřeba elektrické energie pro daný druh vlaku na pantografu lokomotivy [Wh/tkm],

m_o – hmotnost vlaku se započteným odporem oblouků v daném úseku s redukovaným sklonem [t],

l_{sred} – délka úseku s redukovaným sklonem [km]. [25]

Celkové spotřeby za daný úsek s redukovaným sklonem byly stanoveny dle vzorce (5.5):

$$E_c = E_{s_{ve\ směru}} + E_{s_{v\ protisměru}} [Wh] \quad (5.5)$$

$E_{s_{ve\ směru}}$ – spotřeba energie v daném úseku s redukovaným sklonem ve směru [Wh],

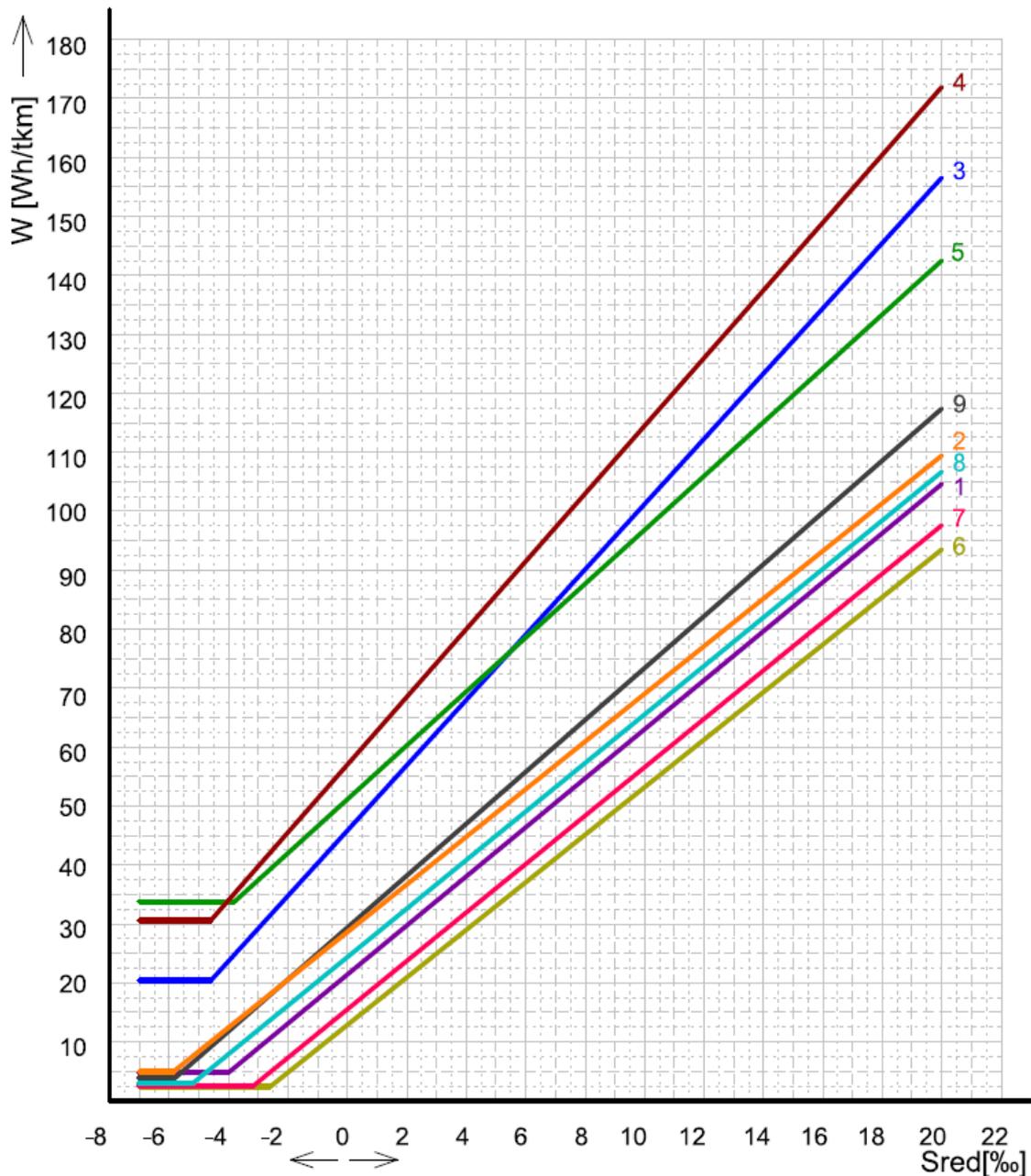
$E_{s_{v\ protisměru}}$ – spotřeba energie v daném úseku s redukovaným sklonem v protisměru [Wh]. [25]

Celkové denní spotřeby energie v daném úseku s redukovaným sklonem byly stanoveny dle vzorce:

$$E_{cDEN} = \sum E_c \cdot C_{úsek} [kWh/den] \quad (5.6)$$

E_c – celková spotřeba elektrické energie za daný úsek s redukovaným sklonem [Wh],

$C_{úsek}$ – četnost vlaků v daném úseku [vlak/den]. [25]



Legenda:

1	R vlaky (rychlíky)	v = 90 km/hod	(nb = 1/20 km)
2	R vlaky (rychlíky)	v = 120 km/hod	(nb = 1/50 km)
3	Os vlaky (el. jednotky)	v = 120 km/hod	(nb = 1/5,5 km)
4	Os vlaky (el. jednotky)	v = 120 km/hod	(nb = 1/3,5 km)
5	Sp vlaky (el. jednotky)	v = 120 km/hod	(nb = 1/4 km)
6	Pn vlaky	v = 80 km/hod (zátěž T)	
7	Pn vlaky	v = 80 km/hod (zátěž S)	
8	Pn vlaky	v = 80 km/hod (zátěž U)	
9	NEx (Rn) vlaky	v = 100 km/hod (zátěž U)	

Obrázek 27 Měrná spotřeba elektrické energie na pantografu lokomotivy pro dané druhy vlaků (převzato a upraveno z [25])

5.6.1 Spotřeba elektrické energie v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Vzorové výpočty spotřeb elektrické energie v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí jsou v tabulce 13. Veškeré výpočty spotřeb v tomto úseku jsou obsahem Přílohy 1 této práce.

$$E_s = W \cdot m_o \cdot l_{sred} = 34 \cdot 160,480 \cdot 1,850 = 10090 \text{ Wh} = 10,090 \text{ kWh}$$

$$E_c = E_{s_{ve\ směru}} + E_{s_{v\ protisměru}} = 10,090 + 19,300 = 29,390 \text{ kWh}$$

$$E_{cDEN} = \sum E_c \cdot C_{úsek} = 29,390 \cdot 12 = 352,700 \text{ kWh/den}$$

Tabulka 13 Vzorové výpočty spotřeby elektrické energie v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Choceň – Týniště nad Orlicí									
Sp vlak (délka soupravy 79,4 m)									
směr	č. ú.	Sred [%o]	lsred [km]	m [t]	Oc [t/t]	mo [t]	W [Wh/tkm]	Es [kWh]	Ec [kWh]
ve směru	1	-3,79	1,850	160	0,0030	160,48	34	10,09	29,39
v protisměru		3,79	1,850	160	0,0030	160,48	65	19,30	

Poznámka: četnost vlaků je 12 vlak/den

5.6.2 Spotřeba elektrické energie v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

Vzorové výpočty spotřeb elektrické energie v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí jsou v tabulce 14. Veškeré výpočty spotřeb v tomto úseku jsou obsahem Přílohy 2 této práce.

$$E_s = W \cdot m_o \cdot l_{sred} = 47 \cdot 160,120 \cdot 2,469 = 18580 \text{ Wh} = 18,580 \text{ kWh}$$

$$E_c = E_{s_{ve\ směru}} + E_{s_{v\ protisměru}} = 18,500 + 22,140 = 40,720 \text{ kWh}$$

$$E_{cDEN} = E_{cDEN} = \sum E_c \cdot C_{úsek} = 40,720 \cdot 12 = 488,640 \text{ kWh/den}$$

Tabulka 14 Vzorové výpočty spotřeby elektrické energie v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

Týniště nad Orlicí – Hradec Králové									
Sp vlak (délka soupravy 79,4 m)									
směr	č. ú.	Sred [%o]	lsred [km]	m [t]	Oc [t/t]	mo [t]	W [Wh/tkm]	Es [kWh]	Ec [kWh]
ve směru	9	-1,00	2,469	160	0,0008	160,12	47	18,58	40,72
v protisměru		1,00	2,469	160	0,0008	160,12	56	22,14	

Poznámka: četnost vlaků je 12 vlak/den

5.7 Stanovení podílů na spotřebě elektrické energie

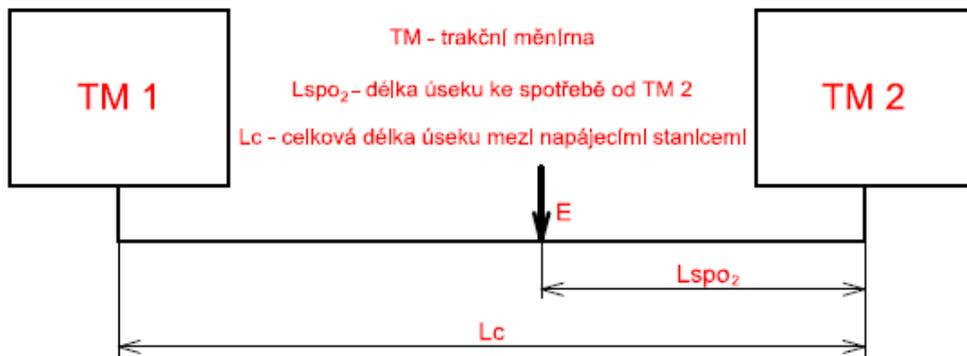
V oboustranně napájených traťových úsecích se dané spotřeby dělí dle podmínky momentové rovnováhy v závislosti na vzdálenosti mezi danými napájecími stanicemi. Podíl trakční měřírny TM 1 na spotřebě z obrázku 28 se stanoví dle vzorce:

$$E_{s1} = \frac{E_{cDEN} \cdot L_{spo2}}{L_c} [kWh/den]$$

(5.7)

L_{spo2} – vzdálenost spotřeby od TM 2 [km],

E_c – celková spotřeba energie [kWh]. [25]



Obrázek 28 Obecné schéma pro stanovení podílů na spotřebě elektrické energie trakční měřírny č. 1

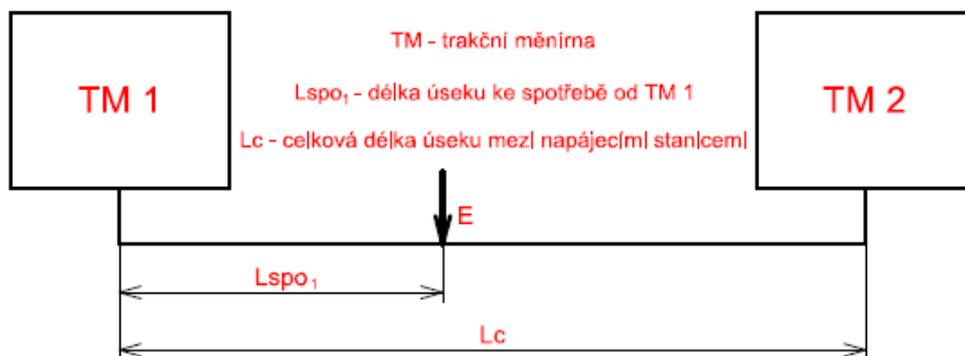
Stanovení podílu trakční měřírny TM 2 na spotřebě z obrázku 29 se stanoví dle vzorce:

$$E_{s2} = \frac{E_{cDEN} \cdot L_{spo1}}{L_c} [kWh/den]$$

(5.8)

L_{spo1} – vzdálenost spotřeby od TM 1 [km],

E_c – celková spotřeba energie [kWh]. [25]



Obrázek 29 Obecné schéma pro stanovení podílů na spotřebě elektrické energie trakční měniřnou č. 2

Vzdálenost spotřeby od dané trakční napájecí stanice (např. ve funkci trakční měniřny – TM) je dána vzorcem:

$$L_{spo} = \left(\sum_{i=1}^{n-1} L_i \right) + \frac{L_n}{2} \text{ [km]} \quad (5.9)$$

L_i – vzdálenost i -té spotřeby od trakční napájecí stanice (trakční měniřny) [km]. [25]

5.7.1 Podíl na spotřebě elektrické energie v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Celková denní spotřeba energie E_{cDEN} v daných úsecích s redukovanými sklony byla stanovena vždy sumou všech denních spotřeb jednotlivých druhů vlaků v tomto úseku projíždějících. Celková vzdálenost mezi napájecími stanicemi L_c byla stanovena sumou délek jednotlivých úseků s redukovanými sklony mezi těmito napájecími stanicemi. Do vzorového výpočtu byla vybrána spotřeba v úseku s redukovaným sklonem číslo 4 z tabulky 15, kde bylo předpokládáno, že tato spotřeba je přesně vprostřed úseku. Celková denní spotřeba byla vypočítána pro trakční napájecí stanici Týniště nad Orlicí.

$$L_{spo4} = \left(\sum_{i=1}^{4-1} L_i \right) + \frac{L_4}{2} = 1,850 + 3,812 + 1,075 + \frac{3,806}{2} = 8,640 \text{ km}$$

$$E_{s2} = \frac{E_{cDEN4} \cdot L_{spo4}}{L_c} = \frac{20840,528 \cdot 8,64}{22,570} = 7977,943 \text{ kWh/den}$$

Tabulka 15 Podíl spotřeb elektrické energie v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Choceň – Týniště nad Orlicí				
číslo úseku s redukovaným sklonem	L [km]	E_{cDEN} [kWh/ den]	E_{s1} (TNS Choceň) [kWh/ den]	E_{s2} (TNS Týniště nad Orlicí) [kWh/ den]
1	1,850	10030,584	9619,494	411,089
2	3,812	20385,653	16993,163	3392,491
3	1,075	5778,327	4191,144	1587,184
4	3,806	20840,528	12862,586	7977,943
5	5,006	26655,412	11247,946	15407,466
6	2,336	12801,511	3319,771	9481,739
7	2,854	15553,856	2245,213	13308,643
8	1,831	9905,923	401,811	9504,112

5.7.2 Podíl na spotřebě elektrické energie v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

Celková denní spotřeba energie E_{cDEN} v daném úseku s redukovaným sklonem byla stanovena sumou všech denních spotřeb jednotlivých druhů vlaků v tomto úseku projíždějících. Celková vzdálenost mezi napájecími stanicemi L_c byla stanovena sumou délek jednotlivých úseků s redukovanými sklony mezi těmito napájecími stanicemi.

Do vzorového výpočtu byla vybrána spotřeba v úseku s redukovaným sklonem číslo 12 z tabulky 16, kde bylo předpokládáno, že tato spotřeba je přesně vprostřed úseku.

Vzdálenost k místu spotřeby L_{spo12} byla vypočítána dle vzorce:

$$L_{spo12} = \left(\sum_{i=12}^{16-1} L_i \right) + \frac{L_{16}}{2} = 3,129 + 1,142 + 2,399 + 1,883 + \frac{1,724}{2} = 9,410 \text{ km}$$

$$E_{s1} = \frac{E_{cDEN12} \cdot L_{spo12}}{L_c} = \frac{11869,465 \cdot 9,41}{21,557} = 5183,978 \text{ kWh/den}$$

Tabulka 16 Podíl spotřeb elektrické energie v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Týniště nad Orlicí – Hradec Králové				
číslo úseku s redukovaným sklonem	L [km]	E_{cDEN} [kWh/ den]	E_{s1} (TNS Týniště nad Orlicí) [kWh/ den]	E_{s2} (TNS Hradec Králové) [kWh/ den]
9	2,469	16483,151	15539,214	943,937
10	5,811	38638,749	29005,499	9633,249
11	3,000	20073,373	10966,466	9106,907
12	1,724	11869,465	5183,978	6685,487
13	1,883	12952,249	4573,273	8378,976
14	2,399	16264,260	4127,366	12136,894
15	1,142	7538,570	1293,905	6244,665
16	3,129	20723,132	1503,982	19219,150

5.8 Celková denní spotřeba elektrické energie TNS Týniště nad Orlicí

Celková denní spotřeba elektrické energie trakční napájecí stanice (TNS) Týniště nad Orlicí byla vypočtena sumou všech podílů na celkové spotřebě této trakční napájecí stanice v úsecích s redukovanými sklony na tratích Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí – Hradec Králové. Podíly na celkové spotřebě elektrické energie jsou z kapitoly 5.7 přepsány do tabulky 17, ve které je uvedena i celková denní spotřeba elektrické energie.

Tabulka 17 Celková denní spotřeba elektrické energie TNS Týniště nad Orlicí

TNS Týniště nad Orlicí			
číslo úseku s redukovaným sklonem	délka úseku s redukovaným sklonem [km]	podíly na celkové denní spotřebě elektrické energie TNS Týniště nad Orlicí z obou traťových úseků [kWh/ den]	traťový úsek
1	1,850	411,089	Choceň – Týniště nad Orlicí
2	3,812	3392,491	
3	1,075	1587,184	
4	3,806	7977,943	
5	5,006	15407,466	
6	2,336	9481,739	
7	2,854	13308,643	
8	1,831	9504,112	
9	2,469	15539,214	Týniště nad Orlicí – Hradec Králové
10	5,811	29005,499	
11	3,000	10966,466	
12	1,724	5183,978	
13	1,883	4573,273	
14	2,399	4127,366	
15	1,142	1293,905	
16	3,129	1503,982	
Celková denní spotřeba energie TNS Týniště nad Orlicí [MWh/den]		133,264	
Celková délka traťového úseku [km]		44,127	

5.9 Střední, efektivní a maximální výkon TNS Týniště nad Orlicí

Střední výkon trakční napájecí stanice (TNS) Týniště nad Orlicí byl vypočten z její celkové denní spotřeby elektrické energie z tabulky 17 dle vzorce:

$$P_a = \frac{E_{C\ TNS}}{t_{DEN}} \ [MW] \quad (5.10)$$

$E_{C\ TNS}$ – celková denní spotřeba elektrické energie trakční napájecí stanice [MWh/den],

t_{DEN} – čas [h]. [25]

Ve výpočtu bylo předpokládáno, že vlaky jezdí v úsecích po dobu třidvaceti hodin, pouze jednu hodinu zde neprojíždí žádný vlak (vypočtená hodnota je v tabulce 18):

$$P_a = \frac{E_{C\ TNS}}{t_{DEN}} = \frac{133,264}{23} = 5,794 \ MW$$

Tabulka 18 Střední výkon TNS Týniště nad Orlicí

TNS Týniště nad Orlicí
P_a [MW]
5,794

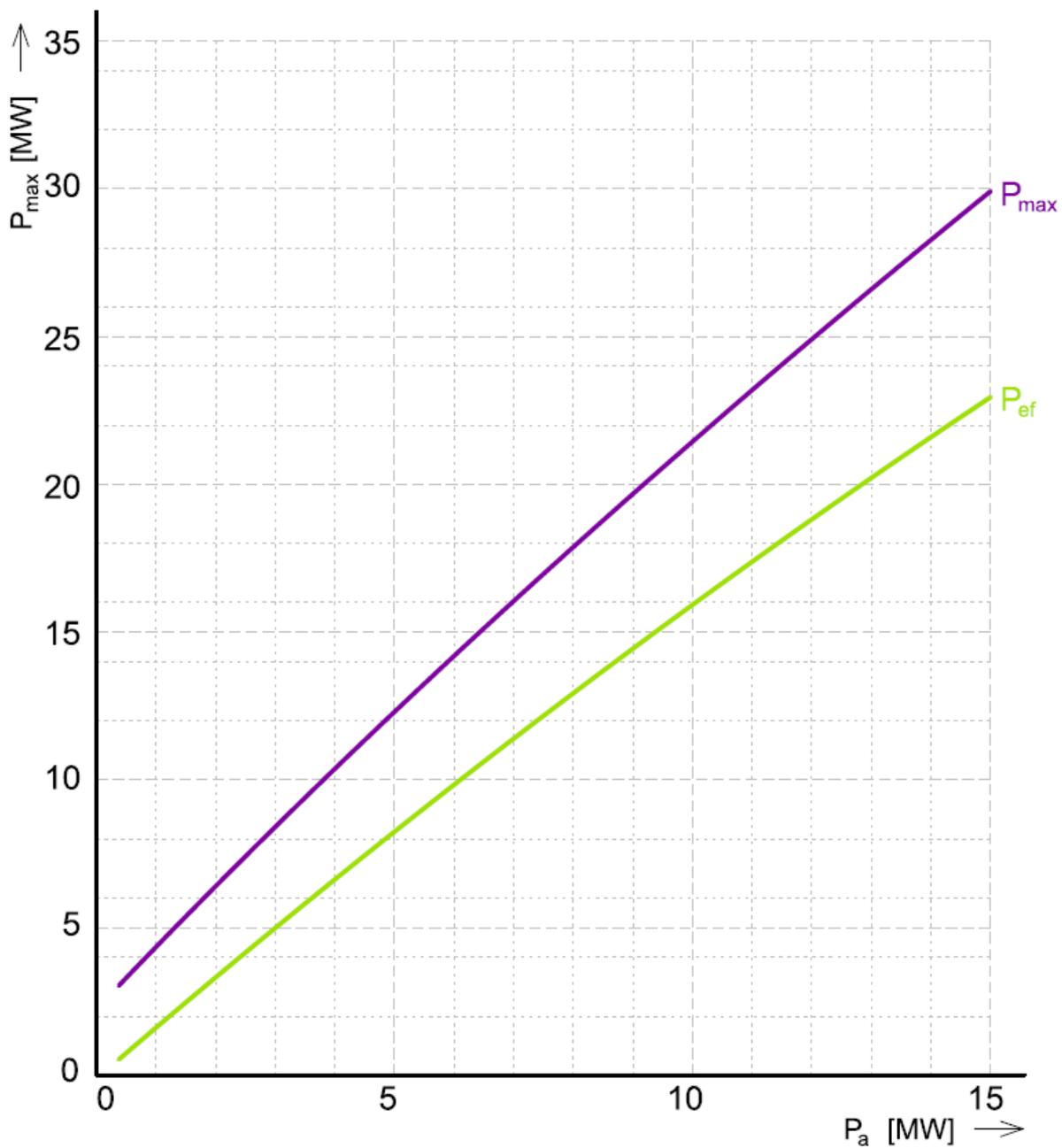
Na základě stanoveného středního výkonu trakční napájecí stanice (TNS) Týniště nad Orlicí byl z grafu na obrázku 30 odečten výkon efektivní a výkon maximální. Efektivní výkon je uveden v tabulce 19 a výkon maximální v tabulce 20. Efektivní výkon zde představuje výkon trvalý pro dimenzování trakční napájecí stanice [26]. Maximální výkon udává nejvyšší možné dočasné přetížení trakční napájecí stanice, zpravidla po dobu stanovenou normou [26].

Tabulka 19 Efektivní výkon TNS Týniště nad Orlicí

TNS Týniště nad Orlicí
P_{ef} [MW]
9,5

Tabulka 20 Maximální výkon TNS Týniště nad Orlicí

TNS Týniště nad Orlicí
P_{max} [MW]
13,8



Legenda:

- P_a - střední výkon
- P_{ef} - efektivní výkon
- P_{max} - maximální výkon

Obrázek 30 Trvalý efektivní a maximální výkon napájecích stanic (převzato a upraveno z [25])

5.10 Tažná síla, výkon a odebíraný proud danými druhy vlaků

Tažná síla hnacího vozidla je dána vztahem:

$$F_{th} = G_V \cdot (p_{ov} + s_{red}) = (m \cdot g + o_v) \cdot (p_{ov} + s_{red}) [N] \quad (5.11)$$

G_V – adhezní tíha vlakové soupravy se započítanými odpory (vozidlovými či traťovými) [kN],

p_{ov} – měrný jízdní odpor vlakové soupravy [N/kN],

s_{red} – redukovaný profil trati [‰],

m – hmotnost vlakové soupravy [t],

g – tíhové zrychlení [-],

o_v – přídatný odpor [kg/t]. [6, 7]

Výkon hnacího vozidla je dán vztahem:

$$P_h = \frac{F_{th} \cdot v_h}{3600} [kW] \quad (5.12)$$

F_{th} – tažná síla hnacího vozidla [N],

v_h – rychlost vlakové soupravy [km/h]. [6, 7]

Proud, který je odebírána hnacím vozidlem při daném výkonu, je dán vztahem:

$$I = \frac{P_h \cdot 1000}{\eta_L \cdot \eta_{TV} \cdot U} [A] \quad (5.13)$$

P_h – výkon hnacího vozidla [kW],

η_L – účinnost lokomotivy ($\eta_L = 0,88$) [-],

η_{TV} – účinnost trakčního vedení ($\eta_{TV} = 0,9$) [-],

U – jmenovité napětí [V]. [6, 7]

Měrné jízdní odpory jednotlivých druhů vlaků v závislosti na jejich rychlosti jsou v tabulce 21.

Tabulka 21 Měrné jízdní odpory jednotlivých druhů vlaků [25]

typ vlaku	v_h [km/h]	p_{ov} [N/kN]
Sp	120	6,0
Os	120	6,0
Nex	100	5,5
Pn	80	4,5

Účinnost trakčního vedení stejnosměrné trakční napájecí soustavy a účinnost lokomotivy ve stejnosměrné trakci je uvedena v tabulce 22.

Tabulka 22 Účinnosti [25]

účinnost [-]	
lokomotivy	0,88
trolejového vedení	0,9

Jmenovité napětí trakčního vedení stejnosměrné trakční napájecí soustavy je uvedeno v tabulce 23.

Tabulka 23 Jmenovité napětí trakčního vedení [27]

jmenovité napětí [V]
3000

5.10.1 Vzorové výpočty v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Z tabulky 21 byly pro výpočet tažné síly hnacího vozidla odečteny měrné jízdní odpory pro jednotlivé druhy vlaků. Dále byl stanoven výkon hnacího vozidla a odebíraný proud, pro jehož výpočet byly odečteny účinnosti lokomotivy a trolejového vedení z tabulky 22 a jmenovité napětí trakčního vedení z tabulky 23. V příloze 3 této diplomové práce jsou sepsány do tabulek veškeré výsledky výpočtů pro jednotlivé druhy vlaků v tomto traťovém úseku.

Vzorový výpočet byl stanoven pro úsek s redukováným sklonem číslo 1 pro jízdu vlaku ve směru (tj. směr Choceň – Hradec Králové). Výsledky vzorového výpočtu jsou v tabulce 24.

$$F_{th} = G_V \cdot (p_{ov} + s_{red}) = 160,48 \cdot 9,81 \cdot (6 - 3,79) = 3544 \text{ N} = 3,54 \text{ kN}$$

$$P_h = \frac{F_{th} \cdot v_h}{3600} = \frac{3544 \cdot 120}{3600} = 117,990 \text{ kW}$$

$$I = \frac{P_h \cdot 1000}{\eta_L \cdot \eta_{TV} \cdot U} = \frac{117,99 \cdot 1000}{0,88 \cdot 0,9 \cdot 3000} = 49,66 \text{ A}$$

Tabulka 24 Tažná síla, výkon a odebíraný proud hnacím vozidlem v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Choceň - Týniště nad Orlicí									
Sp vlak (délka soupravy 79,4 m)									
směr	č. ú. s reduk. sklonem	S _{red} [%]	v _h [km/h]	m [t]	o _v [t/t]	m _o [t]	F _t [kN]	P _h [kW]	I [A]
ve směru	1	-3,79	120	160	0,0030	160,48	3,54	117,99	49,66
v protisměru		3,79	120	160	0,0030	160,48	15,72	523,93	220,51

5.10.2 Vzorové výpočty v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

Měrné jízdní odpory pro jednotlivé druhy vlaků, účinnost lokomotivy, účinnost trolejového vedení a jmenovité napětí byly stanoveny z daných tabulek stejným způsobem jako v kapitole 5.10.1. V příloze 4 této diplomové práce jsou sepsány veškeré výsledky výpočtů pro jednotlivé druhy vlaků v tomto traťovém úseku.

Vzorový výpočet byl stanoven pro úsek s redukováným sklonem číslo 1 pro jízdu vlaku v protisměru (tj. směr Hradec Králové – Choceň). Výsledky vzorového výpočtu jsou v tabulce 25.

$$F_{th} = G_V \cdot (p_{ov} + s_{red}) = 160,12 \cdot 9,81 \cdot (6 + 1) = 11208 \text{ N}$$

$$P_h = \frac{F_{th} \cdot v_h}{3600} = \frac{11208 \cdot 120}{3600} = 373,800 \text{ kW}$$

$$I = \frac{P_h \cdot 1000}{\eta_L \cdot \eta_{TV} \cdot U} = \frac{373,8 \cdot 1000}{0,88 \cdot 0,9 \cdot 3000} = 157,330 \text{ A}$$

Tabulka 25 Tažná síla, výkon a odebíraný proud hnacím vozidlem v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové									
Sp vlak (délka soupravy 79,4 m)									
směr	č. ú. s reduk. sklonem	S _{red} [%]	v _h [km/h]	m [t]	o _v [t/t]	m _o [t]	F _t [kN]	P _h [kW]	I [A]
ve směru	9	-1,00	120	160	0,0008	160,12	8,00	266,67	112,24
v protisměru		1,00	120	160	0,0008	160,12	11,21	373,81	157,33

5.11 Maximální úbytek napětí

Maximální úbytek napětí je dán vztahem:

$$\Delta U_{max} = \sum I_i \cdot R_i [V] \quad (5.14)$$

I_i – odebíraný proud i -tým vlakem v daném úseku z dané napájecí stanice [A]

R_i – celkový odpor i -té cesty trakčního proudu do místa odběru proudu daným vlakem [Ω]. [27]

Podíl na odběru proudu hnacím vozidlem z dané napájecí stanice v daném úseku s redukovaným sklonem se stanoví dle podmínky momentové rovnováhy (pro oboustranné napájení traťového úseku):

$$I = \frac{I_o \cdot L_{TNS2}}{L_c} [A] \quad (5.15)$$

I_o – celkový odebíraný proud hnacím vozidlem v daném úseku s redukovaným sklonem [A],

L_{TNS2} – vzdálenost místa odběru proudu od druhé napájecí stanice (stanoví se obdobně jako v kapitole 5.7) [km],

L_c – celková délka traťového úseku mezi napájecími stanicemi [km]. [25]

Celkový odpor cesty trakčního proudu do místa jeho odběru je dán vztahem:

$$R = R_{TNS} + r_l \cdot L_l [\Omega] \quad (5.16)$$

R_{TNS} – vnitřní odpor trakční napájecí stanice [Ω],

r_l – měrný odpor cesty trakčního proudu (trakčního vedení a zpětné cesty) [Ω/km],

L_l – vzdálenost místa odběru proudu od dané napájecí stanice [km]. [25, 27]

Vzdálenost místa odběru od dané napájecí stanice, za předpokladu, že je tento odběr vprostřed daného úseku s redukovaným sklonem, je dán vztahem (obdobně jako v kapitole 5.7):

$$L_l = \left(\sum_{i=1}^{n-1} L_i \right) + \frac{L_n}{2} [km] \quad (5.17)$$

L_i – délka i -tého úseku s redukovaným sklonem (od napájecí stanice k místu odběru) [km]. [25]

Při maximálním úbytku napětí vznikne v napájecí stanici pokles napětí na hodnotu minimálního napětí, které je dáno vzorcem:

$$U_U = U_{TNS} - \Delta U_{max} [V] \quad (5.18)$$

U_{TNS} – jmenovité napětí trakční napájecí stanice [V],

ΔU_{max} – maximální úbytek napětí [V]. [27]

Odpory a měrné odpory jednotlivých částí cesty trakčního proudu jsou uvedeny v tabulce 26. Jmenovité napětí trakčních napájecích stanic ve funkci trakčních měníren je 3300 V (viz tabulka 27). [26, 27]

Tabulka 26 Odpory jednotlivých částí cesty trakčního proudu (převzato a upraveno z [28])

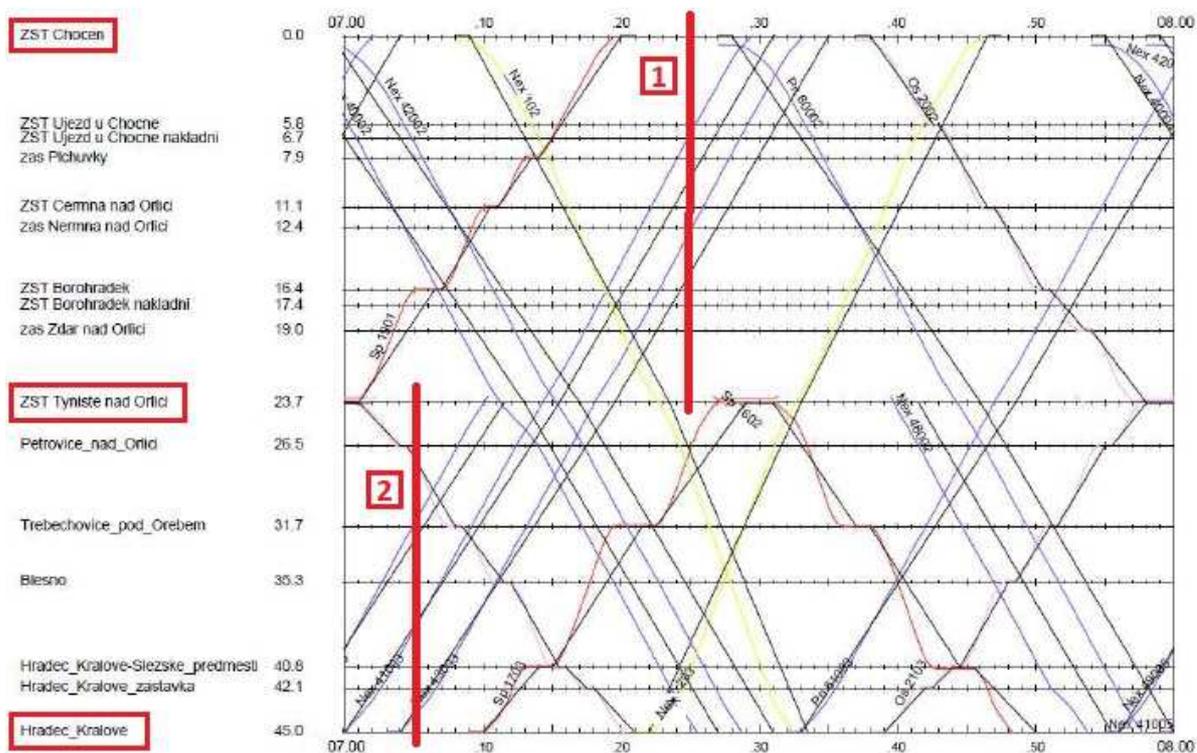
Cesta odběrového proudu a její odpory			
část cesty	odpor [Ω]	měrný odpor [Ω/km]	celkový (náhradní) měrný odpor [Ω/km]
napájecí stanice (R_{TNS})	0,0040	–	–
nosné lano (r_{NL})	–	0,1500	
trolej (r_{TR})	–	0,1220	
zesilovací vedení (r_{ZV})	–	0,1500	0,0568
levá kolejnice (r_{LK})	–	0,0416	
pravá kolejnice (r_{PK})	–	0,0416	

Tabulka 27 Jmenovité napětí trakční napájecí stanice Týniště nad Orlicí [26]

U_{TNS} [V]
3300

5.11.1 Maximální úbytek napětí v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Nejprve byl určen předpokládaný maximální odběr proudu hnacími vozidly v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí na základě odečtu nejhorší možné varianty společné jízdy různých druhů vlaků z grafikonu vlakové dopravy. Nejhorší varianta byla v grafikonu vyznačena červenou čarou číslo 1 (viz obrázek 31).



Obrázek 31 Výřez z grafikonu Choceň – Týniště nad Orlicí – Hradec Králové (převzato a upraveno z [24])

Z obrázku 31 je zřejmé, že nejhorší variantou proudového odběru v traťovém úseku Choceň – Týniště nad Orlicí je společná jízda dvou těžkých nákladních expresů (NEx) ve směru z Týniště nad Orlicí do Choceň, tedy směrem do stoupání. První NEX se v danou chvíli nachází v úseku s redukovaným sklonem číslo 4 a NEX druhý v úseku s redukovaným sklonem číslo 5 (viz tabulka 28).

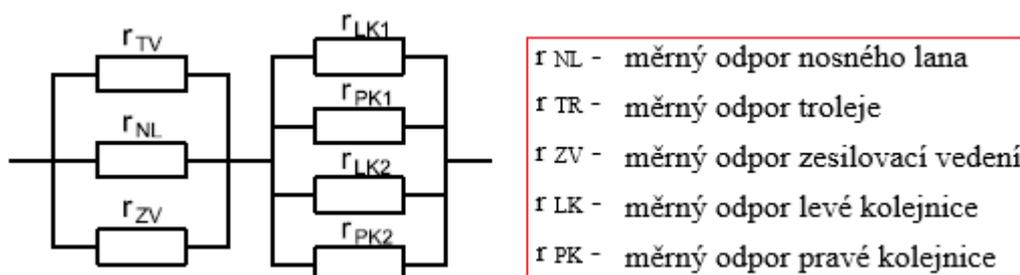
Tabulka 28 Proudové odběry pro nejhorší variantu v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Proudové odběry z TNS Týniště nad Orlicí (traťový úsek Choceň – Týniště nad Orlicí)						
směr	číslo úseku s redukovaný m sklonem	typ vlaku	LTNS 2 (od TNS Choceň) [km]	L1 (od TNS Týniště nad Orlicí) [km]	I _o [A]	I (TNS Týniště nad Orlicí) [A]
v protisměru	4	Nex (1950t)	8,640	13,930	1975,943	756,409
v protisměru	5	Nex (1950t)	13,046	9,524	1406,048	812,729
Celková délka úseku [km]			22,570			

Vzorový výpočet podílu TNS Týniště nad Orlicí na celkovém odebraném proudu hnacím vozidlem NEx vlaku při nejhorší variantě proudového odběru v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí za pomoci podmínky momentové rovnováhy byl vypočítán (viz tabulka 28):

$$I = \frac{I_o \cdot L_{TNS2}}{L_c} = \frac{1975,943 \cdot 8,640}{22,570} = 756,409[A]$$

Dále byl stanoven odpor cesty trakčního proudu pro dvoukolejnou trať. Pro jeho určení byly měrné odpory z tabulky 26 nahrazeny náhradním schématem s jedním měrným odporem. Sérioparalelní řazení měrných odporů cesty trakčního proudu na dvoukolejně trati je na obrázku 32. Náhradní měrný odpor byl stanoven sérioparalelním řešením odporů (viz příložené CD) a je uveden v tabulce 26. Ve výpočtu bylo uvažováno jedno měděné lano zesilovacího vedení.



Obrázek 32 Sérioparalelní řazení měrných odporů cesty trakčního proudu

Hodnota náhradního měrného odpor cesty trakčního proudu je:

$$r_l = 0,0568$$

Vzdálenost místa odběru od dané napájecí stanice L_I byla stanovena dle vzorce 5.17 obdobným způsobem jako v kapitole 5.7. Takto vypočítaná hodnota je uvedena v tabulce 28

Maximální úbytek napětí v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí byl stanoven dle vzorce 5.14, do kterého byl za celkový odpor dosazen vzorec 5.16. Maximální úbytek napětí je uveden v tabulce 29.

$$\begin{aligned} \Delta U_{max} &= I_4 \cdot R_4 + I_5 \cdot R_5 = I_4 \cdot (R_{TNS} + r_l \cdot L_{I4}) + I_5 \cdot (R_{TNS} + r_l \cdot L_{I5}) = \\ &= 756,409 \cdot (0,004 + 0,0568 \cdot 13,93) + 812,729 \cdot (0,004 + 0,0568 \cdot 9,524) = 1045,28 V \end{aligned}$$

Tabulka 29 Maximální úbytek napětí v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Maximální úbytek napětí [V]
1045,28

Minimální napětí bylo vypočítáno dle vzorce (vypočtená hodnota je v tabulce 30):

$$U_U = U_{TNS} - \Delta U_{max} = 3300 - 1045,28 = 2254,720 \text{ V}$$

Tabulka 30 Minimální napětí v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Minimální napětí [V]
2254,72

5.11.2 Maximální úbytek napětí v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

Předpokládaný maximální odběr proudu hnacími vozidly v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové, tedy nejhorší možná varianta společné jízdy různých druhů vlaků, je pro tento úsek vyznačena v grafikonu vlakové dopravy červenou čarou číslo 2 (viz obrázek 31).

Z obrázku 31 je zřejmé, že nejhorší variantou v traťovém úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové je společná jízda tří těžkých nákladních expresů (NEx) ve směru z Hradce Králové do Týniště nad Orlicí, tedy opět směrem do stoupání. První NEx se nachází v úseku s redukovaným sklonem číslo 11, druhý NEx v úseku s redukovaným sklonem číslo 13 a NEx třetí v úseku s redukovaným sklonem číslo 16 (viz tabulka 31).

Tabulka 31 Proudové odběry pro nejhorší variantu v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

Proudové odběry z TNS Týniště nad Orlicí (traťový úsek Týniště nad Orlicí - Hradec)						
Směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	typ vlaku	L _I (od TNS Týniště nad Orlicí) [km]	L _{TNS 2} (od TNS Hradec Králové) [km]	I _o [A]	I [A]
v protisměru	11	Nex (1950t)	9,780	11,777	1336,736	730,284
v protisměru	13	Nex (1950t)	13,946	7,612	2372,439	837,678
v protisměru	16	Nex (1950t)	19,993	1,565	1303,692	94,615
Celková délka úseku [km]			21,557			

Hodnota náhradního měrného odporu cesty trakčního proudu je stejná jako v kapitole 5.11.1:

$$r_l = 0,0568$$

Maximální úbytek napětí v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové byl stanoven (stanovená hodnota je v tabulce 32):

$$\begin{aligned} \Delta U_{max} &= I_{11} \cdot R_{11} + I_{13} \cdot R_{13} + I_{16} \cdot R_{16} = \\ &= I_{11} \cdot (R_{TNS} + r_l \cdot L_{I11}) + I_{13} \cdot (R_{TNS} + r_l \cdot L_{I13}) + I_{16} \cdot (R_{TNS} + r_l \cdot L_{I16}) = \\ &= 730,284 \cdot (0,004 + 0,0568 \cdot 9,78) + 837,678 \cdot (0,004 + 0,0568 \cdot 13,946) + \\ &+ 94,615 \cdot (0,004 + 0,0568 \cdot 19,993) = 1184,260 \text{ V} \end{aligned}$$

Tabulka 32 Maximální úbytek napětí v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Maximální úbytek napětí [V]
1184,26

Minimální napětí bylo vypočítáno dle vzorce (vypočtená hodnota je v tabulce 33):

$$U_U = U_{TNS} - \Delta U_{max} = 3300 - 1184,26 = 2115,740 \text{ V}$$

Tabulka 33 Minimální napětí v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Minimální napětí [V]
2115,74

5.12 Minimální zkratový proud a meze pro nastavení proudových ochran

Minimální zkratový proud se vypočítá dle vzorce:

$$I_{Kmin} = \frac{0,8 \cdot U_{max}}{R_l \cdot L_l} [A] \quad (5.19)$$

U_{max} – nejvyšší trvalé napětí trakční napájecí stanice [V],

R_l – celkový odpor cesty trakčního proudu [Ω],

L_l – vzdálenost zkratu od trakční napájecí stanice (u oboustranného napájení trati se vždy minimální zkratový proud předpokládá přesně v polovině napájeného úseku) [km]. [25]

Celkový odpor cesty trakčního proudu je dán vzorcem 5.16 z kapitoly 5.11.

Minimální zkratový proud musí být vždy vyšší než maximálním provozní proud v daném traťovém úseku nejméně o 500 A:

$$I_{Kmin} > I_{Pmax} ; \quad I_{Kmin} - I_{Pmax} \geq 500 A \quad (5.20)$$

I_{Kmin} – minimální zkratový proud [A],

I_{Pmax} – maximální provozní proud [A]. [25]

Nastavení proudových ochran trakční napájecí stanice musí být realizováno v mezích daných vzorcem:

$$I_{Kmin} - 300 A \geq I_X \geq I_{Pmax} + 200 A \quad (5.21)$$

I_X – hodnota nastavení proudové ochrany [A]. [25]

5.12.1 Minimální zkratový proud v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

V úseku Choceň – Týniště nad Orlicí byl minimální zkratový proud stanoven následujícím výpočtem, jehož vstupní hodnoty jsou v tabulce 34.

$$I_{Kmin} = \frac{0,8 \cdot U_{max}}{R_I \cdot L_I} = \frac{0,8 \cdot U_{max}}{(R_{TNS} + r_I \cdot L_I)} = \frac{0,8 \cdot 3600}{(0,004 + 0,0568 \cdot 11,28)} = 4461,550 \text{ A}$$

Tabulka 34 Vstupní hodnoty pro výpočet minimálního zkratového proudu v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

U_{max} [V]	L_I [km]	R_{TNS} [Ω]	r_I [Ω/km]
3600	11,285	0,0040	0,0568

Maximální provozní proud v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí byl určen součtem proudových odběrů z TNS Týniště nad Orlicí při nejhorší variantě společné jízdy dvou těžkých nákladních expresů (NEx) ve směru z Týniště nad Orlicí do Chocně, tedy do stoupání. Odebírané proudy jsou v kapitole 5.11.1 uvedeny v tabulce 28.

$$I_{Pmax} = 756,409 + 812,729 = 1569,140 \text{ A}$$

Meze pro nastavení ochran byly stanoveny vzorcem (meze jsou uvedeny v tabulce 35):

$$I_{Kmin} - 300 \text{ A} \geq I_X \geq I_{Pmax} + 200 \text{ A}$$

$$4461,550 - 300 \geq I_X \geq 1569,140 + 200$$

$$4161,550 \geq I_X \geq 1769,140$$

Tabulka 35 Rozmezí pro nastavení proudových ochran v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

nastavení proudových ochran musí být provedeno v rozmezí
1769,14 A – 4161,55 A

5.12.2 Minimální zkratový proud v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

V úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové byl minimální zkratový proud stanoven následujícím výpočtem, jehož vstupní hodnoty jsou v tabulce 36.

$$I_{Kmin} = \frac{0,8 \cdot U_{max}}{R_l \cdot L_l} = \frac{0,8 \cdot U_{max}}{(R_{TNS} + r_l \cdot L_l)} = \frac{0,8 \cdot 3600}{(0,004 + 0,0568 \cdot 10,7785)} = 4669,850 \text{ A}$$

Tabulka 36 Vstupní hodnoty pro výpočet minimálního zkratového proudu v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

U_{max} [V]	L_l [km]	R_{TNS} [Ω]	r_l [Ω /km]
3600	10,7785	0,0040	0,0568

Maximální provozní proud v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové byl určen součtem proudových odběrů z TNS Týniště nad Orlicí při nejhůrší variantě společné jízdy tří těžkých nákladních expresů (NEx) ve směru z Hradce Králové do Týniště nad Orlicí, tedy do stoupání. Odebírané proudy jsou v podkapitole 5.11.2 uvedeny v tabulce 31.

$$I_{Pmax} = 730,284 + 837,678 + 94,615 = 1662,580 \text{ A}$$

Meze pro nastavení ochran byly stanoveny vzorcem (meze jsou uvedeny v tabulce 35):

$$I_{Kmin} - 300 \text{ A} \geq I_x \geq I_{Pmax} + 200 \text{ A}$$

$$4669,850 - 300 \geq I_x \geq 1662,580 + 200$$

$$4369,850 \geq I_x \geq 1862,580$$

Tabulka 37 Rozmezí pro nastavení proudových ochran v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

nastavení proudových ochran musí být provedeno v rozmezí
1862,58 A – 4369,85 A

6 Shrnutí výsledků

6.1.1 TNS Týniště nad Orlicí

Energetickými výpočty byly stanoveny podklady pro výkonové dimenzování trakční napájecí stanice Týniště nad Orlicí, která je vždy jednou z napájecích stanic pro oboustranné napájení traťových úseků Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí – Hradec Králové (viz tabulka 38).

Tabulka 38 Podklady pro výkonové dimenzování TNS Týniště nad Orlicí

TNS Týniště nad Orlicí		
střední výkon	efektivní výkon	maximální výkon
P_a [MW]	P_{ef} [MW]	P_{max} [MW]
5,794	9,500	13,800

6.1.2 Úsek Choceň – Týniště nad Orlicí

Při ověřování dimenzí trakčního vedení v traťovém úseku Choceň – Týniště nad Orlicí byl stanoven maximální úbytek napětí a z něho vycházející minimální napětí (viz tabulka 39). Normou ČSN EN 50163, ed 2, je u stejnosměrné trakční napájecí soustavy předepsána nejnižší přípustná trvalá hodnota napětí 2000 V [27]. Tuto podmínku minimální napětí uvedené v tabulce 39 splnilo. Dále byl výpočty stanoven maximální provozní proud, minimální zkratový proud a rozmezí proudů pro nastavení proudových ochran (viz tabulka 40). Při ověřování dimenzí trakčního vedení bylo v tomto úseku uvažováno s jedním lanem zesilovacího vedení 120 mm² Cu, jehož úkolem bylo zvětšení vodivého průřezu trolejového vodiče, a tím snížení jeho proudového zatížení. Norma ČSN 34 1530, ed. 2, udává trvalé dovolené proudové zatížení 2048 A pro teplotu vodiče 80 °C u stejnosměrné sestavy trolejového vedení 150 mm Cu + 120 mm² Cu s jedním lanem zesilovacího vedení 120 mm² Cu [28]. Maximální provozní proud tuto podmínku splnil, tedy nebylo nutné kontrolovat trakční vedení z hlediska oteplení vodičů.

Tabulka 39 Maximální úbytek napětí a minimální napětí v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Traťový úsek Choceň – Týniště nad Orlicí	
maximální úbytek napětí	minimální napětí
ΔU_{max} [V]	U_U [V]
1045,280	2254,720

Tabulka 40 Maximální provozní proud, minimální zkratový proud a rozmezí pro nastavení proudových ochran v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Traťový úsek Choceň – Týniště nad Orlicí		
maximální provozní proud	minimální zkratový proud	rozmezí pro nastavení proudových ochran
I_{pmax} [A]	I_{kmin} [A]	[A]
1569,140	4461,550	1769,140 – 4161,550

6.1.3 Úsek Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

V traťovém úseku Týniště nad Orlicí– Hradec Králové byl při ověřování dimenzí trakčního vedení stanoven maximální úbytek napětí a z něho vycházející minimální napětí (viz tabulka 41). Minimální napětí uvedené v tabulce 41 zde také splňuje podmínku nejnižšího přípustného trvalého napětí předepsanou normou ČSN EN 50163, ed. 2 [27]. Dále byl výpočty stanoven maximální provozní proud, minimální zkratový proud a rozmezí proudů pro nastavení proudových ochran (viz tabulka 42). Při ověřování dimenzí trakčního vedení bylo v tomto úseku také uvažováno s jedním lanem zesilovacího vedení 120 mm² Cu, jehož úkolem bylo zvětšení vodivého průřezu trolejového vodiče, a tím snížení jeho proudového zatížení. Zde byla také maximálním provozním proudem splněna podmínka trvalého dovoleného proudového zatížení 2048 A pro teplotu vodiče 80 °C u stejnosměrné sestavy trolejového vedení 150 mm Cu + 120 mm² Cu s jedním lanem zesilovacího vedení 120 mm² Cu předepsaná normou ČSN 34 1530, ed. 2 [28].

Tabulka 41 Maximální úbytek napětí a minimální napětí v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

Traťový úsek Týniště nad Orlicí – Hradec Králové	
maximální úbytek napětí	minimální napětí
ΔU_{max} [V]	U_U [V]
1184,260	2115,740

Tabulka 42 Maximální provozní proud, minimální zkratový proud a rozmezí pro nastavení proudových ochran v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Traťový úsek Týniště nad Orlicí – Hradec Králové		
maximální provozní proud	minimální zkratový proud	rozmezí pro nastavení proudových ochran
I_{pmax} [A]	I_{kmin} [A]	[A]
1662,580	4669,850	1862,580 – 4369,850

6.1.4 Výsledky stanovené simulační metodou energetických výpočtů

Energetické výpočty byly provedeny současně i simulační metodou v simulačním softwaru OpenTrack s výpočetní nadstavbou OpenPowerNet. Výsledky simulační metody energetických výpočtů pro stanovení podkladů pro výkonové dimenzování trakční napájecí stanice Týniště nad Orlicí a pro ověření dimenzí trakčního vedení v traťových úsecích Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí – Hradec Králové jsou uvedeny v tabulkách 43, 44 a 45. [29]

Tabulka 43 Podklady pro výkonové dimenzování TNS Týniště nad Orlicí stanovené simulační metodou (převzato a upraveno z [29])

TNS Týniště nad Orlicí		
střední výkon	efektivní výkon	maximální výkon
P_a [MW]	P_{ef} [MW]	P_{max} [MW]
5,100	7,900	12,800

Tabulka 44 Maximální úbytek napětí a minimální napětí stanovené simulační metodou (převzato a upraveno z [29])

minimální napětí
U_U [V]
Traťový úsek Choceň – Týniště nad Orlicí
2811,000
Traťový úsek Týniště nad Orlicí – Hradec Králové
2763,000

Tabulka 45 Maximální provozní proud, minimální zkratový proud a maximální možné nastavení proudových ochran stanovené simulační metodou (převzato a upraveno z [29])

minimální zkratový proud	maximální možné nastavení proudových ochran
I_{kmin} [A]	[A]
Traťový úsek Choceň – Týniště nad Orlicí	
3600,000	3300,000
Traťový úsek Týniště nad Orlicí – Hradec Králové	
3750,000	3450,000

Z výsledků je zřejmé, že v porovnání s početní metodou energetických výpočtů jsou zde určité rozdíly. Procentuálně jsou tyto rozdíly u stanovených výkonů pro dimenzování TNS Týniště nad Orlicí v průměru 12 %, u minimálních napětí U_U v traťových úsecích v průměru 21,6 % a u minimálních zkratových proudů v průměru 22,85 %.

7 Závěr

V teoretické části práce byly popsány metody stanovení energetických výpočtů pro kontrolu a posuzování napájení železničních tratí, pro stanovení náročnosti a spotřeby elektrické energie železniční dopravou a pro ověření a případné navržení dimenzí trakčního vedení, napájecího vedení a zpětného vedení trakčního proudu. Byly zde uvedeny druhy hnacích vozidel se závislou elektrickou trakcí, představena elektrická trakční zařízení a uvedeny možné způsoby napájení elektrizovaných drah. Dále pak byly popsány části trakčního vedení a zpětné vodivé cesty trakčního proudu.

V rámci praktické části byly představeny energetické výpočty, prováděné početní metodou, jejichž výchozími podklady byly veškeré údaje o traťových úsecích Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí – Hradec Králové, výhledový rozsah osobní a nákladní dopravy v závislé elektrické trakci, průměrné výhledové hmotnosti jednotlivých druhů vlaků, křivky měrných spotřeb jednotlivých druhů vlaků, křivky trvalého efektivního a maximálního výkonu trakčních napájecích stanic a odpory v cestě trakčního proudu.

Energetické výpočty byly prováděny z důvodu stanovení podkladů pro výkonové dimenzování trakční napájecí stanice (TNS) Týniště nad Orlicí při její modernizaci, v případě varianty úplného zdvoukolejnění traťových úseků Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí – Hradec Králové. Dalším řešením bylo ověření a návrh dimenzí trakčního vedení v traťových úsecích Choceň – Týniště nad Orlicí a Týniště nad Orlicí – Hradec Králové. Výpočty byly v těchto traťových úsecích stanoveny maximální úbytky napětí, minimální napětí, maximální provozní proudy, minimální zkratové proudy a meze pro nastavení proudových ochran. Vzhledem k nutnosti dodržení hodnoty minimálního napětí 2000 V, stanoveného normou, musely být sníženy maximální úbytky napětí v obou traťových úsecích. Snížení bylo zabezpečeno přidáním jednoho lana zesilovacího vedení 120 mm² Cu ke stejnosměrné sestavě trolejového vedení u každé z traťových kolejí

Početní metodou stanovené výsledky byly porovnány s výstupem ze simulační metody čímž bylo zjištěno, že se tyto od sebe liší. Rozdíly byly procentuálně stanoveny u výkonů pro dimenzování TNS Týniště nad Orlicí v průměru 12%, u minimálních napětí v traťových úsecích v průměru 21,6% a u minimálních zkratových proudů v průměru 22,85%.

Rozdíly mezi početní a simulační metodou energetických výpočtů jsou dány především přesnějším řešením celé problematiky simulačním a výpočetním softwarem. Tyto softwary

vycházejí přímo z geodetických podkladů a přesných údajů o daných tratích získaných od provozovatelů a řeší výpočty v každé sekundě jízdy daných vlaků dle grafikonu. Přestože početní metodou energetických výpočtů dochází k určitému předimenzování vypočtených parametrů, je vhodné tuto metodu použít v některých stupních projektové dokumentace, vzhledem k její nižší časové náročnosti. Těmito stupni jsou studie stavby a dokumentace pro územní rozhodnutí (DUR).

Diplomová práce může být rozšířena v oblasti konkrétního dimenzování trakčních napájecích stanic a v oblasti stanovení křivek měrných spotřeb moderních elektrických hnacích vozidel. Zpřesnění početní metody by mohlo být dosaženo zejména aktualizováním křivek měrných spotřeb a také křivek pro stanovení trvalého efektivního a maximálního výkonu trakčních napájecích stanic.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] Elektrická trakce - Úvod do elektrické trakce. *EDUCON - Multimedia Supported Education* [online]. Plzeň: ZČU FEL KEV, 2005 [cit. 2019-03-12].
Dostupné z: <https://www.educon.zcu.cz/view.php?cislomodulu=2015013101>
- [2] JANSA, František. *Elektrická trakční zařízení*. Bratislava: ALFA, vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava (Vysoká škola dopravy a spojov v Žiline), 1988.
- [3] DAVID, Švestka. Sběrače, odpojovače, uzemňovače. *AtlasLokomotiv.net* [online]. Praha: Spolek ŽelPage, 2004 [cit. 2019-03-17].
Dostupné z: <http://www.atlaslokomotiv.net/page-sberace.html>
- [4] HORÁK, Karel, Jiří DRÁBEK, Josef PALEČEK a Michal POKORNÝ. *Energetika a trakce*. Bratislava: ALFA, vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava (Vysoká škola dopravy a spojov v Žiline), 1983.
- [5] MARSON, Dalva Leonor Servín. *High Speed Rail Electric-Power Supply Network* [online]. Praha, 2016 [cit. 2019-03-13].
Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/65257/F3-DP-2016-Servin%20Marson-Dalva%20Leonor-Dalva%20Leonor%20Servin%20Marson%20-%20Master%20Thesis.pdf>. Diploma Thesis. Czech Technical University In Prague (Faculty of Electrical Engineering, Department of Electrical Power Engineering).
- [6] JANSA, František a Štěpán PELEŇSKÝ. *Napájení elektrických drah III. 2*. Bratislava: ALFA, vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava (Vysoká škola dopravy a spojov v Žiline), 1982.
- [7] LANÁKOVÁ, Gabriela a Dalibor ŠINDLER. *Návody na cvičenia z napájania elektrických dráh*. Bratislava: ALFA, vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava (Vysoká škola dopravy a spojov v Žiline), 1984.
- [8] Převozná měnírna EZB PM I. *Elektrizace železnic Praha a.s.* [online]. Praha: EŽ Praha a.s., 2016 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <http://www.elzel.cz/prevozna-menirna/>
- [9] Elektrifikace českých železnic. *OEnergetice.CZ* [online]. Praha: oEnergetice.cz, 2015, 2015 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/elektrifikace-ceskych-zeleznic/>
- [10] *ŽelPage - elektronický magazín o drahách* [online]. Praha: Spolek ŽelPage, 2001 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.zelpage.cz/>
- [11] *České dráhy – národní dopravce* [online]. Praha: České dráhy, 2008 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <http://www.ceskedrahy.cz/>

- [12] PAVEL, Skála. *Analýza zpětné cesty elektrického napájení železničního trakčního vozidla* [online]. Praha, 2017 [cit. 2019-03-17]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/70088/F3-DP-2017-Skala-Pavel-%5BAnalyza%20zpetne%20cesty%20elektrickeho%20napajeni%20zeleznicniho%20trakcniho%20vozidla%5D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.
- [13] DOLEČEK, Radovan a Ondřej ČERNÝ. *Trakční napájecí soustavy: studijní opora*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2015. ISBN 978-807-3958-794.
- [14] JIŘÍ, Drábek. *Dynamika a energetika elektrické trakce*. Bratislava: ALFA, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava, 1981.
- [15] ČSN EN 50119 ED. 2. *Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení - Trolejová vedení pro elektrickou trakci*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2010.
- [16] ČSN 34 1530 ED. 2. *Elektrická trakční vedení železničních drah celostátních, regionálních a vleček*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2002.
- [17] *Vzorová dokumentace trakčního vedení: Funkční soubor C*. Praha: SUDOP Praha, 2011.
- [18] Elektrická trakce - Úvod do elektrické trakce. *EDUCON - Multimedia Supported Education* [online]. Plzeň: ZČU FEL KEV, 2005 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <https://www.educon.zcu.cz/image/et/images/Trolejovyvodice.png>
- [19] KREJČIŘÍKOVÁ, Hana, Bohumil KUBÁT a Petr TYC. *Železniční stavby 10*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2002.
- [20] PLÁŠEK, Otto, Pavel ZVĚŘINA, Richard SVOBODA a Vojtěch LANGER. *Železniční stavby II: Železniční svršek –kolejnice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006.
- [21] ŠEVČÍK, David. *Grafikon vlakové dopravy*. *Doprava-info* [online]. Praha: Doprava-info, David Ševčík, 2011 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://doprava-info.webnode.cz/vyuka/grafikon-vlakove-dopravy/>
- [22] *RailSystem.net* [online]. Istanbul: RailSystem, 2015 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <http://www.railsystem.net/>
- [23] *Nákresný přehled a technické údaje železniční trati Choceň – Velký Osek*. Hradec Králové: Správa železniční dopravní cesty s.o. (Oblastní ředitelství Hradec Králové), 2012.
- [24] *Provozní a dopravní technologie: Modernizace TNS Týniště nad Orlicí*. Praha: SUDOP PRAHA a.s., 2019.
- [25] PRINC, Jiří. *Trakční a energetické výpočty: Příručka energetických výpočtů*. Praha: SUDOP PRAHA a.s., 1990.

- [26] ČSN 33 3505 ED.2. *Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení: Základní požadavky na elektrické napájecí a spínací stanice*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2010.
- [27] ČSN EN 50163 ED.2. *Drážní zařízení - Napájecí napětí trakčních soustav*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2005.
- [28] ČSN 34 1530 ED. 2. *Elektrická trakční vedení železničních drah celostátních, regionálních a vleček*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2010.
- [29] *Energetické výpočty: Modernizace TNS Týniště nad Orlicí*. Brno: SUDOP BRNO spol. s r. o., 2019.

9 Seznam tabulek

Tabulka 1	Účinnost závislé elektrické vozby (převzato a upraveno z [4]).....	11
Tabulka 2	Průřezy trolejových vodičů (převzato a upraveno z [4])	28
Tabulka 3	Průřezy nosných lan (převzato a upraveno z [4])	28
Tabulka 4	Průřezy zesilovacího vedení (převzato a upraveno z [4]).....	29
Tabulka 5	Používané sestavy trolejového vedení (převzato a upraveno z [17])	29
Tabulka 6	Redukovaný sklon ze sklonů reálných	41
Tabulka 7	Měrné odpory oblouků v závislosti na poloměru (převzato a upraveno z [25])...	42
Tabulka 8	Celkové měrné odpory oblouků	42
Tabulka 9	Rozsah osobní dopravy (převzato a upraveno z [24])	43
Tabulka 10	Rozsah nákladní dopravy (převzato a upraveno z [24])	43
Tabulka 11	Denní dopravní tok osobní dopravy	45
Tabulka 12	Denní dopravní tok nákladní dopravy	45
Tabulka 13	Vzorové výpočty spotřeby elektrické energie v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí	48
Tabulka 14	Vzorové výpočty spotřeby elektrické energie v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové.....	48
Tabulka 15	Podíl spotřeb elektrické energie v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí.....	51
Tabulka 16	Podíl spotřeb elektrické energie v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí.....	52
Tabulka 17	Celková denní spotřeba elektrické energie TNS Týniště nad Orlicí	53
Tabulka 18	Střední výkon TNS Týniště nad Orlicí	54
Tabulka 19	Efektivní výkon TNS Týniště nad Orlicí.....	54
Tabulka 20	Maximální výkon TNS Týniště nad Orlicí	54
Tabulka 21	Měrné jízdní odpory jednotlivých druhů vlaků [25]	57
Tabulka 22	Účinnosti [25]	57
Tabulka 23	Jmenovité napětí trakčního vedení [27].....	57
Tabulka 24	Tažná síla, výkon a odebíraný proud hnacím vozidlem v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí	58
Tabulka 25	Tažná síla, výkon a odebíraný proud hnacím vozidlem v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové	58
Tabulka 26	Odpory jednotlivých částí cesty trakčního proudu (převzato a upraveno z [27])	60

Tabulka 27	Jmenovité napětí trakční napájecí stanice Týniště nad Orlicí [26].....	60
Tabulka 28	Proudové odběry pro nejhorší variantu v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí.....	61
Tabulka 29	Maximální úbytek napětí v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí	62
Tabulka 30	Minimální napětí v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí.....	63
Tabulka 31	Proudové odběry pro nejhorší variantu v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové.....	63
Tabulka 32	Maximální úbytek napětí v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí	64
Tabulka 33	Minimální napětí v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí.....	64
Tabulka 34	Vstupní hodnoty pro výpočet minimálního zkratového proudu v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí.....	66
Tabulka 35	Rozmezí pro nastavení proudových ochran v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí.....	66
Tabulka 36	Vstupní hodnoty pro výpočet minimálního zkratového proudu v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové.....	67
Tabulka 37	Rozmezí pro nastavení proudových ochran v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové.....	67
Tabulka 38	Podklady pro výkonové dimenzování TNS Týniště nad Orlicí.....	68
Tabulka 39	Maximální úbytek napětí a minimální napětí v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí	68
Tabulka 40	Maximální provozní proud, minimální zkratový proud a rozmezí pro nastavení proudových ochran v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí.....	69
Tabulka 41	Maximální úbytek napětí a minimální napětí v úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové.....	69
Tabulka 42	Maximální provozní proud, minimální zkratový proud a rozmezí pro nastavení proudových ochran v úseku Choceň – Týniště nad Orlicí.....	69
Tabulka 43	Podklady pro výkonové dimenzování TNS Týniště nad Orlicí stanovené simulační metodou (převzato a upraveno z [28])	70
Tabulka 44	Maximální úbytek napětí a minimální napětí stanovené simulační metodou (převzato a upraveno z [28]).....	70
Tabulka 45	Maximální provozní proud, minimální zkratový proud a maximální možné nastavení proudových ochran stanovené simulační metodou (převzato a upraveno z [28])....	70

10 Seznam obrázků

Obrázek 1	Pantograf.....	6
Obrázek 2	Polopantograf [3].....	6
Obrázek 3	Blokové schéma hnacího vozidla se závislou elektrickou trakcí (převzato a upraveno z [5]).....	7
Obrázek 4	Blokové schéma hnacího vozidla s nezávislou elektrickou trakcí (převzato a upraveno z [5]).....	8
Obrázek 5	Blokové schéma hnacího vozidla s polozávislou elektrickou trakcí (převzato a upraveno z [5]).....	8
Obrázek 6	Převozná měnírna EZB PM I [8].....	13
Obrázek 7	Elektrizovaná železniční síť Evropy [9].....	14
Obrázek 8	Zjednodušená mapa trakčních napájecích soustav na území ČR (převzato a upraveno z [11]).....	16
Obrázek 9	Schéma napájení stejnosměrné trakční napájecí soustavy (převzato a upraveno z [14]).....	17
Obrázek 10	Schéma napájení střídavé trakční napájecí soustavy (převzato a upraveno z [14]).....	19
Obrázek 11	Napájení jednostranné soustředná (převzato a upraveno z [4]).....	20
Obrázek 12	Napájení dvoustranné rozložené pro dvoukolejnou trať (převzato a upraveno z [4])	21
Obrázek 13	Napájení čtyřstranné pro dvoukolejnou trať se spínací stanicí (převzato a upraveno z [4]).....	21
Obrázek 14	Schéma prostého trolejového vedení [4]	24
Obrázek 15	Realizované prosté trolejové vedení.....	24
Obrázek 16	Schéma řetězovkového trolejového vedení [4]	25
Obrázek 17	Realizované řetězovkové trolejové vedení	25
Obrázek 18	Typy řetězovkových trolejových vedení (převzato a upraveno z [2]).....	26
Obrázek 19	Druhy řetězovkového trolejového vedení dle kompenzace teplotní roztažnosti trolejového vodiče (převzato a upraveno z [4]).....	27
Obrázek 20	Profil trolejového vodiče [18]	28
Obrázek 21	Kolejový svršek (převzato a upraveno z [19]).....	30
Obrázek 22	Tvar kolejnice s popisem hlavních částí [20]	31

Obrázek 23	Obecný grafikon vlakové dopravy [21].....	33
Obrázek 24	Schéma napájení traťového úseku Choceň – Týniště nad Orlicí.....	37
Obrázek 25	Schéma napájení traťového úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové	37
Obrázek 26	Reálné a redukované sklony v trati Choceň–Týniště nad Orlicí– Hradec Králové.....	40
Obrázek 27	Měrná spotřeba elektrické energie na pantografu lokomotivy pro dané druhy vlaků (převzato a upraveno z [25]).....	47
Obrázek 28	Obecné schéma pro stanovení podílů na spotřebě elektrické energie trakční měnírnou č. 1	49
Obrázek 29	Obecné schéma pro stanovení podílů na spotřebě elektrické energie trakční měnírnou č. 2	50
Obrázek 30	Trvalý efektivní a maximální výkon napájecích stanic (převzato a upraveno z [25]).....	55
Obrázek 31	Výřez z grafikonu Choceň – Týniště nad Orlicí – Hradec Králové (převzato a upraveno z [24]).....	61
Obrázek 32	Sérioparalelní řazení měrných odporů cesty trakčního proudu	62

Obsah příloženého CD

xchov001_DP-výpočty.xlsx

xchov001_DP.pdf

Příloha 1

Spotřeby elektrické energie v traťovém úseku Choceň – Týniště nad Orlicí

Choceň - Týniště nad Orlicí

Sp vlak (délka soupravy 79,4 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	délka úseku [km]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	měrná spotřeba energie W [Wh/tkm]	spotřeba energie [kWh]	spotřeba energie za úsek s redukovaným sklonem [kWh]
ve směru	1	-3,79	1,850	160	0,0030	160,48	34	10,09	29,39
v protisměru		3,79	1,850	160	0,0030	160,48	65	19,30	
ve směru	2	-0,51	3,812	160	0,0083	161,32	48	29,52	62,11
v protisměru		0,51	3,812	160	0,0083	161,32	53	32,59	
ve směru	3	-1,46	1,075	160	0,0008	160,12	44	7,57	17,39
v protisměru		1,46	1,075	160	0,0008	160,12	57	9,81	
ve směru	4	-3,16	3,806	160	0,0008	160,12	35	21,33	60,33
v protisměru		3,16	3,806	160	0,0008	160,12	64	39,00	
ve směru	5	-0,64	5,006	160	0,0048	160,76	47	37,82	82,09
v protisměru		0,64	5,006	160	0,0048	160,76	55	44,26	
ve směru	6	-3,11	2,336	160	0,0005	160,08	35	13,09	37,02
v protisměru		3,11	2,336	160	0,0005	160,08	64	23,93	
ve směru	7	-2,67	2,854	160	0,0010	160,16	39	17,83	45,71
v protisměru		2,67	2,854	160	0,0010	160,16	61	27,88	
ve směru	8	1,33	1,831	160	0,0045	160,72	56	16,48	30,02
v protisměru		-1,33	1,831	160	0,0045	160,72	46	13,54	
Celková spotřeba energie v úseku Choceň - Týniště nad Orlicí [kWh]								364,05	četnost [vl/den]
									12

Choceň - Týniště nad Orlicí

Os vlak (délka soupravy 79,4 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	délka úseku [m]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	měrná spotřeba energie W [Wh/tkm]	spotřeba energie [kWh]	spotřeba energie za úsek s redukovaným sklonem [kWh]
ve směru	1	-3,79	1,850	160	0,0030	160,48	36	10,69	33,55
v protisměru		3,79	1,850	160	0,0030	160,48	77	22,86	
ve směru	2	-0,51	3,812	160	0,0083	161,32	56	34,44	71,33
v protisměru		0,51	3,812	160	0,0083	161,32	60	36,90	
ve směru	3	-1,46	1,075	160	0,0008	160,12	48	8,26	19,45
v protisměru		1,46	1,075	160	0,0008	160,12	65	11,19	
ve směru	4	-3,16	3,806	160	0,0008	160,12	39	23,77	69,47
v protisměru		3,16	3,806	160	0,0008	160,12	75	45,71	
ve směru	5	-0,64	5,006	160	0,0048	160,76	55	44,26	93,35
v protisměru		0,64	5,006	160	0,0048	160,76	61	49,09	
ve směru	6	-3,11	2,336	160	0,0005	160,08	41	15,33	43,38
v protisměru		3,11	2,336	160	0,0005	160,08	75	28,05	
ve směru	7	-2,67	2,854	160	0,0010	160,16	43	19,66	52,57
v protisměru		2,67	2,854	160	0,0010	160,16	72	32,91	
ve směru	8	1,33	1,831	160	0,0045	160,72	65	19,13	33,25
v protisměru		-1,33	1,831	160	0,0045	160,72	48	14,13	
Celková spotřeba energie v úseku Choceň - Týniště nad Orlicí [kWh]								416,36	četnost [vl/den]
									18

Choceň - Týniště nad Orlicí

NEx vlak (délka soupravy 740 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	délka úseku [m]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	měrná spotřeba energie W [Wh/tkm]	spotřeba energie [kWh]	spotřeba energie za úsek s redukovaným sklonem [kWh]
ve směru	1	-3,79	1,850	1950	0,0030	1955,85	13	47,04	206,24
v protisměru		3,79	1,850	1950	0,0030	1955,85	44	159,21	
ve směru	2	-0,51	3,812	1950	0,0083	1966,09	26	194,86	419,70
v protisměru		0,51	3,812	1950	0,0083	1966,09	30	224,84	
ve směru	3	-1,46	1,075	1950	0,0008	1951,46	22	46,15	119,58
v protisměru		1,46	1,075	1950	0,0008	1951,46	35	73,42	
ve směru	4	-3,16	3,806	1950	0,0008	1951,46	16	118,84	430,78
v protisměru		3,16	3,806	1950	0,0008	1951,46	42	311,95	
ve směru	5	-0,64	5,006	1950	0,0048	1959,26	25	245,20	549,25
v protisměru		0,64	5,006	1950	0,0048	1959,26	31	304,05	
ve směru	6	-3,11	2,336	1950	0,0005	1950,98	16	72,92	264,33
v protisměru		3,11	2,336	1950	0,0005	1950,98	42	191,41	
ve směru	7	-2,67	2,854	1950	0,0010	1951,95	18	100,28	323,11
v protisměru		2,67	2,854	1950	0,0010	1951,95	40	222,83	
ve směru	8	1,33	1,831	1950	0,0045	1958,78	35	125,53	204,43
v protisměru		-1,33	1,831	1950	0,0045	1958,78	22	78,90	
Celková spotřeba energie v úseku Choceň - Týniště nad Orlicí [kWh]								2517,43	četnost [vl/den]
									24

Choceň - Týniště nad Orlicí									
NEx vlak (délka soupravy 650 m)									
směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	délka úseku [m]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	měrná spotřeba energie W [Wh/tkm]	spotřeba energie [kWh]	spotřeba energie za úsek s redukovaným sklonem [kWh]
ve směru	1	-3,79	1,850	1950	0,0030	1955,85	13	47,04	206,24
v protisměru		3,79	1,850	1950	0,0030	1955,85	44	159,21	
ve směru	2	-0,51	3,812	1950	0,0083	1966,09	26	194,86	419,70
v protisměru		0,51	3,812	1950	0,0083	1966,09	30	224,84	
ve směru	3	-1,46	1,075	1950	0,0008	1951,46	22	46,15	119,58
v protisměru		1,46	1,075	1950	0,0008	1951,46	35	73,42	
ve směru	4	-3,16	3,806	1950	0,0008	1951,46	16	118,84	430,78
v protisměru		3,16	3,806	1950	0,0008	1951,46	42	311,95	
ve směru	5	-0,64	5,006	1950	0,0048	1959,26	25	245,20	549,25
v protisměru		0,64	5,006	1950	0,0048	1959,26	31	304,05	
ve směru	6	-3,11	2,336	1950	0,0005	1950,98	16	72,92	264,33
v protisměru		3,11	2,336	1950	0,0005	1950,98	42	191,41	
ve směru	7	-2,67	2,854	1950	0,0010	1951,95	18	100,28	323,11
v protisměru		2,67	2,854	1950	0,0010	1951,95	40	222,83	
ve směru	8	1,33	1,831	1950	0,0045	1958,78	35	125,53	204,43
v protisměru		-1,33	1,831	1950	0,0045	1958,78	22	78,90	
Celková spotřeba energie v úseku Choceň - Týniště nad Orlicí [kWh]								2517,43	četnost [vl/den]
									12

Chocěň - Týniště nad Orlicí									
NEx vlak (délka soupravy 650 m)									
směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	délka úseku [m]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	měrná spotřeba energie W [Wh/tkm]	spotřeba energie [kWh]	spotřeba energie za úsek s redukovaným sklonem [kWh]
ve směru	1	-3,79	1,850	1000	0,0030	1003,00	13	24,12	105,77
v protisměru		3,79	1,850	1000	0,0030	1003,00	44	81,64	
ve směru	2	-0,51	3,812	1000	0,0083	1008,25	26	99,93	215,23
v protisměru		0,51	3,812	1000	0,0083	1008,25	30	115,30	
ve směru	3	-1,46	1,075	1000	0,0008	1000,75	22	23,67	61,32
v protisměru		1,46	1,075	1000	0,0008	1000,75	35	37,65	
ve směru	4	-3,16	3,806	1000	0,0008	1000,75	16	60,94	220,91
v protisměru		3,16	3,806	1000	0,0008	1000,75	42	159,97	
ve směru	5	-0,64	5,006	1000	0,0048	1004,75	25	125,74	281,67
v protisměru		0,64	5,006	1000	0,0048	1004,75	31	155,92	
ve směru	6	-3,11	2,336	1000	0,0005	1000,50	16	37,39	135,56
v protisměru		3,11	2,336	1000	0,0005	1000,50	42	98,16	
ve směru	7	-2,67	2,854	1000	0,0010	1001,00	18	51,42	165,70
v protisměru		2,67	2,854	1000	0,0010	1001,00	40	114,27	
ve směru	8	1,33	1,831	1000	0,0045	1004,50	35	64,37	104,84
v protisměru		-1,33	1,831	1000	0,0045	1004,50	22	40,46	
Celková spotřeba energie v úseku Choceň - Týniště nad Orlicí [kWh]								1290,99	četnost [vl/den]
									12

Choceň - Týniště nad Orlicí

Pn vlak (délka soupravy 650 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	délka úseku [m]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	měrná spotřeba energie W [Wh/tkm]	spotřeba energie [kWh]	spotřeba energie za úsek s redukovaným sklonem [kWh]
ve směru	1	-3,79	1,850	1600	0,0030	1604,80	4	11,88	95,00
v protisměru		3,79	1,850	1600	0,0030	1604,80	28	83,13	
ve směru	2	-0,51	3,812	1600	0,0083	1613,20	11	67,64	166,04
v protisměru		0,51	3,812	1600	0,0083	1613,20	16	98,39	
ve směru	3	-1,46	1,075	1600	0,0008	1601,20	7	12,05	44,75
v protisměru		1,46	1,075	1600	0,0008	1601,20	19	32,70	
ve směru	4	-3,16	3,806	1600	0,0008	1601,20	4	24,38	176,73
v protisměru		3,16	3,806	1600	0,0008	1601,20	25	152,35	
ve směru	5	-0,64	5,006	1600	0,0048	1607,60	10	80,48	209,24
v protisměru		0,64	5,006	1600	0,0048	1607,60	16	128,76	
ve směru	6	-3,11	2,336	1600	0,0005	1600,80	4	14,96	108,44
v protisměru		3,11	2,336	1600	0,0005	1600,80	25	93,49	
ve směru	7	-2,67	2,854	1600	0,0010	1601,60	4	18,28	109,70
v protisměru		2,67	2,854	1600	0,0010	1601,60	20	91,42	
ve směru	8	1,33	1,831	1600	0,0045	1607,20	19	55,91	82,40
v protisměru		-1,33	1,831	1600	0,0045	1607,20	9	26,49	
Celková spotřeba energie v úseku Choceň - Týniště nad Orlicí [kWh]								992,31	četnost [vl/den]
									4

Příloha 2

Spotřeby elektrické energie v traťovém úseku Týniště nad Orlicí – Hradec Králové

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové

Sp vlak (délka soupravy 79,4 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	délka úseku [km]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	měrná spotřeba energie W [Wh/tkm]	spotřeba energie [kWh]	spotřeba energie za úsek s redukovaným sklonem [kWh]
ve směru	9	-1,00	2,469	160	0,0008	160,12	47	18,58	40,72
v protisměru		1,00	2,469	160	0,0008	160,12	56	22,14	
ve směru	10	-1,92	5,811	160	0,0010	160,16	43	40,02	95,86
v protisměru		1,92	5,811	160	0,0010	160,16	60	55,84	
ve směru	11	-0,36	3,000	160	0,0010	160,16	48	23,06	48,05
v protisměru		0,36	3,000	160	0,0010	160,16	52	24,98	
ve směru	12	4,06	1,724	160	0,0005	160,08	70	19,32	28,98
v protisměru		-4,06	1,724	160	0,0005	160,08	35	9,66	
ve směru	13	-4,90	1,883	160	0,0005	160,08	35	10,55	32,25
v protisměru		4,90	1,883	160	0,0005	160,08	72	21,70	
ve směru	14	-0,71	2,399	160	0,0000	160,00	48	18,42	39,54
v protisměru		0,71	2,399	160	0,0000	160,00	55	21,11	
ve směru	15	0,23	1,142	160	0,0000	160,00	52	9,50	18,64
v protisměru		-0,23	1,142	160	0,0000	160,00	50	9,14	
ve směru	16	-0,18	3,129	160	0,0068	161,08	50	25,20	51,41
v protisměru		0,18	3,129	160	0,0068	161,08	52	26,21	
Celková spotřeba energie v úseku Týniště nad Orlicí - Hradec Králové [kWh]								355,44	četnost [vl/den]
									12

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové

Os vlak (délka soupravy 79,4 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	délka úseku [m]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	měrná spotřeba energie W [Wh/tkm]	spotřeba energie [kWh]	spotřeba energie za úsek s redukovaným sklonem [kWh]
ve směru	9	-1,00	2,469	160	0,0008	160,12	51	20,16	45,07
v protisměru		1,00	2,469	160	0,0008	160,12	63	24,91	
ve směru	10	-1,92	5,811	160	0,0010	160,16	46	42,81	104,24
v protisměru		1,92	5,811	160	0,0010	160,16	66	61,43	
ve směru	11	-0,36	3,000	160	0,0010	160,16	55	26,43	55,26
v protisměru		0,36	3,000	160	0,0010	160,16	60	28,83	
ve směru	12	4,06	1,724	160	0,0005	160,08	80	22,08	30,91
v protisměru		-4,06	1,724	160	0,0005	160,08	32	8,83	
ve směru	13	-4,90	1,883	160	0,0005	160,08	48	14,47	39,19
v protisměru		4,90	1,883	160	0,0005	160,08	82	24,72	
ve směru	14	-0,71	2,399	160	0,0000	160,00	53	20,34	43,76
v protisměru		0,71	2,399	160	0,0000	160,00	61	23,41	
ve směru	15	0,23	1,142	160	0,0000	160,00	60	10,96	21,20
v protisměru		-0,23	1,142	160	0,0000	160,00	56	10,23	
ve směru	16	-0,18	3,129	160	0,0068	161,08	56	28,23	58,47
v protisměru		0,18	3,129	160	0,0068	161,08	60	30,24	
Celková spotřeba energie v úseku Týniště nad Orlicí - Hradec Králové [kWh]								398,08	četnost [vl/den]
									18

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové

NEx vlak (délka soupravy 740 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	délka úseku [m]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	měrná spotřeba energie W [Wh/tkm]	spotřeba energie [kWh]	spotřeba energie za úsek s redukovaným sklonem [kWh]
ve směru	9	-1,00	2,469	1950	0,0008	1951,46	24	115,64	279,45
v protisměru		1,00	2,469	1950	0,0008	1951,46	34	163,82	
ve směru	10	-1,92	5,811	1950	0,0010	1951,95	21	238,20	657,88
v protisměru		1,92	5,811	1950	0,0010	1951,95	37	419,68	
ve směru	11	-0,36	3,000	1950	0,0010	1951,95	27	158,11	339,64
v protisměru		0,36	3,000	1950	0,0010	1951,95	31	181,53	
ve směru	12	4,06	1,724	1950	0,0005	1950,98	47	158,08	195,08
v protisměru		-4,06	1,724	1950	0,0005	1950,98	11	37,00	
ve směru	13	-4,90	1,883	1950	0,0005	1950,98	9	33,06	220,42
v protisměru		4,90	1,883	1950	0,0005	1950,98	51	187,36	
ve směru	14	-0,71	2,399	1950	0,0000	1950,00	26	121,63	276,00
v protisměru		0,71	2,399	1950	0,0000	1950,00	33	154,38	
ve směru	15	0,23	1,142	1950	0,0000	1950,00	30	66,81	126,93
v protisměru		-0,23	1,142	1950	0,0000	1950,00	27	60,13	
ve směru	16	-0,18	3,129	1950	0,0068	1963,16	27	165,85	350,14
v protisměru		0,18	3,129	1950	0,0068	1963,16	30	184,28	
Celková spotřeba energie v úseku Týniště nad Orlicí - Hradec Králové [kWh]								2445,55	četnost [vl/den]
									24

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové

NEx vlak (délka soupravy 650 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	délka úseku [m]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	měrná spotřeba energie W [Wh/tkm]	spotřeba energie [kWh]	spotřeba energie za úsek s redukovaným sklonem [kWh]
ve směru	9	-1,00	2,469	1950	0,0008	1951,46	24	115,64	279,45
v protisměru		1,00	2,469	1950	0,0008	1951,46	34	163,82	
ve směru	10	-1,92	5,811	1950	0,0010	1951,95	21	238,20	657,88
v protisměru		1,92	5,811	1950	0,0010	1951,95	37	419,68	
ve směru	11	-0,36	3,000	1950	0,0010	1951,95	27	158,11	339,64
v protisměru		0,36	3,000	1950	0,0010	1951,95	31	181,53	
ve směru	12	4,06	1,724	1950	0,0005	1950,98	47	158,08	195,08
v protisměru		-4,06	1,724	1950	0,0005	1950,98	11	37,00	
ve směru	13	-4,90	1,883	1950	0,0005	1950,98	9	33,06	220,42
v protisměru		4,90	1,883	1950	0,0005	1950,98	51	187,36	
ve směru	14	-0,71	2,399	1950	0,0000	1950,00	26	121,63	276,00
v protisměru		0,71	2,399	1950	0,0000	1950,00	33	154,38	
ve směru	15	0,23	1,142	1950	0,0000	1950,00	30	66,81	126,93
v protisměru		-0,23	1,142	1950	0,0000	1950,00	27	60,13	
ve směru	16	-0,18	3,129	1950	0,0068	1963,16	27	165,85	350,14
v protisměru		0,18	3,129	1950	0,0068	1963,16	30	184,28	
Celková spotřeba energie v úseku Týniště nad Orlicí - Hradec Králové [kWh]								2445,55	četnost [vl/den]
									12

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové

NEx vlak (délka soupravy 650 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	délka úseku [m]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	měrná spotřeba energie W [Wh/tkm]	spotřeba energie [kWh]	spotřeba energie za úsek s redukovaným sklonem [kWh]
ve směru	9	-1,00	2,469	1000	0,0008	1000,75	24	59,30	143,31
v protisměru		1,00	2,469	1000	0,0008	1000,75	34	84,01	
ve směru	10	-1,92	5,811	1000	0,0010	1001,00	21	122,15	337,38
v protisměru		1,92	5,811	1000	0,0010	1001,00	37	215,22	
ve směru	11	-0,36	3,000	1000	0,0010	1001,00	27	81,08	174,17
v protisměru		0,36	3,000	1000	0,0010	1001,00	31	93,09	
ve směru	12	4,06	1,724	1000	0,0005	1000,50	47	81,07	100,04
v protisměru		-4,06	1,724	1000	0,0005	1000,50	11	18,97	
ve směru	13	-4,90	1,883	1000	0,0005	1000,50	9	16,96	113,04
v protisměru		4,90	1,883	1000	0,0005	1000,50	51	96,08	
ve směru	14	-0,71	2,399	1000	0,0000	1000,00	26	62,37	141,54
v protisměru		0,71	2,399	1000	0,0000	1000,00	33	79,17	
ve směru	15	0,23	1,142	1000	0,0000	1000,00	30	34,26	65,09
v protisměru		-0,23	1,142	1000	0,0000	1000,00	27	30,83	
ve směru	16	-0,18	3,129	1000	0,0068	1006,75	27	85,05	179,56
v protisměru		0,18	3,129	1000	0,0068	1006,75	30	94,50	
Celková spotřeba energie v úseku Týniště nad Orlicí - Hradec Králové [kWh]								1254,13	četnost [vl/den]
									12

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové

NEx vlak (délka soupravy 740 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	délka úseku [m]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	měrná spotřeba energie W [Wh/tkm]	spotřeba energie [kWh]	spotřeba energie za úsek s redukovaným sklonem [kWh]
ve směru	9	-1,00	2,469	1400	0,0008	1401,05	24	83,02	165,35
v protisměru		1,00	2,469	980	0,0008	980,74	34	82,33	
ve směru	10	-1,92	5,811	1400	0,0010	1401,40	21	171,01	381,93
v protisměru		1,92	5,811	980	0,0010	980,98	37	210,92	
ve směru	11	-0,36	3,000	1400	0,0010	1401,40	27	113,51	204,74
v protisměru		0,36	3,000	980	0,0010	980,98	31	91,23	
ve směru	12	4,06	1,724	1400	0,0005	1400,70	47	113,50	132,09
v protisměru		-4,06	1,724	980	0,0005	980,49	11	18,59	
ve směru	13	-4,90	1,883	1400	0,0005	1400,70	9	23,74	117,90
v protisměru		4,90	1,883	980	0,0005	980,49	51	94,16	
ve směru	14	-0,71	2,399	1400	0,0000	1400,00	26	87,32	164,91
v protisměru		0,71	2,399	980	0,0000	980,00	33	77,58	
ve směru	15	0,23	1,142	1400	0,0000	1400,00	30	47,96	78,18
v protisměru		-0,23	1,142	980	0,0000	980,00	27	30,22	
ve směru	16	-0,18	3,129	1400	0,0068	1409,45	27	119,07	211,69
v protisměru		0,18	3,129	980	0,0068	986,62	30	92,61	
Celková spotřeba energie v úseku Týniště nad Orlicí - Hradec Králové [kWh]								1456,79	četnost [vl/den]
									18

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové

Pn vlak (délka soupravy 650 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	délka úseku [m]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	měrná spotřeba energie W [Wh/tkm]	spotřeba energie [kWh]	spotřeba energie za úsek s redukovaným sklonem [kWh]
ve směru	9	-1,00	2,469	1600	0,0008	1601,20	10	39,53	106,74
v protisměru		1,00	2,469	1600	0,0008	1601,20	17	67,21	
ve směru	10	-1,92	5,811	1600	0,0010	1601,60	6	55,84	251,29
v protisměru		1,92	5,811	1600	0,0010	1601,60	21	195,44	
ve směru	11	-0,36	3,000	1600	0,0010	1601,60	11	52,85	124,92
v protisměru		0,36	3,000	1600	0,0010	1601,60	15	72,07	
ve směru	12	4,06	1,724	1600	0,0005	1600,80	29	80,03	91,07
v protisměru		-4,06	1,724	1600	0,0005	1600,80	4	11,04	
ve směru	13	-4,90	1,883	1600	0,0005	1600,80	4	12,06	111,53
v protisměru		4,90	1,883	1600	0,0005	1600,80	33	99,47	
ve směru	14	-0,71	2,399	1600	0,0000	1600,00	10	38,38	99,80
v protisměru		0,71	2,399	1600	0,0000	1600,00	16	61,41	
ve směru	15	0,23	1,142	1600	0,0000	1600,00	13	23,75	43,85
v protisměru		-0,23	1,142	1600	0,0000	1600,00	11	20,10	
ve směru	16	-0,18	3,129	1600	0,0068	1610,80	11	55,44	120,96
v protisměru		0,18	3,129	1600	0,0068	1610,80	13	65,52	
Celková spotřeba energie v úseku Týniště nad Orlicí - Hradec Králové [kWh]								950,17	četnost [vl/den]
									4

Příloha 3

Tažná síla, výkon a odebíraný proud hnacích vozidel v traťovém úseku Choceň – Týniště nad
Orlicí

Choceň - Týniště nad Orlicí

Sp vlak (délka soupravy 79,4 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	rychlost vlaku [km/h]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	tažná síla [kN]	výkon [kW]	proud [A]
ve směru	1	-3,79	120	160	0,0030	160,48	3,54	117,99	49,66
v protisměru		3,79	120	160	0,0030	160,48	15,72	523,93	220,51
ve směru	2	-0,51	120	160	0,0083	161,32	8,86	295,32	124,29
v protisměru		0,51	120	160	0,0083	161,32	10,50	349,96	147,29
ve směru	3	-1,46	120	160	0,0008	160,12	7,27	242,19	101,93
v protisměru		1,46	120	160	0,0008	160,12	11,95	398,29	167,63
ve směru	4	-3,16	120	160	0,0008	160,12	4,55	151,53	63,78
v protisměru		3,16	120	160	0,0008	160,12	14,67	488,95	205,79
ve směru	5	-0,64	120	160	0,0048	160,76	8,62	287,31	120,92
v protisměru		0,64	120	160	0,0048	160,76	10,67	355,73	149,72
ve směru	6	-3,11	120	160	0,0005	160,08	4,62	153,97	64,80
v protisměru		3,11	120	160	0,0005	160,08	14,59	486,35	204,69
ve směru	7	-2,67	120	160	0,0010	160,16	5,34	178,04	74,93
v protisměru		2,67	120	160	0,0010	160,16	13,88	462,60	194,70
ve směru	8	1,33	120	160	0,0045	160,72	11,78	392,56	165,22
v protisměru		-1,33	120	160	0,0045	160,72	7,51	250,32	105,35

Choceň - Týniště nad Orlicí

Os vlak (délka soupravy 79,4 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	rychlost vlaku [km/h]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	tažná síla [kN]	výkon [kW]	proud [A]
ve směru	1	-3,79	120	160	0,0030	160,48	3,54	117,99	49,66
v protisměru		3,79	120	160	0,0030	160,48	15,72	523,93	220,51
ve směru	2	-0,51	120	160	0,0083	161,32	8,86	295,32	124,29
v protisměru		0,51	120	160	0,0083	161,32	10,50	349,96	147,29
ve směru	3	-1,46	120	160	0,0008	160,12	7,27	242,19	101,93
v protisměru		1,46	120	160	0,0008	160,12	11,95	398,29	167,63
ve směru	4	-3,16	120	160	0,0008	160,12	4,55	151,53	63,78
v protisměru		3,16	120	160	0,0008	160,12	14,67	488,95	205,79
ve směru	5	-0,64	120	160	0,0048	160,76	8,62	287,31	120,92
v protisměru		0,64	120	160	0,0048	160,76	10,67	355,73	149,72
ve směru	6	-3,11	120	160	0,0005	160,08	4,62	153,97	64,80
v protisměru		3,11	120	160	0,0005	160,08	14,59	486,35	204,69
ve směru	7	-2,67	120	160	0,0010	160,16	5,34	178,04	74,93
v protisměru		2,67	120	160	0,0010	160,16	13,88	462,60	194,70
ve směru	8	1,33	120	160	0,0045	160,72	11,78	392,56	165,22
v protisměru		-1,33	120	160	0,0045	160,72	7,51	250,32	105,35

Choceň - Týniště nad Orlicí

NEx vlak (délka soupravy 740 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	rychlost vlaku [km/h]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	tažná síla [kN]	výkon [kW]	proud [A]
ve směru	1	-3,79	100	1950	0,0030	1955,85	33,36	926,71	390,03
v protisměru		3,79	100	1950	0,0030	1955,85	181,78	5049,50	2125,21
ve směru	2	-0,51	100	1950	0,0083	1966,09	98,15	2726,29	1147,43
v protisměru		0,51	100	1950	0,0083	1966,09	118,12	3281,20	1380,98
ve směru	3	-1,46	100	1950	0,0008	1951,46	78,79	2188,71	921,18
v protisměru		1,46	100	1950	0,0008	1951,46	135,87	3774,09	1588,42
ve směru	4	-3,16	100	1950	0,0008	1951,46	45,65	1267,96	533,65
v protisměru		3,16	100	1950	0,0008	1951,46	169,01	4694,84	1975,94
ve směru	5	-0,64	100	1950	0,0048	1959,26	95,25	2645,87	1113,58
v protisměru		0,64	100	1950	0,0048	1959,26	120,27	3340,77	1406,05
ve směru	6	-3,11	100	1950	0,0005	1950,98	46,54	1292,79	544,10
v protisměru		3,11	100	1950	0,0005	1950,98	168,07	4668,53	1964,87
ve směru	7	-2,67	100	1950	0,0010	1951,95	55,34	1537,11	646,93
v protisměru		2,67	100	1950	0,0010	1951,95	159,38	4427,19	1863,29
ve směru	8	1,33	100	1950	0,0045	1958,78	133,74	3714,93	1563,52
v protisměru		-1,33	100	1950	0,0045	1958,78	81,73	2270,22	955,48

Choceň - Týniště nad Orlicí

NEx vlak (délka soupravy 650 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	rychlost vlaku [km/h]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	tažná síla [kN]	výkon [kW]	proud [A]
ve směru	1	-3,79	100	1950	0,0030	1955,85	33,36	926,71	390,03
v protisměru		3,79	100	1950	0,0030	1955,85	181,78	5049,50	2125,21
ve směru	2	-0,51	100	1950	0,0083	1966,09	98,15	2726,29	1147,43
v protisměru		0,51	100	1950	0,0083	1966,09	118,12	3281,20	1380,98
ve směru	3	-1,46	100	1950	0,0008	1951,46	78,79	2188,71	921,18
v protisměru		1,46	100	1950	0,0008	1951,46	135,87	3774,09	1588,42
ve směru	4	-3,16	100	1950	0,0008	1951,46	45,65	1267,96	533,65
v protisměru		3,16	100	1950	0,0008	1951,46	169,01	4694,84	1975,94
ve směru	5	-0,64	100	1950	0,0048	1959,26	95,25	2645,87	1113,58
v protisměru		0,64	100	1950	0,0048	1959,26	120,27	3340,77	1406,05
ve směru	6	-3,11	100	1950	0,0005	1950,98	46,54	1292,79	544,10
v protisměru		3,11	100	1950	0,0005	1950,98	168,07	4668,53	1964,87
ve směru	7	-2,67	100	1950	0,0010	1951,95	55,34	1537,11	646,93
v protisměru		2,67	100	1950	0,0010	1951,95	159,38	4427,19	1863,29
ve směru	8	1,33	100	1950	0,0045	1958,78	133,74	3714,93	1563,52
v protisměru		-1,33	100	1950	0,0045	1958,78	81,73	2270,22	955,48

Choceň - Týniště nad Orlicí

NEx vlak (délka soupravy 650 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	rychlost vlaku [km/h]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	tažná síla [kN]	výkon [kW]	proud [A]
ve směru	1	-3,79	100	1000	0,0030	1003,00	17,11	475,24	200,01
v protisměru		3,79	100	1000	0,0030	1003,00	93,22	2589,49	1089,85
ve směru	2	-0,51	100	1000	0,0083	1008,25	50,33	1398,10	588,42
v protisměru		0,51	100	1000	0,0083	1008,25	60,58	1682,67	708,19
ve směru	3	-1,46	100	1000	0,0008	1000,75	40,41	1122,42	472,40
v protisměru		1,46	100	1000	0,0008	1000,75	69,68	1935,43	814,57
ve směru	4	-3,16	100	1000	0,0008	1000,75	23,41	650,24	273,67
v protisměru		3,16	100	1000	0,0008	1000,75	86,67	2407,61	1013,30
ve směru	5	-0,64	100	1000	0,0048	1004,75	48,85	1356,85	571,07
v protisměru		0,64	100	1000	0,0048	1004,75	61,68	1713,22	721,05
ve směru	6	-3,11	100	1000	0,0005	1000,50	23,87	662,97	279,03
v protisměru		3,11	100	1000	0,0005	1000,50	86,19	2394,12	1007,62
ve směru	7	-2,67	100	1000	0,0010	1001,00	28,38	788,26	331,76
v protisměru		2,67	100	1000	0,0010	1001,00	81,73	2270,35	955,54
ve směru	8	1,33	100	1000	0,0045	1004,50	68,58	1905,09	801,81
v protisměru		-1,33	100	1000	0,0045	1004,50	41,91	1164,21	489,99

Choceň - Týniště nad Orlicí

Pn vlak (délka soupravy 650 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	rychlost vlaku [km/h]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	tažná síla [kN]	výkon [kW]	proud [A]
ve směru	1	-3,79	80	1600	0,0030	1604,80	11,33	251,68	105,93
v protisměru		3,79	80	1600	0,0030	1604,80	133,11	2957,92	1244,92
ve směru	2	-0,51	80	1600	0,0083	1613,20	64,40	1431,07	602,30
v protisměru		0,51	80	1600	0,0083	1613,20	80,79	1795,33	755,61
ve směru	3	-1,46	80	1600	0,0008	1601,20	48,64	1080,87	454,91
v protisměru		1,46	80	1600	0,0008	1601,20	95,47	2121,53	892,90
ve směru	4	-3,16	80	1600	0,0008	1601,20	21,44	476,48	200,54
v protisměru		3,16	80	1600	0,0008	1601,20	122,67	2725,92	1147,27
ve směru	5	-0,64	80	1600	0,0048	1607,60	62,08	1379,53	580,61
v protisměru		0,64	80	1600	0,0048	1607,60	82,61	1835,67	772,59
ve směru	6	-3,11	80	1600	0,0005	1600,80	22,18	492,86	207,43
v protisměru		3,11	80	1600	0,0005	1600,80	121,89	2708,74	1140,04
ve směru	7	-2,67	80	1600	0,0010	1601,60	29,39	653,06	274,86
v protisměru		2,67	80	1600	0,0010	1601,60	114,76	2550,14	1073,29
ve směru	8	1,33	80	1600	0,0045	1607,20	93,66	2081,36	875,99
v protisměru		-1,33	80	1600	0,0045	1607,20	50,99	1133,04	476,87

Příloha 4

Tažná síla, výkon a odebíraný proud hnacích vozidel v traťovém úseku Týniště nad Orlicí –
Hradec Králové

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové

Sp vlak (délka soupravy 79,4 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	rychlost vlaku [km/h]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	tažná síla [kN]	výkon [kW]	proud [A]
ve směru	9	-1,00	120	160	0,0008	160,12	8,00	266,67	112,24
v protisměru		1,00	120	160	0,0008	160,12	11,21	373,81	157,33
ve směru	10	-1,92	120	160	0,0010	160,16	6,53	217,61	91,59
v protisměru		1,92	120	160	0,0010	160,16	12,69	423,03	178,04
ve směru	11	-0,36	120	160	0,0010	160,16	9,04	301,22	126,78
v protisměru		0,36	120	160	0,0010	160,16	10,18	339,42	142,85
ve směru	12	4,06	120	160	0,0005	160,08	16,10	536,64	225,86
v protisměru		-4,06	120	160	0,0005	160,08	3,11	103,68	43,63
ve směru	13	-4,90	120	160	0,0005	160,08	1,76	58,62	24,67
v protisměru		4,90	120	160	0,0005	160,08	17,45	581,70	244,82
ve směru	14	-0,71	120	160	0,0000	160,00	8,46	281,97	118,67
v protisměru		0,71	120	160	0,0000	160,00	10,74	358,03	150,69
ve směru	15	0,23	120	160	0,0000	160,00	9,98	332,53	139,95
v protisměru		-0,23	120	160	0,0000	160,00	9,22	307,47	129,41
ve směru	16	-0,18	120	160	0,0068	161,08	9,37	312,48	131,52
v protisměru		0,18	120	160	0,0068	161,08	9,96	331,84	139,66

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové

Os vlak (délka soupravy 79,4 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	rychlost vlaku [km/h]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	tažná síla [kN]	výkon [kW]	proud [A]
ve směru	9	-1,00	120	160	0,0008	160,12	8,00	266,67	112,24
v protisměru		1,00	120	160	0,0008	160,12	11,21	373,81	157,33
ve směru	10	-1,92	120	160	0,0010	160,16	6,53	217,61	91,59
v protisměru		1,92	120	160	0,0010	160,16	12,69	423,03	178,04
ve směru	11	-0,36	120	160	0,0010	160,16	9,04	301,22	126,78
v protisměru		0,36	120	160	0,0010	160,16	10,18	339,42	142,85
ve směru	12	4,06	120	160	0,0005	160,08	16,10	536,64	225,86
v protisměru		-4,06	120	160	0,0005	160,08	3,11	103,68	43,63
ve směru	13	-4,90	120	160	0,0005	160,08	1,76	58,62	24,67
v protisměru		4,90	120	160	0,0005	160,08	17,45	581,70	244,82
ve směru	14	-0,71	120	160	0,0000	160,00	8,46	281,97	118,67
v protisměru		0,71	120	160	0,0000	160,00	10,74	358,03	150,69
ve směru	15	0,23	120	160	0,0000	160,00	9,98	332,53	139,95
v protisměru		-0,23	120	160	0,0000	160,00	9,22	307,47	129,41
ve směru	16	-0,18	120	160	0,0068	161,08	9,37	312,48	131,52
v protisměru		0,18	120	160	0,0068	161,08	9,96	331,84	139,66

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové

NEx vlak (délka soupravy 740 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	rychlost vlaku [km/h]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	tažná síla [kN]	výkon [kW]	proud [A]
ve směru	9	-1,00	100	1950	0,0008	1951,46	87,75	2437,36	1025,83
v protisměru		1,00	100	1950	0,0008	1951,46	126,92	3525,44	1483,77
ve směru	10	-1,92	100	1950	0,0010	1951,95	69,80	1939,00	816,08
v protisměru		1,92	100	1950	0,0010	1951,95	144,91	4025,29	1694,15
ve směru	11	-0,36	100	1950	0,0010	1951,95	100,38	2788,21	1173,49
v protisměru		0,36	100	1950	0,0010	1951,95	114,34	3176,08	1336,74
ve směru	12	4,06	100	1950	0,0005	1950,98	186,46	5179,32	2179,85
v protisměru		-4,06	100	1950	0,0005	1950,98	28,15	781,99	329,12
ve směru	13	-4,90	100	1950	0,0005	1950,98	11,68	324,40	136,53
v protisměru		4,90	100	1950	0,0005	1950,98	202,93	5636,92	2372,44
ve směru	14	-0,71	100	1950	0,0000	1950,00	93,35	2592,92	1091,30
v protisměru		0,71	100	1950	0,0000	1950,00	121,15	3365,42	1416,42
ve směru	15	0,23	100	1950	0,0000	1950,00	111,83	3106,43	1307,42
v protisměru		-0,23	100	1950	0,0000	1950,00	102,67	2851,90	1200,29
ve směru	16	-0,18	100	1950	0,0068	1963,16	104,44	2900,98	1220,95
v protisměru		0,18	100	1950	0,0068	1963,16	111,51	3097,57	1303,69

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové

NEx vlak (délka soupravy 650 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	rychlost vlaku [km/h]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	tažná síla [kN]	výkon [kW]	proud [A]
ve směru	9	-1,00	100	1950	0,0008	1951,46	87,75	2437,36	1025,83
v protisměru		1,00	100	1950	0,0008	1951,46	126,92	3525,44	1483,77
ve směru	10	-1,92	100	1950	0,0010	1951,95	69,80	1939,00	816,08
v protisměru		1,92	100	1950	0,0010	1951,95	144,91	4025,29	1694,15
ve směru	11	-0,36	100	1950	0,0010	1951,95	100,38	2788,21	1173,49
v protisměru		0,36	100	1950	0,0010	1951,95	114,34	3176,08	1336,74
ve směru	12	4,06	100	1950	0,0005	1950,98	186,46	5179,32	2179,85
v protisměru		-4,06	100	1950	0,0005	1950,98	28,15	781,99	329,12
ve směru	13	-4,90	100	1950	0,0005	1950,98	11,68	324,40	136,53
v protisměru		4,90	100	1950	0,0005	1950,98	202,93	5636,92	2372,44
ve směru	14	-0,71	100	1950	0,0000	1950,00	93,35	2592,92	1091,30
v protisměru		0,71	100	1950	0,0000	1950,00	121,15	3365,42	1416,42
ve směru	15	0,23	100	1950	0,0000	1950,00	111,83	3106,43	1307,42
v protisměru		-0,23	100	1950	0,0000	1950,00	102,67	2851,90	1200,29
ve směru	16	-0,18	100	1950	0,0068	1963,16	104,44	2900,98	1220,95
v protisměru		0,18	100	1950	0,0068	1963,16	111,51	3097,57	1303,69

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové

NEx vlak (délka soupravy 650 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	rychlost vlaku [km/h]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	tažná síla [kN]	výkon [kW]	proud [A]
ve směru	9	-1,00	100	1000	0,0008	1000,75	45,00	1249,93	526,06
v protisměru		1,00	100	1000	0,0008	1000,75	65,09	1807,92	760,91
ve směru	10	-1,92	100	1000	0,0010	1001,00	35,80	994,36	418,50
v protisměru		1,92	100	1000	0,0010	1001,00	74,31	2064,25	868,79
ve směru	11	-0,36	100	1000	0,0010	1001,00	51,47	1429,85	601,79
v protisměru		0,36	100	1000	0,0010	1001,00	58,64	1628,76	685,51
ve směru	12	4,06	100	1000	0,0005	1000,50	95,62	2656,06	1117,87
v protisměru		-4,06	100	1000	0,0005	1000,50	14,44	401,02	168,78
ve směru	13	-4,90	100	1000	0,0005	1000,50	5,99	166,36	70,02
v protisměru		4,90	100	1000	0,0005	1000,50	104,07	2890,73	1216,64
ve směru	14	-0,71	100	1000	0,0000	1000,00	47,87	1329,70	559,64
v protisměru		0,71	100	1000	0,0000	1000,00	62,13	1725,85	726,37
ve směru	15	0,23	100	1000	0,0000	1000,00	57,35	1593,04	670,47
v protisměru		-0,23	100	1000	0,0000	1000,00	52,65	1462,51	615,54
ve směru	16	-0,18	100	1000	0,0068	1006,75	53,56	1487,68	626,13
v protisměru		0,18	100	1000	0,0068	1006,75	57,19	1588,50	668,56

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové

NEx vlak (délka soupravy 740 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	rychlost vlaku [km/h]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	tažná síla [kN]	výkon [kW]	proud [A]
ve směru	9	-1,00	100	1400	0,0008	1401,05	63,00	1749,90	736,49
v protisměru		1,00	100	980	0,0008	980,74	53,98	1499,33	631,03
ve směru	10	-1,92	100	1400	0,0010	1401,40	36,10	1002,82	422,06
v protisměru		1,92	100	980	0,0010	980,98	63,02	1750,47	736,73
ve směru	11	-0,36	100	1400	0,0010	1401,40	58,05	1612,51	678,67
v protisměru		0,36	100	980	0,0010	980,98	47,65	1323,69	557,11
ve směru	12	4,06	100	1400	0,0005	1400,70	119,86	3329,40	1401,26
v protisměru		-4,06	100	980	0,0005	980,49	4,34	120,64	50,78
ve směru	13	-4,90	100	1400	0,0005	1400,70	-5,62	-156,18	-65,73
v protisměru		4,90	100	980	0,0005	980,49	92,18	2560,55	1077,67
ve směru	14	-0,71	100	1400	0,0000	1400,00	53,02	1472,69	619,82
v protisměru		0,71	100	980	0,0000	980,00	51,09	1419,12	597,27
ve směru	15	0,23	100	1400	0,0000	1400,00	66,29	1841,37	774,99
v protisměru		-0,23	100	980	0,0000	980,00	41,80	1161,04	488,65
ve směru	16	-0,18	100	1400	0,0068	1409,45	60,88	1691,24	711,80
v protisměru		0,18	100	980	0,0068	986,62	46,18	1282,67	539,84

Týniště nad Orlicí - Hradec Králové

Pn vlak (délka soupravy 650 m)

směr	číslo úseku s redukovaným sklonem	redukovaný sklon [‰]	rychlost vlaku [km/h]	hmotnost vlaku [t]	měrný odpor od oblouku [t/t]	hmotnost vlaku s odporem od oblouku [t]	tažná síla [kN]	výkon [kW]	proud [A]
ve směru	9	-1,00	80	1600	0,0008	1601,20	55,98	1244,09	523,61
v protisměru		1,00	80	1600	0,0008	1601,20	88,12	1958,31	824,21
ve směru	10	-1,92	80	1600	0,0010	1601,60	41,26	916,87	385,89
v protisměru		1,92	80	1600	0,0010	1601,60	102,88	2286,33	962,26
ve směru	11	-0,36	80	1600	0,0010	1601,60	66,34	1474,30	620,50
v protisměru		0,36	80	1600	0,0010	1601,60	77,80	1728,90	727,65
ve směru	12	4,06	80	1600	0,0005	1600,80	136,98	3044,03	1281,16
v protisměru		-4,06	80	1600	0,0005	1600,80	7,09	157,57	66,32
ve směru	13	-4,90	80	1600	0,0005	1600,80	-6,43	-142,80	-60,10
v protisměru		4,90	80	1600	0,0005	1600,80	150,50	3344,40	1407,57
ve směru	14	-0,71	80	1600	0,0000	1600,00	60,59	1346,46	566,69
v protisměru		0,71	80	1600	0,0000	1600,00	83,41	1853,54	780,11
ve směru	15	0,23	80	1600	0,0000	1600,00	75,76	1683,54	708,56
v protisměru		-0,23	80	1600	0,0000	1600,00	68,24	1516,46	638,24
ve směru	16	-0,18	80	1600	0,0068	1610,80	69,58	1546,28	650,79
v protisměru		0,18	80	1600	0,0068	1610,80	75,39	1675,32	705,10