# Obsah

[1 Obsah 1](#_Toc109997259)

[2 Úvod 2](#_Toc109997260)

[3 Podklady 3](#_Toc109997261)

[3.1 Použité normy a předpisy 3](#_Toc109997262)

[3.2 Model infrastruktury, jízdní řád a HV 3](#_Toc109997263)

[4 Vstupní data 4](#_Toc109997264)

[4.1 Parametry SFC 4](#_Toc109997265)

[4.2 Parametry trakčního vedení 5](#_Toc109997266)

[4.3 Parametry hnacích vozidel 7](#_Toc109997267)

[5 Metoda výpočtu 9](#_Toc109997268)

[6 Výsledky 10](#_Toc109997269)

[6.1 Rekuperační brzdění 11](#_Toc109997270)

[6.2 Ochranná opatření proti nedovolenému potenciálu kolejnice 11](#_Toc109997271)

[6.3 Výkony střídavé napájecí stanice Nedakonice 11](#_Toc109997272)

[6.4 Proudové zatížení TV 12](#_Toc109997273)

[7 Závěr 12](#_Toc109997274)

[8 Přílohy 13](#_Toc109997275)

[8.1 GVD Břeclav – Rohatec 14](#_Toc109997276)

[8.2 GVD Břeclav – Popice 15](#_Toc109997277)

[8.3 GVD Břeclav - Znojmo 16](#_Toc109997278)

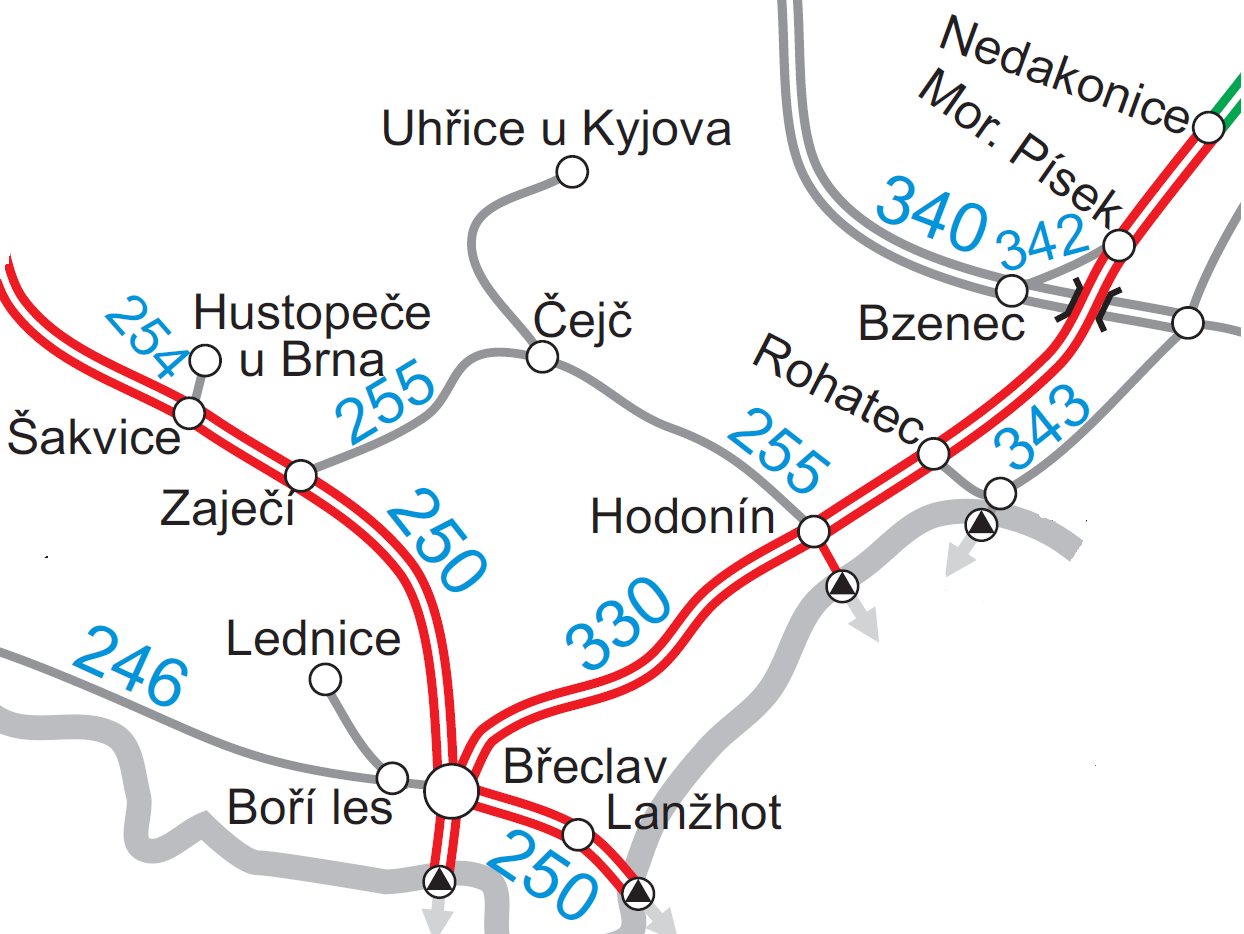
[8.4 Zatížení TNS Břeclav 17](#_Toc109997279)

[8.5 Proudové zatížení TV 18](#_Toc109997280)

[8.6 Proudové zatížení zpětného vedení – základní stav 19](#_Toc109997281)

# Úvod

Tyto energetické výpočty řeší **dimenzování** trakční napájecí stanice Břeclav a mají za cíl posoudit střídavé napájení AC 25kV 50Hz po celé délce úseku s ohledem na budoucí uvažovanou dopravu a**trať 330, 250 a 246**. **Základním podkladem pro výpočet je dopravní technologie.** Výpočty byly zpracovány formou simulace za pomocí programů OpenTrack a OpenPowerNet. Nyní je řešený úsek napájený střídavou proudovou soustavou AC 25 kV 50Hz a část je neelektrizovaná ( Břeclav – Hrušovany nad Jevišovkou), viz obrázek níže.



# Podklady

Celá simulace byla provedena v programu OpenTrack, kde je namodelována veškerá infrastruktura a dopravní technologie kromě napájení (koleje, výhybky, jízdní řád, zabezpečovací zařízení atd.) a v programu OpenPowerNet, kde bylo namodelováno napájení (vodiče, napájecí stanice, trakční propojení atd.)

## Použité normy a předpisy

* ČSN 34 1530 ed.2
* ČSN 34 1500 ed.2
* ČSN EN 50 119 ed.2
* ČSN EN 50 122-1 ed.2
* ČSN EN 50 122-2 ed.2
* ČSN EN 50 163 ed.2
* ČSN EN 50 388 ed.2
* Nařízení komise (EU) č. 1301/2014
* Předpis SŽDC (ČSD) SR34 s úpravou dle dopisu zn.: 21480/2017-SŽDC-O14

## Model infrastruktury, jízdní řád a HV

* **Koleje**

Niveleta koleje byla převzata od objednatele a odpovídá zpracovaným projektům. Stejně tak byly převzaty polohy výhybek a nástupišť.

* **Jízdní řád**

Byl zpracován po konzultaci s dopravním technologem objednatele a na základě toho byl vypracován modelový dvouhodinový špičkový grafikon.

* **Zabezpečovací zařízení**

Hlavní návěstidel a oddíly byly také navrženy dle zadání objednatele a respektují výhledový stav.

* **Hnací vozidla**

V simulaci se uvažuje s typizovanými lokomotivami a elektrickými jednotkami. Pro vlaky kategorie Pn, NEx, EC, R, Rn a Vn se uvažuje s lokomotivou typu Vectron. Pro vlaky typu Os se uvažuje kombinace souprav 2x650 RegioPanter a 2x640 RegioPanter.

* **Napájecí stanice**

Rozmístění napájecích stanic odpovídá současnému stavu. Systém napájení byl převzat z výhledových schémat napájení a dělení.

* **Trakční vedení**

Sestava trakčního vedení včetně základního propojení byla také převzata z projektů a odpovídá výhledovému stavu.

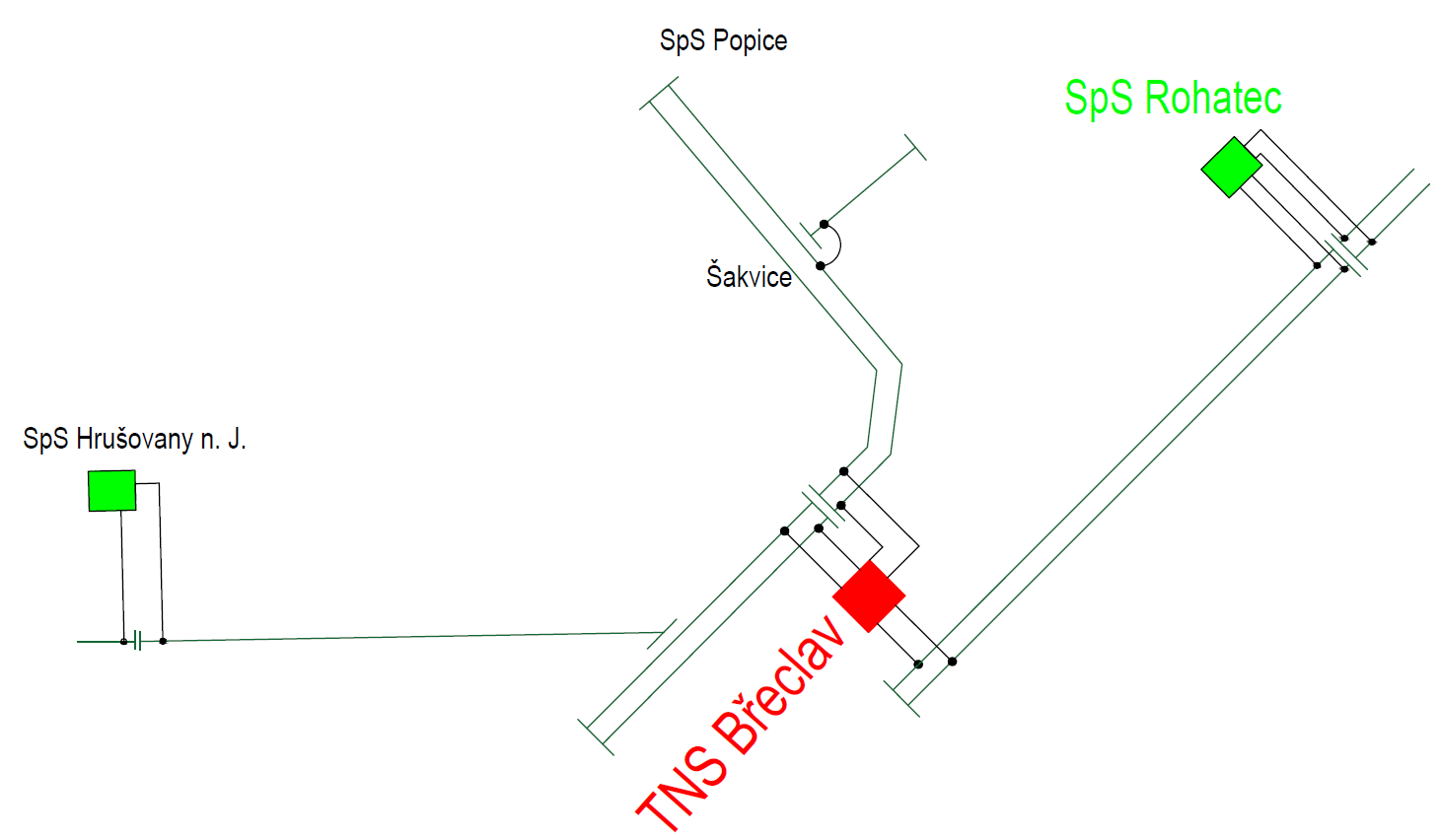
* **Hnací vozidla**

V modelu se uvažuje s regulací výkonu dle TSI ENE a s povolenou rekuperací.

# Vstupní data

Energetický model byl navržen v programu OpenPowerNet a zahrnuje v sobě model napájecích stanic, trakčního vedení a elektrických parametrů lokomotiv. Program OpenPowerNet využívá ke svému výpočtu program OpenTrack, ve kterém byla vymodelována infrastruktura kolejí, výhybek, nástupišť a zabezpečovacího zařízení. V programu OpenTrack byl také zpracován model vlaků, lokomotiv a elektrických souprav včetně jízdního řádu.

Model napájení byl rozdělen následovně:



## Parametry SFC

* Jmenovitý výkon 40 MVA
* Primární napětí 23 kV
* Sekundární napětí 27 kV
* 2xSFC Břeclav v km 86.500
* Rekuperace SFC umožňuje přetok energie zpět do sítě

## Parametry trakčního vedení

Všechny vodiče včetně kolejnic a země jsou v modelu definovány svými elektrickými a geometrickými vlastnostmi.

### Parametry trakčního vedení – AC soustava

### Vodiče

**Nosné lano 50Bz**

* geometrická poloha [x ; y] [0 ; 6,6] m
* ekvivalentní poloměr[[1]](#footnote-1) 3,578 mm
* činný odpor 0,44 Ω/km
* teplotní součinitel 0,004 °C-1
* uvažovaná teplota vodiče 80°C

**Nosné lano 70Bz**

* geometrická poloha [x ; y] [0 ; 6,6] m
* ekvivalentní poloměr[[2]](#footnote-2) 3,578 mm
* činný odpor 0,32 Ω/km
* teplotní součinitel 0,004 °C-1
* uvažovaná teplota vodiče 80°C

**Trolej 100Cu**

* geometrická poloha [x ; y] [0 ; 5,6] m
* ekvivalentní poloměr 4,395 mm
* činný odpor 0,183 Ω/km
* teplotní součinitel 0,00393 °C-1
* uvažovaná teplota vodiče 80°C

**Trolej 150Cu**

* geometrická poloha [x ; y] [0 ; 5,6] m
* ekvivalentní poloměr 4,395 mm
* činný odpor 0,122Ω/km
* teplotní součinitel 0,00393 °C-1
* uvažovaná teplota vodiče 80°C

**Pravá kolejnice**

* geometrická poloha [x ; y] [0,7175 ; 0] m
* ekvivalentní poloměr 38,54 mm
* činný odpor [[3]](#footnote-3) při 20°C 0,416 Ω/km
* teplotní součinitel 0,004 °C-1
* uvažovaná teplota vodiče 60°C

**Levá kolejnice**

* geometrická poloha [x ; y] [-0,7175 ; 0] m
* činný odpor při 20°C 0,416 Ω/km
* teplotní součinitel 0,004 °C-1
* uvažovaná teplota vodiče 60°C

**Napájecí vedení 120Cu**

* geometrická poloha [x ; y] [-4;6] m
* ekvivalentní poloměr[[4]](#footnote-4) 4,685 mm
* činný odpor 0,150 Ω/km
* teplotní součinitel 0,004 °C-1
* uvažovaná teplota vodiče 80°C

**Osová vzdálenost dvou kolejí 4 m**

**země**

* geometrická poloha [x ; y] [0 ; -715]m
* ekvivalentní poloměr 465 m
* činný odpor 0,0393 Ω/km

### Propojky

* Vzdálenost mezikolejnicových propojení jedné stopy 1 km
* Vzdálenost mezikolejových propojení na jedné trati 5 km
* Propojení troleje a nosného lana 1 000 S/km
* Propojení kolejnice a země[[5]](#footnote-5) 0,01 S/k

## Parametry hnacích vozidel

Výpočet potřebného výkonu pro jízdu vozidla počítá program OpenTrack pro uvedené typy vlaků:

**EC**

* Hmotnost bez lokomotivy 400 t
* Jízdní odpor R
* Lokomotiva Vectron

**NEx**

* Hmotnost bez lokomotivy 1800t
* Jízdní odpor S
* Lokomotiva Vectron

**Os**

* Jízdní odpor R
* Lokomotiva 640 RegioPanter (3 vozy)

**R**

* Jízdní odpor R
* Lokomotiva RegioPanter 650 (2x 3 vozy)

**Pn** Hmotnost bez lokomotivy 2400 t

* Jízdní odpor T4
* Lokomotiva Vectron

**Pn** Hmotnost bez lokomotivy 660 t

* Jízdní odpor T4
* Lokomotiva Vectron

**R**

* Hmotnost bez lokomotivy 300 t, 400t
* Jízdní odpor R
* Lokomotiva Vectron

Níže jsou uvedeny elektrické vlastnosti hnacích vozidel zadaných v programu OpenPowerNet.

**Vectron**

* Maximální výkon 6,4 MW
* Maximální tažná síla 300 kN
* Max. napětí při rekuperaci - AC 29 kV
* Skutečný účiník 0,98
* Regulace výkonu dle TSI ENE ano

**640 RegioPanter**

* Maximální výkon 2,04 MW
* Maximální tažná síla 196 kN
* Max. napětí při rekuperaci - AC 29 kV
* Skutečný účiník 0,98
* Regulace výkonu dle TSI ENE ne

**RegioPanter 650**

* Maximální výkon 1,36 MW
* Maximální tažná síla 196 kN
* Max. napětí při rekuperaci - AC 29 kV
* Skutečný účiník 0,98
* Regulace výkonu dle TSI ENE ne

# Metoda výpočtu

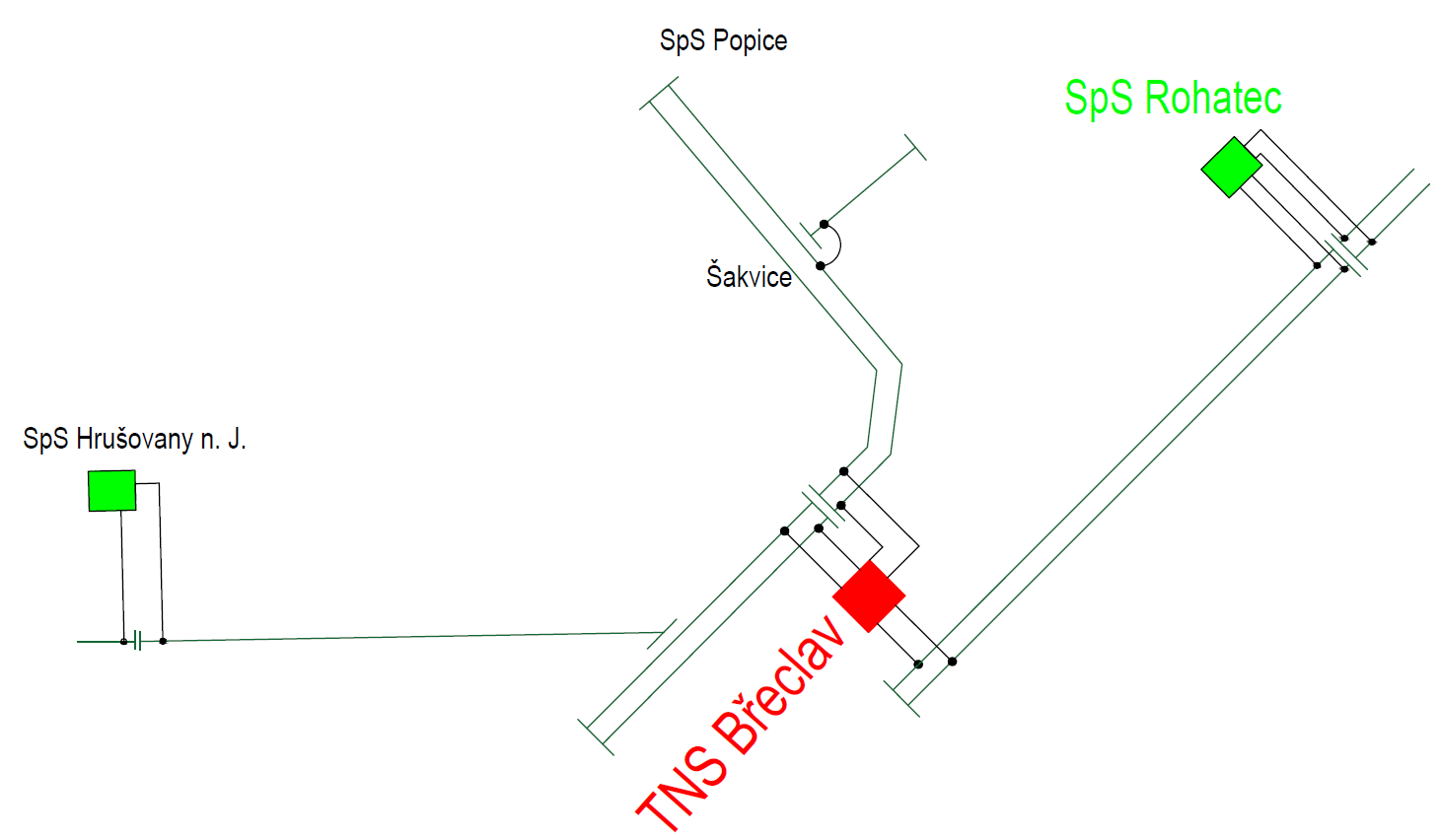
Výpočet byl proveden v programu OpenPowerNet, který paralelně spolupracuje s programem OpenTrack. Celý výpočet by se dal zjednodušeně popsat v následujících pěti bodech:

1. OpenTrack na základě daného jízdního řádu rozmístí vlaky v oblasti.
2. Dále spočítá na základě jejich jízdního odporu, hybnosti a trakční charakteristiky, jaký potřebují dodat výkon a tuto informaci (i s polohou vlaků) odešle programu OpenPowerNet.
3. OpenPower následně iterační metodou spočítá, jakým způsobem se rozloží požadovaný výkon mezi jednotlivé napájecí stanice, spočítá ztráty v trakčním vedení a dostupný výkon pro jednotlivé vlaky.
4. OpenPowerNet odešle dostupný výkon pro jednotlivé vlaky (stejný jako požadovaný nebo menší způsobený např. poklesem napětí pod 0,9Ujm) programu OpenTrack.
5. OpenTrack převezme dostupný výkon pro jednotlivé vlaky a spočítá ujetou vzdálenost za jednu sekundu. Po té znovu vypočítá potřebný výkon a celý proces se tak pro každou sekundu v jízdním řádu opakuje.

# Výsledky

Při výpočtu byla pro střídavou napájecí soustavu uvažována trakční sestava 100Cu + 50Bz v úseku Břeclav – Rohatec, Břeclav – Popice a Břeclav – Hrušovany n. J.. Trať **je napájena v základním stavu z  TNS Břeclav.**

**Cílem energetických výpočtů je dimenzování trakční napájecí stanice Břeclav v základním stavu napájení.**



Výpočet pro **výhledovou dopravu v základní stavu napájení**:

Obsahuje simulaci všech elektrizovaných tratí napájených z TNS Břeclav střídavou proudovou soustavou 25 kV 50 Hz s trakční sestavou 100Cu + 50Bz. Trať Rohatec - Břeclav a Popice - Břeclavje uvažována jako dvoukolejná v plné délce. Trať Břeclav – Hrušovany n. J. je uvažována jako jednokolejná.. **V základním stavu uvažujeme spínací stanice Rohatec, Popice a Hrušovany n. J. rozepnuty ve všech směrech. Statické frekvenční měniče jsou uvažovány v paralelní zapojení.**

## Rekuperační brzdění

Systém napájení je navržen tak, že umožňuje výměnu energie s jinými vlaky. Trakční napájecí stanice umožňuje přetok energie zpět do distribuční soustavy. Výměna energie je omezena maximálním dovoleným napětím na sběrači lokomotivy a maximálním výkonem lokomotivy.

## Ochranná opatření proti nedovolenému potenciálu kolejnice

K tomu, aby nemohlo dojít k nedovolenému dotykovému napětí, musí být v určitých případech, např. ve stanicích, instalováno zařízení omezující napětí, pro vyrovnání potenciálu mezi zpětným obvodem a zemí, nebo trvalé uzemnění zpětného obvodu ve vytypovaných místech v souladu s normou ČSN EN 50122-1 ed.2.

Po dokončení stavby se u trakčních stožárů, případně dalších vodivých konstrukcí, provede měření dotykových napětí. Rovněž se před samotnou stavbou a následně po dokončení stavby provede za provozu několik opakovaných měření napětí mezi kolejnicí a zemí. Z výsledků měření vyplyne, zda bude nutná realizace dalších opatření pro snížení případného nevyhovujícího napětí mezi kolejnicí a zemí.

## Výkony střídavé napájecí stanice Nedakonice

Při **základním** stavu napájení bude průběh špičkového výkonu v závislosti na délce jeho trvání následující:

TNS Nedakonice

P1s. = 40 MW

P1min.  = 30,7 MW

P 5min. = 22,4 MW

P 10min. = 19,7 MW

P15min.  = 19,3 MW

P2hod.  = 15,9 MW

Více v příloze 8.4

### Dimenzování statických frekvenčních měničů

Statické frekvenční měniče (SFC) se navrhují dle sekundové výkonové špičky a je uvažováno s přetížením 1,1. Špičkový výkon v základním stavu dle výpočtů je 40 MW. Do TNS Břeclav jsou tedy navrženy dva statické frekvenční měniče o jmenovitém výkonu 40 MVA. Při uvažování přetížení, je možné uvažovat až se zdánlivým výkonem 44 MVA jednoho SFC. V základním stavu uvažujeme paralelní zapojení obou měničů, kdy v základním stavu nebude docházet ke zbytečnému zatěžování jednoho SFC.

## Proudové zatížení TV

**Limitní teploty**

Trolejové vedení i obvod zpětného trakčního proudu a napájecí vedení jsou navrženy tak, aby vyhovovali i při těchto maximálních teplotách:

Trolej 80 °C

Nosné lano 80 °C

Napájecí vedení 80 °C

Kolejnice 60 °C

Země 20 °C

Průběh proudového zatížení napájecího vedení je v příloze číslo 8.5.

Pro každý provozní stav bylo prověřeno proudové zatížení trakčního vedení s časovou oteplovací konstantou 300s a zkratové poměry. Proudové zatížení dle normy ČSN EN 1530 ed.2 nesmí u střídavé proudové sestavy 100Cu+50Bz překročit 760 A. **Tyto podmínky byly splněny.**

# Závěr

Z výsledků vyplývá, že navržený výkon napájecí stanice Břeclav spolu s posuzovanou sestavou trakčního vedení vyhoví, musí být ale splněny některé základní předpoklady, které budou řešeny v rámci realizace.

V rámci realizace projektu je potřeba proto vyřešit zejména:

• Nastavení a spolupráci zkratových ochran.

• Zvolit správnou charakteristiku výstupního napětí na výkonu napájecí stanice či okolních napájecích stanic.

V Brně 29.7.2022

Kontroloval: Zpracoval:

Jiří Podhradský Ing. Ondřej Svoboda

# Přílohy

[8 Přílohy 13](#_Toc109997233)

[8.1 GVD Břeclav – Rohatec 14](#_Toc109997234)

[8.2 GVD Břeclav – Popice 15](#_Toc109997235)

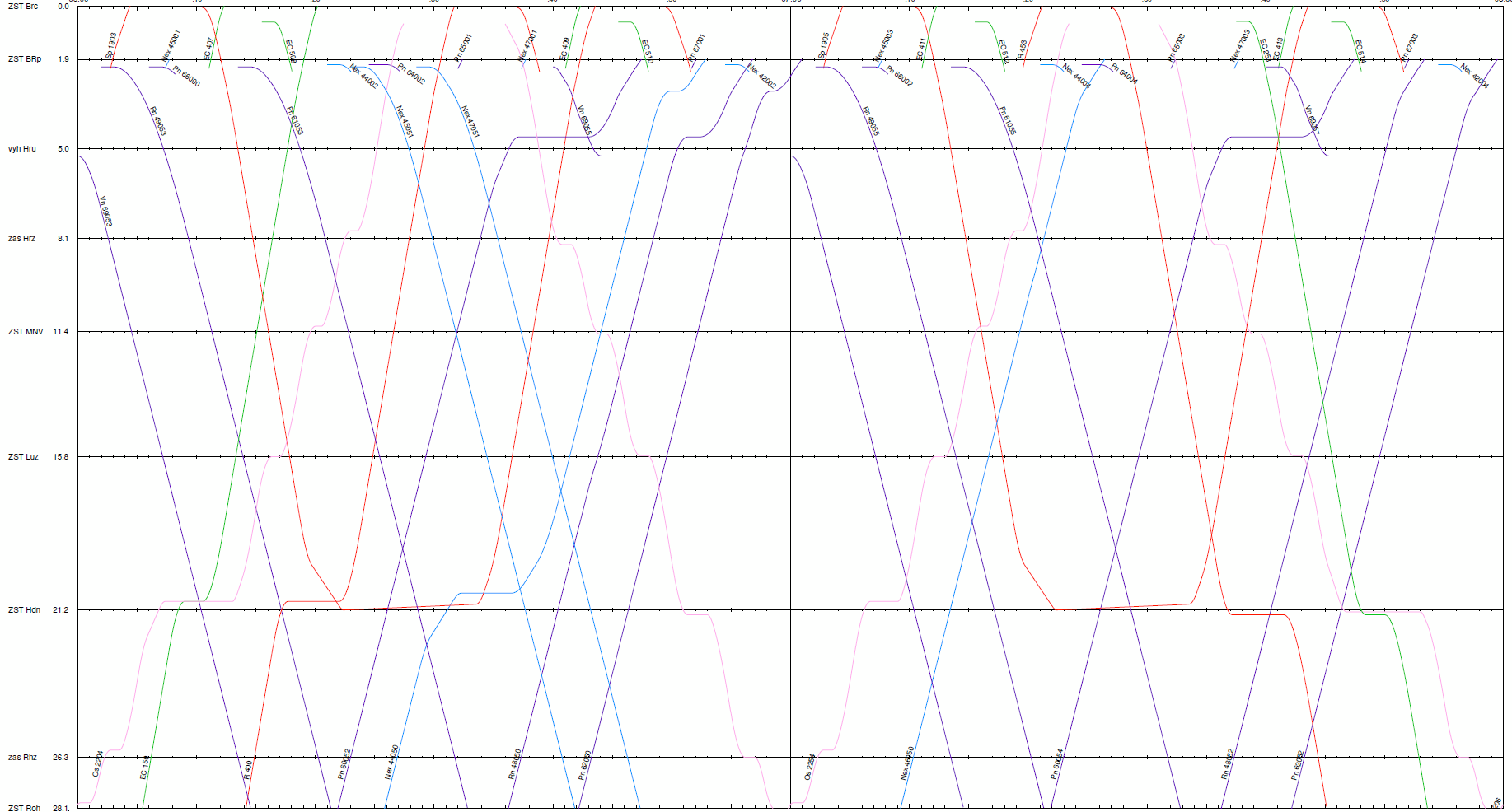
[8.3 GVD Břeclav - Znojmo 16](#_Toc109997236)

[8.4 Zatížení TNS Břeclav 17](#_Toc109997237)

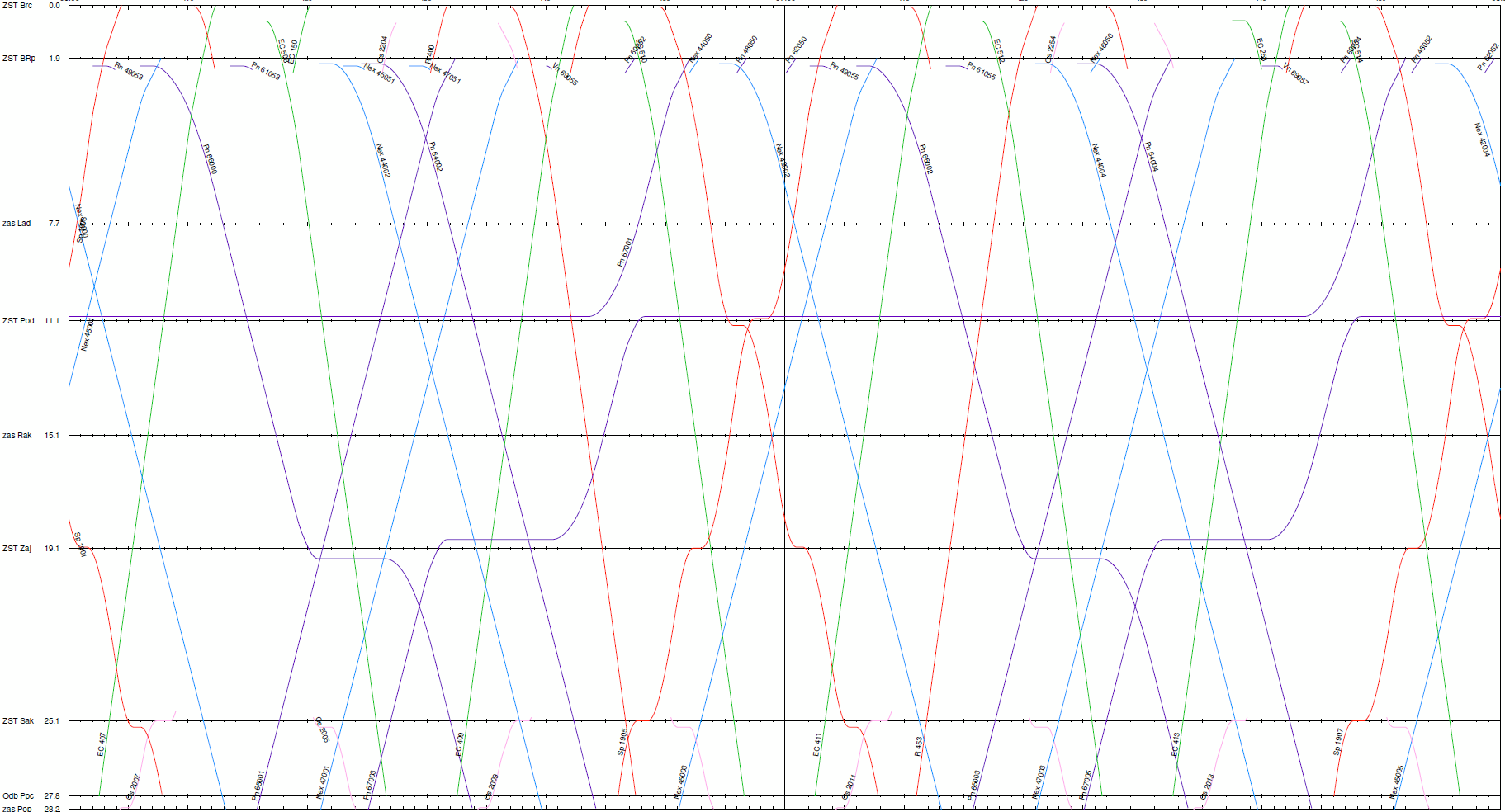
[8.5 Proudové zatížení TV 18](#_Toc109997238)

[8.6 Proudové zatížení zpětného vedení – základní stav 19](#_Toc109997239)

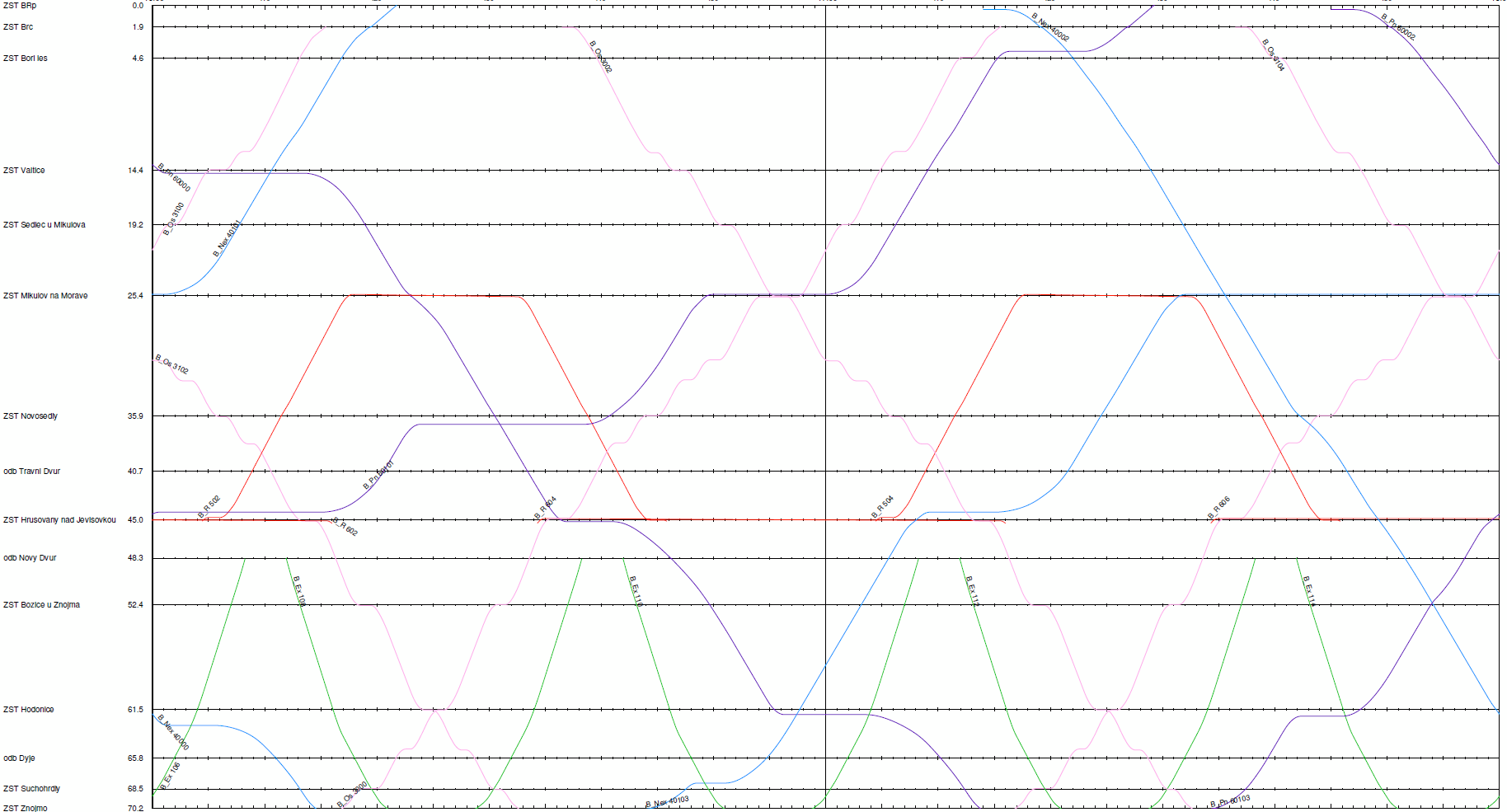
## GVD Břeclav – Rohatec



## GVD Břeclav – Popice



## GVD Břeclav - Znojmo



## Zatížení TNS Břeclav

## Proudové zatížení TV

## Proudové zatížení zpětného vedení – základní stav

1. Ekvivalentní poloměr je takový poloměr, který by měl kulovitý vodič o plném průřezu se stejnými elektrickými parametry. [↑](#footnote-ref-1)
2. Ekvivalentní poloměr je takový poloměr, který by měl kulovitý vodič o plném průřezu se stejnými elektrickými parametry. [↑](#footnote-ref-2)
3. Odpor kolejnice vychází ze změřených hodnot uvedených v dopise zn. 21480/2017-SŽDC-O14 pro tvar kolejnice UIC 60. [↑](#footnote-ref-3)
4. Ekvivalentní poloměr je takový poloměr, který by měl kulovitý vodič o plném průřezu se stejnými elektrickými parametry. [↑](#footnote-ref-4)
5. Hodnota vychází z odborného odhadu na základě dané maximální svodové vodivosti 0,5 S/km (ČSN EN 50 122-2 ed.2) a na základě zjištění Ing. Jana Matouše publikovaného zde <http://www.railvolution.net/czechraildays/2011/seminare/trendy_matous_a.pdf>, kde uvádí přechodový odpor kolej – zem u nových tratí jako „mnohdy převyšující hodnotu 100 Ω/km (u nerekonstruovaných tratí tato hodnota obvykle bývá okolo 1 Ωkm)“. [↑](#footnote-ref-5)