EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Doprava

Ministerstvo dopravy
Státní fond dopravní infrastruktury

Správa železniční dopravní cesty

			ČÍSLO SOUPRAVY:
1	11/2018	Náhrada balancérů statickými měniči	
REVIZE Č.	DATUM	ZMĚNA	

SUDOP BRNO

SUDOP BRNO, spol. s r.o.
Kounicova 26
611 36 Brno

OBJEDNAVATEL:	SŽDC, s.o., Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1 Stavební správa východ (organizační jednotka)		tel. : +420 972 625 804 E-mail: sudop@sudop-brno.cz
PROFESNÍ SKUPINA:	23 TRAKČNÍ VEDENÍ	VEDOUCÍ PROF. SKUPINY Ing. Jiří Pelc	GENERÁLNÍ ŘEDITEL Ing. Kamil Chmela
ODPOVĚDNÝ PROJ. ZAKÁZKY Ing. Radoslav Molák v.r.	ODPOVĚDNÝ PROJ. PS, SO Jiří Podhradský	NAVRHL, VYPRACOVAL Jiří Podhradský	KONTROLOVAL Ing. Jiří Pelc
KRAJ: Olomoucký, Zlínský	POVĚŘENÝ OÚ: Otrokovice		STUPEŇ: DÚR

Změna trakční soustavy na AC 25 kV, 50 Hz v úseku Nedakonice - Říkovice	ZAK. ČÍSLO 18059-01-1218	ARCH. ČÍSLO 2018340002
	MĚŘÍTKO	POČET FORMÁTŮ
	DATUM:	11/2018
ENERGETICKÉ VÝPOČTY	ČÁST DOKUM. B.7	PŘÍLOHA

Energetické výpočty

Změna trakční soustavy na AC 25 kV, 50 Hz v úseku Nedakonice – Říkovice

Obsah

1. Úvod 2
   1.1. Stávající stav 2
   1.2. Navržené řešení 2
2. Podklady 3
   2.1. Model infrastruktury 3
   2.2. Dopravní model 3
   2.3. Model napájení 5
      2.3.1. Napájecí stanice 5
      2.3.2. Trakční vedení 5
      2.3.3. Propojení a svody 5
3. Výpočet 6
   3.1. Dimenzování napájecích stanic 6
      3.1.1. Základní stav napájení 6
      3.1.2. TT Otrokovice mimo provoz 8
      3.1.3. TT Říkovice mimo provoz 9
      3.1.4. Dimenzování TNS 10
   3.2. Dimenzování trakčního vedení 11
      3.2.1. Minimální napětí v troleji při běžném stavu 11
      3.2.2. Minimální napětí v troleji při výpadku TT Otrokovice 12
      3.2.3. Minimální napětí v troleji při výpadku TT Říkovice 13
      3.2.4. Proudová zatížitelnost vodičů 14
4. Závěr 15

1. Úvod

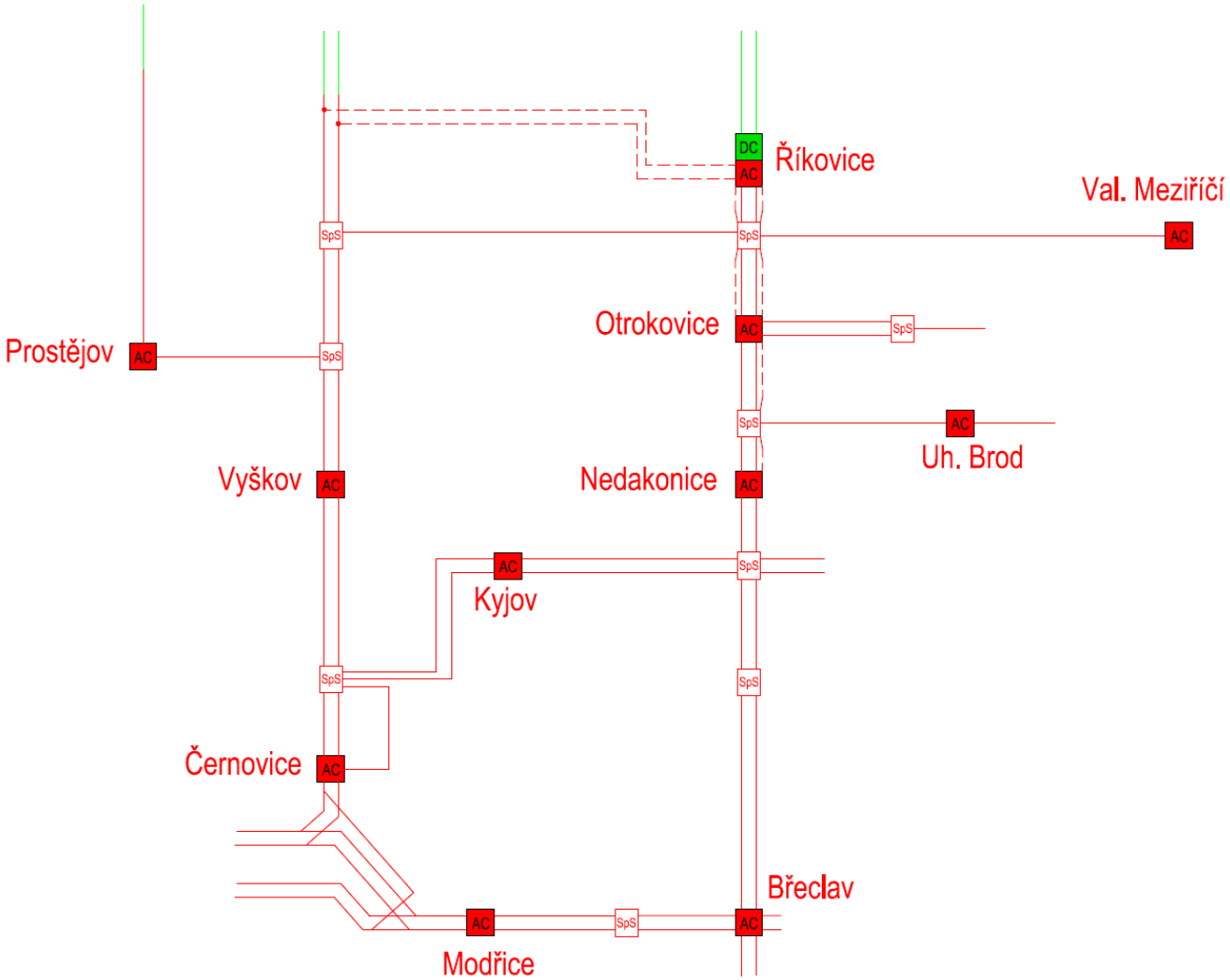
Cílem těchto energetických výpočtů je posoudit navrhovaný posun styku dvou trakčních soustav z Nedakonic před Říkovice, který má umožnit elektrizovat odbočné tratě střídavou proudovou soustavou.

1.1.Stávající stav

Řešený úsek je v současné době napájen stejnosměrnou proudovou soustavou DC 3kV z napájecích stanic Nedakonice, Otrokovice a Říkovice bez spínacích stanic uprostřed meziměnírenských úseků. Napájecí stanice Nedakonice je kombinovaná a v Nedakonicích je i stávající styk střídavé a stejnosměrné proudové soustavy. V celém úseku je trakční vedení 150Cu + 120Cu doplněno jedním zesilovacím lanem 240AlFe.

1.2.Navržené řešení

V projektu je navržen posun styku stejnosměrné a střídavé proudové soustavy z Nedakonic před Říkovice. Tento posun hraje velkou roli v budoucích plánovaných projektech. Zejména to má umožnit levnější elektrizace odbočných tratí 331 do Vizovic, 341 do Luhačovic, 303 do Kojetína a do Valašského Meziříčí. Posun styku soustav má také ale vliv na plánované zdvoukolejnění trati z Brna do Přerova. Navržené napájení tedy musí respektovat i tyto budoucí projekty. Cílový stav v širším kontextu by mohl vypadat například takto:



Vzhledem k tomu, že některé plánované elektrizace zatím čekají na schválení, tak v projektu není navržena veškerá infrastruktura pro napájení i ostatních tratí.

V návrhu se počítá s vybudováním střídavé napájecí stanice v Otrokovicích a Říkovicích. Zatímco nová napájecí stanice v Otrokovicích nahradí tu stávající stejnosměrnou, tak v Říkovicích vyroste nová střídavá napájecí stanice vedle té stávající stejnosměrné a vznikne tak kombinovaná napájecí stanice. V Nedakonicích se odpojí stávající stejnosměrná část a z kombinované napájecí stanice tak vznikne jen střídavá.

V projektu je v každé nové napájecí stanici navržen tzv. aktivní balancér, který umožňuje symetrické připojení jednofázové trakční soustavy AC 25kV 50Hz na třífázovou distribuční soustavu AC 110kV 50Hz.

Uvažované spínací stanice u odbočných tratí se v rámci projektu neřeší stejně jako případné napájecí vedení k nim.

2. Podklady

Zpracování energetických výpočtů bylo provedeno pomocí softwaru simulujícího železniční dopravu OpenTrack a OpenPowerNet.

2.1. Model infrastruktury

Do programu byla zadána niveleta kolejnice dle nákresného přehledu železničního svršku a to včetně plánovaného zdvoukolejnění trati 331 do Vizovic. Dále byl zadán systém zabezpečovacího zařízení včetně polohy návěstí, nástupištní hrany, výhybky atd.

2.2. Dopravní model

Dopravní model byl zvolen na základě stávajícího jízdního řádu, doplněného o změny, které s sebou přinese rekonstrukce a elektrizace do Vizovic. V rámci dopravního modelu se počítá i s rychlíky Brno – Zlín a Praha – Luhačovice.

Alternativní provozní koncept pro SP Modernizace a elektrizace trati Otrokovice - Zlín - Vizovice

SŽDC O7/2 a O26, 20. 10. 2014

Všechny spoje zakresleny jen v oblasti po ŽST Kroměříž, Přerov, St. Město u UH

Znázorněna přepravní špička. Polohy tras stanoveny:

EC Polsko - Ostrava - Břeclav - Rakousko / Slovensko dle změny uzlu Wien podle "Návrhu doporučení pro tvorbu střednědobého plánu dopravní obsluhy ČR"

R Olomouc - Břeclav - Brno dle GVD 2013/2014 s minutovými změnami podle "Návrhu..."

R Praha - Luhačovice v trase R Olomouc - Břeclav - Brno + 60 min. vlivem elektrizace do L. podle "Návrhu..."

Ex, R, Os Brno - Přerov dle požadavku MD O190 k SP Brno - Přerov, ve variatnách se budou minutové polohy vlaků mírně lišit

R Brno - Zlín dle požadavku MD O190 k SP Brno - Přerov

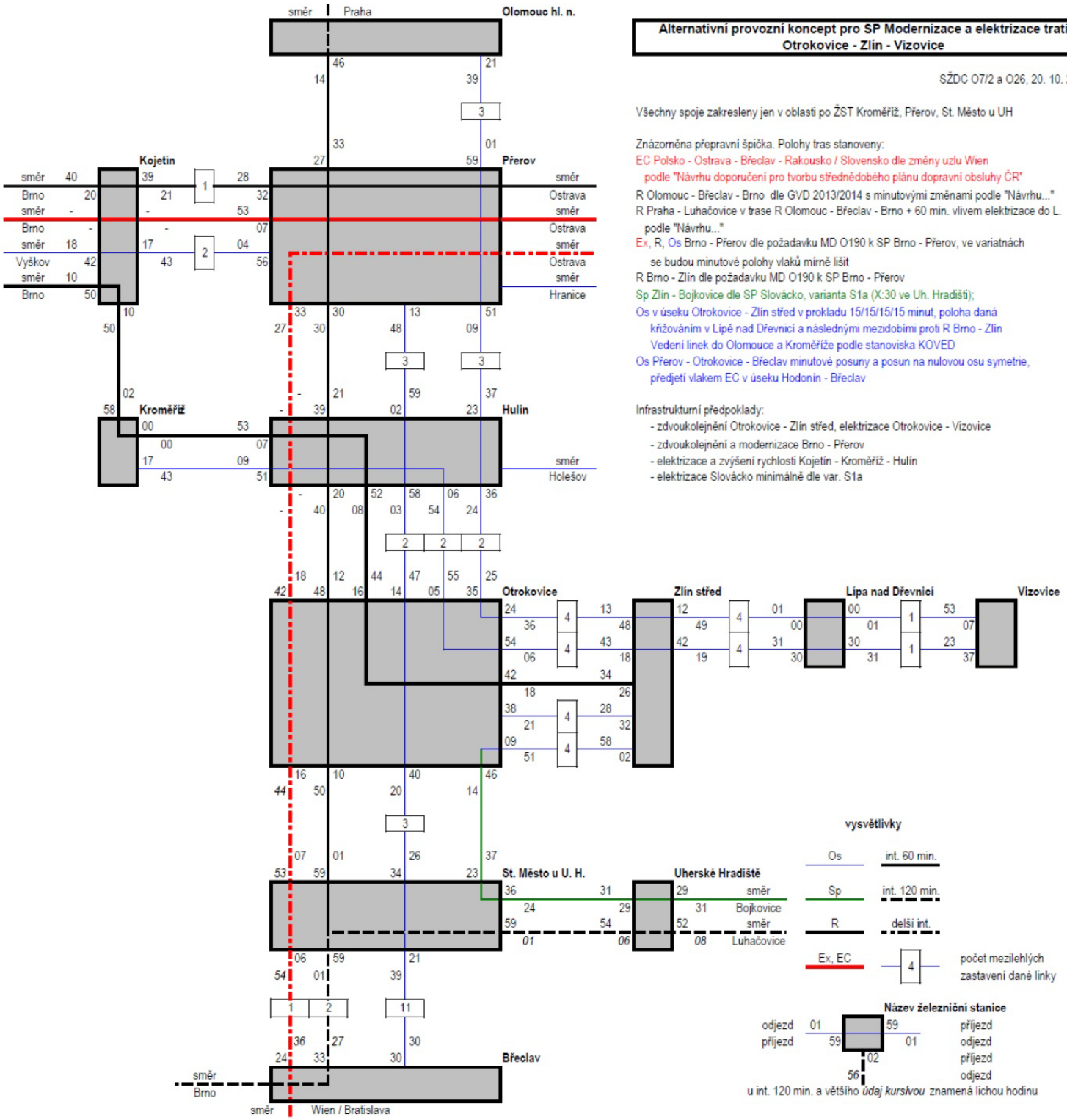
Sp Zlín - Bojkovice dle SP Slovácko, varianta S1a (X:30 ve Uh. Hradišti);

Os v úseku Otrokovice - Zlín střed v prokladu 15/15/15/15 minut, poloha daná křižováním v Lípě nad Dřevnicí a následnými mezidobími proti R Brno - Zlín Vedení linek do Olomouce a Kroměříže podle stanoviska KOVED

Os Přerov - Otrokovice - Břeclav minutové posuny a posun na nulovou osu symetrie, předjetí vlakem EC v úseku Hodonín - Břeclav

Infrastrukturní předpoklady:

- zdvoukolejnění Otrokovice - Zlín střed, elektrizace Otrokovice - Vizovice
- zdvoukolejnění a modernizace Brno - Přerov
- elektrizace a zvýšení rychlosti Kojetín - Kroměříž - Hulín
- elektrizace Slovácko minimálně dle var. S1a



V simulaci se počítá s lokomotivou s lokomotivou Vectron s regulací výkonu dle TSI ENE. Výkon je počítán na základě trakční charakteristiky lokomotivy i s omezením vlivem adheze. Odpor vlaku byl uvažován typu S u nákladních vlaků NEx, T_4 u vlaků Pn a R_k u rychlíku EC.

Typy vlaků:

typ	lokomotiva	hmotnost
EC	Vectron	400t
R	InterPanter	2x 3 vozy
R	Vectron	300t, 400t
Os	RegioPanter	3 vozy
Pn	Vectron	660t, 2400t
NEx	Vectron	1800t

2.3.Model napájení

2.3.1. Napájecí stanice

Model napájení tvoří napájecí stanice v Otrokovicích a Říkovicích. Napájecí stanice jsou v modelu tvořeny jedním transformátorem 110/25kV se základním výstupním napětím 27,5kV.

Charakteristiky transformátoru byly určeny odborným odhadem:

napětí nakrátko	10,7%
ztráty nakrátko	230kW
proud naprázdno	0,06A
ztráty naprázdno	6,5kW

2.3.2. Trakční vedení

V projektu je navržena výměna starého nosného lana 120Cu za 70Bz. Trakční vedení je tedy navrženo v sestavě 150Cu trolej a 70Bz nosné lano. Zesilovací vedení se v modelu uvažovalo pouze při simulaci stávajícího stavu a to o průřezu 120Cu. Všechny vodiče včetně kolejnic a Země byly do programu převedeny pomocí tzv. ekvivalentního poloměru, to je takový poloměr, který by měl kulovitý vodič o plném průřezu se stejnými elektrickými parametry. Respektuje se tím tedy skin efekt u kolejnic a troleje, který je závislí na tvaru vodiče a u nosného lana bere v úvahu to, že nemá plný průřez, ale že je jej tvoří více drátů.

Ekvivalentní poloměry:

trolej	5,4 mm
nosné lano	4,7 mm
kolej	91,9 mm
Země	465 000 mm

Souřadnice vodičů v modelu	x (m)	y (m)
trolej	0,0	5,6
nosné lano	0,0	6,6
pravá kolejnice	0,7175	0,0
levá kolejnice	-0,7175	0,0
Země	0,0	-465

2.3.3. Propojení a svody

V modelu byla dále přidána propojení pravé a levé kolejnice (izolovaný styk) v pravidelné vzdálenosti 1 km od sebe. Kolejová propojení mezi první a druhou kolejí jsou v modelu po 5 km.

Nosné lano je s trolejí v modelu propojeno pomocí měrné svodové vodivosti 1000 S/km. Měrná svodová vodivost je také mezi kolejnicí a Zemí a to 0,5 S/km.

3. Výpočet

3.1. Dimenzování napájecích stanic

Dimenzování napájecích stanic bylo provedeno na základě předpokládaného průběhu výkonu na tratích Nedakonice – Říkovice a Otrokovice – Vizovice. Ostatní odbočné tratě a trať Brno – Přerov nejsou v simulaci zahrnuty. Výpočet byl proveden pro různé stavy napájení.

3.1.1. Základní stav napájení

po realizaci elektrizace tratě do Vizovic je tento:

TT Nedakonice

- napájí jednostranně po SpS Rohatec

TT Otrokovice

- napájí jednostranně úsek Nedakonice – Otrokovice [1]
- napájí jednostranně úsek Otrokovice – Vizovice[2]
- napájí úsek Otrokovice – Říkovice oboustranně proti TT Říkovice

TT Říkovice

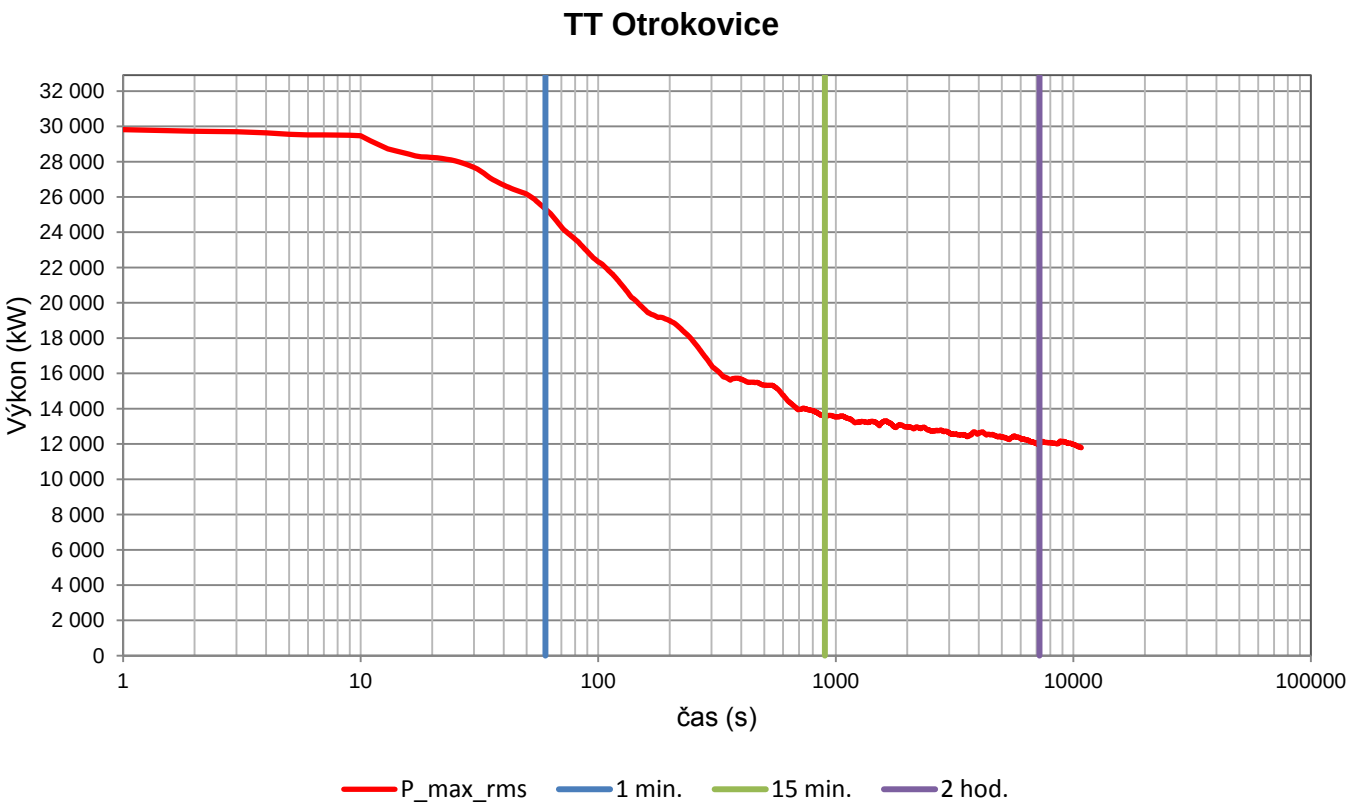
- napájí úsek Otrokovice – Říkovice oboustranně proti TT Otrokovice
- částečně se podílí i na napájení úseků Nedakonice – Otrokovice a Otrokovice – Vizovice

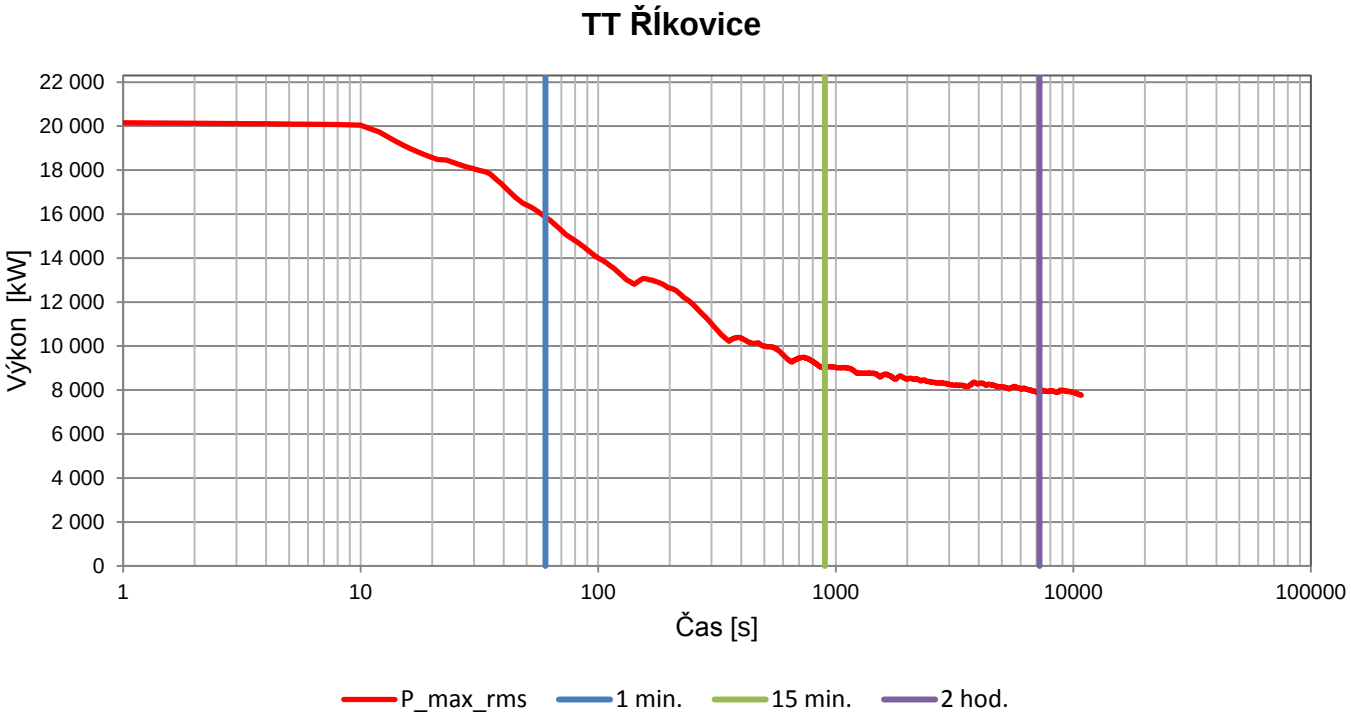
Ve výhledovém stavu se počítá s tím, že TT Říkovice bude napájet také úsek z Přerova směrem na Brno a odbočnou trať 303 směrem na Kojetín a Valašské Meziříčí. Tyto tratě nejsou sice součástí simulace, ale je třeba s nimi počítat při dimenzování transformátorů v TT Říkovice.

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

[1] Pokud budou TT Otrokovice napájet soufázově proti TT Říkovice, tak se bude TT Říkovice podílet na napájení i úseku Nedakonice – Otrokovice.

[2] Pokud budou TT Otrokovice napájet soufázově proti TT Říkovice, tak se bude TT Říkovice podílet na napájení i úseku Otrokovice – Vizovice.





Špičkové výkony

TT Otrokovice $P_{1min.}$ = 25,3MW $P_{15min.}$ = 13,6MW $P_{2hod.}$ = 11,9MW

TT Říkovice $P_{1min.}$ = 15,9MW $P_{15min.}$ = 9,0MW $P_{2hod.}$ = 7,8MW

3.1.2. TT Otrokovice mimo provoz

Pokud bude TT Otrokovice mimo provoz, tak po realizaci elektrizace tratě do Vizovic je pro tento případ výchozí stav napájení tento:

TT Nedakonice

- napájí jednostranně po SpS Rohatec
- napájí jednostranně po neutrální pole před Otrokovicemi

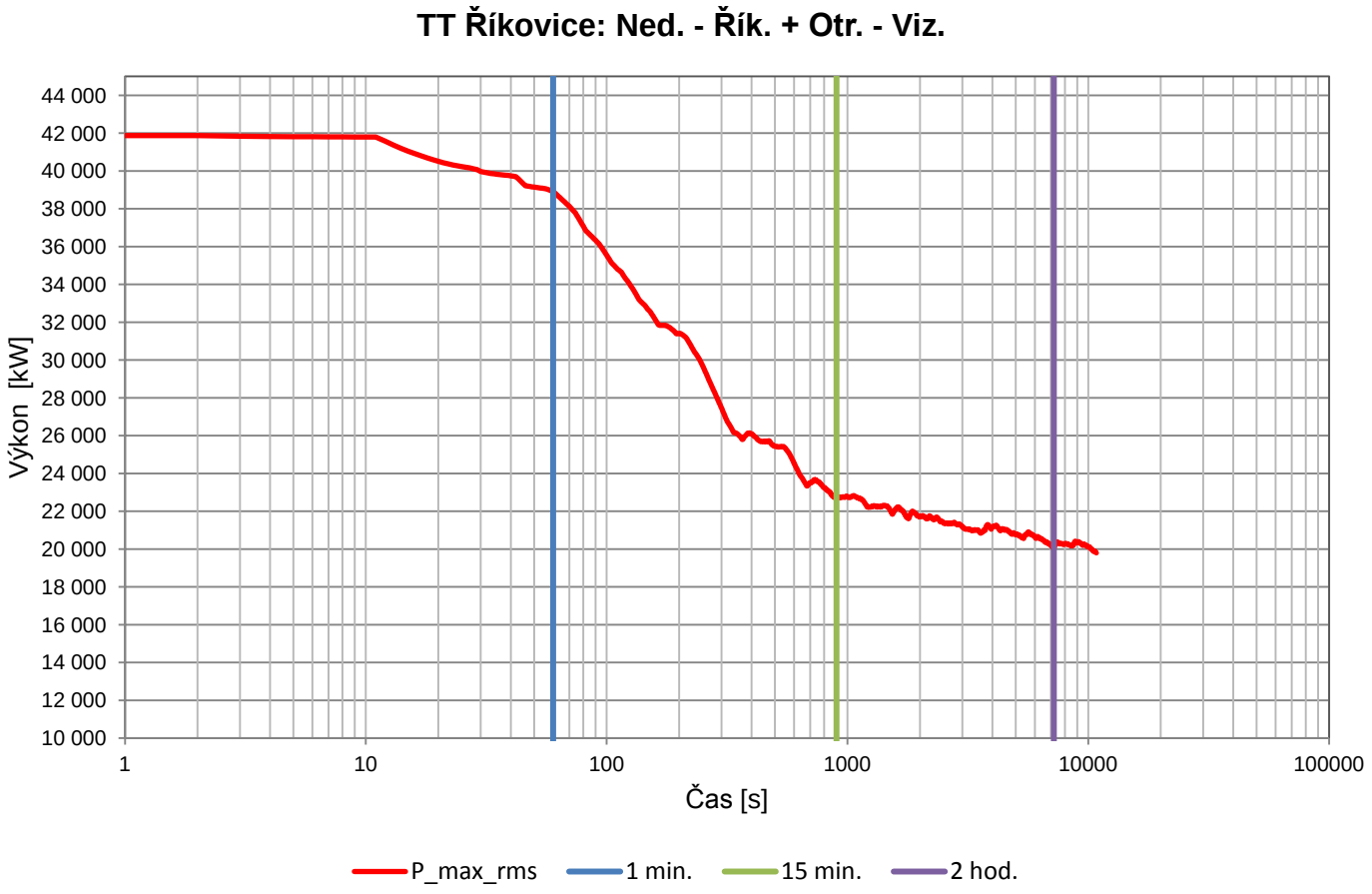
TT Otrokovice

- mimo provoz

TT Říkovice

- napájí jednostranně úsek Otrokovice – Říkovice
- Přes napáječe v TT Otrokovice napájí jednostranně úsek Otrokovice – Vizovice

V simulaci nicméně byla prověřena i ta možnost, že by TT Říkovice napájela celou řešenou oblast od Nedakonic po Říkovice včetně trati Otrokovice – Vizovice. Potom by průběh špičkového výkonu v závislosti na délce jeho trvání byl následující:



$P_{1min.}$ = 38,9MW $P_{15min.}$ = 22,7MW $P_{2hod.}$ = 20,0MW

3.1.3. TT Říkovice mimo provoz

Pokud bude TT Říkovice mimo provoz, tak po realizaci elektrizace tratě do Vizovic je pro tento případ výchozí stav napájení tento:

TT Nedakonice

- napájí jednostranně po SpS Rohatec
- napájí jednostranně po neutrální pole před Otrokovicemi

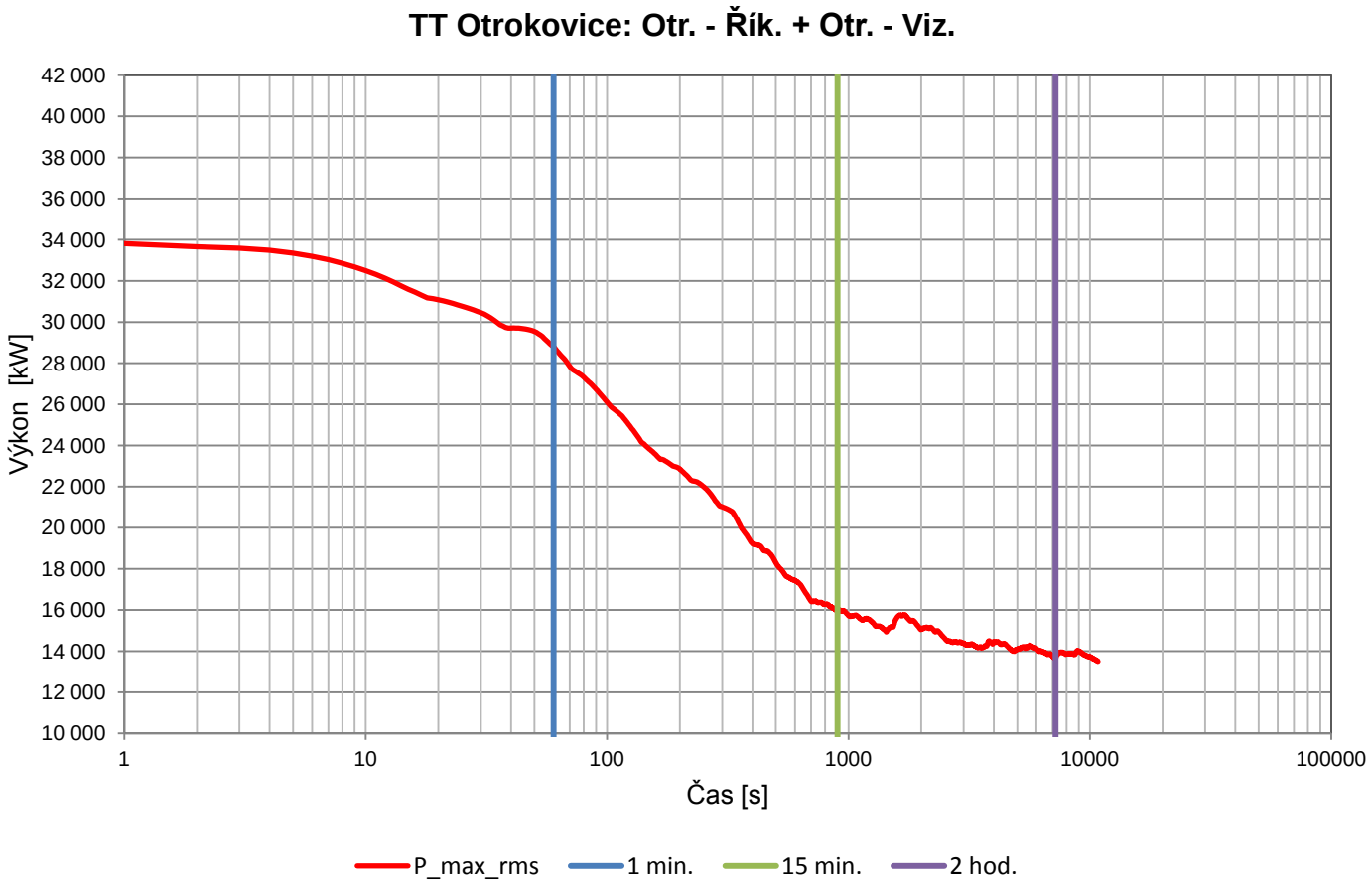
TT Otrokovice

- napájí jednostranně úsek Otrokovice – Říkovice
- napájí jednostranně úsek Otrokovice – Vizovice

TT Říkovice

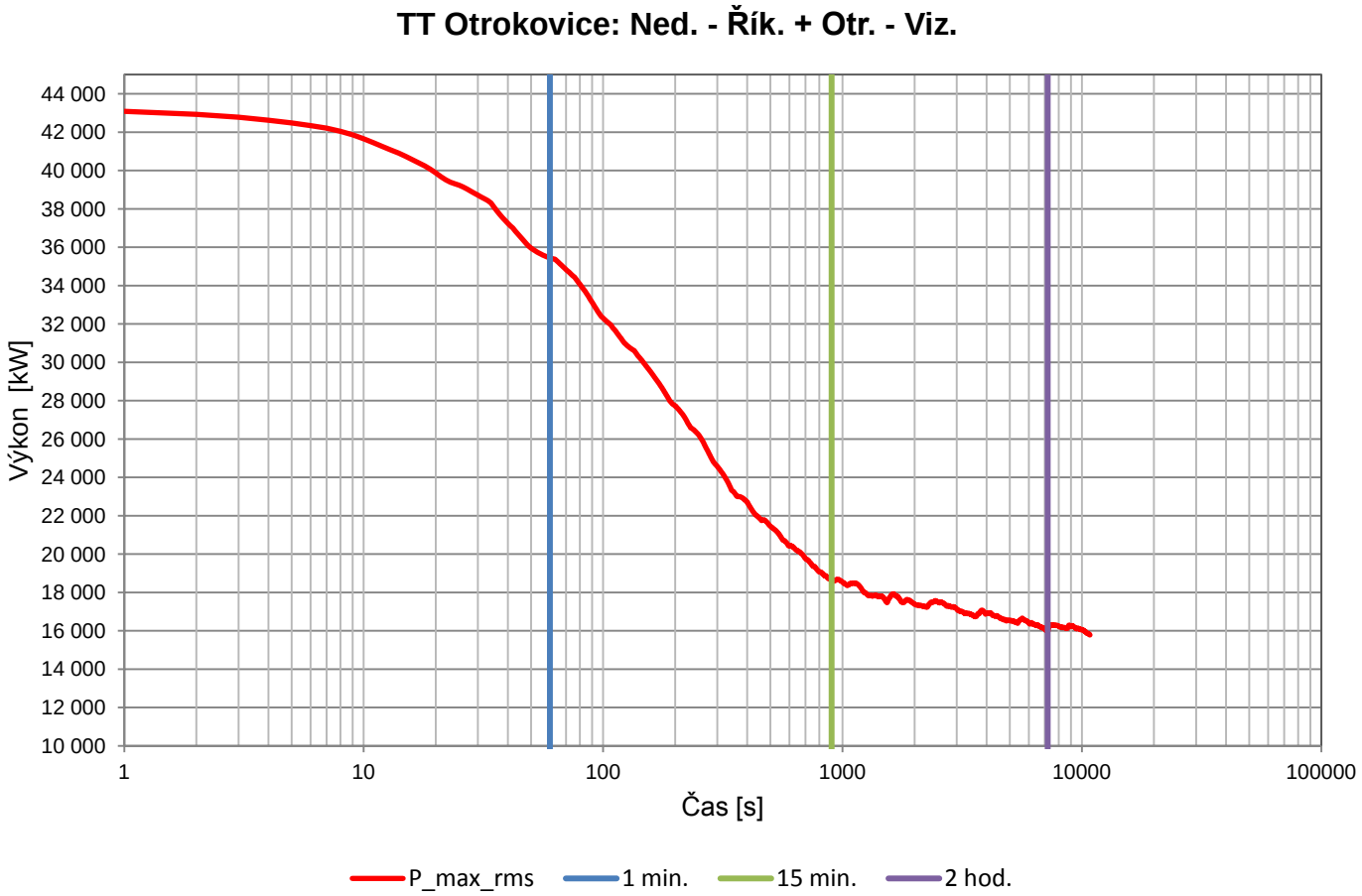
- mimo provoz

Průběh špičkového výkonu v závislosti na délce jeho trvání potom bude následující:



$P_{1min.}$ = 28,8MW $P_{15min.}$ = 15,9MW $P_{2hod.}$ = 13,6MW

V simulaci nicméně byla prověřena i ta možnost, že by TT Otrokovice napájela celou řešenou oblast od Nedakonic po Říkovice včetně trati Otrokovice – Vizovice. Potom by průběh špičkového výkonu v závislosti na délce jeho trvání byl následující:



$P_{1min.}$ = 35,4MW $P_{15min.}$ = 18,6MW $P_{2hod.}$ = 15,9MW

3.1.4. Dimenzování TNS

V Otrokovicích se navrhuje měnič se špičkovým výkonem 2x15MW a v Říkovicích se navrhuje měnič se špičkovým výkonem 1x15MW s výhledem na pozdější doplnění druhého. Celkem tedy bude pro celou řešenou oblast Nedakonice – Říkovice a Otrokovice – Vizovice k dispozici 3x15MW s tím, že se předpokládá, že stav n-1 znamená, že pojedou vždy minimálně dva měniče s celkovým výkonem 30MW.

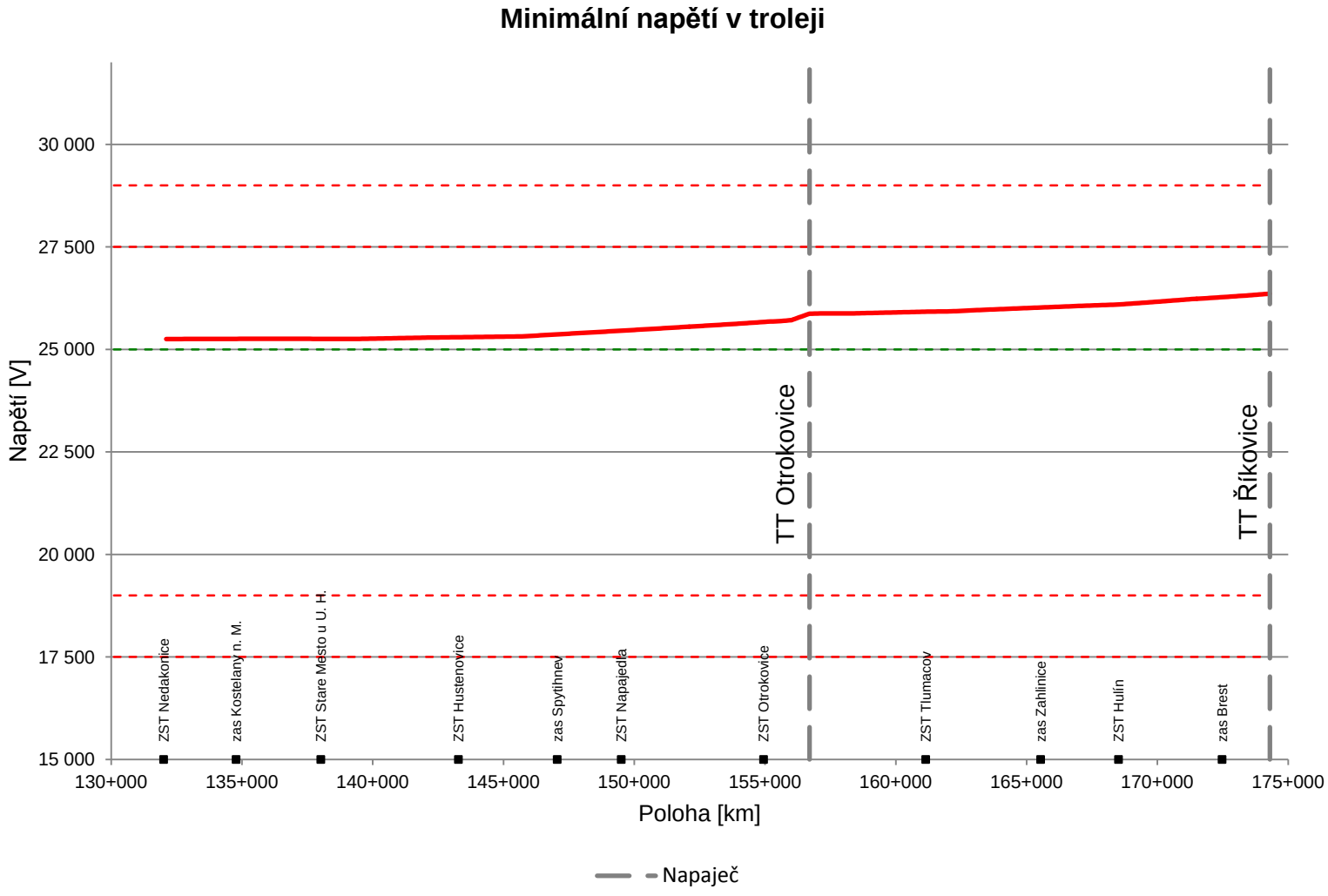
Aby navržené dimenzování TNS pokrylo plně požadavky zadaného dopravního zatížení i při stavu n-1, je potřeba zajistit spolupráci všech tří TNS. Při této spolupráci vychází celková sekundová špička v řešené oblasti 43MW. Spolupráci je navíc potřeba nastavit tak, aby byl odebíraný výkon rovnoměrně rozdělen mezi všechny tři TNS. Pokud budou v provozu všechny tři měniče o celkovém výkonu 45MW, tak není potřeba, aby TNS Nedakonice napájela směrem na Otrokovice.

3.2.Dimenzování trakčního vedení

U stávajícího trakčního vedení je navržena demontáž zesilovacího vedení a výměna nosného lana. Po realizaci tak bude v úseku Nedakonice – Říkovice trakční vedení o sestavě 150Cu + 70Bz. Za pomocí softwaru byla simulována dopravní špička dle předpokládaného grafikonu a výsledky jsou popsány níže.

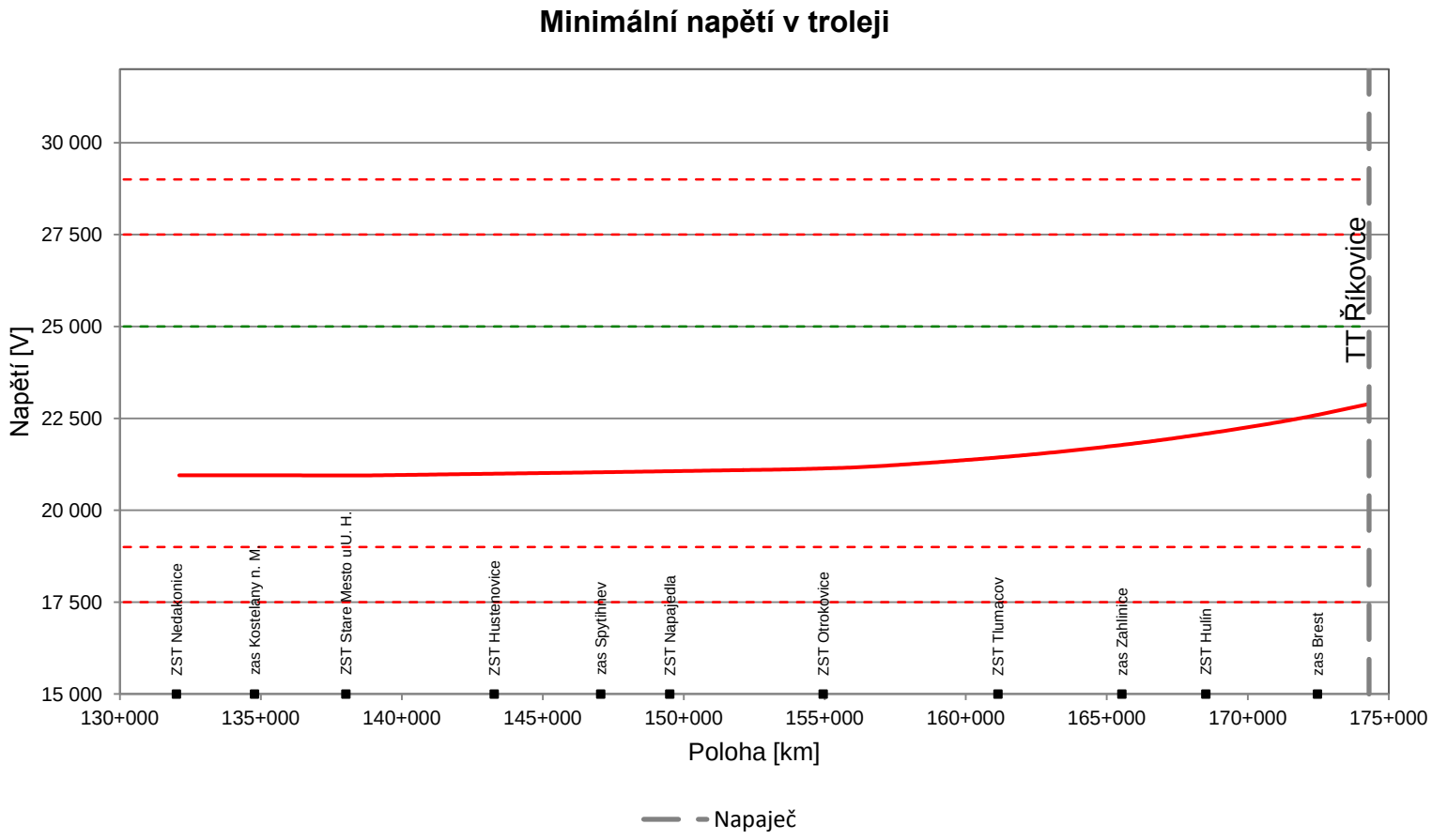
3.2.1. Minimální napětí v troleji při běžném stavu

Při základním stavu napájení neklesne napětí v troleji pod 25kV viz graf:



3.2.2. Minimální napětí v troleji při výpadku TT Otrokovice

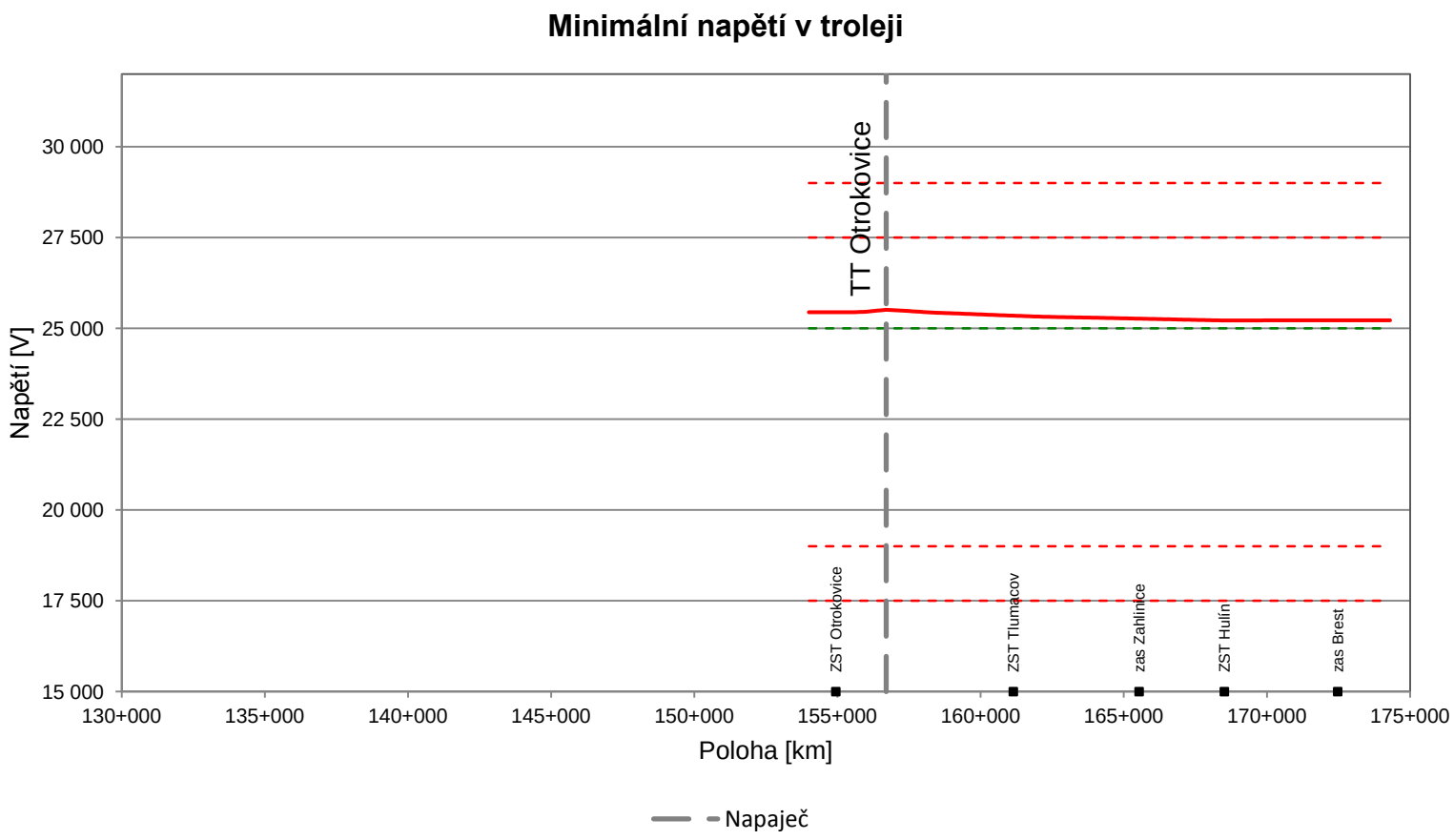
Při výpadku TT Otrokovice a za předpokladu, že TT Říkovice napájí až po Nedakonice a to včetně trati Otrokovice – Vizovice, bude situace vypadat následovně:



Z grafu vyplývá, že největší úbytek napětí při tomto stavu napájení je již v samotné napájecí stanici, kde je na výstupu pouze 22,9kV (ΔU_{TNS} = 4,5kV). Na konci napájeného úseku je pak napětí v troleji 21,1kV (ΔU_{TV} = 1,8kV). Tento stav je velmi mimořádný, protože při výpadku TT Otrokovice je navrženo, aby úsek Nedakonice – Otrokovice napájela TT Nedakonice. I v tomto mimořádném případě by ale byl provoz v řešené oblasti zachován. Pokud by navíc měnič stabilizoval výstupní napětí v TT Říkovice, tak by byly splněny i požadavky dle TSI ENE. Omezujícím faktorem by tak při tomto stavu bylo nastavení ochran v napájecí stanici.

3.2.3. Minimální napětí v troleji při výpadku TT Říkovice

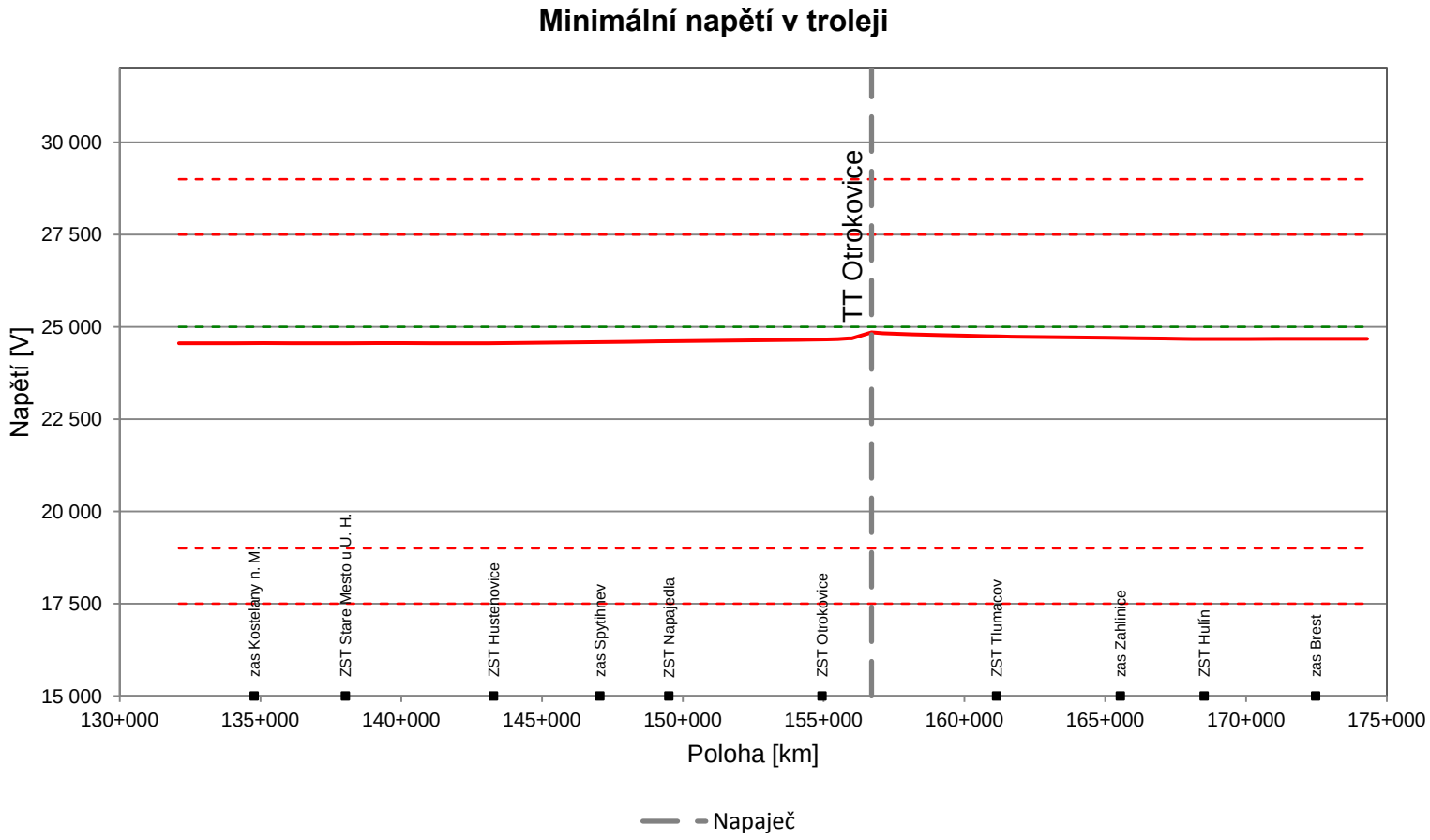
Při výpadku TT Říkovice platí stav napájení viz. bod 3.1.3. V úseku napájeném z TT Otrokovic bude situace následující:



Z grafu je vidět, že i při uvažované dopravě na trati Otrokovice – Vizovice, neklesne v řešeném úseku napětí v troleji pod 25kV.

ΔU_{TNS} = 2kV ΔU_{TV} = 0,3kV

Pokud by TT Otrokovice napájela vše, tak bude průběh minimálního napětí v troleji vypadat takto:



Napětí neklesne pod 22,5kV a jsou tak splněny požadavky dle TSI ENE.

ΔU_{TNS} = 2,7kV ΔU_{TV} = 0,3kV

3.2.4. Proudová zatížitelnost vodičů

Max. proudové zatížení sestavy 150Cu + 70Bz je 1077A. Při uvažovaném středním napětí 23kV to znamená dostupný výkon 24,8MW pro každou napájenou stopu. Průřez vodičů je tedy více než dostačující.

4. Závěr

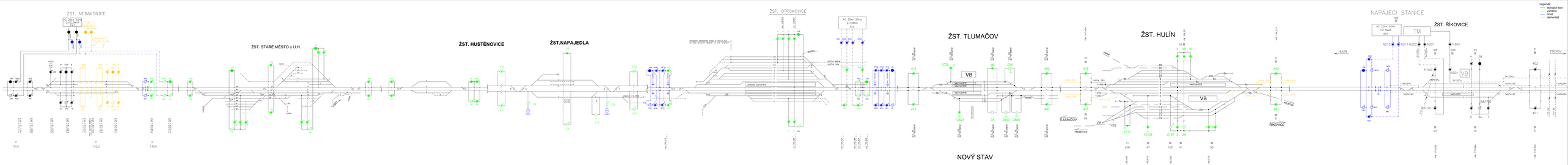
Z výsledků vyplývá, že navržený výkon napájecích stanic spolu s posuzovanou sestavou trakčního vedení vyhoví, musí být ale splněny některé základní předpoklady, které budou řešeny v dalším stupni projektové dokumentace.

V dalším stupni projektu je potřeba proto vyřešit nastavení spolupráci TNS Otrokovice s TNS Říkovice a TNS Nedakonice a to zejména:

- Nastavení a spolupráci zkratových ochran.
- Zvolit správnou charakteristiku a výstupního napětí na výkonu napájecí stanice či okolních napájecích stanic.
- Zvolit správnou charakteristiku výstupního úhlu napětí na výkonu napájecí stanice či okolních napájecích stanic.

Vypracoval:

Jiří Podhradský


ŽST. NEDAKONICE
AC 25kV 50Hz
2x150MVA
SFC
ŽST. STARÉ MĚSTO u U.H.
ŽST. HUSTĚNOVICE
ŽST.NAPAJEDLA
ŽST. OTROKOVICE
AC 25kV 50Hz
2x150MVA
SFC
ŽST. TLUMAČOV
VB
ŽST. HULÍN
VB
TLUMAČOV
PŘEROVEC
ŘÍKOVICE
NAPÁJECÍ STANICE
AC 25kV 50Hz
1x15MVA
SFC
TM
ŽST. ŘÍKOVICE
VB
HULÍN
PŘÍKOVICE
NOVÝ STAV
Legenda:
zůstávající
výměna
nová
demontáž