

Číslo změny:	Obsah změny:	Datum změny:
01	Zpracování připomínek	10.2016
02	-	-
03	-	-

Investor:	Ministerstvo dopravy	Ministerstvo dopravy nábřeží Ludvíka Svobody 1222 110 15 Praha 1
-----------	----------------------	--

Zhotovitel:	SDRUŽENÍ SP + SPB TSI ENE	Zastoupené společnosti SUDOP PRAHA a.s. Olšanská 1a, 130 80 Praha 3 tel.: +420 267 094 111 e-mail: praha@sudop.cz
 		
Hlavní inženýr projektu: ING. JAROSLAV PEROUTKA		Datum: 07/2016

Středisko: 23 - TRAKČNÍ VEDENÍ			
Vedoucí střediska:	Odpovědný projektant SO, IO, PS:	Vypracoval:	Kontroloval:
ING. JIŘÍ MOLÁK	ING. JIŘÍ PELC	JIŘÍ PODHRADSKÝ	ING. JIŘÍ MOLÁK

Název akce:	Číslo smlouvy:
Koncepce přechodu na jednotnou napájecí soustavu ve vazbě na priority programového období 2014-2020 a naplnění požadavků TSI ENE	15 523 208
	Projektový stupeň: Studie
Část:	Datum:
	07/2016
ENERGETICKÉ VÝPOČTY	Číslo části: 5.

**Studie „Koncepce přechodu na jednotnou napájecí soustavu ve
vazbě na priority programového období 2014-2020 a naplnění
požadavků TSI ENE“**

5. ENERGETICKÉ VÝPOČTY

Objednatel

Česká republika – Ministerstvo dopravy

Zpracovatel

SUDOP Praha a. s.

SUDOP Brno, spol.sr.o.

Objednatel:

Česká republika – Ministerstvo dopravy
nábřeží Ludvíka Svobody 1222
110 15 Praha 1

Zhotovitel:

SUDOP PRAHA a.s
Olšanská 1a
130 80 Praha 3

SUDOP Brno, spol. s r.o.
Kounicova 688/26
611 36 Brno – střed

Obsah

5.1	Úvod	4
5.2	Historie a současnost.....	4
5.3	Dělení železničních tratí.....	5
5.3.1	Celostátní tratě.....	5
5.3.2	Ostatní tratě	6
5.3.3	Společné požadavky pro všechny tratě	7
5.4	Požadavky dopravy	7
5.4.1	Stanovení kapacity napájecí soustavy.....	8
5.5	Vstupní podklady a parametry	10
5.5.1	Kolejnice	10
5.5.2	Trolejové vedení.....	11
5.6	Posouzení stávajícího stavu a navržené úpravy	11
5.6.1	Posouzení napájecího úseku	11
5.6.2	Výkony napájecích stanic	14
5.6.3	Spotřeba elektrické energie.....	15
5.7	Návrh jednotné trakční soustavy AC 25kV 50Hz	15
5.7.1	Posouzení napájeného úseku.....	15
5.7.2	Dimenzování napájecích stanic.....	16
5.7.3	Spotřeba elektrické energie.....	17
5.8	Podrobnější posouzení vybraného traťového úseku.....	17
5.8.1	Zadání	17
5.8.2	Stávající DC 3kV s lokomotivou Škoda 363 (2x NEx + EC)	18
5.8.3	Stávající DC 3kV s lokomotivou Vectron (2x NEx + EC).....	23
5.8.4	Situace při výpadku TM Otrokovice.....	25
5.8.5	Stávající DC 3kV s lokomotivou Vectron (2x Pn + EC).....	26
5.8.6	Varianta posílené DC 3kV	27
5.8.7	Varianta AC 25kV 50Hz	29
5.8.8	Celkové hodnocení simulace	30
5.9	Vysokorychlostní tratě (VRT).....	30
5.10	Závěr	31
5.11	Energetické výpočty metodou středních úbytků napětí.....	32

5.1 Úvod

V současné době došlo v relativně krátké době k několika zásadním změnám na tratích v ČR, které mají velký vliv na celý trakční obvod, a je proto nutné posoudit, jaký dopad to v budoucnu může mít. Mezi tyto hlavní změny patří zejména:

- Nástup nových lokomotiv, které mohou mít maximální výkon větší jak 6 MW se zabudovanou automatickou regulací výkonu.
- Zvýšení minimální hranice přípustného napětí na pantografu vlaku na 2,7kV v DC soustavě a 22kV v AC soustavě.
- Změna technologie výroby kolejnic z tvrdších materiálů, ale s vyšším elektrickým odporem.
- Zavedení taktové dopravy, která předpokládá více současných rozjezdů v železničních stanicích.
- Kratší následná mezidobí díky lepšímu zabezpečovacímu zařízení. Předpokládá se navíc, že se zavedením ETCS budou následná mezidobí ještě menší.
- Prodloužení délky nákladních vlaků až na 750m.
- Větší nárůst dopravy než byl očekáván, zejména na 1. a 3. koridoru Děčín – Praha – Ostrava.
- Zvýšení rychlosti jízdy vlaků (jak osobních, tak i nákladních) s důsledkem výrazného (třetí mocnina) růstu odebíraných výkonů a proudů (jejich tepelný účinek roste se šestou mocninou rychlosti).
- Zavedení rekuperačního brzdění, které přineslo požadavek i na opačný, než původně uvažovaný tok energie.
- Formulování nových technických požadavků (TSI a jimi vyžadované technické normy ČSN EN) a vznik zákonné povinnosti je dodržovat.
- Pokles účinnosti trakčního vedení v důsledku zvýšení odebíraných výkonů.
- Změna struktury plateb za elektrickou energii s výrazným negativním vlivem výkonových špiček (požadavek na rovnoměrnost odběru).
- Obtížná průchodnost krajinou velmi komplikuje budování nových připojení napájecích stanic k energetické distribuční síti.

Hlavním cílem energetických výpočtů zpracovaných v rámci této studie je proto posoudit stávající stejnosměrné napájení trakčního vedení s ohledem na výše uvedené změny dle TSI ENE a ČSN a porovnat úpravy, které by bylo nutné udělat pro zachování stejnosměrného napájení, s úpravami, kdyby se přešlo na jednotnou trakční napájecí soustavu AC 25kV 50Hz. Protože není možné v tak krátkém časovém úseku posoudit všechny napájecí stanice a úseky detailně, tak byl výpočet zjednodušen. Podrobnější výpočty se provedou až v rámci přípravných dokumentací či studií jednotlivých staveb.

5.2 Historie a současnost

O případném sjednocení systému napájení trakčního vedení se v ČR mluví prakticky od realizace první střídavě napájené trati. I když se časem ukázalo, že střídavá trakční soustava je efektivnější než stejnosměrná, tak se sjednocení a celkový přechod na jednotnou střídavě napájenou trakční soustavu zdál technicky složitý a ekonomicky neefektivní.

Současný systém napájení stejnosměrné části České Republiky se z hlediska rozmístění a počtu napájecích stanic prakticky od svého vzniku nezměnil. V době, kdy se v ČR navrhovalo rozmístění trakčních napájecích stanic, tak jezdily lokomotivy o maximálním výkonu 3-3,5MW). Následné mezidobí mezi těžkými Pn vlaky do 2500t bylo 10 minut a to při rychlosti 65-70km/h. Ostatní elektrická mezidobí určující minimální rozestup vlaků s ohledem na napájení byla vždy kratší než následná mezidobí, která byla omezena hlavně zabezpečovacím zařízením a propustností tratě. O tom svědčí i fakt, že předpis D24 určující elektrická mezidobí je beze změny od roku 1975. Vzhledem k tomu, že v tomto předpise se nepočítá s rychlostí 160km/h ani s lokomotivami o výkonu větším jak 6MW, tak jej nelze použít v rámci zpracování těchto energetických výpočtů a doporučuje se jej aktualizovat.

V současné době se už ale díky novým technologiím zkrátila následná mezidobí tak, že jsou v mnoha místech kratší než ta elektrická a napájení se tak stalo omezujícím prvkem v propustnosti trati. Stejnosemýrný systém tak přestává plně vyhovovat a ukazuje se, že pro spolehlivý provoz jej bude nutné posílit. Proto se zpracovává tato studie, aby zhodnotila, jestli by nebylo lepší místo investování do stejnosměrného systému postupně přejít na jednotný systém střídavý.

Stávající střídavá napájecí soustava se se změnami uvedenými výše vypořádala mnohem lépe, protože moderní lokomotivy s vyšším výkonem mají také lepší účinek, díky čemuž není nárůst odběru proudu takový jako ve stejnosměrném systému.

5.3 Dělení železničních tratí

V rámci studie jsou tratě rozdělené do dvou skupin podle jejich zařazení dle Prohlášení o dráze vydaného SŽDC na tratě celostátní a regionální. Z hlediska energetických výpočtů to znamená, že tratě celostátní musí splňovat požadavky nařízení komise (eu) č. 1301/2014 ze dne 18. listopadu 2014 o technické specifikaci pro interoperabilitu subsystému energie železničního systému v unii (dále jen TSI ENE). Regionální tratě byly posuzovány dle platných norem.

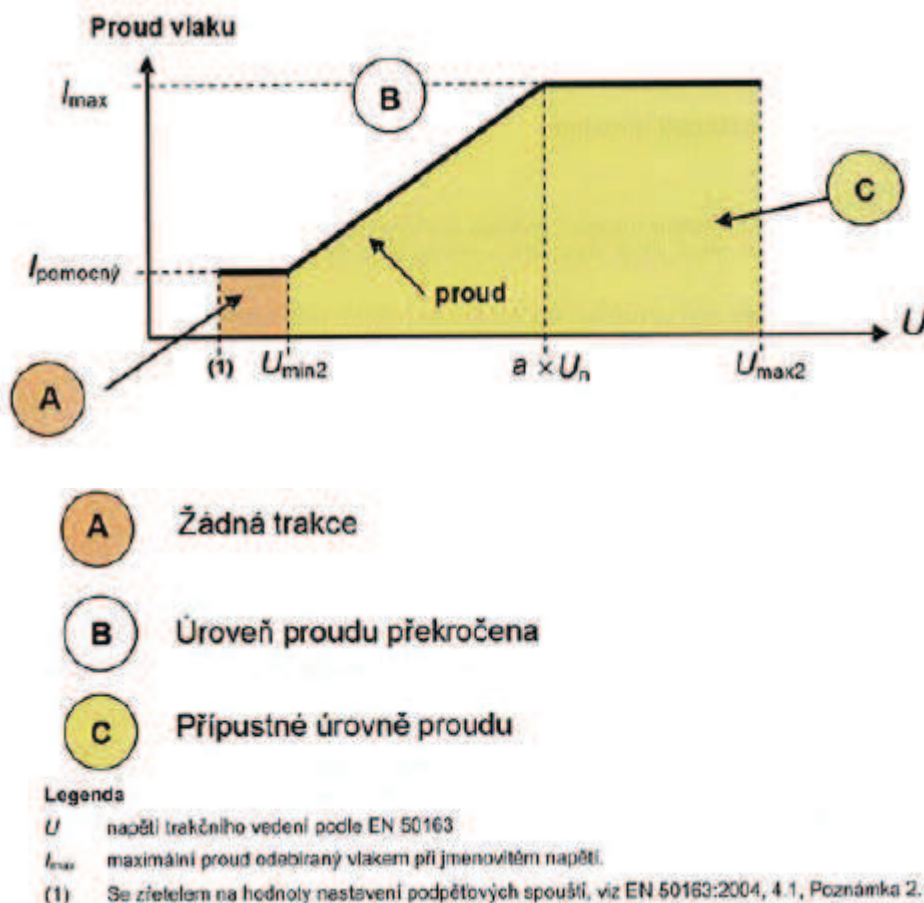
5.3.1 Celostátní tratě

Tyto tratě musí splňovat všechny požadavky dle ČSN jako ostatní tratě viz níže, ale k tomu ještě musí splňovat požadavky TSI ENE, kde jsou přísnější požadavky na úbytek napětí v troleji. Minimální hodnota pro střední užitečné napětí na pantografovém sběrači za normálních provozních podmínek (dále jen $U_{\text{střední}}$) viz. tabulka 3 v ČSN EN 50 388 ed.2:

Tabulka 3 – Minimální $U_{\text{střední}}$ užitečné na pantografovém sběrači

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

Tento požadavek vychází z trakční charakteristiky nových výkonných lokomotiv, které mají dle požadavku ČSN EN 50 388 ed.2 zabudovanou automatickou regulaci výkonu pro usnadnění stabilního provozu ve slabých napájecích sítích nebo při mimořádných provozních podmínkách:



Z výše uvedeného vyplývá, že za běžného stavu napájení a dopravního zatížení dle jízdního řádu, **nesmí napětí na pantografu vlaku klesnout pod 2,7kV**.

Jízdní řád je ze strany SŽDC navrhován na základě výpočtu tachogramu a jízdních dob podle trakčních charakteristik vozidel, platných pro jmenovité napětí na sběrači vozidla (3 000 V). Při nedodržení předpokládané úrovně napětí jsou výpočtem stanovené jízdní doby, a tedy ani jízdní řád, nesplnitelné.

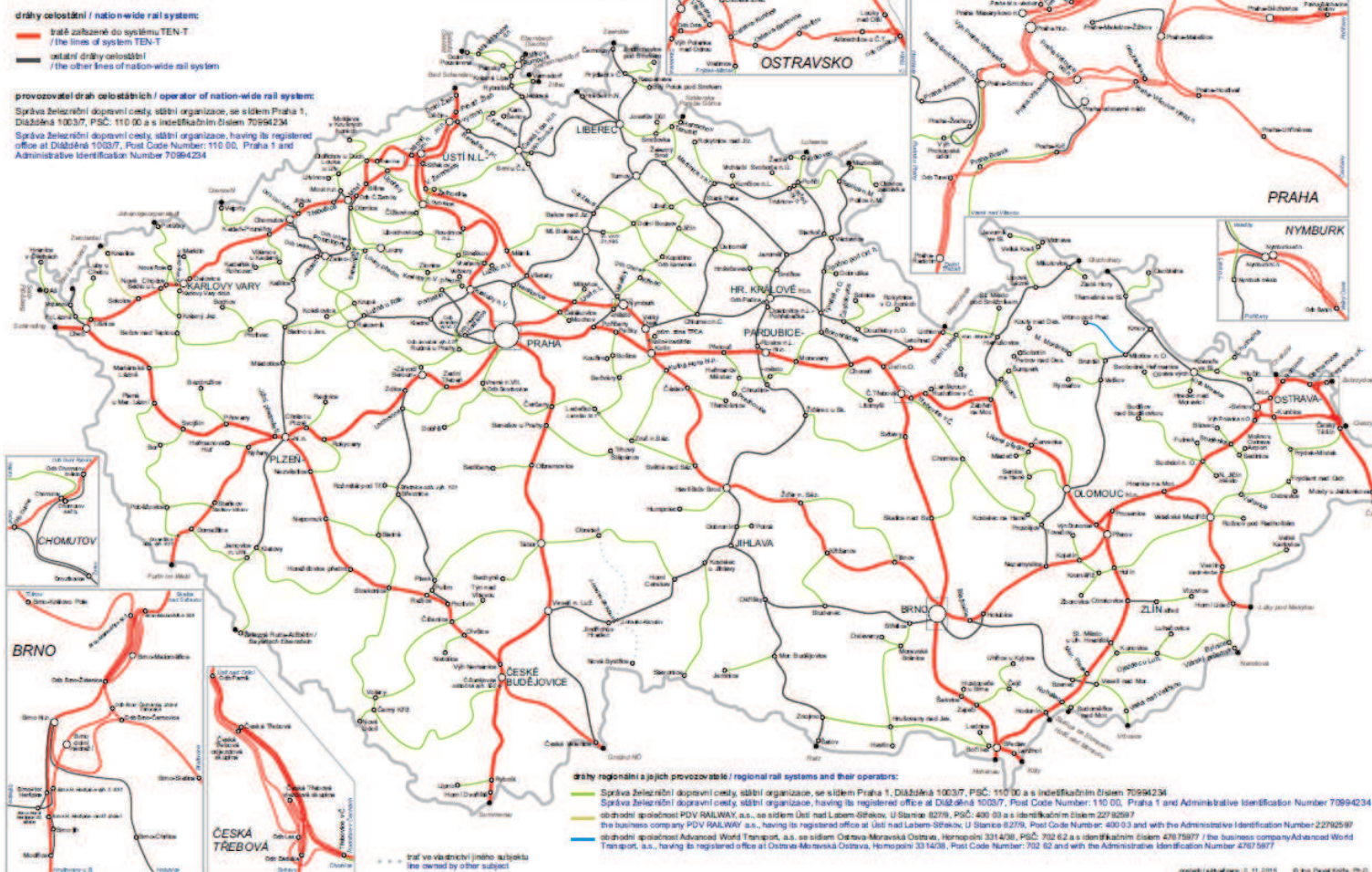
Dodržením požadavků dle normy TSI ENE dojde ke zvýšení kapacity většiny tratí a železničních uzlů.

5.3.2 Ostatní tratě

Zde není nutné dodržovat U_{min} 2,7kV, ale je nutné zvážit, zda pokles pod tuto úroveň nezpůsobí větší narušení plánovaného jízdního řádu, případně nebude-li nutné jízdní řád přizpůsobit novým lokomotivám a elektrickým soupravám, které budou mít výše zmíněnou regulaci výkonu vlaku.

V ČR je počet elektrizovaných regionálních tratí minimum viz obrázky, kde jsou celostátní tratě označeny červenou (TEN-T) a černou barvou. Regionální tratě jsou označeny zeleně nebo žlutě či modře.

M02 Kategorie drah a provozovatelé drah Category of railways and rail system operators



5.3.3 Společné požadavky pro všechny tratě

Kromě úbytků napětí v trolejovém vedení je potřeba zvážit, jaký vliv budou mít změny uvedené v úvodu také na:

- dovolené dotykové napětí
- ochrany před korozivními účinky bludných proudů
- maximální dovolené oteplení trakčního vedení
- instalovaný výkon trakčních napájecích stanic i s ohledem na jejich přetížitelnost
- maximální proudové zatížení stykových transformátorů
- plánovaný grafikon a následná mezidobí

5.4 Požadavky dopravy

Pro zajištění potřebné propustnosti tratí s ohledem na budoucí provoz byla stanovena minimální následná mezidobí pro jednotlivé tratě. Předpokládá se, že v budoucnu bude snaha slučovat vlaky do svazků, a proto byla zadavatelem studie vytvořena tabulka *Stanovení kapacity napájecí soustavy* s ohledem na současné a výhledové potřeby dopravy, kde jsou uvedeny maximální počty vlaků ve svazku (nejvíce 4) pro jednotlivé tratě. V tabulce jsou také uvedena následná mezidobí, která je nutné dodržet i z hlediska napájení. Počítá se tam s budoucím zavedením ETCS a zkrácením vzdáleností mezi vlaky. Jelikož to ale není zatím schváleno, tak se v rámci energetických výpočtů počítá s **minimálním následným mezidobím 3 minuty**.

V tabulce je rozlišena nákladní doprava (Nex) od místní (Os) a dálkové osobní dopravy (R). Níže jsou uvedeny

jednotlivé parametry typových vlaků:

typ vlaku	max. hmotnost	max. rychlost	max. výkon	účinnost vlaku	cosφ vlaku
Nex	2000 t	100 km/h	6500 kW	90%	0,95
Os	160 t	160 km/h	6500 kW	90%	0,95
R	490 t	160 km/h	4000 kW	90%	0,95

5.4.1 Stanovení kapacity napájecí soustavy

Kapacita byla stanovena na jednání se zadavatelem. Níže shrnut výsledek jednání:

Kategorie tratí

- B.1 Tratě se svazkováním osobní i nákladní dopravy
- B.2 Tratě se svazkováním nákladní dopravy
- B.3 Tratě se svazkováním osobní dopravy + jednotlivých tras nákladní dopravy
- B.4 Tratě s relativně volnými trasami

Kategorie stanic

Jednokolejná trať

- 1.a a) žst. s předjízdými kolejiemi pro nákladní dopravu:
 Křižování protijedoucích Nex/Pn vlaků
 Čas T : průjezd Nex jedním směremxkW
 Čas $T+1min$: rozjezd Nex opačným směremy kW v délcenkm
 Trolejové vedení musí umožnit přenos příkonu celkem (x+y) kW .

- 1.b b) žst. pro zastavování a křižování pouze osobní dopravy:
 Křižování protijedoucích R/Os vlaků
 Čas T : rozjezd R/Os jedním směremx kW v délcenkm
 Čas T : rozjezd R/Os opačným směremy kW v délcenkm
 Trolejové vedení musí umožnit přenos příkonu celkem (x+y) kW .

Dvoukolejná trať

- a) žst. uzlové
 Následné jízdy R, Nex, Os na následné mezidobí 3 min
- 2.a.i i. Čas T : rozjezd R; po dosažení traťové rychlosti v čase $T+3min$...xkW
 Čas $T+3min$: rozjezd Nexy kW v délcenkm
 Trolejové vedení musí umožnit přenos příkonu celkem (x+y) kW v jedné stopě.
- 2.a.ii ii. Čas T : rozj. R; po dosažení trať. rychlosti v čase $T+3min$, $T+4min$..xkW
 Čas $T+3min$: rozjezd prvního Nexy kW v délcenkm
 Čas $T+4min$: rozjezd druhého Nexz kW v délcenkm
 Trolejové vedení musí umožnit přenos příkonu celkem (x+y+z) kW v jedné stopě.
- 2.a.iii iii. Čas T : rozj. R; po dosažení trať. rychlosti v čase $T+3min$, $T+4min$.. x kW
 Čas $T+3min$: rozjezd Nexy kW v délcenkm
 Čas $T+4min$: rozjezd Osz kW v délcenkm
 Trolejové vedení musí umožnit přenos příkonu celkem (x+y+z) kW v jedné stopě.

b) žst. mezilehlé s předjízdňými kolejemi pro nákladní dopravu

Následné jízdy R/Nex, Nex/Pn na následné mezidobí 3 min

2.b.i

i. Čas T : průjezd R ...xkW

Čas $T+3min$: rozjezd Nexy kW v délcenkm

Trolejové vedení musí umožnit přenos příkonu celkem (x+y) kW v jedné stopě.

2.b.ii

ii. Čas T : průjezd Nex ...xkW

Čas $T+3min$: rozjezd Nex/Pny kW v délcenkm

Trolejové vedení musí umožnit přenos příkonu celkem (x+y) kW v jedné stopě.

2.b.iii

iii. Čas T : průjezd R ...xkW

Čas $T+3min$: rozjezd Nexy kW v délcenkm

Čas $T+4min$: rozjezd druhého Nexz kW v délcenkm

Trolejové vedení musí umožnit přenos příkonu celkem (x+y+z) kW v jedné stopě.

2.c

c) žst. s osobní dopravou

Následné jízdy Nex, Os na následné mezidobí 3 min

Čas T : průjezd NexxkW

Čas $T+3min$: rozjezd Osy kW v délcenkm

Trolejové vedení musí umožnit přenos příkonu celkem (x+y) kW v jedné stopě.

Výsledná tabulka:

Trať	Kategorie pro trať	Trasy v období 20 min	Následné mezidobí	Kategorie pro stanice		
		stav GVD 2015 (uvažováno nejvyšší zatížení) - v případě svazku 2 Nex vlaků mezi vlaky os.dopravy využívat nejkratší následné mezidobí	Požadované nejkratší následné mezidobí mezi 2 rozjezdy nebo průjezdy vlaků (rozjezd vlaku po projíždějším vlaku bude na kratší období, a sice po uvolnění vzdalovacího úseku)	železniční stanice	Možné následné jízdy / u jednokolejných tratí současně rozjezdy opačným směrem	kategorie
Choceň - Česká Třebová	B.1	R-Nex-Nex-R / R-Nex-Os-R	2 min	všechny stanice a odb. Parník	Rpr+Nroz+Nroz	A.2.b.iii
Přerov - Hranice na Moravě	B.1	Nex-Nex-Os-R	2 min	Přerov, Hranice na Moravě	Rroz+Nroz+Nroz	A.2.a.ii
Hranice na Moravě - Ostrava Svinov	B.1	R-Nex-Nex-R	2 min	Hranice na Moravě, Ostrava Svinov	Rroz+Nroz+Nroz	A.2.a.ii
Ostrava Svinov - Bohumín	B.1	Os-R-Nex-Nex	2-3 min	Ostrava hl.n., Bohumín	Rroz+Nroz+Nroz	A.2.a.ii
Lysá nad Labem - Kolín	B.1	R-Nex-Nex-Os	2 min	Lysá n.L., Nymburk hl.n., Kolín	Rroz+Nroz+Nroz	A.2.a.ii
Kolín - Choceň	B.1 (výhledově B.3)	R-Nex-Nex-R / R-Nex-Os-R	2-3 min	Kolín, Pardubice	Rroz+Nroz+Nroz	A.2.a.ii
Ústí nad Labem Střekov - Lysá nad Labem	B.2	Os-Nex-Nex-R	3 min	Lysá n.L., Mělník, Ústí n.L. Střekov	Rroz+Nroz+Nroz / Npr+Nroz	A.2.a.ii / A.2.b.ii
Praha - Kolín	B.3	R-Os-Nex-R-R	2 min	Kolín	Rroz+Nroz+Oroz	A.2.a.iii
Česká Třebová - Zábřeh na Moravě	B.3	R-Nex-R-R	3 min	Zábřeh na Moravě	Rroz+Nroz	A.2.a.i
Zábřeh na Moravě - Olomouc	B.3	R-R-Nex-Nex / R-R-Os-Nex	2-3 min	Zábřeh na Moravě	Rroz+Nroz	A.2.a.i
Olomouc - Přerov	B.1	Os-Nex-Nex-R	2 min	Olomouc	Rroz+Nroz+Oroz	A.2.a.iii
Bohumín - Dětmorovice	B.3	R-Nex-Nex-Os	3-5 min	Bohumín, Český Těšín	Rroz+Nroz	A.2.a.i
Dětmorovice - Český Těšín	B.4	Nex-Os	3-5 min	Český Těšín	Rroz+Nroz	A.2.a.i
Český Těšín - Mosty u Jablunkova st.hr.	B.3	Os-R-Nex	3-5 min	Český Těšín	Rroz+Nroz / Npr+Nroz	A.2.a.i / A.2.b.ii
Ostrava Svinov - Opava východ	B.3	bez svazkování		všechny stanice	Oroz+Oroz	A.1.b
Přerov - Nedakonice	B.3	Nex-Nex-Nex-Os / Os-Nex-Nex-R	2-3 min	Přerov, Otrokovice	Rroz+Nroz	A.2.a.i
Praha - Lysá nad Labem	B.3	Os-Nex-Os-R	2 min	Lysá n.L.	Rroz+Nroz+Oroz	A.2.a.iii
Kralupy nad Vltavou - Praha	B.3	Nex-R-Os-Nex	2 min	Kralupy nad Vltavou	Rroz+Nroz+Oroz	A.2.a.iii
Praha - Beroun	B.3	R-Os-Nex-Os	2 min	Beroun	Rroz+Nroz+Oroz	A.2.a.iii
Ostrava Svinov - Havířov - Český Těšín	B.4	Os-Nex-Nex	3-5 min	Ostrava Kunčice	Nroz	
Hranice na Moravě - Horní Lideč st.hr.	B.4	R-Nex	3-5 min	Hranice na Mor., Val. Meziříčí, Hor. Lideč	Rroz+Nroz	A.2.a.i
Zábřeh na Moravě - Šumperk	B.4	R-R	5 min	všechny stanice	Oroz+Oroz	A.1.b
Česká Třebová - Svitavy	B.4	R-Os-Nex	3 min	odb. Zádulka	Rpr+Nroz	A.2.b.i
Ústí nad Orlicí - Lichkov st.hr.	B.4	bez svazkování		všechny stanice	Oroz+Oroz / Npr+Nroz	A.1.b + A.1.a
Pardubice hl.n. - Hradec Králové	B.4	bez svazkování		všechny stanice	Oroz+Oroz	A.1.b
Hradec Králové - Jaroměř	B.4	R-Os	5 min	všechny stanice	Oroz+Oroz	A.1.b
Hradec Králové - Choceň	B.2	výhledový provoz Nex-Nex-R	3 min	Hradec Králové, Týniště nad Orlicí	Rroz+Nroz	A.2.a.i
Kolín - Kutná Hora hl.n.	B.4	Os-R-Nex	3-5 min	Kolín, Kutná Hora	Nroz	
Poříčany - Nymburk hl.n.	B.4	bez svazkování		všechny stanice	Oroz+Oroz	A.1.b
Děčín východ - Ústí nad Labem Střekov	B.4	Nex-Nex	5 min	Děčín vých.	Nroz	
Děčín hl.n. - Ústí nad Labem hl.n.	B.4	R-Nex-Os	2-3 min	Děčín hl.n.	Rroz+Nroz+Oroz	A.2.a.iii
Ústí nad Labem hl.n. - Kralupy nad Vltavou	B.4	Os-Nex-Nex-R	2-3 min	Ústí n.L. jih, Lovosice jih, Hněvice	Npr+Nroz	A.2.b.ii
Praha - Benešov	B.4	Os-Nex-Os / R-Os-Os	3-5 min	Praha Uhřetěves	Rroz+Nroz+Oroz	A.2.a.iii
Kadaň - Prunéřov - Blatná	B.4	N-Os-N	3-5 min			
Blatná - Teplice - Ústí nad Labem západ	B.4	N-Os	3-5 min			
Blatná - Úpouřiny - Ústí nad Labem západ	B.4	N-N	5 min			
Most - Zatec - Březno u Chomutova	B.4	N-N				
Velký Osek - Hradec Králové	B.2	výhledový provoz Nex-Nex-R	3 min	Hradec Králové	Rroz+Nroz+Oroz	A.2.a.iii

5.5 Vstupní podklady a parametry

Pro stanovení odporu celého trakčního obvodu se vycházelo z metodiky předpisu SR 34(E) platného od roku 1979. Výsledné hodnoty byly ale upraveny dle současného stavu viz níže.

5.5.1 Kolejnice

Jelikož se od doby vydání SR 34(E) změnil postup výroby i materiálové složení kolejnic, bylo objednáno u TÚDC měření skutečného elektrického odporu kolejnice. Z výsledků vyplývá, že současné kolejnice mají podstatně větší odpor, než jak je uvedeno v předpisu SR 34(E). V energetických výpočtech se proto počítá se skutečně naměřenými hodnotami odporu kolejnice:

Specifický odpor oceli kolejnice dle měření TÚDC:

Kolejnice S49	0,246 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$
Kolejnice UIC 60	0,246 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$

Předpoklady pro výpočet výsledného odporu kolejnice:

Teplota okolí:	40 ° C
Oteplení kolejnice:	20 ° C
Opotřebení kolejnice:	2 %

Výsledný odpor bezstykové koleje:

2 kolejnice S49	0,0240 Ω /km
2 kolejnice UIC 60	0,0196 Ω /km

Předpokládaný odpor koleje s izolovanými kolejovými styky překlenutými stykovou tlumivkou 1 000 A (připojení: 4 ocelová lana 169 mm², délka 2,5 m, dvě měděné vložky, 1 styk na 1 000 m):

2 kolejnice S49	0,0252 Ω /km
2 kolejnice UIC 60	0,0208 Ω /km

Pro tratě TEN-T bylo uvažováno s kolejnicemi UIC 60 (0,0208 Ω /km), pro ostatní tratě bylo uvažováno s kolejnicemi S49 (0,0252 Ω /km).

5.5.2 Trolejové vedení

Odpor trolejového vedení pro výpočet úbytků napětí byl stanoven na základě předpokladů, které vychází z dostupné odborné literatury (např.: Prof. Ing. František Jansa, DrSc. – Prof. Ing. Štěpán Peleňský, 1976. *NAPÁJENÍ ELEKTRICKÝCH DRAH III.* nebo Ing. Jiří Svoboda, 1979. *Trakční vedení.*).

Hodnoty, na které je trakční vedení navrhováno:

Teplota okolí	40 °C
Oteplení trakčního vedení:	60 °C
Opotřebení trolejového drátu:	20 %

Výsledný odpor trolejového vedení:

trolej	nosné lano	zesilovací lano	celkový průřez	rel. odpor
150 Cu + 120 Cu	-	-	240 mm ²	0,099 Ω /km
150 Cu + 120 Cu	1 x 120Cu	-	360 mm ²	0,066 Ω /km
150 Cu + 120 Cu	2 x 120Cu	-	480 mm ²	0,050 Ω /km

5.6 Posouzení stávajícího stavu a navržené úpravy

Při posuzování stávajícího stavu byly zpracovány podrobné en. výpočty na vybraném úseku, ze kterých se potom vycházelo při posuzování také ostatních tratí. Zároveň byla pro každou napájecí stanici graficky zpracována stávající přenosová schopnost trakčního vedení viz bod 5.11 *Energetické výpočty metodou středních úbytků napětí*, kde je u každé napájecí stanice graficky znázorněno, jaký výkon je trakční vedení schopno přenést v závislosti na délce napájení.

5.6.1 Posouzení napájecího úseku

V rámci energetických výpočtů se kontrolovalo, zda napájecí úsek vyhovuje z hlediska:

A. Dovolený úbytek napětí v trolejovém vedení

Jak už bylo napsáno výše, pro celostátní tratě bylo uvažováno minimální dovolené napětí na pantografu vlaku 2,7kV při normálním stavu napájení. To znamená, že jsou v provozu všechny měnírny, na trati není žádná výluka a dopravní zatížení je dle jízdního řádu. Pro regionální tratě bylo uvažováno s větším poklesem napětí až na 2kV, pokud to ale neovlivní navržený jízdní řád z důvodu automatické regulace výkonu vlaku.

Mimořádné stavy napájení nebyly v rámci této studie řešeny.

Pokud posuzovaný napájecí úsek nevyhoví ani s dvěma zesilovacími lany, tak je navrženo ve variantě bez projektu vložit další napájecí stanici. S více jak dvěma zesilovacími lany nebylo počítáno, protože by to zřejmě vyvolalo nutnost rekonstrukce trakčního vedení v celém úseku. Navíc při použití více jak dvou

zesilovacích lan teče trakční proud převážně zesilovacím vedením a dochází tak velkému nárazovému proudovému zatížení v místech propojení troleje se zesilovacím vedením. Muselo by se pak také zřejmě přidávat i zpětné vedení, aby se posílila i zpětná cesta.

B. Dovolené dotykové napětí

Maximální dovolená dotyková napětí v DC trakčních soustavách jsou uvedena v ČSN EN 50 122-1 ed.2. Hlavní příčinou vzniku dotykového napětí při provozním stavu (mimořádné provozní stavy jako např. výluka TNS z důvodu údržby nebyly v těchto energ. výpočtech uvažovány) je potenciál kolejnice vůči vzdálené zemi. Pro běžný provoz je dovolené maximální dotykové napětí 120V. Do 5 min. je pak povoleno max. dotykové napětí 150V.

Bylo spočítáno několik vzorových případů za těchto předpokladů:

- Dotykové napětí bylo počítáno jako úbytek napětí v koleji za předpokladu, že jsou všechny napájecí stanice v provozu. Max. dotykové napětí musí být dle normy splněno i při poruchovém stavu, proto se v rámci těchto energ. výpočtů uvažuje, že je na uzemněném stožáru před měnirnou průrazka ve vodivém stavu a kolej je tak v blízkosti trakční měnirny uzemněna. Úbytek napětí na kolejnici se tak rovná dotykovému napětí vůči vzdálené zemi.
- Maximální provozní proud, který způsobí úbytek napětí v koleji, byl rozlišen na max. proud, který se může v koleji objevit do 5 minut (rozjezdy vlaků) a proud způsobený ustálenou jízdou s délkou trvání nad 5 minut.
- Na tratích, kde se počítá s nákladní dopravou, bylo uvažováno s maximálním proudem od rozjezdu jednoho vlaku s výkonem 6MW v jedné koleji a k tomu byla připočtena ustálená jízda jednoho vlaku s výkonem 1MW plus ztráty v trakčním vedení o sestavě 150Cu trolej + 120Cu nosné lano + 2x120Cu zesilovací vedení. Kolejnice byla v tomto případě uvažována UIC 60.
- Na ostatních tratích, kde není počítáno s nákladní dopravou, bylo uvažováno s maximálním proudem od rozjezdu jednoho vlaku s výkonem 4MW v jedné koleji a k tomu byla připočtena ustálená jízda jednoho vlaku s výkonem 0,5MW + ztráty v trakčním vedení o sestavě 150Cu trolej + 120Cu nosné lano + 2x120Cu zesilovací vedení. Kolejnice byla v tomto případě uvažována S49.
- Bylo uvažováno, že zpětný proud se vrací pouze jednou kolejí a to i na dvukolejných tratích. To je z toho důvodu, že mezikolejová propojení se kvůli kolejovým obvodům instalují se stanovenou minimální vzdáleností a také proto, že uvažované dopravní zatížení se může objevit stejné v obou kolejích v jeden okamžik.

Se svodovou vodivostí koleje vůči zemi nebylo ve výpočtu uvažováno, protože ji obecně nelze stanovit stejnou pro všechny tratě a její vliv na výsledek je minimální. Při uvažování maximální svodové vodivosti 0,5 S/km pro otevřené kolejové lože by byl výsledek výpočtu dotykového napětí menší o cca 5%, mnohem větší podíl na výsledku výpočtu má spíše uvažované dopravní zatížení nebo sklon trati.

Opatření na snížení rizika z dotykových napětí řeší také norma ČSN EN 50 122-1 ed.2 v článku 9.3.2.4, kde jsou uvedeny tato opatření:

- Zkrácení délky napájecího úseku
- zvýšení vodivosti zpětného obvodu
- izolace stanoviště
- zkrácení vypínacího času potřebného pro přerušení zkratového proudu
- zařízení omezující napětí

Zkrácením vypínacího času se dají vyřešit poruchové stavy, nikoliv však provozní. Izolace stanoviště lze použít v ojedinělých případech, ale nelze tuto metodu aplikovat všude. Se zvýšením vodivosti zpětného obvodu pomocí například zpětného lana se na stejnosměrné soustavě nepočítá, protože zpětné lano by muselo mít velké průřezy. Tím by toto opatření bylo drahé a kvůli možným krádežím značně nespolehlivé.

Instalací zařízení omezující napětí kolejnice vůči vzdálené zemi by v praxi znamenalo po určitých úsecích uzemňovat kolej, s čímž se v izolované soustavě IT nepočítá a je to i proti smyslu normy ČSN EN 50 122-2 ed. 2, která řeší opatření proti účinkům bludných proudů.

Zbývá tedy možnost zkrácení délky napájecího úseku. Proto jsou ve variantě bez projektu navrženy nové trakční měničny s ohledem právě i na dotykové napětí vůči vzdálené zemi.

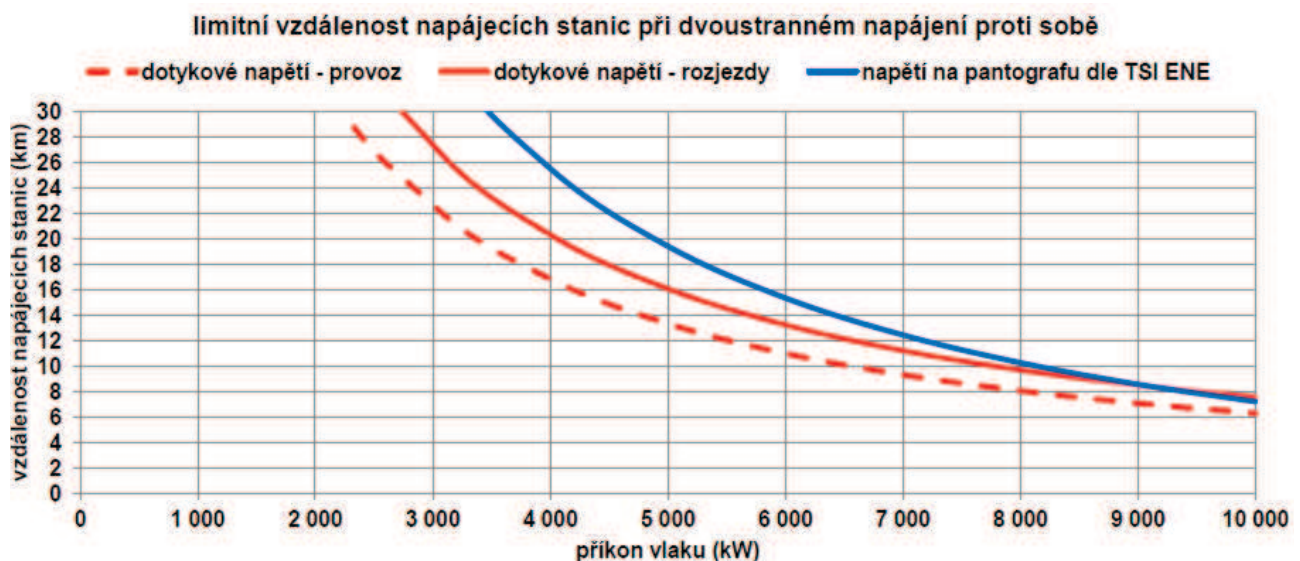
C. Dovolené oteplení trakčního vedení

Při výpočtu dovoleného proudového zatížení sestavy TV (IP) s ohledem na jeho max. možné oteplení se vycházelo z předpisu SR 34(E). Hodnoty jsou jen mírně upraveny pro měděná lana zesilovacího vedení o průřezu 120mm² oproti lanům 240AlFe, která jsou uvedena v předpise:

trolej	nosné lano	zesilovací lano	celkový průřez	I _p
150 Cu + 120 Cu	-	-	240 mm ²	1400 A
150 Cu + 120 Cu	-	1 x 120Cu	360 mm ²	2048 A
150 Cu + 120 Cu	-	2 x 120Cu	480 mm ²	2870 A

D. Zhodnocení

Na základě podrobných energetických výpočtů na vybraných úsecích i na základě obecnějších teoretických výpočtů vychází jednoznačně, že nejvíce omezujícím prvkem je maximální dovolené dotykové napětí. V grafu níže je vidět porovnání maximální vzdálenosti napájecích stanic s ohledem na max. dotykové napětí při rozjezdu, jízdě nebo s ohledem na úbytek napětí v troleji. Graf ukazuje limitní vzdálenost v závislosti na příkonu jednoho vlaku:



S přihlédnutím k tomu, že max. provozní příkon vlaku v jedné koleji trvající déle jak 5 minut se může pohybovat převážně mezi 1 a 5MW, ale maximální příkon v jedné koleji, způsobený rozjezdem může být až 7MW (záleží na velikosti ztrát v TV) při rozjezdu jednoho vlaku nebo až 14MW při současném rozjezdu dvou vlaků, je zjevné, že **limit pro splnění maximálního dotykového napětí 150V v čase do 5 minut je nejvíc**

omezujícím prvkem stejnosměrně napájené trakční soustavy.

Z výpočtů provedených podle metodiky uvedené v bodě 5.6.1 vyplývá, že maximální vzdálenost měníren na tratích, kde se počítá s nákladní dopravou, je 10km. Na ostatních tratích je maximální možná vzdálenost měníren 12,5km. Na základě těchto hodnot byly posouzeny všechny stejnosměrně napájené úseky v ČR, i když reálně může být někde tato vzdálenost i menší kvůli většímu stoupání či vyššímu provozu (podrobnější posouzení jednotlivých tratí by mělo být řešeno v přípravných dokumentacích či studiích jednotlivých staveb).

Vzhledem k výše uvedenému a s ohledem na očekávaný růst intenzity dopravy lze konstatovat, že požadavkům na napájení při současném rozložení napájecích bodů nevyhovuje ani jeden stejnosměrně napájený úsek provozované sítě, a to i s přihlédnutím k nutnosti dodržet hodnoty dotykových napětí i úbytků napětí v troleji. Z tohoto důvodu se v navržených úpravách vkládá do každého meziměřírenského úseku minimálně jedna nová trakční měnírna, někde i dvě.

V některých případech se jeví jako výhodnější místo vkládání druhé měnírny spíše mírně upravit jízdní řád. To by se muselo samozřejmě ještě potom prověřit podrobnějším výpočtem, ale zde je seznam tratí, kde se jako další opatření pro snížení dotykového napětí předpokládá také omezení dopravy:

- Ostrava – Opava
- Choceň – Hradec Králové - Káranice
- Pardubice – Hradec Králové
- Ústí n. L. – Oldřichov u Duch. – Most
- Žatec – Březno u Ch.

Nové trakční měnírny jsou navrženy v ideálním místě uprostřed meziměřírenského úseku. Rizikem tohoto řešení je, že pokud by se nepodařilo najít pro novou měírnu v daném místě vhodný pozemek s možností připojení na distribuční síť s dostatečným výkonem, musel by se zřejmě natáhnout nový 22kV kabel z nejbližší stávající měírny nebo by se musely místo jedné měírny postavit dvě v jiných místech.

Nově vložené měírny jsou uvedené v části 9.2 Tabulka investičních nákladů.

5.6.2 Výkony napájecích stanic

Posouzení, zda současné dimenzování napájecích stanic vyhoví i pro budoucí dopravu bylo provedeno za těchto předpokladů:

- Všechny stávající usměrňovací soustrojí splňují minimálně třídu přetížitelnosti V
- Pro zajištění spolehlivého provozu je nutné počítat s vnitřní redundancí n-1 v každé stávající napájecí stanici. Je proto potřeba, aby každá stávající měírna byla schopna za běžného stavu, kdy jedou všechny okolní měírny, přenést výkon způsobený pravidelnou dopravní špičkou bez jednoho usměrňovacího soustrojí a případně bez jednoho transformátoru 100/22kV.

Při výpočtu potřebného výkonu v napájecí stanici se postupovalo tak, že se spočítal teoretický maximální minutový výkon $P_{1min.}$, který by měla stávající napájecí stanice přenést (u usměrňovačů bylo uvažováno s přetížitelností třídy V).

Ve výpočtu max. výkonu napájecí stanice bylo uvažováno s tím, že může být v každém směru 1 svazek vlaků. Byl spočítán výkon vlaku ustálenou jízdou při jízdě bez stoupání:

$$R = 1,6MW \quad NEx = 2MW \quad Os = 1MW$$

a předpokládá se, že součet výkonů stejného svazku vlaků jedoucích opačným směrem bude vždy stejný bez ohledu na sklon trati v napájecím úseku, protože rozdíl výkonu, který navíc potřebuje vlak jedoucí do stoupání nahoru je stejný jako rozdíl výkonu, o který méně potřebuje vlak jedoucí dolů. Toto platí pro sklon

do cca 4%. Na vyšších sklonech, kde je energie mařena spádovým brzděním nikoliv. To bude potřeba vzít v úvahu při zpracování podrobnějších energetických výpočtů v rámci jednotlivých přípravných dokumentací či studií.

Navíc byly do výpočtu P1min. připočítány případné rozjezdy vlaků typu NEx či R dle tabulky *Stanovení kapacity napájecí soustavy*.

Pro kontrolu výsledků výpočtů uvedených výše byl pro napájecí stanice patřící pod OŘ Ústí nad Labem, Praha a Hradec Králové spočítán i střední výkon v hodinové špičce a z něj byly na základě měření SŽE odhadnuty i výkonové špičky.

Na základě výše uvedených předpokladů byly posouzeny jednotlivé stávající napájecí stanice a navrženy případné úpravy. Výsledné úpravy jsou uvedené v části 9.2 Tabulka investičních nákladů (náklady – varianta bez projektu).

5.6.3 Spotřeba elektrické energie

V rámci zpracování studie nám byly ze strany SŽDC předány naměřené hodnoty roční spotřeby elektrické energie za roky 2012-2015 včetně rezervovaných příkonů (za čtvrt hodinu) a naměřených čtvrt hodinových maxim. Zároveň byly v rámci studie zpracovány předpokládané nárůsty dopravních výkonů pro jednotlivé tratě ve vlkm/den viz část. dopravní technologie. S nárůstem střední hmotnosti se nepočítá.

V části 3.7 Porovnání 3kV DC a 25kV AC byly spočítány průměrné ztráty v trakčním vedení ve střídavé a stejnosměrné trakci. Na základě tohoto výpočtu bylo počítáno s tím, že podíl ztrát ve vedení ve stávající stejnosměrné trakci je 22%. Podíl rekuperace na současném odebíraném výkonu nebyl uvažován vzhledem k malé přenosové schopnosti stejnosměrné soustavy a k tomu, že na některých tratích není v ČR ani povolena.

Stejným principem byly určeny i průměrné ztráty pro rok 2050, kdyby se zachovalo stejnosměrné napájení a došlo tak ke zkrácení průměrné vzdálenosti mezi napájecími stanicemi (s rekuperací se zde opět nepočítá).

Na základě těchto podkladů byla spočítána předpokládaná spotřeba elektrické energie pro rok 2050 v případě zachování stejnosměrné napájecí soustavy. Výsledky jsou uvedeny v části 9.2 Tabulka investičních nákladů.

5.7 Návrh jednotné trakční soustavy AC 25kV 50Hz

Při návrhu jednotné trakční soustavy AC 25kV 50Hz místo stávajícího stejnosměrného napájení DC 3kV bylo nutné vyřešit hned několik problémů. A to zejména:

- připojení v místě, kde není rozvodna nebo linka 110kV
- připojení v místě, kde je rozvodna nebo linka 110kV, ale má malý zkratový výkon
- problém s malou rezervou pro navýšení výkonu ve stávajících místech připojení
- zajištění účinné rekuperace, která je požadována v TSI ENE

Z výše uvedených důvodů je navržena jednotná trakční napájecí soustava AC 25kV 50Hz umožňující soufázové napájení bez neutrálních polí mezi jednotlivými napájecími stanicemi, díky čemuž bude účinně fungovat rekuperace i na delší vzdálenosti. Je navržena nová technologie, která umožní symetrický odběr ze tří fází nadřazené soustavy viz část 6.3 Silnoproudá technologie.

5.7.1 Posouzení napájeného úseku

V rámci energetických výpočtů je kontrolováno, zda napájecí úsek vyhovuje z hlediska:

A. Dovolený úbytek napětí v trolejovém vedení

Dle normy ČSN EN 50 388 ed.2 je na celostátních tratích dovolené minimální napětí na pantografu vlaku 22kV při normálním stavu napájení. To znamená, že jsou v provozu všechny napájecí stanice, na trati není žádná výluka a dopravní zatížení je dle jízdního řádu.

Pro ostatní tratě bylo uvažováno s větším poklesem napětí až na 19kV, pokud to ale neovlivní navržený jízdní řád z důvodu automatické regulace výkonu vlaku.

Mimořádné stavy napájení nebyly v rámci této studie řešeny.

B. Dovolené dotykové napětí

Pro střídavé trakční proudové soustavy v běžném provozu je dovolené maximální dotykové napětí 60V. Do 5 min. je pak povoleno max. dotykové napětí 65V. Platí zde obdobný princip jako ve stejnosměrné variantě, ale s tím rozdílem, že pokud dotykové napětí nevychází, tak se dá k jeho omezení využít zařízení omezující napětí. V praxi to znamená uzemňování koleje. To je v dnešní době s ohledem na použití kolejových obvodů problematické, ale realizovatelné.

Cílem by ovšem mělo být zřízení tzv. drážní země, kde by byly všechny neživé části trakčního vedení včetně kolejnic vzájemně propojeny a uzemněny. Toto řešení lze na rozdíl od stejnosměrného systému, kde se nedá použít kvůli bludným proudům, zavést a je z hlediska bezpečnosti nejspolehlivější. Jediným problémem jsou ale kolejové obvody, kde by se pro připojení drážní země ke kolejnici musely používat symetrizační či ukolejňovací tlumivky. To by ovšem odpadlo v případě zavedení systému ETCS a zrušením kolejových obvodů.

C. Dovolené oteplení trakčního vedení

Při výpočtu dovoleného proudového zatížení sestavy TV (IP) s ohledem na jeho max. možné oteplení se vycházelo z předpisu SR 34(E):

trolej	nosné lano	I_p
100 Cu + 50 Bz		860 A

D. Zhodnocení

Ve variantě přechodu na jednotnou trakční napájecí soustavu AC 25kV 50Hz je navrženo, že se přebudují prakticky všechny dnešní trakční měnírny na trakční transformovny a to z toho důvodu, aby se ušetřilo za připojovací poplatky k veřejné distribuční síti, vyhnulo se problémům s projednáváním nových pozemků a ušetřilo se tím, že se některé stávající transformátory 110/22kV zachovají.

Z podrobných energetických výpočtů vyplývá, že při střední vzdálenosti mezi TNS 20 km a trvalém výstupním napětí 27kV není úbytek napětí v troleji či oteplení trakčního vedení omezujícím faktorem. Tento systém napájení má své limity až při nastavení nadproudových ochran pro případ zkratu, které musí mít dostatečně velký prostor nad špičkovým odebíraným proudem od vlaků. Tento fakt je velmi výhodný pro budoucí plánované elektrizace, které mohou být mnohem levnější, protože se bude moci využít stávajících napájecích zdrojů na hlavních železničních tazích. Příkladem může být zpracovávaná stavba posunu neutrálního pole z Nedakonic před Říkovice, díky čemuž se budou moci z nových TNS napájet i tratě do Luhačovic, Vizovic, Kroměříže či trať na Valašské Meziříčí.

Seznam měníren, které se přebudují na střídavé napájecí stanice, je uveden v části 9.2 Tabulka investičních nákladů. Zrušeny budou tyto měnírny: Mosty u Jablunkova, Oldřichov, Opatov

5.7.2 **Dimenzování napájecích stanic**

Ve studii se počítá se zachováním (až na výjimky) stávajících napájecích bodů, díky čemuž se sníží dotykové napětí, trakční odběr se rovnoměrněji rozdělí mezi jednotlivé TNS a nebude potřeba navyšovat rezervované

příkony.

Dimenzování budoucích napájecích stanic bylo provedeno za těchto předpokladů:

- Transformátory v napájecí stanici budou splňovat minimálně třídu přetížitelnosti V.
- Vzhledem k tomu, že průměrná vzdálenost navrhovaných střídavých napájecích stanic je asi poloviční oproti současné průměrné vzdálenosti mezi střídavými TNS, není potřeba navrhovat všechny TNS s vnitřní redundancí n-1 pro napájení trakčního vedení, protože sousední napájecí stanice díky větší přenosové schopnosti trakčního vedení je schopna většinou plně pokrýt potřeby dopravy i ve špičce na rozdíl od systému stejnosměrného. Tím se i zmenší prostorové nároky nové technologie.
- Pro napájení ostatních netrakčních zařízení bude zajištěna vnitřní redundance n-1.

Výpočet P_{1min} byl proveden obdobně jako při posouzení stejnosměrných napájecích stanic a to na základě zadaného svazku vlaků a požadavků na současné rozjezdy. Výsledky jsou uvedené v části 9.2 Tabulka investičních nákladů.

5.7.3 Spotřeba elektrické energie

Výpočet byl proveden obdobně jako u stejnosměrné varianty s tím, že bylo uvažováno s průměrnými ztrátami ve vedení 2% a při soufázovému napájení se počítá s tím, že díky účinné rekuperaci se sníží spotřeba energie o 6%.

Na základě těchto podkladů byla spočítána předpokládaná spotřeba elektrické energie pro rok 2050 v případě, že by se přešlo na střídavou trakční soustavu. Výsledky jsou uvedené v části 9.2 Tabulka investičních nákladů.

5.8 Podrobnější posouzení vybraného traťového úseku

Pro podrobnější energetické výpočty byl vybrán úsek Nedakonice – Říkovice v současnosti napájený ze tří trakčních měníren: TM Nedakonice, TM Otrokovice, TM Říkovice. Výpočty byly provedeny pomocí programu pro simulaci železničního provozu.

5.8.1 Zadání

A. Model infrastruktury

Do programu byla zadána niveleta koleje dle nákrešného přehledu železničního svršku. Výhybky a návěsti byly zadány dle skutečné polohy. Odpory trakčního vedení včetně kolejnic byly zadány v souladu se vstupními podklady a parametry. V systému AC 25kV 50Hz byly hodnoty stanoveny teoreticky. Činný odpor vodičů včetně kolejnic byl zmenšen vlivem skin efektu. Impedance byla spočítána na základě geometrického modelu celé tratě.

B. Dopravní model

Hlavní scénář dopravního modelu pro porovnání byl vybrán následující:

00 min.	Simulace začíná
03 min.	Rychlostí 100km/h vyjede z Žst. Nedakonice směrem na Říkovice nákladní vlak NEx 1800t.
06 min.	Rychlostí 100km/h vyjede z Žst. Nedakonice směrem na Říkovice druhý nákladní vlak NEx 1800t.
10 min.	Z Žst. Nedakonice se rozjede rychlík EC 550t směrem na Říkovice.
12 min.	Rychlík zastavuje v Žst. Staré Město.
13 min.	Rychlík se rozjíždí z Žst. Staré Město.

Nákladní vlaky vjedou na předjízdnu kolej, aby uvolnily cestu rychlíku. První nákladní vlak zastaví v Žst. Tlumačov a druhý v Žst. Otrokovice.

22 min.	Rychlík zastavuje v Žst. Otrokovice
26 min.	Rychlík se rozjíždí z Otrokovic směrem na Říkovice
29 min.	Druhý nákladní vlak se rozjíždí za rychlíkem z Žst. Otrokovice
30 min.	První nákladní vlak se rozjíždí za rychlíkem z Žst. Tlumačov

Simulace končí příjezdem posledního vlaku do Žst. Říkovice.

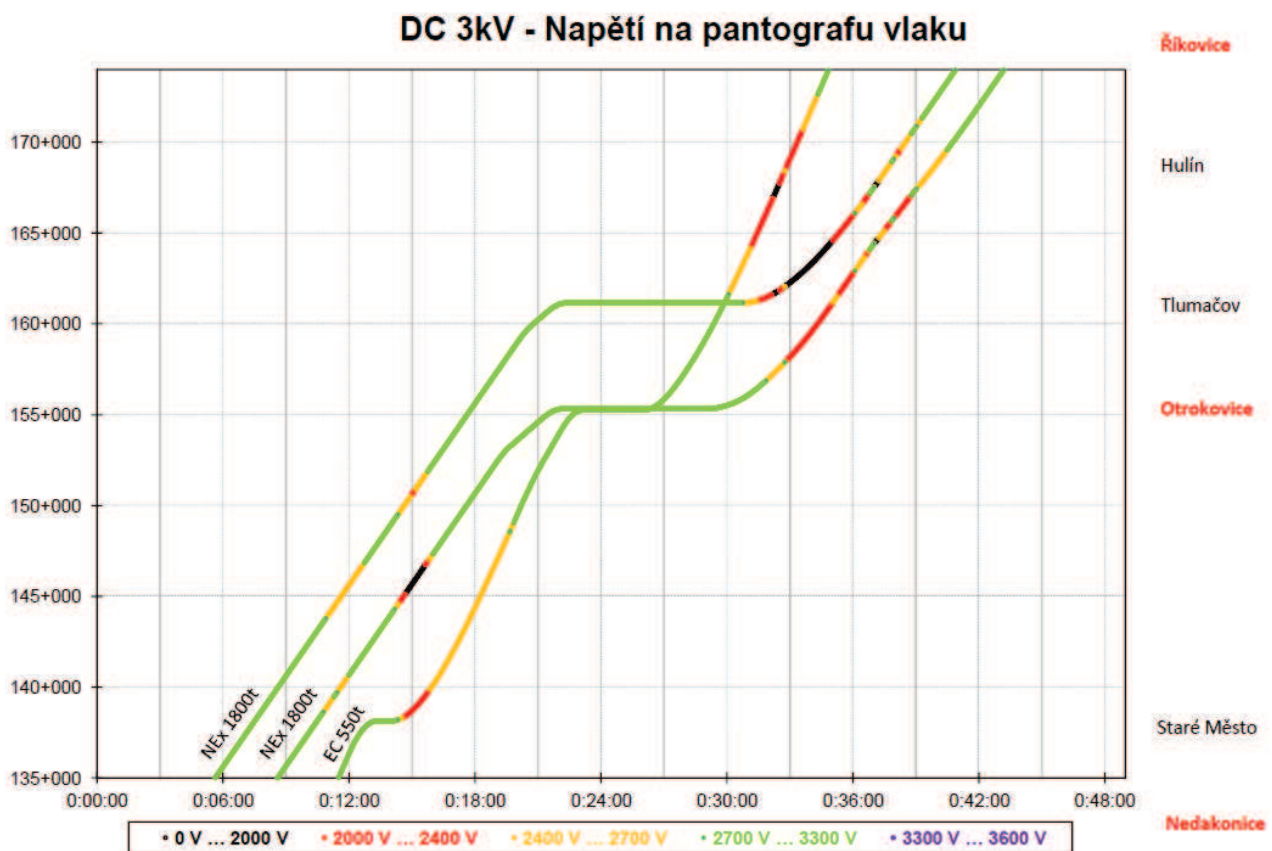
V simulaci se počítá s lokomotivou Škoda 363 bez regulace výkonu dle TSI ENE nebo s lokomotivou Vectron s regulací výkonu dle TSI ENE. Výkon je počítán na základě trakční charakteristiky lokomotivy i s omezením vlivem adheze. Odpor vlaku byl uvažován typu S u nákladních vlaků NEx, T_4 u vlaků Pn a R_k u rychlíků EC.

Hmotnosti vlaků:

NEx	1800t
PN	2400t
EC	550t

5.8.2 Stávající DC 3kV s lokomotivou Škoda 363 (2x NEx + EC)

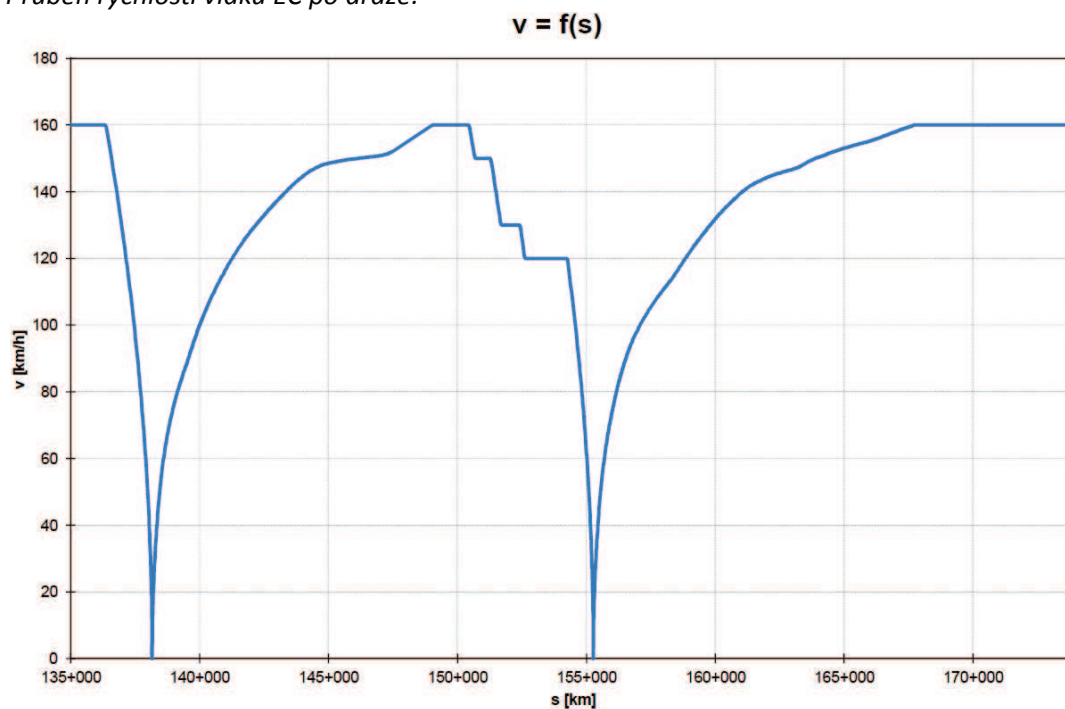
Jako výstup ze simulace byl zvolen grafikon dopravy s barevným rozlišením napětí na pantografu:



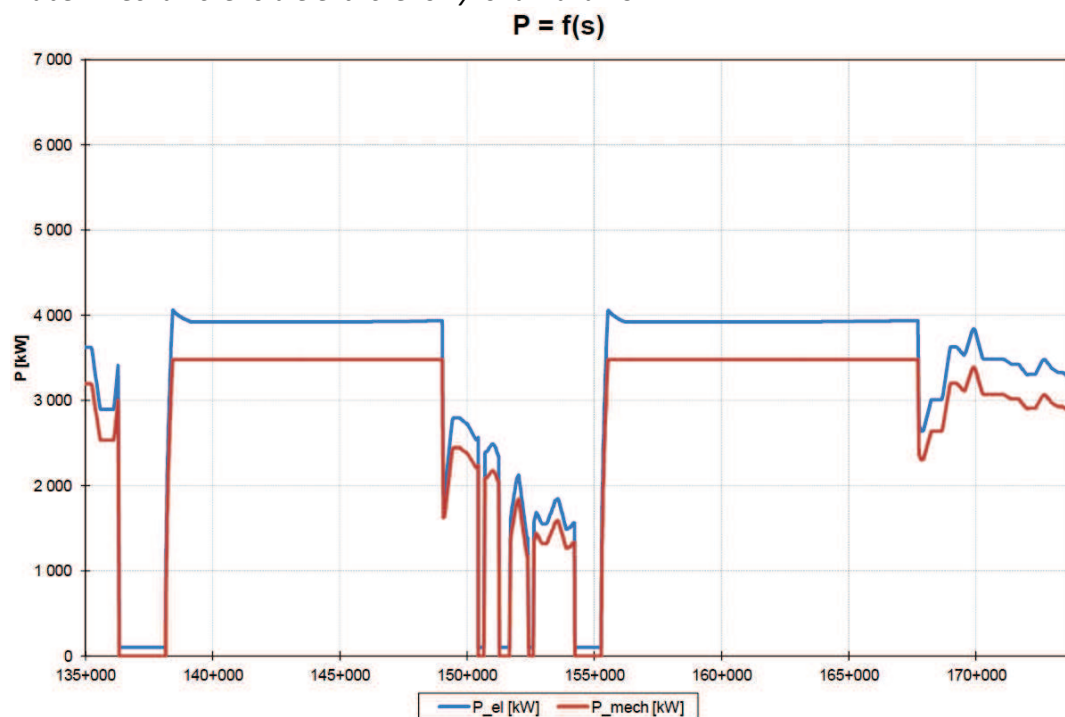
Z obrázku je vidět, že napětí na pantografu vlaku klesá uprostřed napájecích úseků i pod 2kV. V simulaci vlaky jedou dál, ale ve skutečnosti by na vlaku zareagovala podpěťová ochrana a vlak by byl bez napájení. **V tomto případě by musel strojvedoucí dle platných předpisů vlak zastavit.**

Níže jsou uvedeny vybrané informace o jednotlivých vlacích:

Průběh rychlosti vlaku EC po dráze:

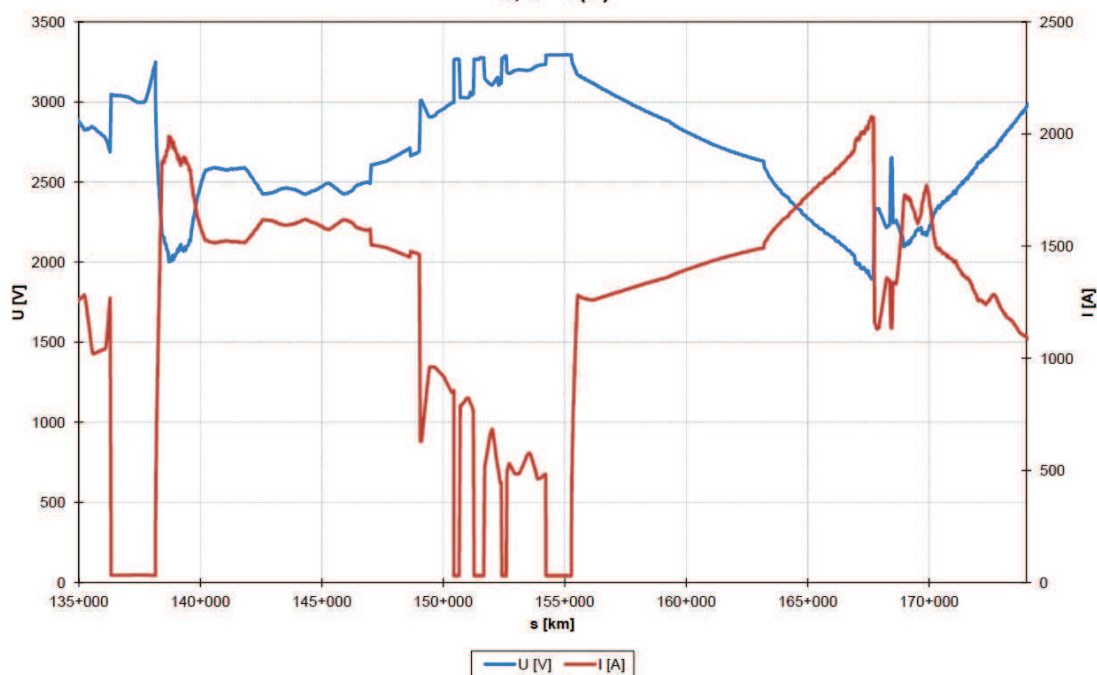


Průběh mechanického a elektrického výkonu vlaku EC:



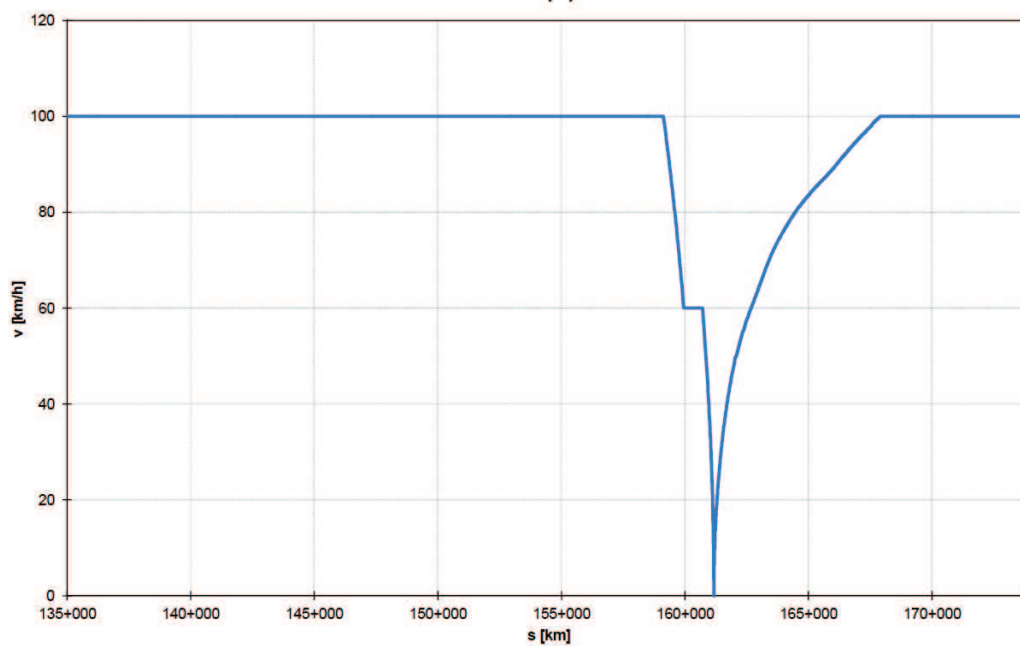
Průběh proudu a napětí na pantografu vlaku EC:

$$U, I = f(s)$$



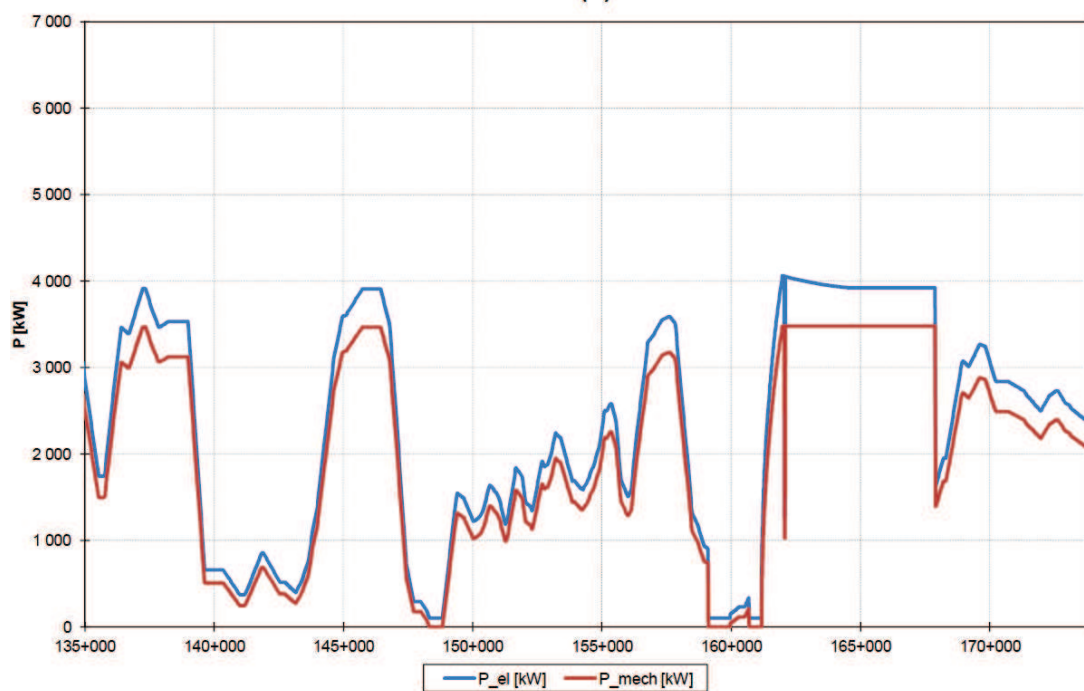
Průběh rychlosti prvního vlaku NEx:

$$v = f(s)$$



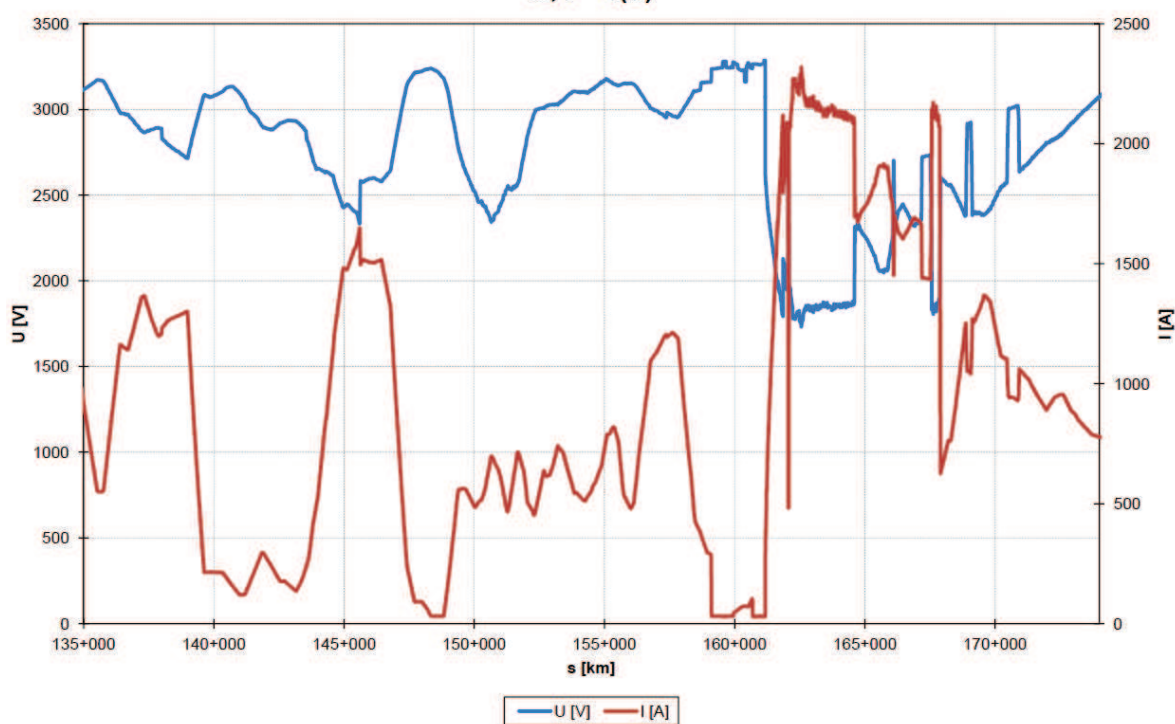
Průběh mechanického a elektrického výkonu vlaku EC:

$$P = f(s)$$



Průběh proudu a napětí na pantografu prvního vlaku NEx:

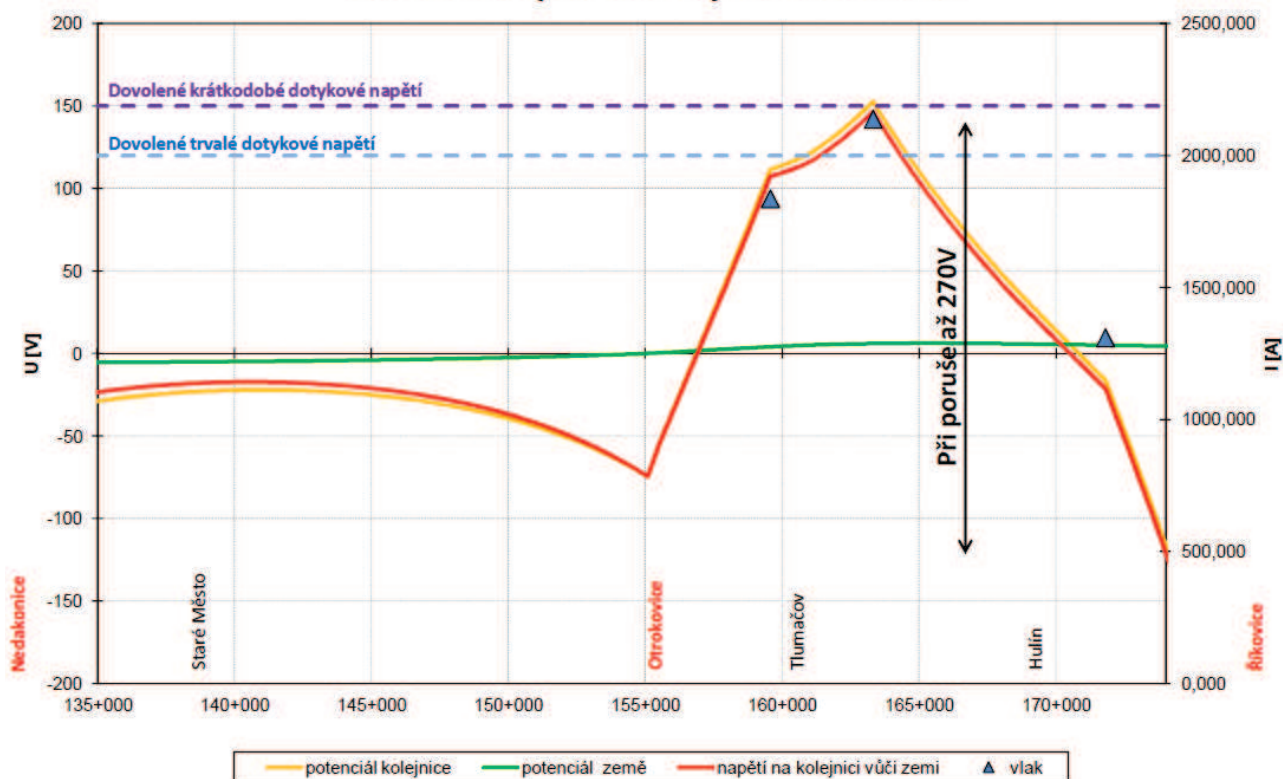
$$U, I = f(s)$$



Dotykové napětí

Dále bylo na základě simulace s lokomotivou Škoda 363 spočítáno i dotykové napětí na kolejnici. Jeden z nejhorších případů v rámci simulace nastal v 34. minutě:

DC 3kV - Napětí na kolejnici v čase 0:34



Je zde vidět, že napětí na kolejnici vůči Zemi se blíží maximální povolené hranici 150V i při běžném provozním stavu. To je způsobeno hlavně tím, že při poklesu napětí v troleji je větší odběr proudu vlakem. Ovšem při poruchovém stavu, kdy dojde např. k uzemnění kolejniče v blízkosti měřírny (proražená průrazka na uzemněném stožáru), může vystoupat **napětí na kolejnici vůči Zemi až na 270V**.

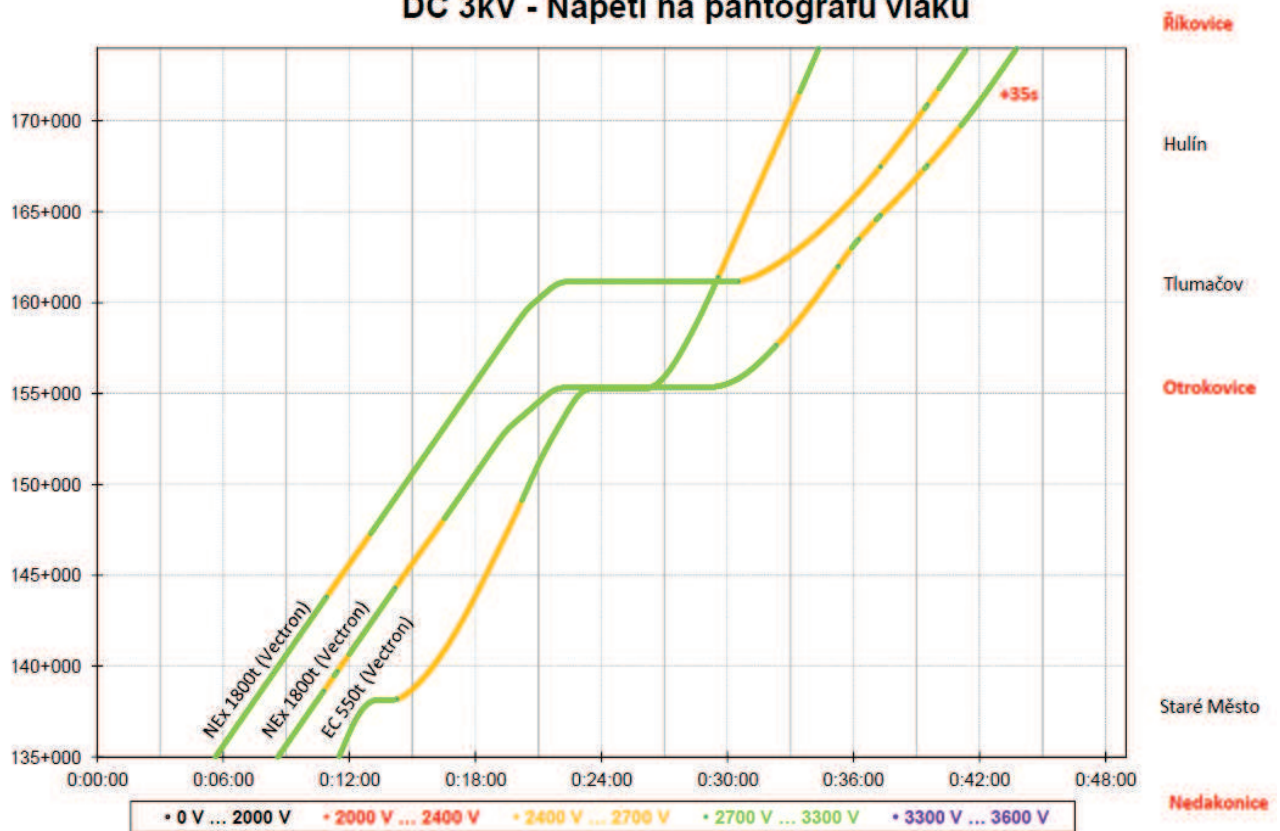
Ztráty v trakčním vedení

Celková spotřebovaná energie v rámci simulace s lokomotivou Škoda 363 byla 4 239 kWh. Z toho ztráty v trakčním vedení činily 873 kWh a ztráty v usměrňovacích transformátorech byly 9 kWh. **Výsledné ztráty tedy činí 20,8%.**

5.8.3 Stávající DC 3kV s lokomotivou Vectron (2x NEx + EC)

Pokud by vlaky měly lokomotivu s regulací výkonu dle TSI ENE (např. Vectron), tak by nedošlo k výpadku napájení vlaku, ale k jeho zpomalení:

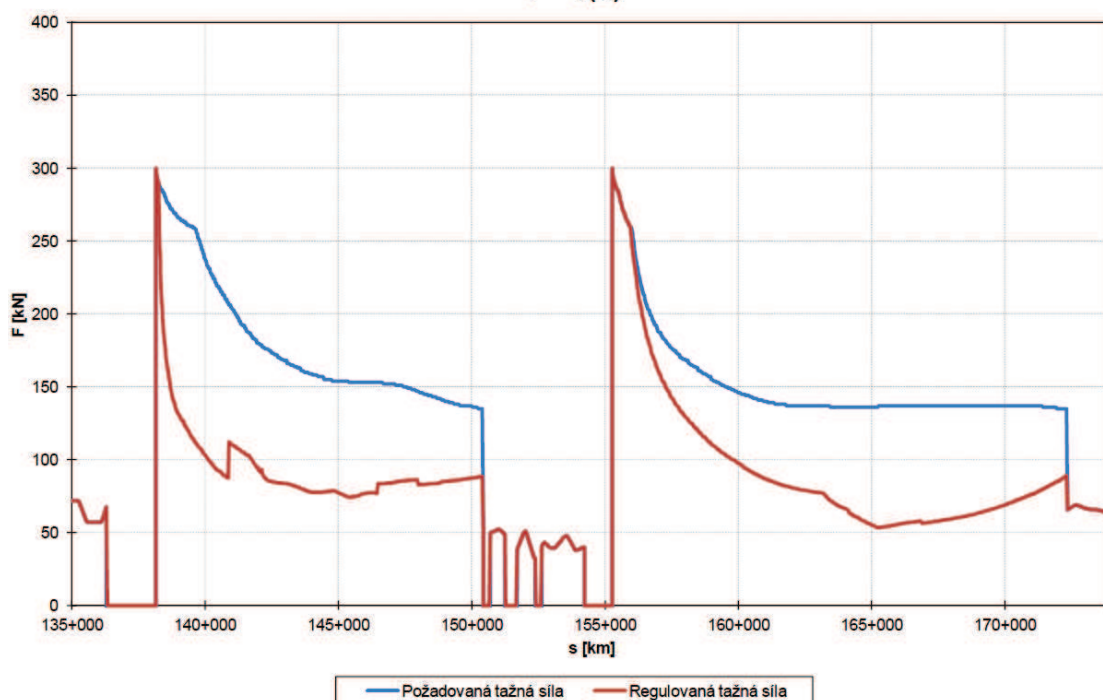
DC 3kV - Napětí na pantografu vlaku



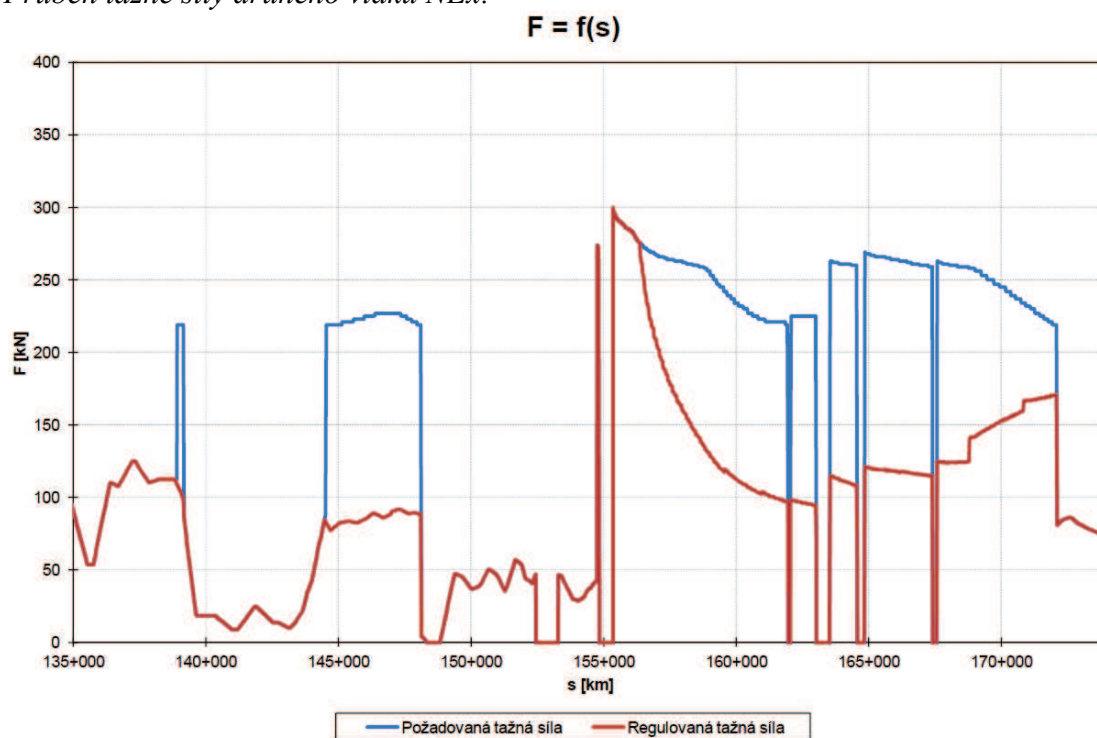
Dle simulace by poslední vlak dojel do cíle se zpožděním 35s. To je způsobeno omezením maximální tažné síly vlaku, jak je vidět na následujícím grafu:

Průběh tažné síly vlaku EC:

$$F = f(s)$$



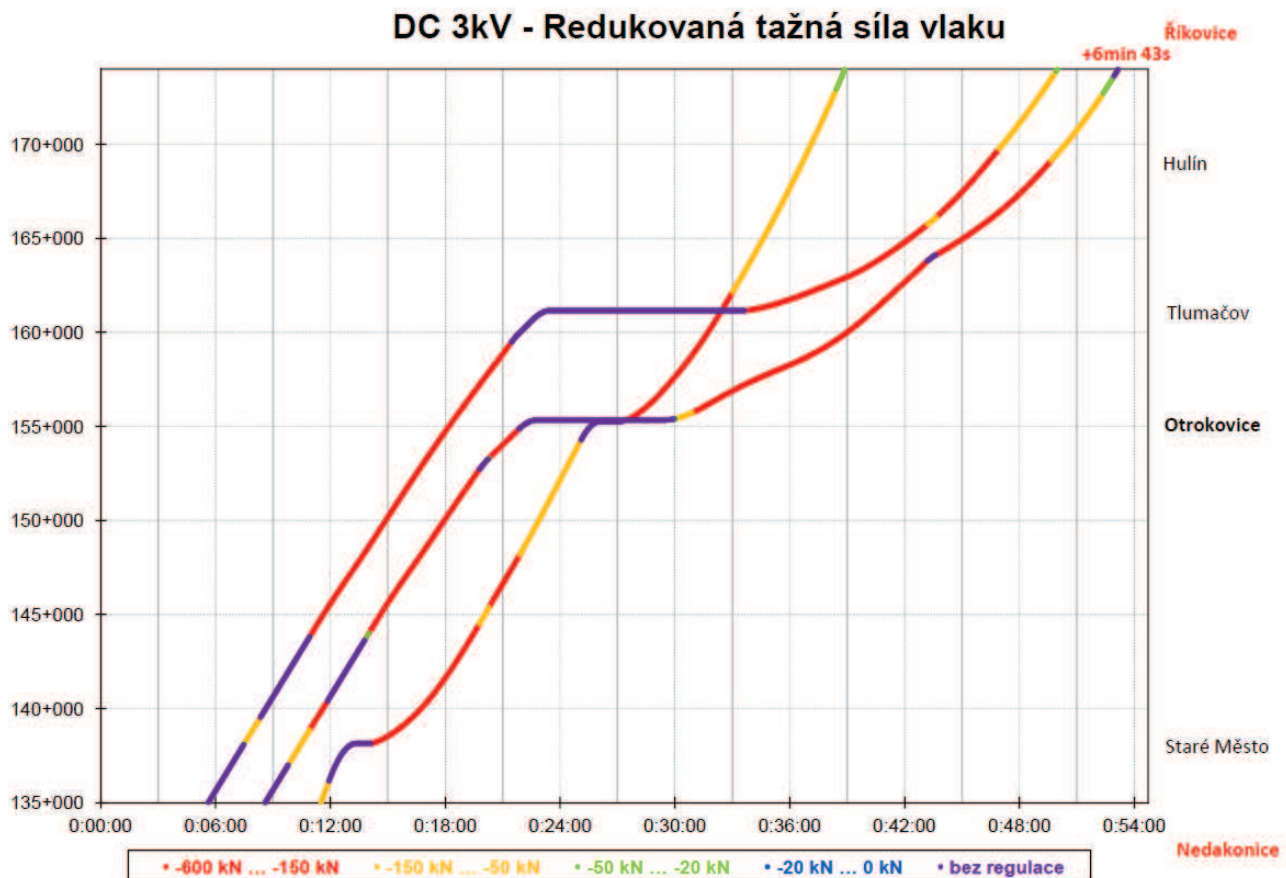
Průběh tažné síly druhého vlaku NEx:



5.8.4 Situace při výpadku TM Otrokovice

Vzhledem k tomu, že dle normy je potřeba zajistit při výpadku jedné měnícího plynulý provoz nebo provoz s menšími dopravními omezeními, byla provedena simulace i za předpokladu výpadku TM Otrokovice. Ze simulace s lokomotivou Škoda 363 je vidět, že v případě výpadku TM Otrokovice by docházelo prakticky neustále k výpadkům napájení vlaku v důsledku zareagování podpěťové ochrany. Proto byla simulace provedena s lokomotivou Vectron s regulací výkonu, aby vlaky alespoň došli do cíle.

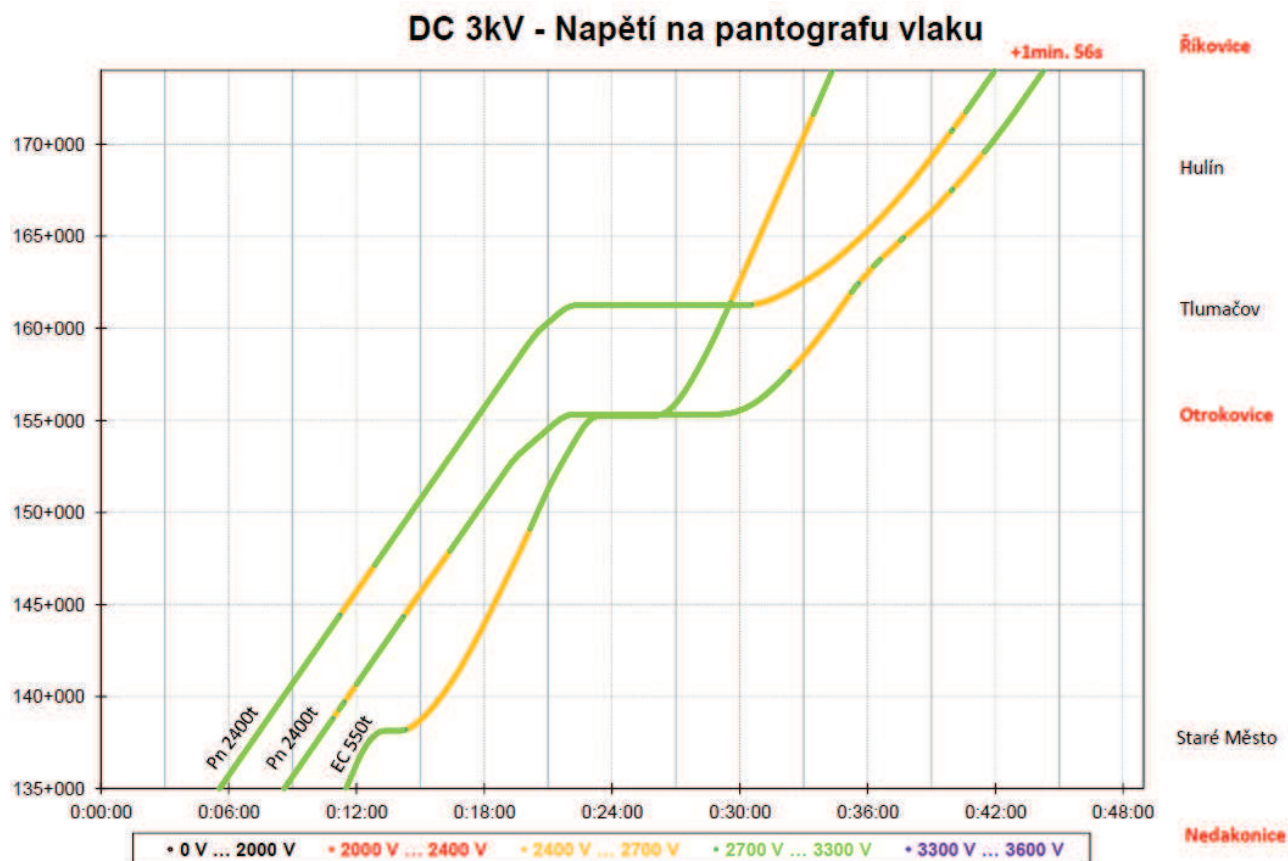
Vzhledem k tomu, že napětí na pantografu vlaku bylo prakticky po celou dobu pod 2,4kV, přikládám grafikon, kde je vidět, o kolik musel vlak redukovat svou tažnou sílu:



Na obrázku je vidět, že ve větší části úseku vlak musí regulovat potřebnou tažnou sílu o více než 150kN. Při tomto scénáři dojde poslední vlak do cíle o skoro 7 minut později.

5.8.5 Stávající DC 3kV s lokomotivou Vectron (2x Pn + EC)

Pro další simulaci stávajícího stavu byl vybrán stejný scénář, ale s nákladním vlakem Pn 2400t a s lokomotivou Vectron.



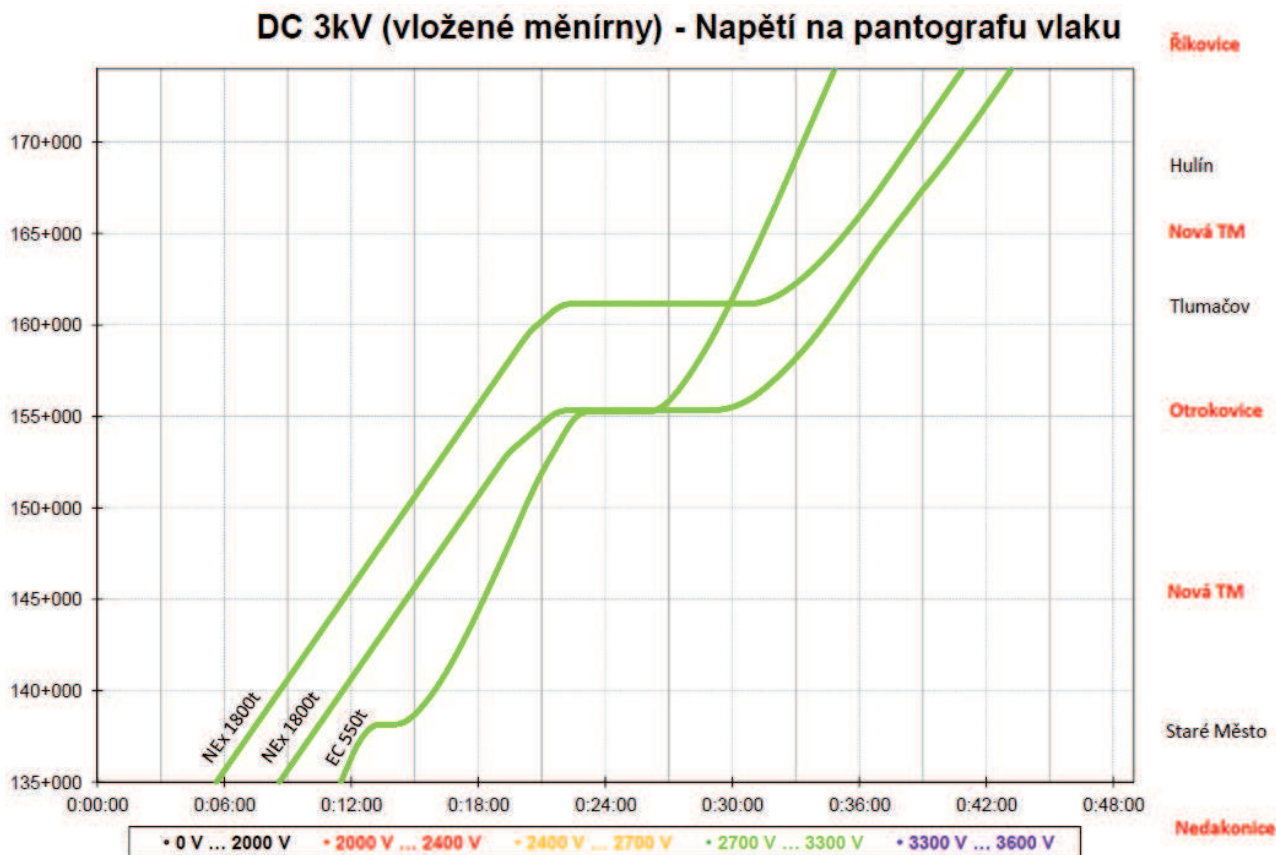
Z těchto okolností dojde poslední vlak do cíle o skoro dvě minuty později než, kdyby nemusel redukovat výkon.

Zhodnocení stávajícího stavu

Ze simulací je vidět, že mezi Žst. Nedakonice a Žst. Říkovice při běžném provozním napájení není možné s tímto dopravním scénářem provést další vlak. A to ani v meziměřínském úseku Nedakonice – Otrokovice, kde už potom žádný vlak není. Simulace prokázala, že stávající stejnosměrné napájení je omezujícím prvkem i na trati s maximálním sklonem do 3‰. V síti SŽDC jsou ale i tratě s větším sklonem nebo vyššími požadavky na kapacitu trati zejména na následné rozjezdy.

5.8.6 Varianta posílené DC 3kV

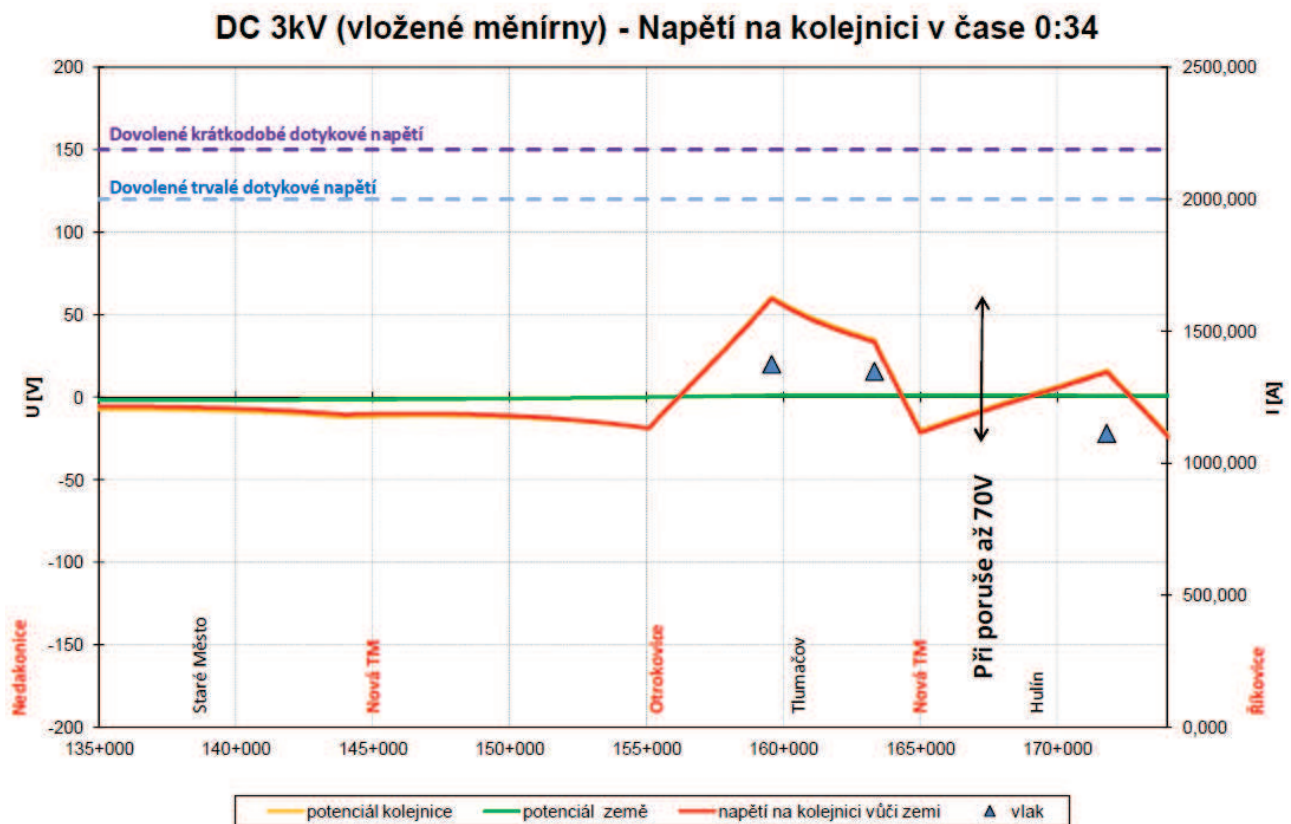
V této variantě se uvažuje stejný dopravní scénář s lokomotivou Škoda 363, ale stejnosměrné napájení je posíleno tak, aby vyhovovalo normě. V řešeném úseku jsou tedy vloženy další dvě trakční měřirny ideálně doprostřed každého meziměřírenského úseku. Výsledný graf napětí na pantografu vlaku tedy vypadá takto:



Na obrázku je vidět, že po vložení dvou nových měření je **při běžném provozu situace zcela vyhovující**. Ovšem při výpadku některé z měření bude situace opět stejná jako v předchozím případě a bude nutné přijmout některá dopravní omezení.

Dotykové napětí

Pro posouzení dotykového napětí na kolejnici vůči Zemi byl vybrán stejný čas jako v předchozím případě:



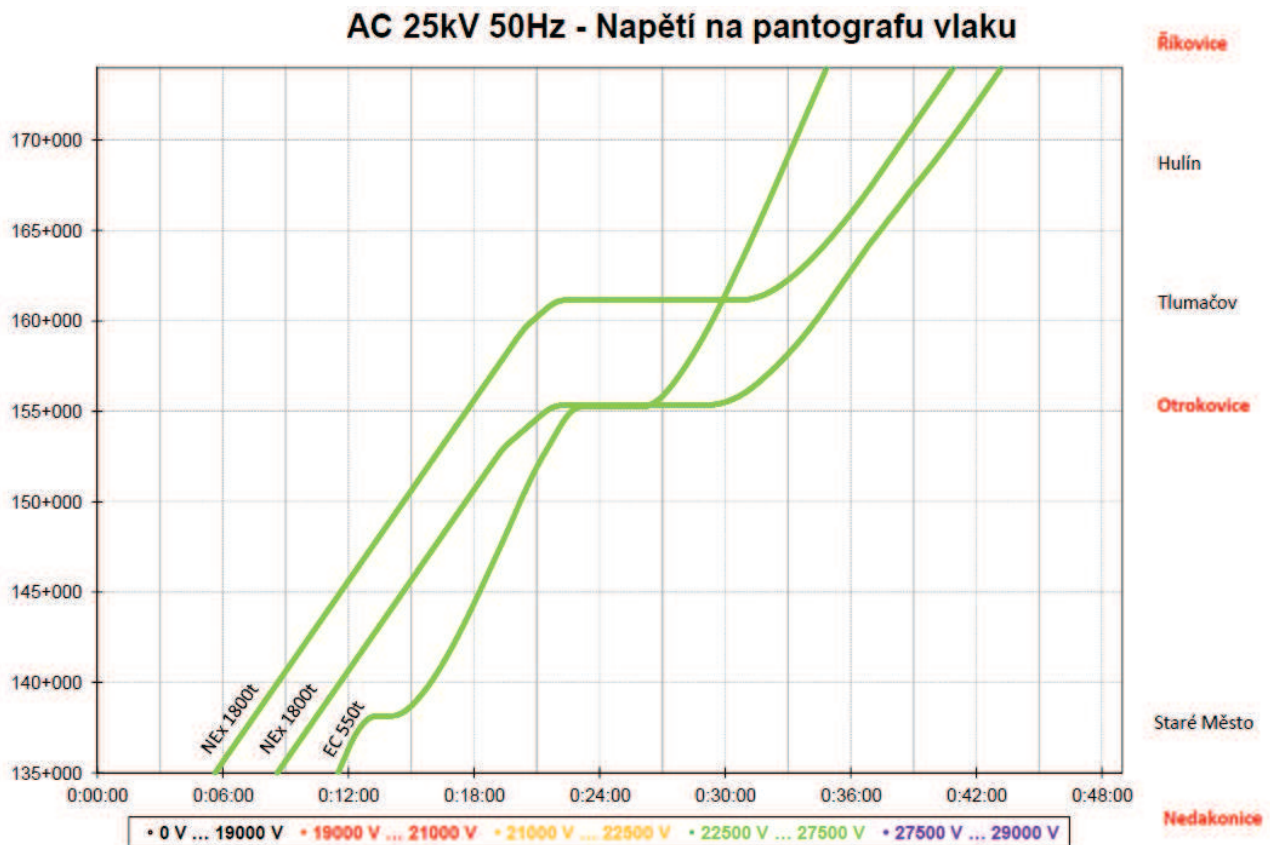
Zde už je také **situace vyhovující** pro zadaný scénář dopravy. Je třeba si ale uvědomit, že v tomto výpočtu mají lokomotivy max. výkon 3,5MW. Pokud bychom uvažovali lokomotivy s výkonem přes 6 MW, tak by mohlo dotykové napětí při poruše být až kolem 100V nebo i více, pokud by strojvedoucí potřeboval využít plný výkon v jiném místě na trati, než jaké se uvažuje v rámci simulace. Potvrdilo se tedy, že pro stejnosměrné napájení je v současnosti více limitující úbytek napětí ve zpětné cestě než v trakčním vedení.

Ztráty v trakčním vedení

Celková spotřebovaná energie v rámci simulace byla 3 588 kWh. Z toho ztráty v trakčním vedení činily 222 kWh a ztráty v usměrňovacích transformátorech byly 7 kWh. **Výsledné ztráty tedy činí 6,4%.**

5.8.7 Varianta AC 25kV 50Hz

V této variantě se uvažuje stejný dopravní scénář s lokomotivou Škoda 363, ale v případě, že napájení bude střídavé AC 25kV 50Hz. Výsledný graf napětí na pantografu vlaku vypadá takto:

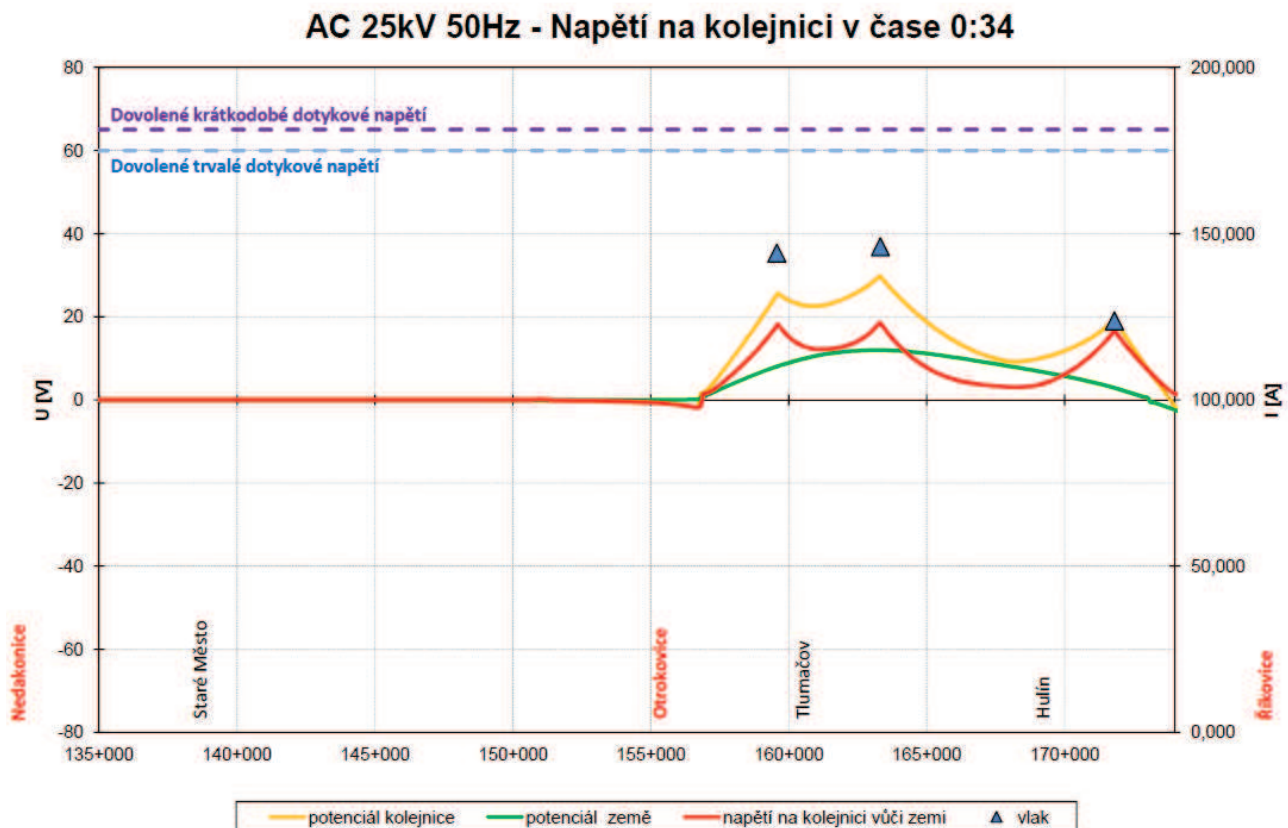


Z obrázku je vidět, že **při střídavém napájení je situace naprosto vyhovující.**

Byla provedena také simulace pro nákladní vlaky Pn 2400t s lokomotivou Vectron. Simulace prokázala, že napětí neklesne pod 22,5kV. **Dokonce i při napájení pouze z TT Říkovice (kdyby byly TT Nedakonice a TT Otrokovice mimo provoz), tak napětí na pantografu vlaku neklesne pod 22,5kV.**

Dotykové napětí

Pro posouzení dotykového napětí na kolejnici vůči Zemi byl vybrán stejný čas jako v předchozím případě:



Ze simulace vyplývá, že napájecí úsek **vyhoví z hlediska dotykového napětí**. K obrázku je potřeba však říct, že výsledky velmi závisí na zadané svodivosti koleje vůči Zemi. Tento parametr byl zvolen na základě odborného odhadu a není opřen o měření. Lze předpokládat, že v některých případech může i u střídavé trakce dotykové napětí překročit maximální povolenou mez, ale na rozdíl od stejnosměrného systému se kolej může v ohrožených místech uzemnit. Střídavý systém je navíc v trakční transformovně uzemněn, takže případné náhodné uzemnění koleje nezvýší dotykové napětí, ale naopak ho sníží.

Ztráty v trakčním vedení

Celková spotřebovaná energie v rámci simulace byla 3 429 kWh. Z toho ztráty v trakčním vedení činily 19 kWh a ztráty v transformátorech byly 12 kWh. **Výsledné ztráty tedy činí 0,9%.**

5.8.8 Celkové hodnocení simulace

Celá simulace proběhla na trati, která svým sklonem patří mezi ty nejpříznivější v ČR. Dopravní zátěž v podobě dvou nákladních vlaků a jednoho rychlíku také není nikterak výjimečná. Přesto se ukázaly velké nedostatky stejnosměrně napájeného úseku. Na tratích s větším sklonem či intenzitou dopravy lze očekávat ještě větší problémy. **Simulace tak potvrdila všechny předpoklady, na základě kterých byly posouzeny obě srovnávací varianty.**

5.9 Vysokorychlostní tratě (VRT)

S napájením vysokorychlostních tratí ze stávajících napájecích bodů se v rámci studie nepočítalo. Pokud by to bylo nutné, pak by bylo potřeba navýšit výkony některých napájecích stanic.

Celkově bude ale velký problém s provozem vysokorychlostních tratí, pokud se v ČR zachová stejnosměrně

napájený systém. VRT se může napájet pouze střídavě, protože stejnosměrná soustava není schopna dodat potřebný výkon. Takže zaústění VRT do velkých uzlů, které jsou nyní napájeny stejnosměrně jako např. Ústí n. L., Praha, Ostrava, bude velmi problematické, ne-li nemožné bez omezení maximální rychlosti vlaku a tím prodloužení cestovní doby.

Druhým problémem je souběh VRT s konvenční stejnosměrně napájenou tratí, jak se ukázalo např. ve studii při posouzení zaústění VRT do železničního uzlu Ostrava, kde se musely předělávat na střídavé i okolní tratě včetně částí 2. tranzitního koridoru.

Naopak při případném přechodu na střídavý systém v celé ČR by se mohly ušetřit nemalé náklady na napájecí stanice, protože by se mohly částečně využít i TNS, které napájí konvenční tratě.

5.10 Závěr

Z výsledků vyplývá, že stávající stejnosměrný systém nebude schopný pokrýt potřeby napájení s ohledem na zvyšování intenzity dopravy v budoucnu a splnit požadavky na napájení uvedené v TSI subsystému energie.

Je tedy zřejmé, že bez vynaložení značných investičních prostředků nebude možné zajistit spolehlivé napájení trakčního vedení a tím bezpečný a plynulý provoz.

Obě navržené varianty jsou za běžného stavu funkčně srovnatelné. Liší se ale hlavně ve ztrátách v trakčním vedení a v tom, že navrhovaná střídavá varianta na rozdíl od navrhované stejnosměrné varianty splňuje i podmínku pro plynulý provoz při výpadku jedné napájecí stanice. U stejnosměrné varianty bude při výpadku jedné napájecí stanice stejný stav jako je nyní, což by si vyžadovalo s ohledem na plánovaný nárůst dopravy značná dopravní omezení.

Do porovnání obou variant nebyla zahrnuta výstavba vysokorychlostních tratí, která by byla z hlediska napájení velmi problematická, pokud by se zachoval stejnosměrný systém. Neuvažovalo se ani s případnými dalšími doposud neschválenými elektrizacemi, které by se mohly výrazně zlevnit v případě přechodu na střídavý systém. To je potřeba vzít zároveň se srovnáním obou trakčních napájecích soustav v části 3.7 v úvahu, i kdyby ekonomické hodnocení nebylo pro přechod na střídavou napájecí soustavu příznivé.

Vypracoval:

Jiří Podhradský

Energetické výpočty metodou středních úbytků napětí

Obsah

Přehled TNS OŘ Ústí n. L., Praha a Hradec Králové	36
--	-----------

OŘ Ústí n. L.

Děčín	38
Těchlovice	39
Libochovany 1	40
Hoštka	41
Mělník	42
Libochovany 2	49
Roudnice n. L.	50
Chomutov	76
Most	77
Tvršice	78
Světec	79
Oldřichov	80
Koštov	81

OŘ Praha

Stará Boleslav	43
Nymburk	44
Vraňany	51
Roztoky	52
Balabenka	53
Čelákovice	54
Běchovice	55
Rostoklaty	56
Pečky	57
Chuchle	82
Karlštejn	83
Třešňovka	84
Strančice	85
Benešov	86

OŘ Hradec Králové

Dobšice	45
Káranice	46
Hradec Králové	47
Týniště n. O.	48
Kolín	58
Tmávka	59
Opočíněk	60
Moravany	61
Choceň	62

Přehled TNS OŘ Olomouc a Ostrava

37

OŘ Olomouc

Rudoltice	63
Hoštejn	64
Červenka	65
Grygov	66
Prosenice	67
Hranice na Moravě	68
Šumperk	87
Říkovice	88
Otrokovice	89
Nedakonice	90
Valašské Meziříčí	91
Ústí u Vsetína	92
Střelná	93

OŘ Ostrava

Suchdol n. O.	69
Studénka	70
Ostrava Svinov	71
Dětmárovice	72
Český Těšín	73
Jablůnkov	74
Mosty u Jablůnkova	75
Albrechtice u Č. T. Mosty u Jablůnkova	94
Ostrava Kunčice (Vratimov)	95
Opava	96

Legenda:

$P_{TR\ 110}$	Celkový jmenovitý výkon transformátorů 110/22 kV
$P_{usm.}$	Celkový výkon usměrňovačů trakční měničny
$P_{stř.}$	Střední roční příkon za rok 2015
$P_{sjed\ 15min.}$	Sjednané čtvrt hodinové maximum příkonu
$P_{15min.}$	Maximální čtvrt hodinový příkon v letech 2012-2015
ΔU_1	Úbytek napětí na kolejnici při výkonu $P_{2,7kV}$
ΔU_2	Úbytek napětí na kolejnici při výkonu $P_{2,0kV}$
$P_{2,7kV}$	Maximální možný výkon uprostřed úseku při dodržení TSI - u stejnosměrné soustavy je to při minimálním napětí 2,7 kV na sběrači - ztráty ve vedení 23%
P_{Umin}	Maximální možný výkon uprostřed úseku při minimálním dovoleném napětí - u stejnosměrné soustavy je to při minimálním napětí 2,0 kV na sběrači - ztráty ve vedení 43%
P_{max}	Maximální výkon umožněný seřazením rychlovypínače
P_{TV}	Jmenovitý výkon, kterým lze zatížit trakční vedení (časová konstanta 5 min.)
styk. tr.	Jmenovitý výkon, kterým lze zatížit stykový transformátor - vychází z deklarovaného jmenovitého proudu 1000A - odhadovaná časová konstanta 1,8h
m_{Fe}	Odhad vyloučeného železa vlivem působení bludných proudů



ENERGETICKÉ VÝPOČTY METODOU STŘEDNÍCH ÚBYTKŮ NAPĚTÍ

OBLAST OŘ ÚSTÍ NAD LABEM, OŘ PRAHA, OŘ HRADEC KRÁLOVÉ

SEZNAM NAPÁJECÍCH STANIC :

OŘ ÚSTÍ NAD LABEM	OŘ PRAHA	OŘ HRADEC KRÁLOVÉ
<u>Chomutov</u>	<u>Vraňany</u>	<u>Kolín</u>
<u>Most</u>	<u>Roztoky</u>	<u>Trnávka</u>
<u>Tvršice</u>	<u>Stará Boleslav</u>	<u>Opočíněk</u>
<u>Světec</u>	<u>Čelákovice</u>	<u>Moravany</u>
<u>Oldřichov</u>	<u>Balabenka</u>	<u>Choceň</u>
<u>Koštov</u>	<u>Chuchle</u>	<u>Rudoltice</u>
<u>Děčín</u>	<u>Karlštejn</u>	<u>Dobšice</u>
<u>Těchlovice</u>	<u>Třešňovka</u>	<u>Káranice</u>
<u>Libochovany (1)</u>	<u>Strančice</u>	<u>Hradec Králové</u>
<u>Hoštka</u>	<u>Benešov</u>	<u>Týniště n. O.</u>
<u>Mělník</u>	<u>Běchovice</u>	
<u>Roudnice</u>	<u>Rostoklaty</u>	
	<u>Pečky</u>	
	<u>Nymburk</u>	

VSTUPNÍ PARAMETRY OPOTŘEBENÍ A TEPLoty:

teplota okolí trakčního vedení	40 °C
oteplení trakčního vedení	60 °C
opotrebení troleje	20 %
teplota okolí koleje	40 °C
oteplení koleje	10 °C
opotrebení koleje	2 %

VSTUPNÍ PARAMETRY NAPĚTÍ:

Napětí na prázdko	$U_{TM} = 3,5 \text{ kV}$
Napětí na výstupu při I_{jm}	$U_0 = 3,3 \text{ kV}$
Jmenovité napětí	$U_{jm} = 3,0 \text{ kV}$
Minimální napětí dle TSI ENE	$U_{2,7kV} = 2,7 \text{ kV}$
Minimální napětí dle ČSN	$U_{2,0kV} = 2,0 \text{ kV}$
Dovolený úbytek napětí dle TSI ENE	$\Delta U_{2,7kV} = 0,8 \text{ kV}$
Dovolený úbytek napětí dle ČSN	$\Delta U_{2,0kV} = 1,5 \text{ kV}$

PARAMETRY TRAKČNÍHO VEDENÍ:

trolej	nosné lano	zesilovací lano	celkový průřez	rel. odpor	max. proudové zatížení při oteplení 60 °C
150 Cu +	120 Cu	0 x 120Cu	240 mm ²	0,099 Ω/km	1400 A
150 Cu +	120 Cu	1 x 120Cu	360 mm ²	0,066 Ω/km	2048 A
150 Cu +	120 Cu	2 x 120Cu	480 mm ²	0,049 Ω/km	2870 A
relativní odpor zpětné cesty			15077 mm ²	0,0208 Ω/km	
relativní odpor koleje S49				0,0252 Ω/km	

Výstupní souhrnné informace:

Počet napájecích stanic	41
Instalovaný výkon 110kV	210 MVA
Instalovaný výkon 3kV	483 MW
Střední roční výkon	63 MW
Sjednané čtvrthodinové maximum	305 MW
Skutečné čtvrthodinové maximum	249 MW
Odhad vyloučeného železa	180 t/rok

ENERGETICKÉ VÝPOČTY METODOU STŘEDNÍCH ÚBYTKŮ NAPĚTÍ

OBLAST OŘ OLOMOUC A OŘ OSTRAVA

SEZNAM NAPÁJECÍCH STANIC :

OŘ OLOMOUC

Hranice n. Mor.
Prosenice
Grygov
Červenka
Rudoltice
Hoštejn
Šumperk
Říkovice
Otrokovice
Nedakonice
Střelná
Ústí u Vs.
Valašské Meziříčí

OŘ OSTRAVA

Suchdol n. O.
Studénka
Ostrava Svinov
Vratimov
Dětmárovice
Český Těšín
Jablůnkov
Albrechtice u Č.T.
Opava
Mosty u Jablunkova

VSTUPNÍ PARAMETRY OPOTŘEBENÍ A TEPLoty:

teplota okolí trakčního vedení	40 °C
oteplení trakčního vedení	60 °C
opotrebení troleje	20 %
teplota okolí koleje	40 °C
oteplení koleje	20 °C
opotrebení koleje	2 %

VSTUPNÍ PARAMETRY NAPĚTÍ:

Napětí na prázdkno	$U_{TM} = 3,5 \text{ kV}$
Napětí na výstupu při I_{jm}	$U_0 = 3,3 \text{ kV}$
Jmenovité napětí	$U_{jm} = 3,0 \text{ kV}$
Minimální napětí dle TSI ENE	$U_{2,7kV} = 2,7 \text{ kV}$
Minimální napětí dle ČSN	$U_{2,0kV} = 2,0 \text{ kV}$
Dovolný úbytek napětí dle TSI ENE	$\Delta U_{2,7kV} = 0,8 \text{ kV}$
Dovolný úbytek napětí dle ČSN	$\Delta U_{2,0kV} = 1,5 \text{ kV}$

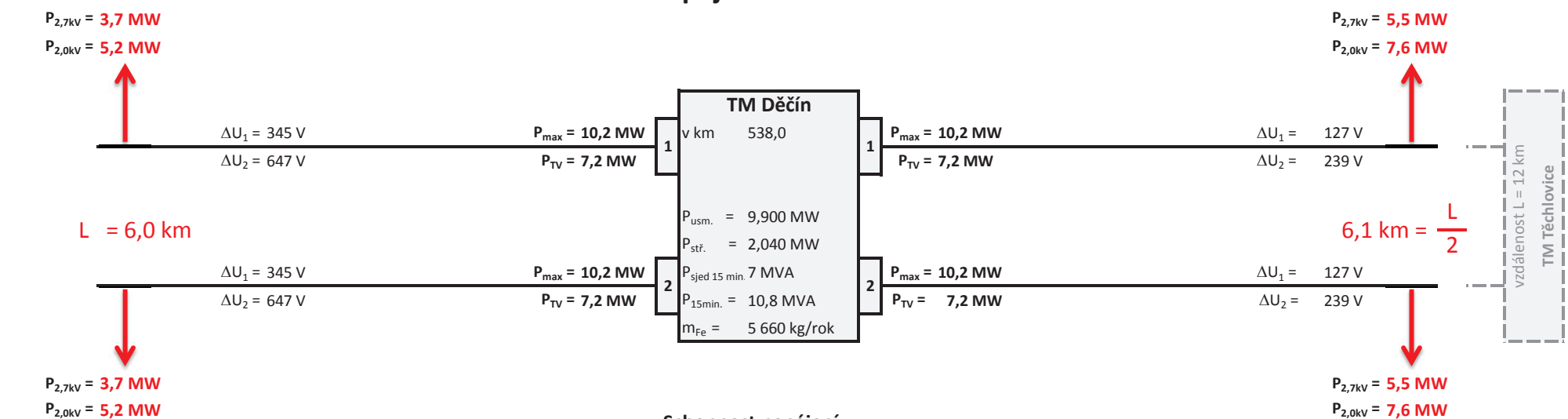
PARAMETRY TRAKČNÍHO VEDENÍ:

trolej	nosné lano	zesilovací lano	celkový průřez	rel. odpor	max. proudové zatížení při oteplení 60 °C
150 Cu +	120 Cu	0 x 120Cu	240 mm ²	0,099 Ω/km	1400 A
150 Cu +	120 Cu	1 x 120Cu	360 mm ²	0,066 Ω/km	2048 A
150 Cu +	120 Cu	2 x 120Cu	480 mm ²	0,049 Ω/km	2870 A
relativní odpor koleje UIC 60				0,0208 Ω/km	
relativní odpor koleje S49				0,0252 Ω/km	

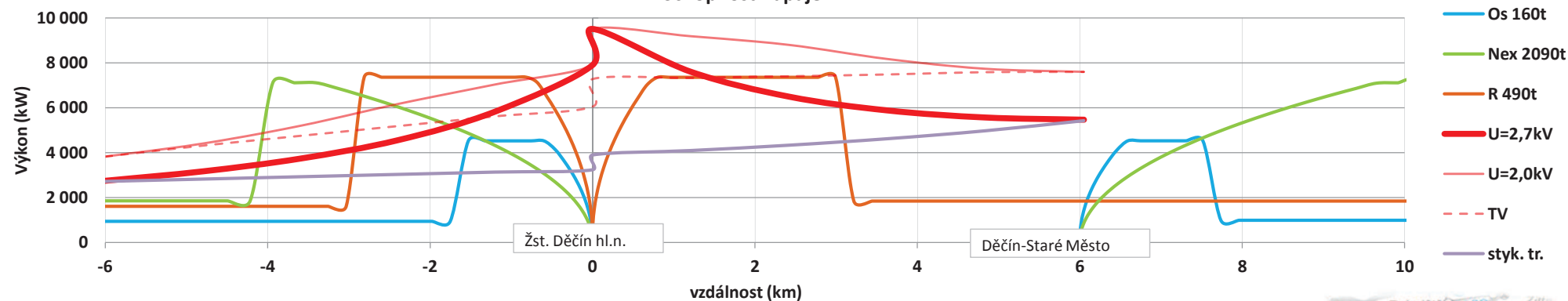
Výstupní souhrnné informace:

Počet napájecích stanic	23
Instalovaný výkon 110kV	391 MVA
Instalovaný výkon 3kV	343 MW
Střední roční výkon	41 MW
Sjednané čtvrt hodinové maximum	168 MVA
Skutečné čtvrt hodinové maximum	174 MVA
Odhad vyloučeného železa	102 t/rok

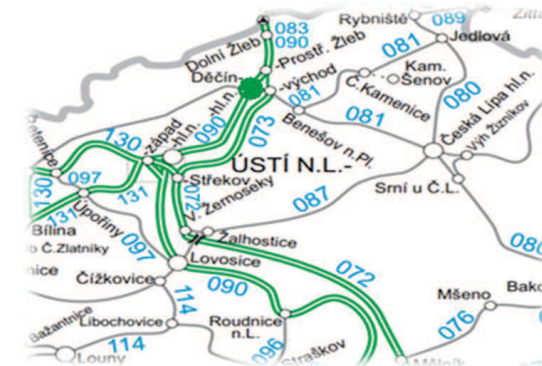
Trakční napájecí stanice Děčín 2015 - 3kV =



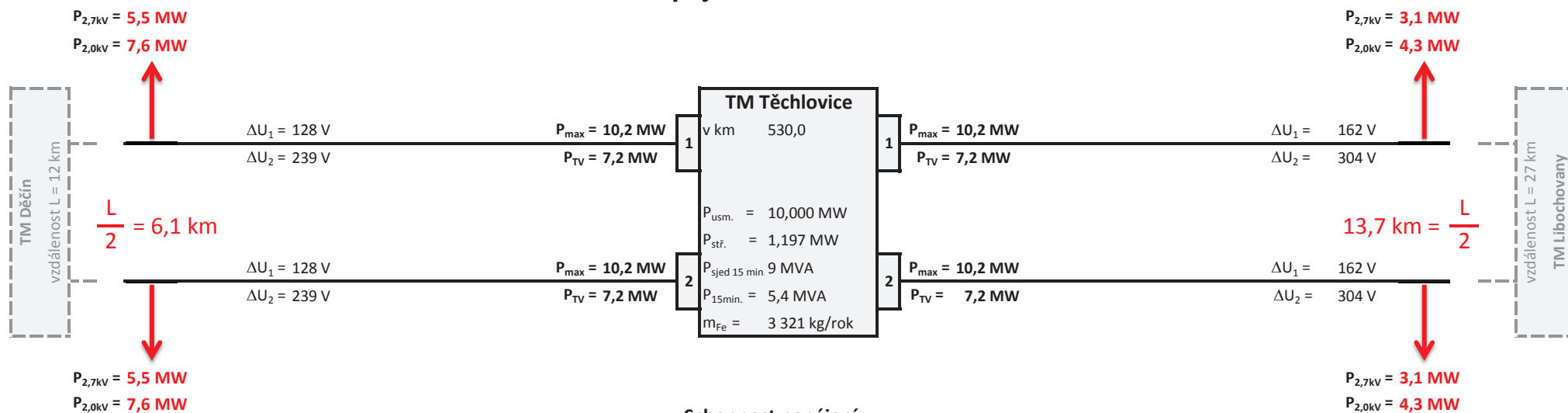
Schopnost napájení



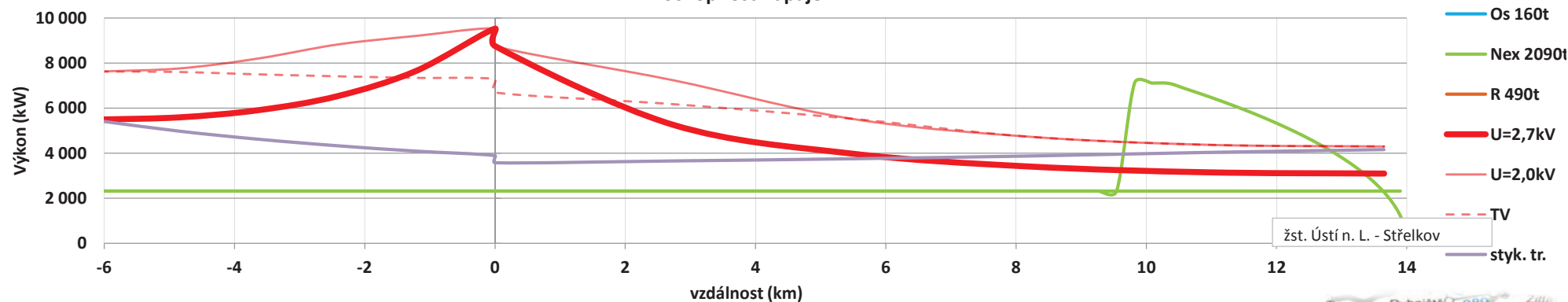
Úbytek napětí na kolejnici



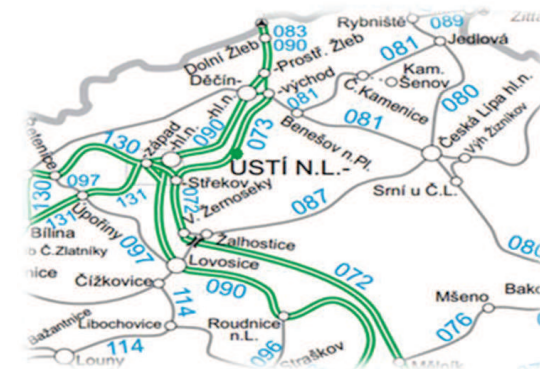
Trakční napájecí stanice Těchlovice 2015 - 3kV =



Schopnost napájení



Úbytek napětí na kolejnici



The diagram illustrates a power distribution system for a transformer station (TM) with two feeders. The central transformer station is labeled "TM Libochovany" and has a capacity of 15,000 MVA. It has two feeders, labeled 1 and 2. Feeder 1 has a length of 503,0 km and a maximum power of 10,2 MW. Feeder 2 has a length of 12,8 km and a maximum power of 10,2 MW. The diagram shows the power flow from the transformer station to the feeders, with voltage drops and power losses indicated. The feeders are connected to a 27 kV busbar on the left and a 26 kV busbar on the right. The diagram also shows the power flow from the feeders to the busbars, with voltage drops and power losses indicated. The diagram is a schematic representation of a power distribution system.

Transformer Station (TM) Data:

- Capacity: 15,000 MVA
- Stf. (Short-circuit power): 4,179 MW
- sjed 15 min. (15 min. load): 12 MVA
- 15min. (15 min. load): 12,0 MVA
- m_{Fe} (Iron loss): 11 598 kg/rok

Feeder 1 Data:

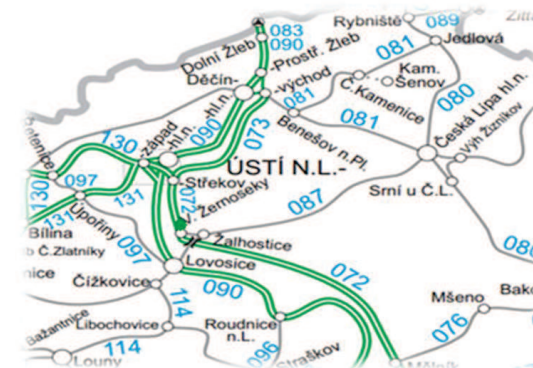
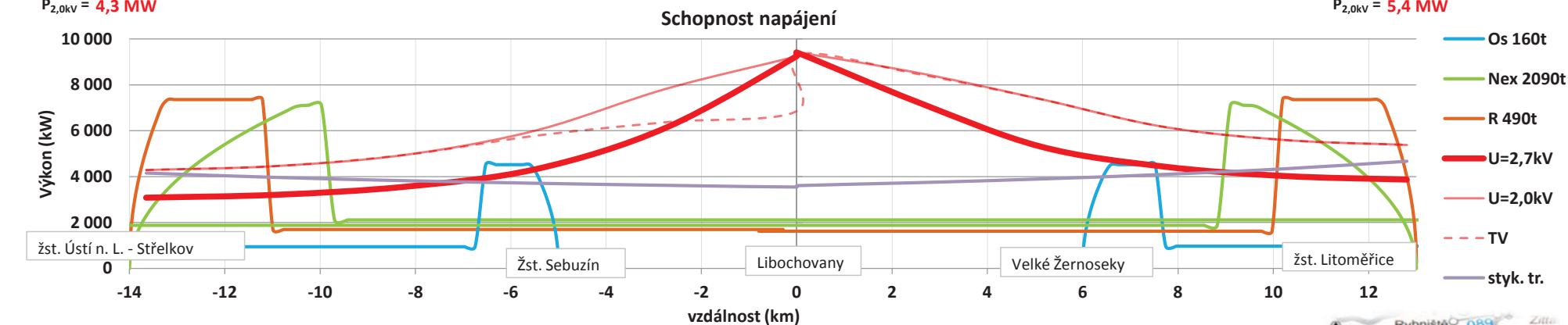
- Length: 503,0 km
- Maximum Power: $P_{\max} = 10,2 \text{ MW}$
- Power Loss: $P_{TV} = 7,2 \text{ MW}$
- Voltage Drop: $\Delta U_1 = 162 \text{ V}$, $\Delta U_2 = 304 \text{ V}$

Feeder 2 Data:

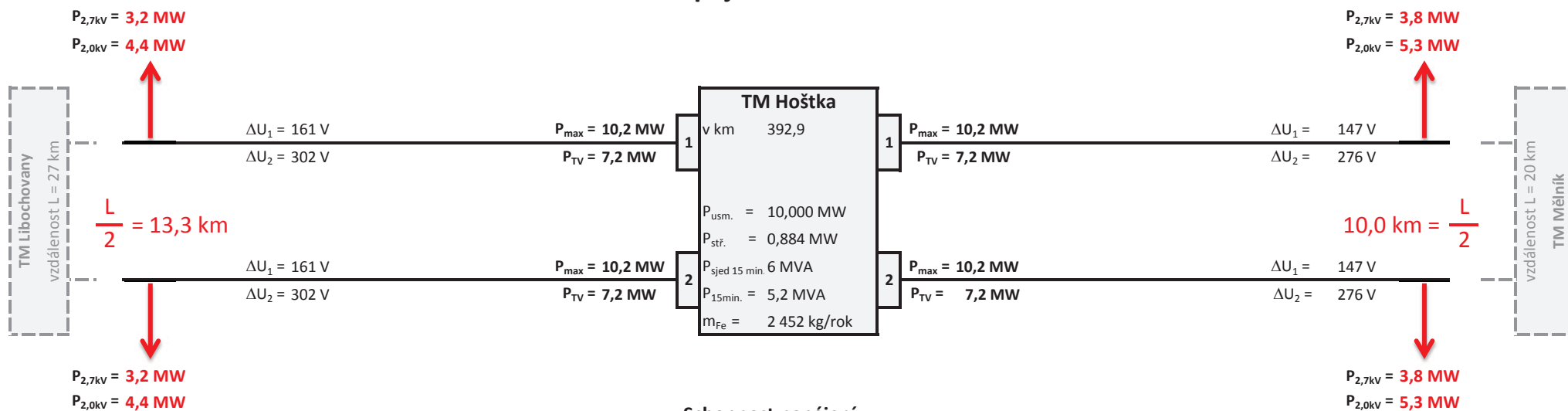
- Length: 12,8 km
- Maximum Power: $P_{\max} = 10,2 \text{ MW}$
- Power Loss: $P_{TV} = 10,0 \text{ MW}$
- Voltage Drop: $\Delta U_1 = 191 \text{ V}$, $\Delta U_2 = 358 \text{ V}$

Busbar Data:

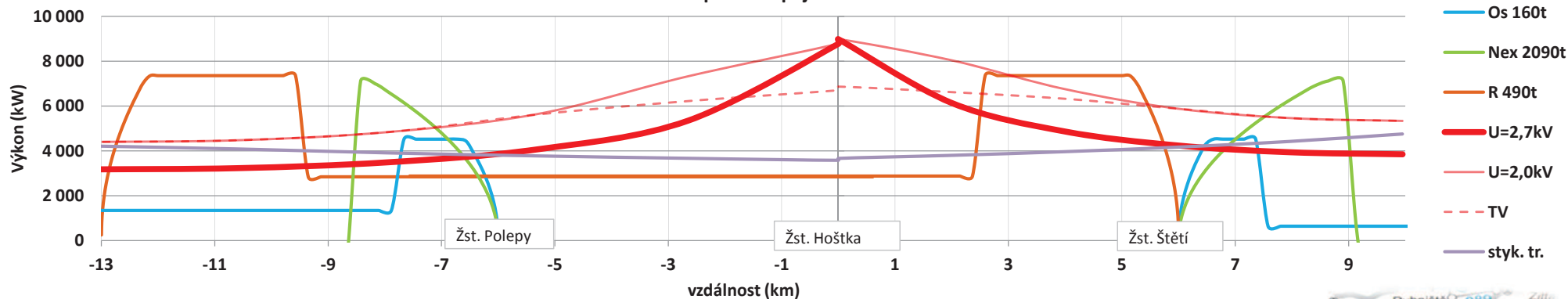
- Left Busbar (27 kV): $P_{2,7kV} = 3,1 \text{ MW}$, $P_{2,0kV} = 4,3 \text{ MW}$
- Right Busbar (26 kV): $P_{2,7kV} = 3,9 \text{ MW}$, $P_{2,0kV} = 5,4 \text{ MW}$



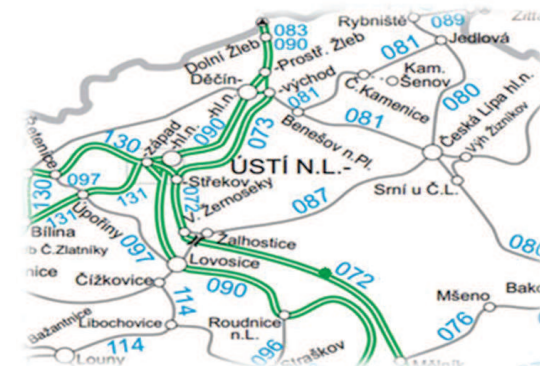
Trakční napájecí stanice Hoštka 2015 - 3kV =



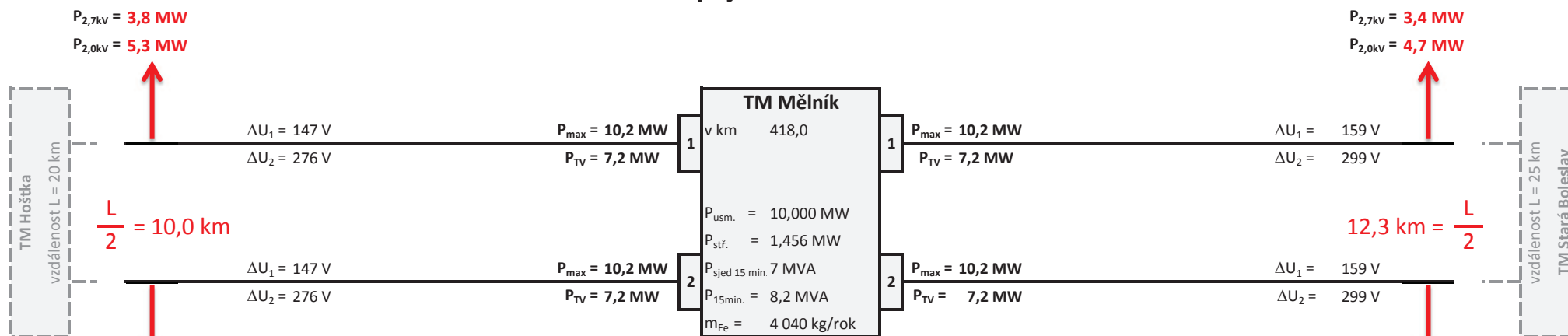
Schopnost napájení



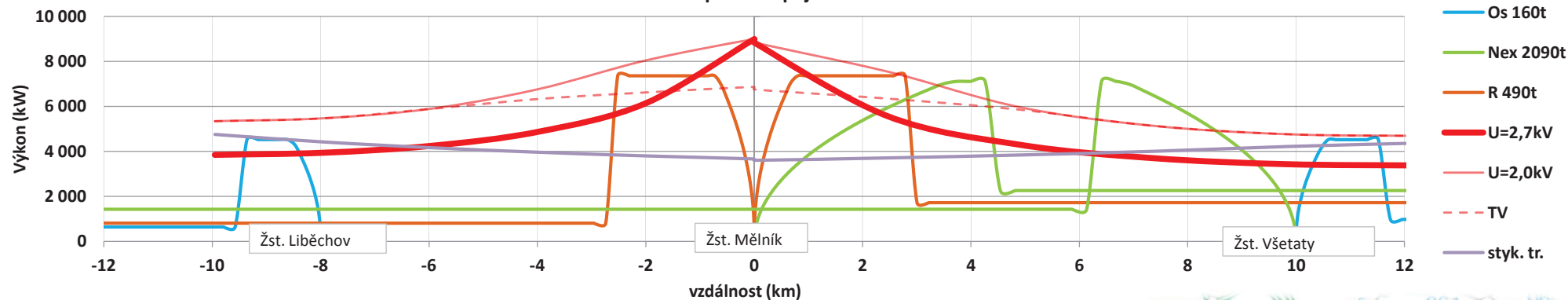
Úbytek napětí na kolejnici



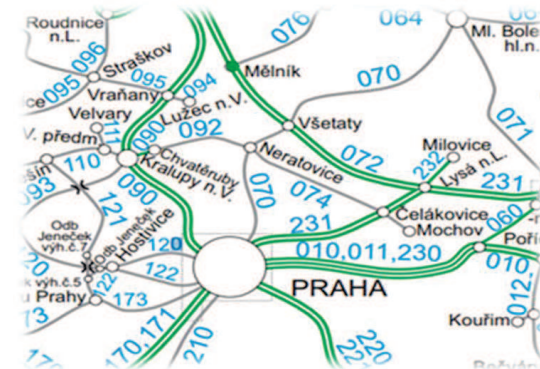
Trakční napájecí stanice Mělník 2015 - 3kV =



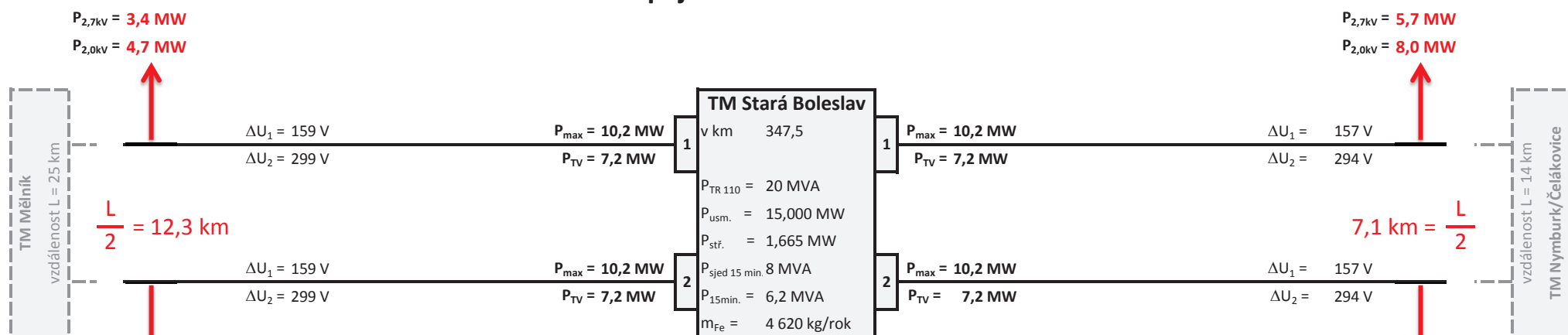
Schopnost napájení



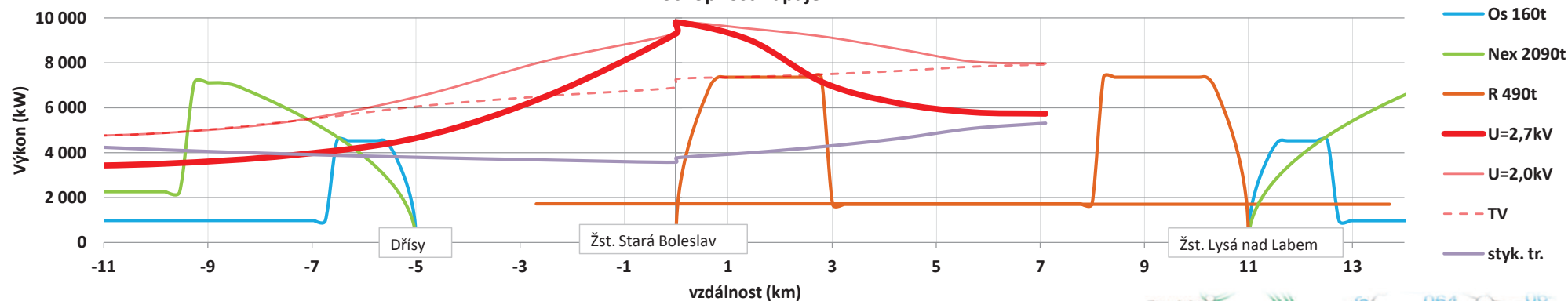
Úbytek napětí na kolejnici



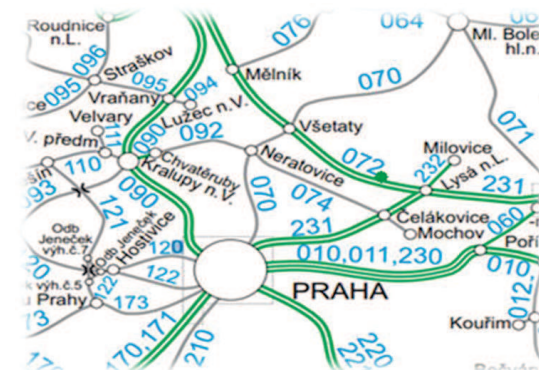
Trakční napájecí stanice Stará Boleslav 2015 - 3kV =



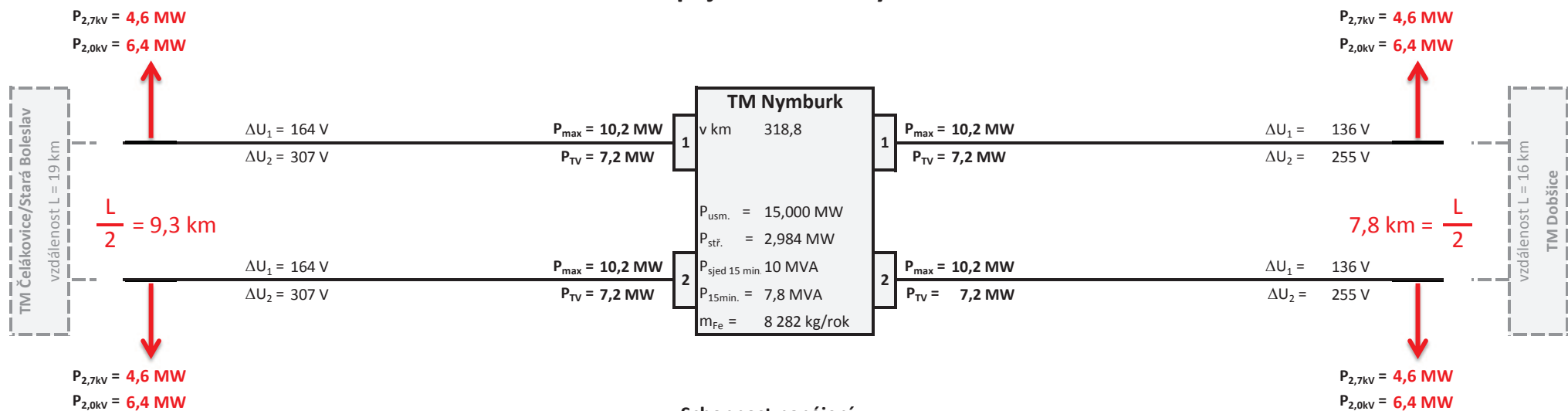
Schopnost napájení



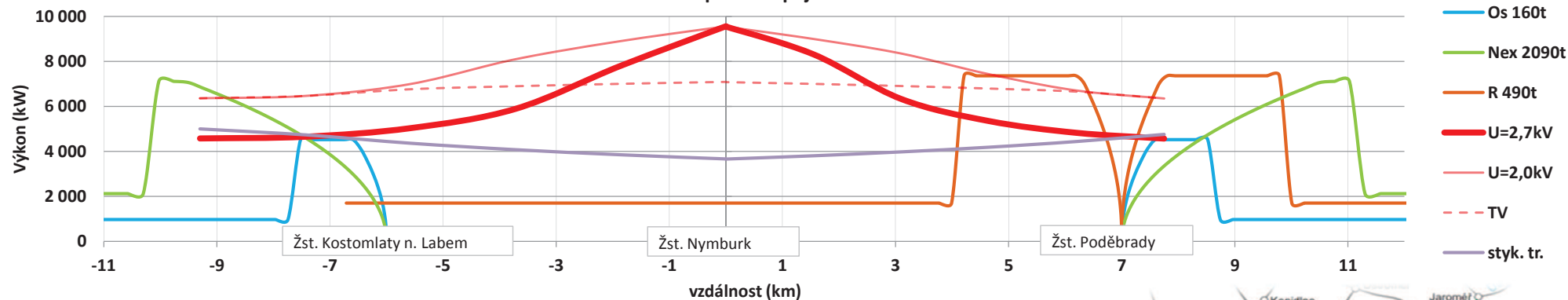
Úbytek napětí na kolejnici



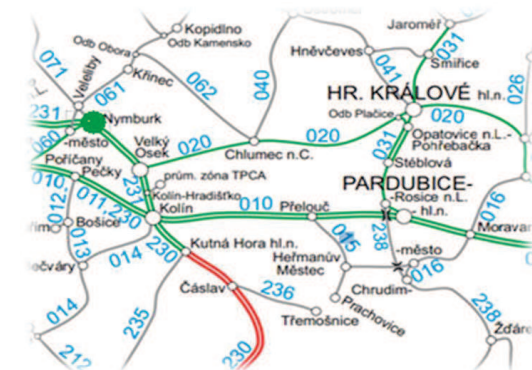
Trakční napájecí stanice Nymburk 2015 - 3kV =



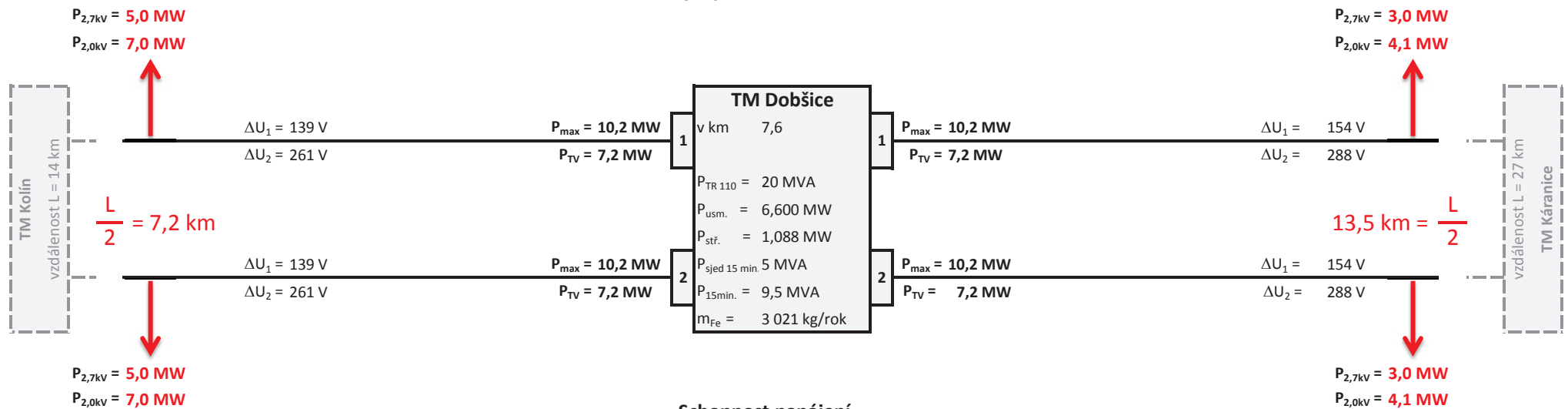
Schopnost napájení



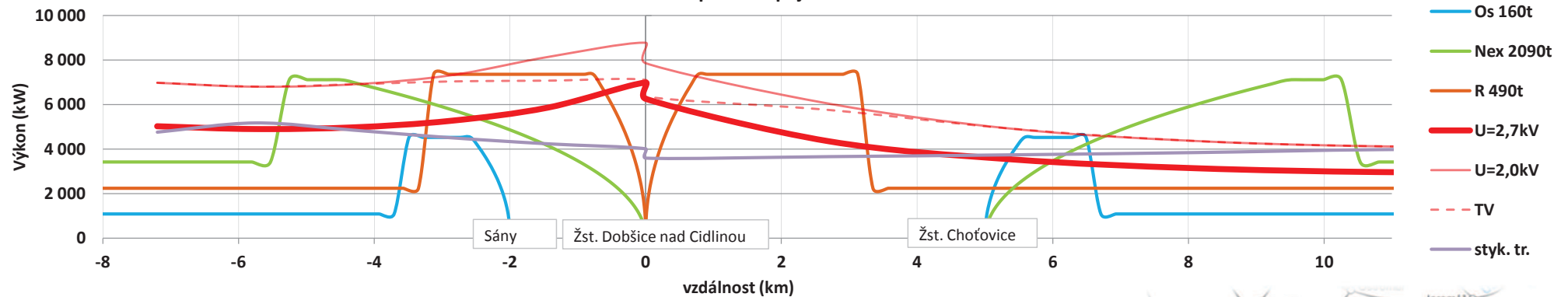
Úbytek napětí na kolejnici



Trakční napájecí stanice Dobšice 2015 - 3kV =



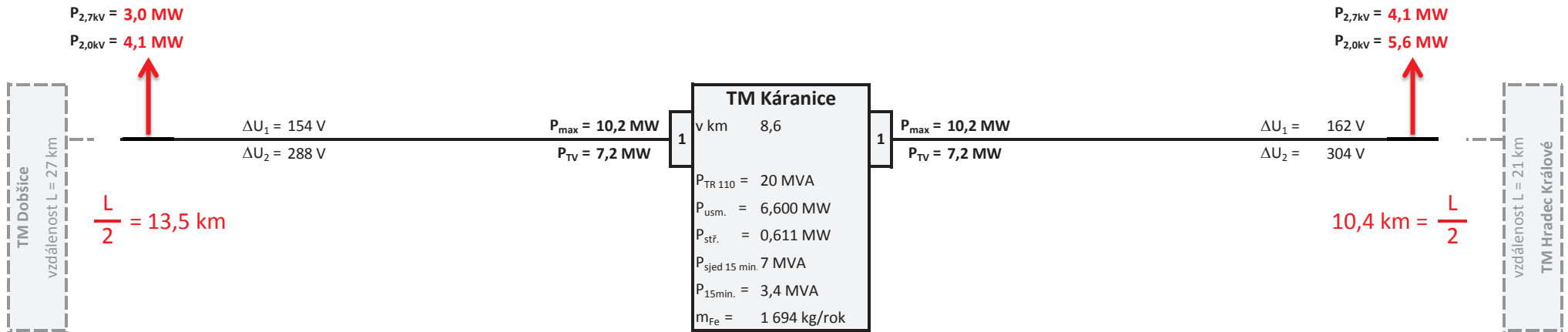
Schopnost napájení



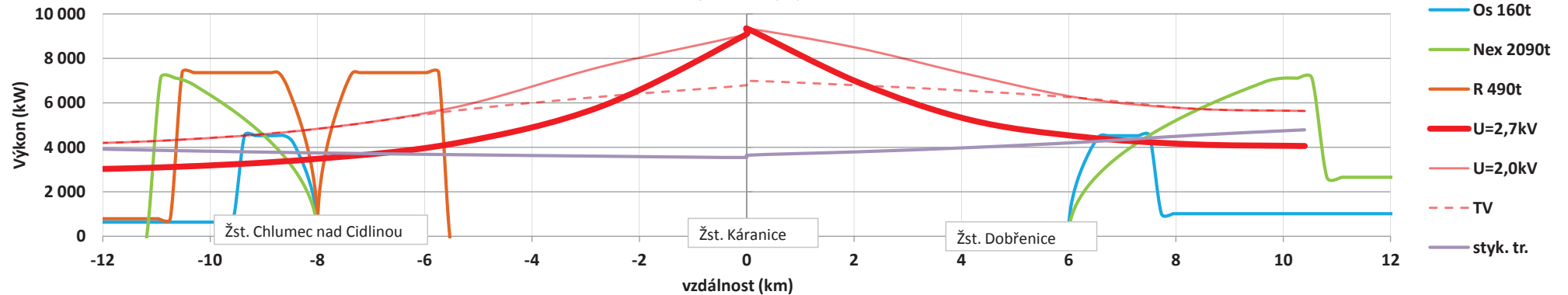
Úbytek napětí na kolejnici



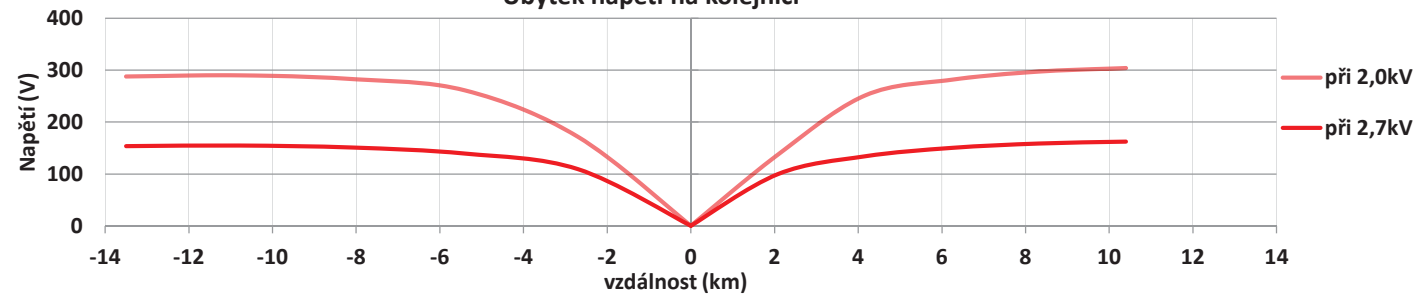
Trakční napájecí stanice Káranice 2015 - 3kV =



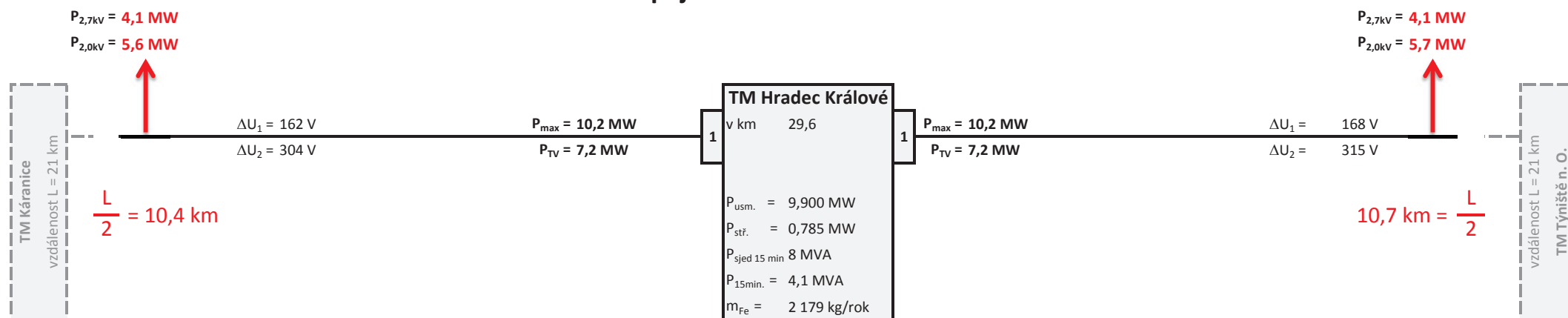
Schopnost napájení



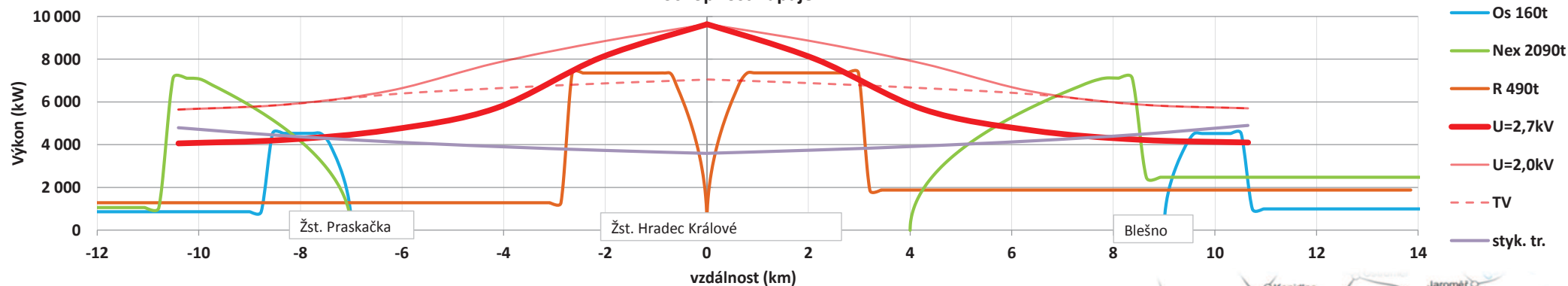
Úbytek napětí na kolejnici



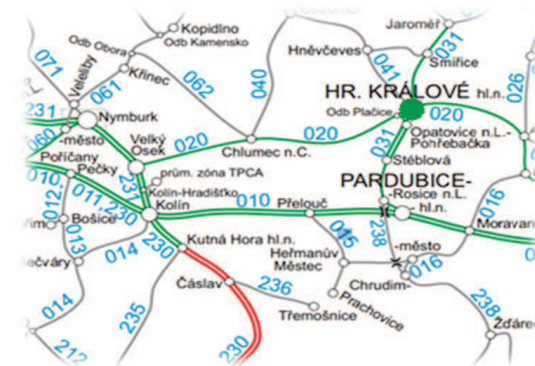
Trakční napájecí stanice Hradec Králové 2015 - 3kV =



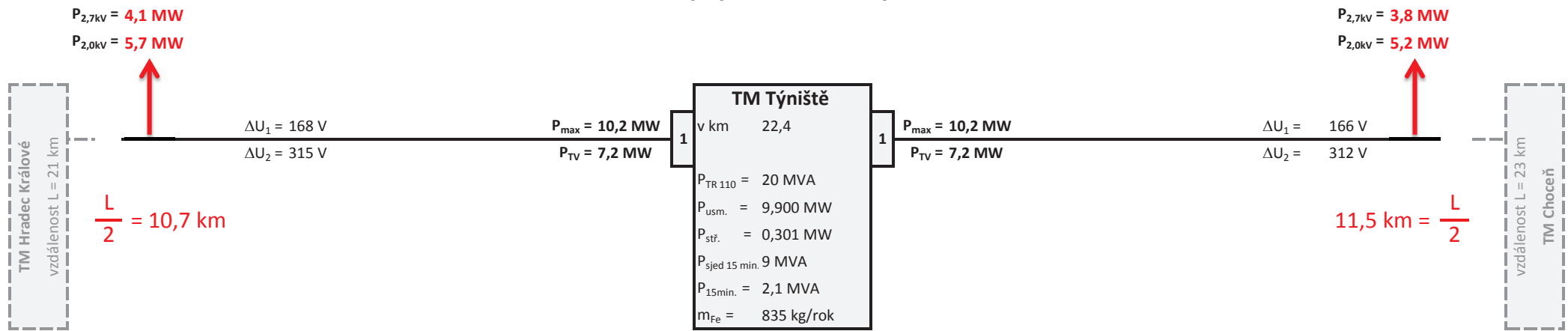
Schopnost napájení



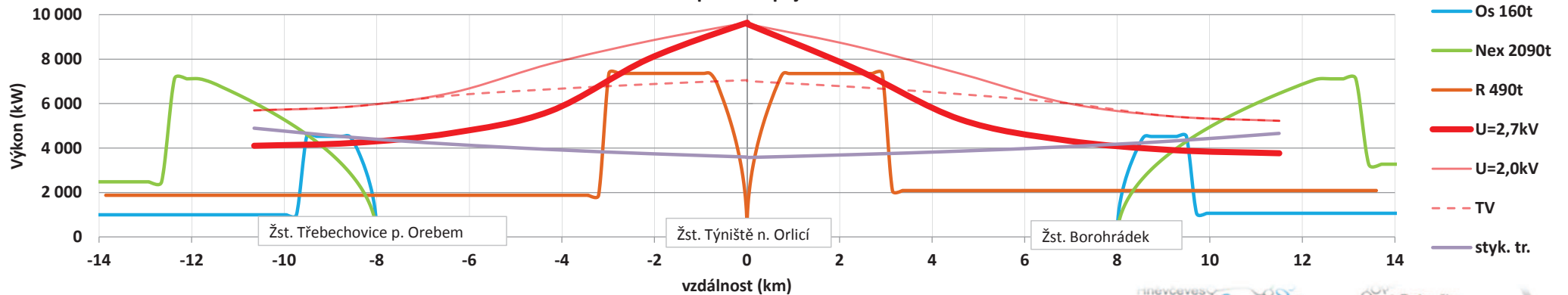
Úbytek napětí na kolejnici



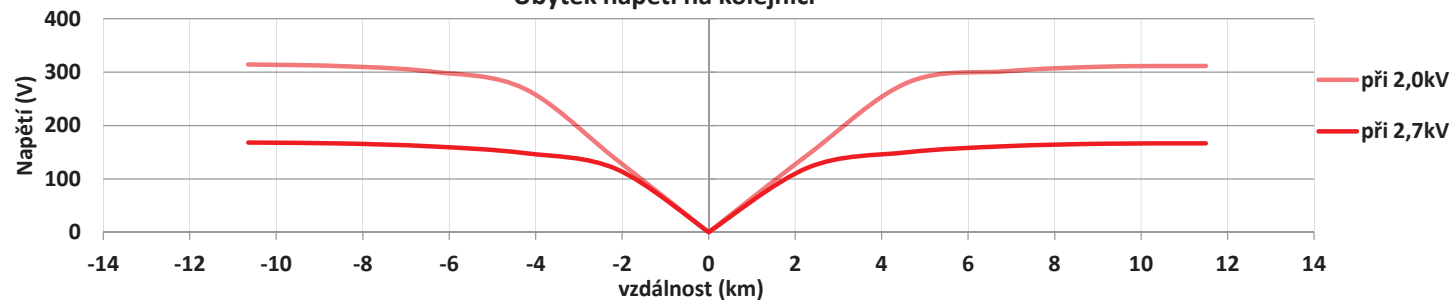
Trakční napájecí stanice Týniště 2015 - 3kV =



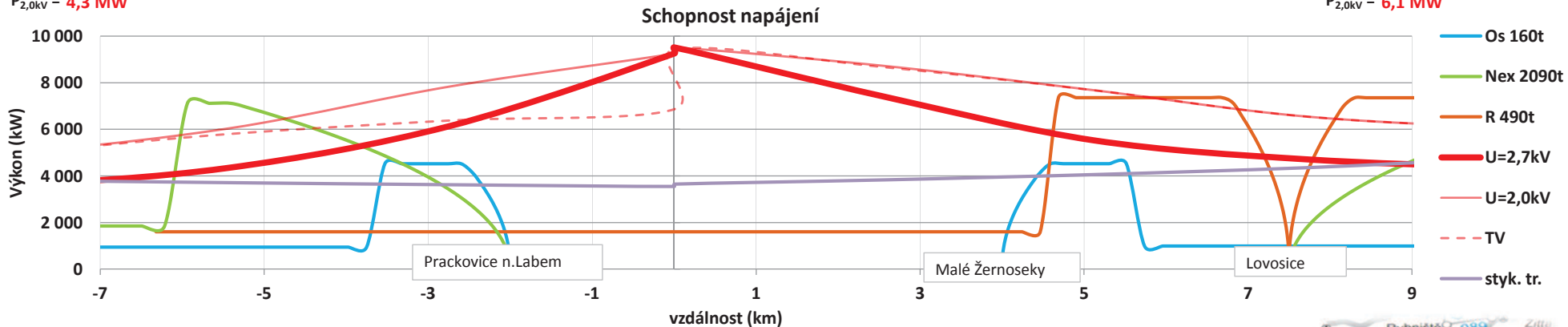
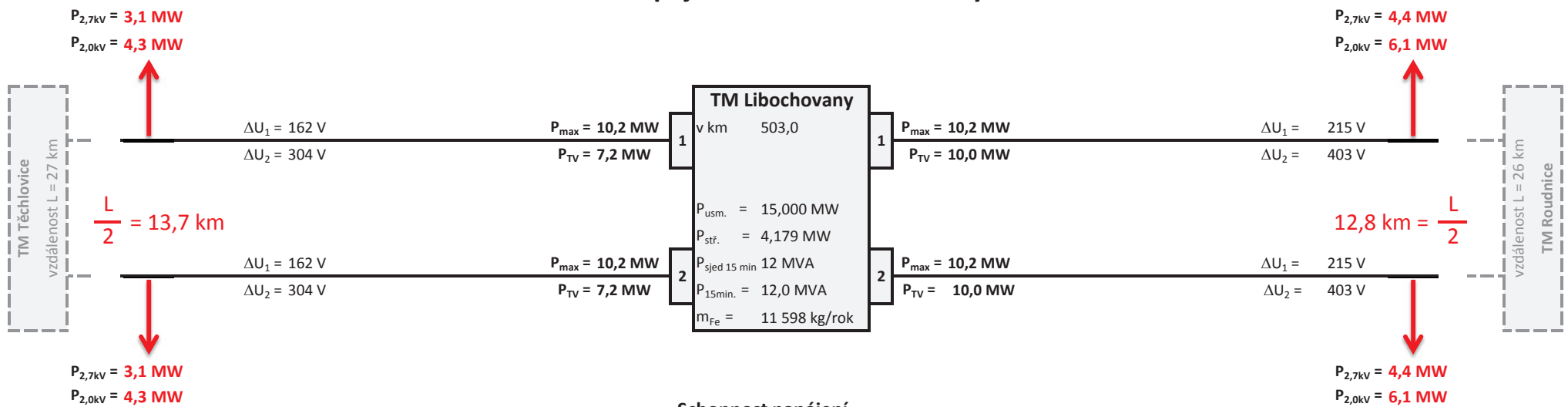
Schopnost napájení



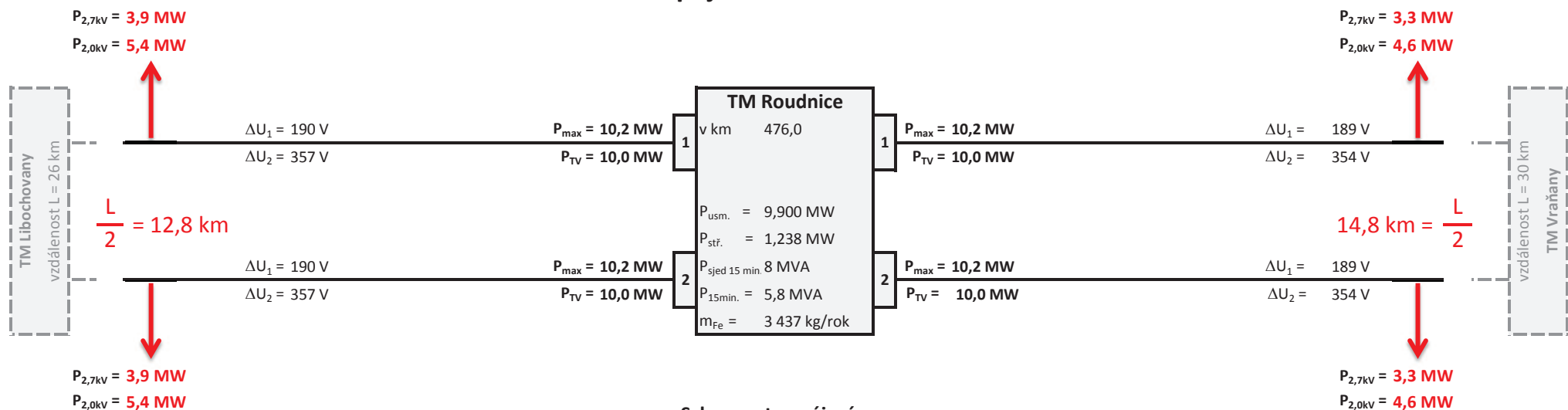
Úbytek napětí na kolejních



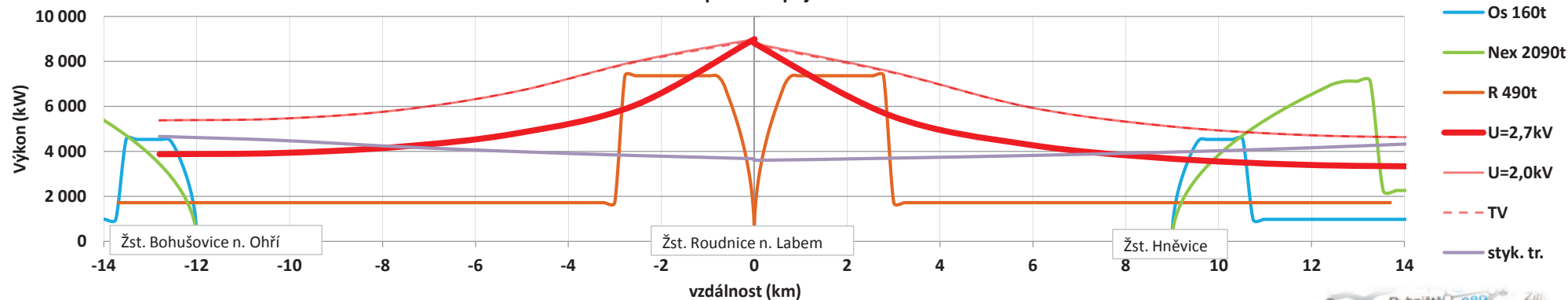
Trakční napájecí stanice Libochovany 2015 - 3kV =



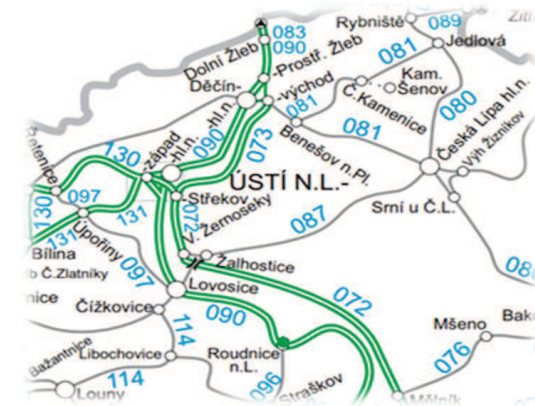
Trakční napájecí stanice Roudnice 2015 - 3kV =



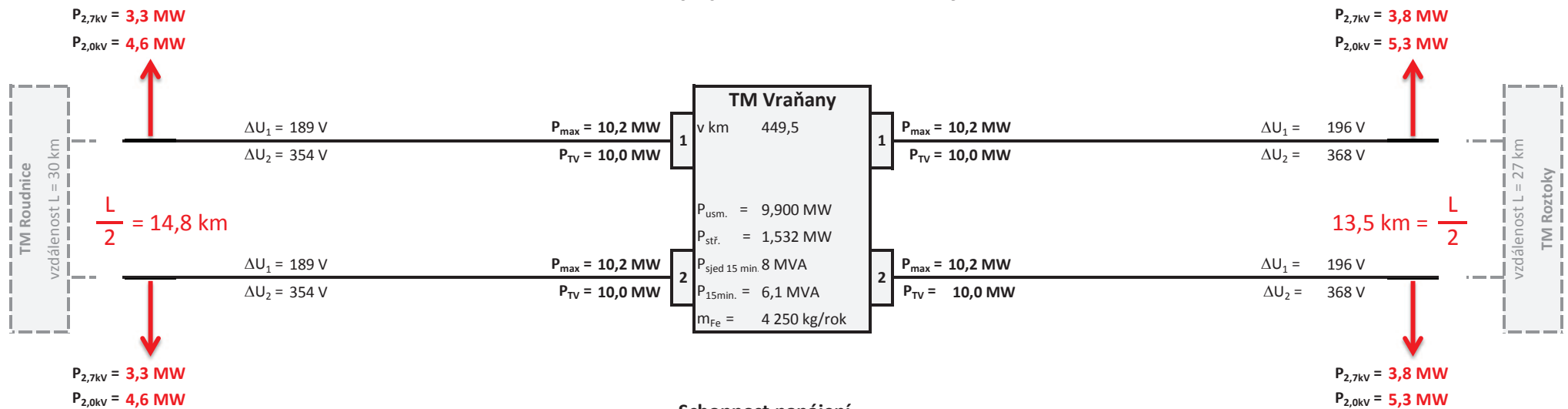
Schopnost napájení



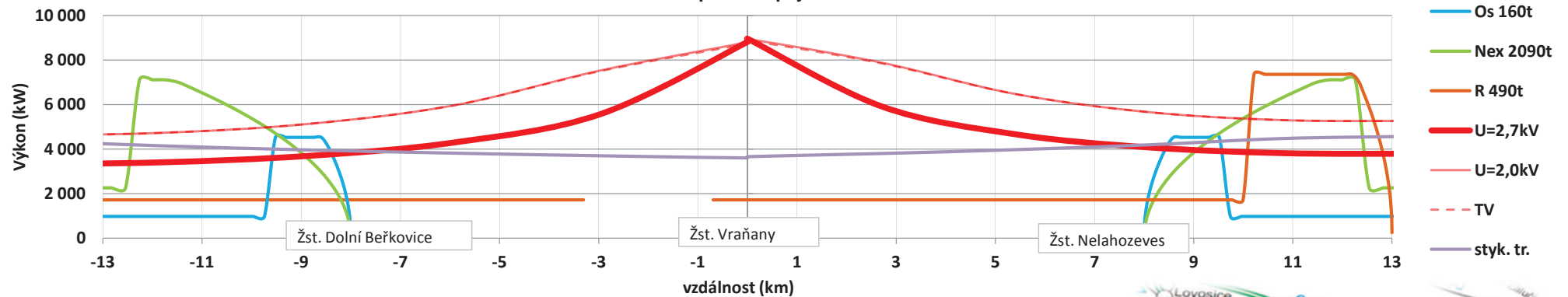
Úbytek napětí na kolejnici



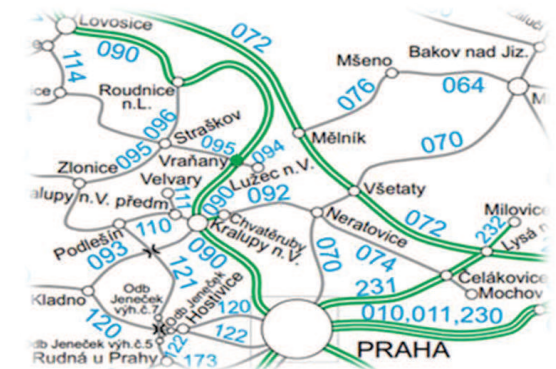
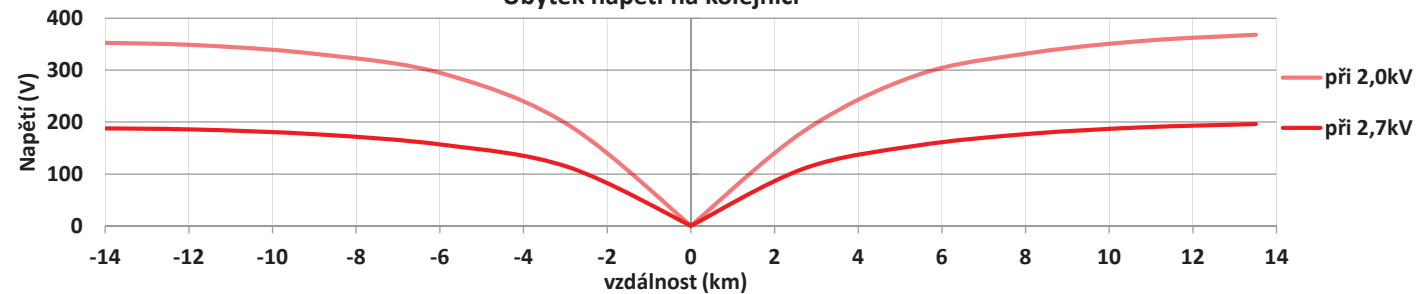
Trakční napájecí stanice Vraňany 2015 - 3kV =



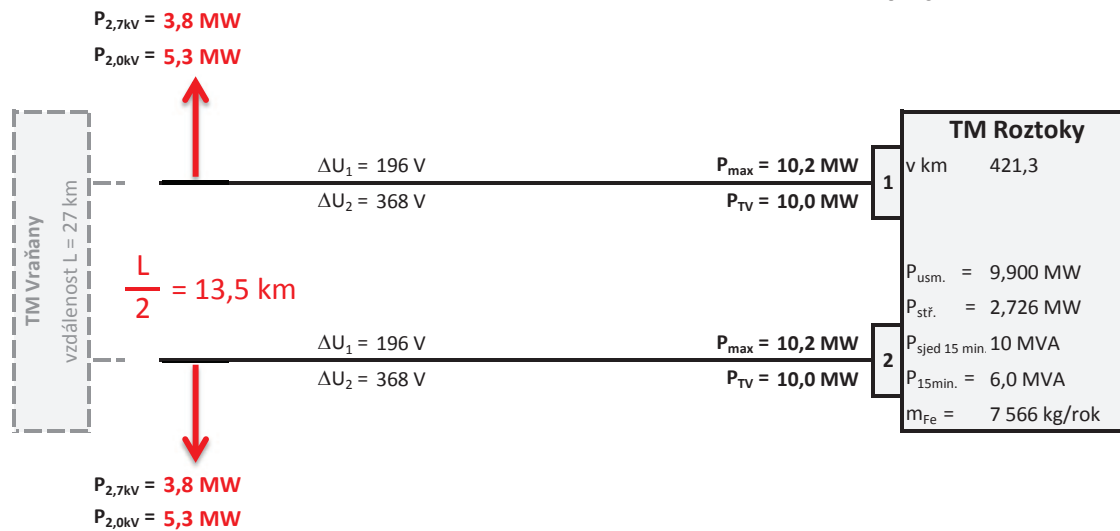
Schopnost napájení



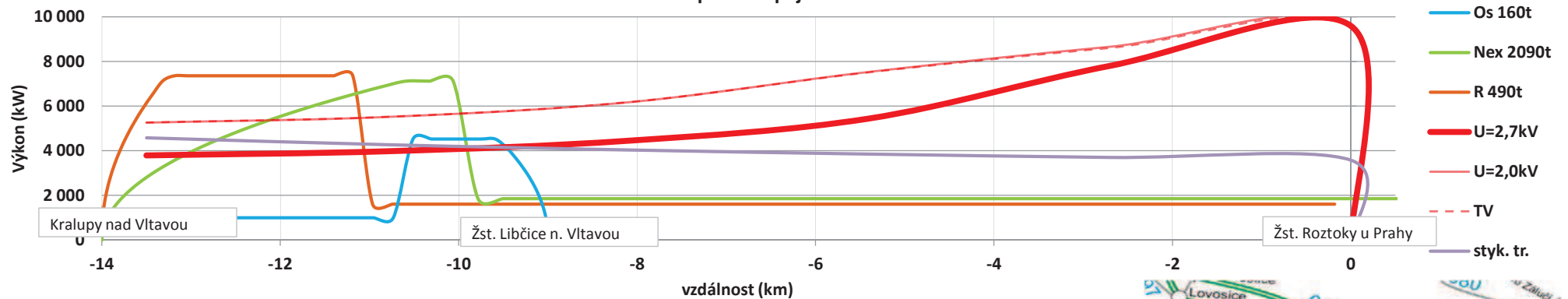
Úbytek napětí na kolejnici



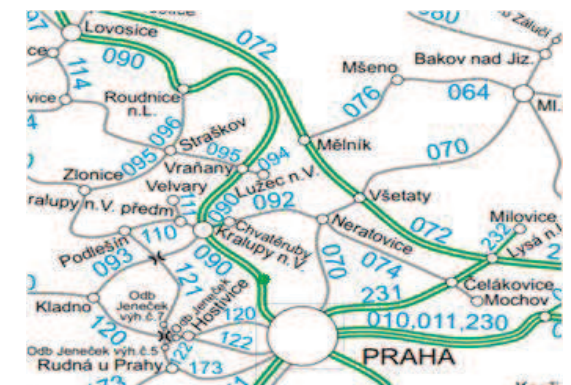
Trakční napájecí stanice Roztoky 2015 - 3kV =



Schopnost napájení

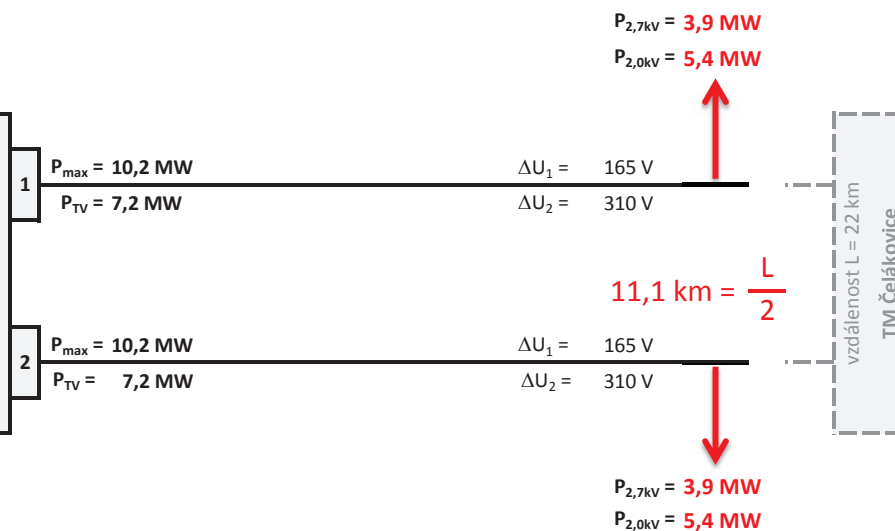


Úbytek napětí na kolejnici

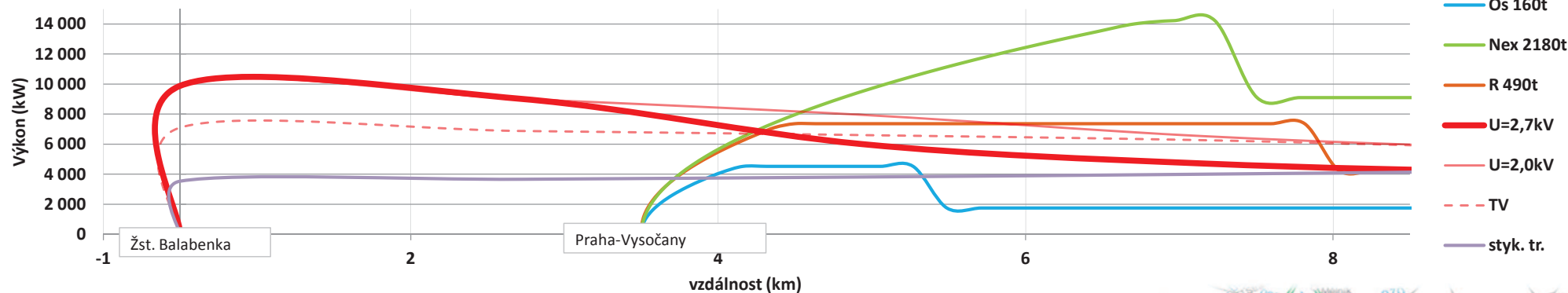


Trakční napájecí stanice Balabenka 2015 - 3kV =

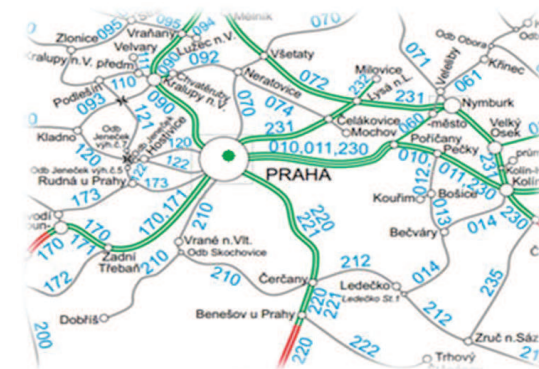
TM Balabenka	
v km	406,0
$P_{\text{usm.}}$	19,800 MW
$P_{\text{stř.}}$	3,033 MW
$P_{\text{sjed 15 min.}}$	15 MVA
$P_{\text{15min.}}$	8,5 MVA
m_{Fe}	8 416 kg/rok



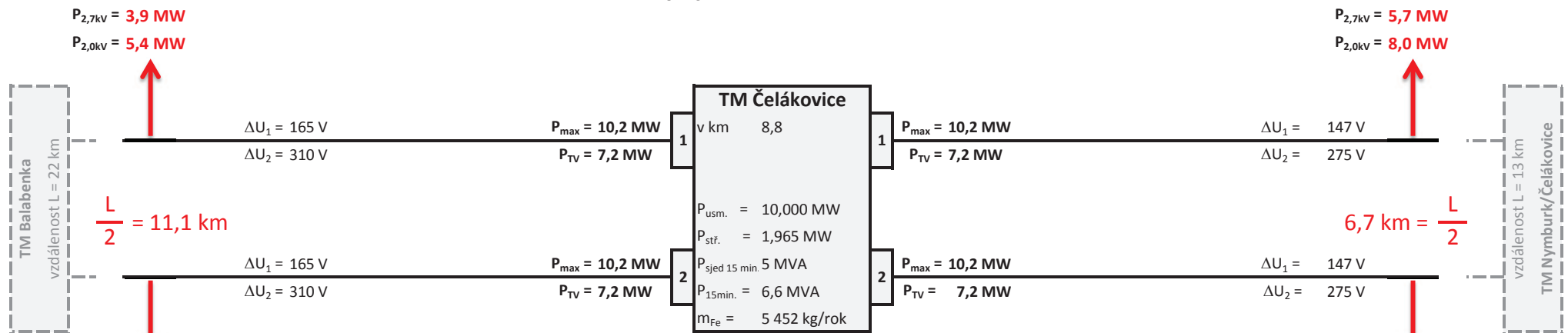
Schopnost napájení



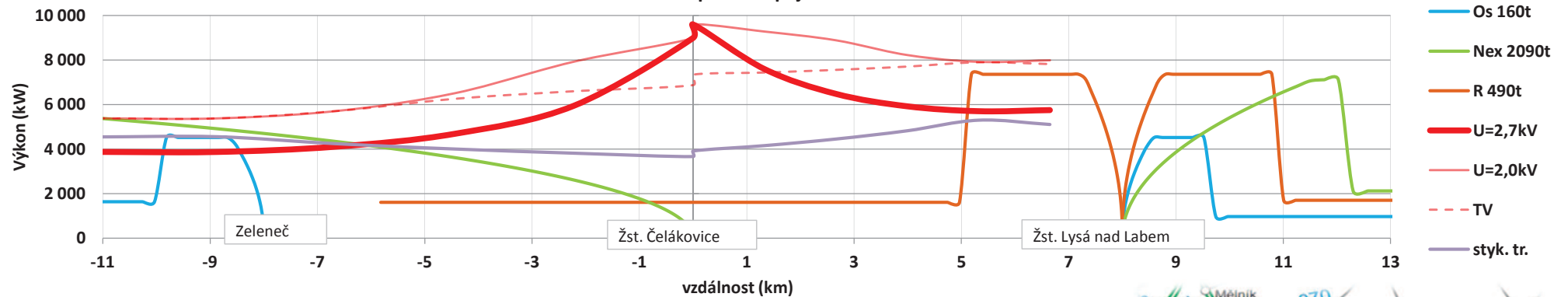
Úbytek napětí na kolejnici



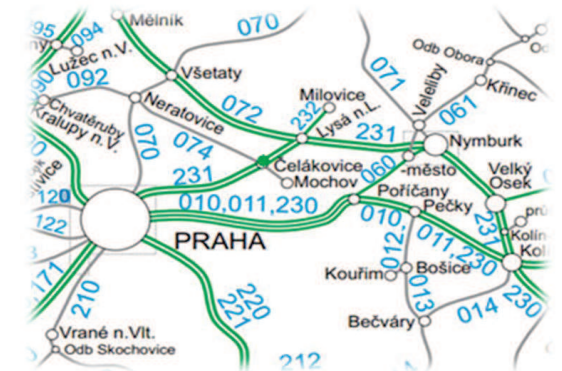
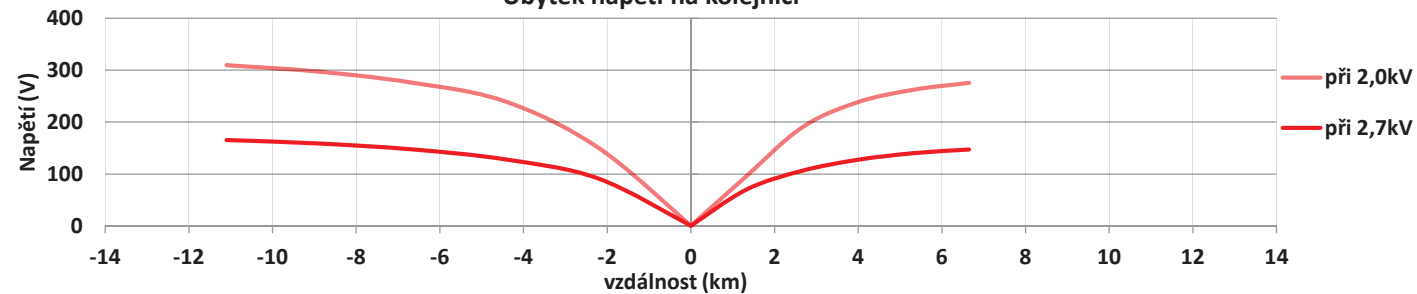
Trakční napájecí stanice Čelákovice 2015 - 3kV =



Schopnost napájení



Úbytek napětí na kolejnici



Trakční napájecí stanice Běchovice 2015 - 3kV =

TM Běchovice	
v km	395,3
$P_{\text{usm.}}$	= 15,000 MW
$P_{\text{stř.}}$	= 1,284 MW
$P_{\text{sjed 15 min.}}$	10 MVA
$P_{\text{15min.}}$	= 6,6 MVA
m_{Fe}	= 3 563 kg/rok

1 $P_{\text{max}} = 10,2 \text{ MW}$
 $P_{\text{TV}} = 7,2 \text{ MW}$

$\Delta U_1 = 178 \text{ V}$
 $\Delta U_2 = 334 \text{ V}$

$P_{2,7\text{kV}} = 6,0 \text{ MW}$
 $P_{2,0\text{kV}} = 8,3 \text{ MW}$

$7,8 \text{ km} = \frac{L}{2}$

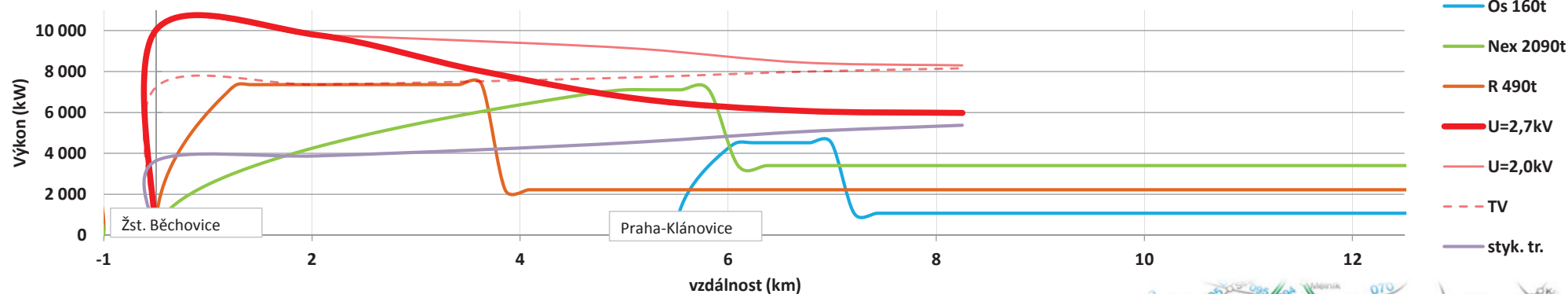
2 $P_{\text{max}} = 10,2 \text{ MW}$
 $P_{\text{TV}} = 7,2 \text{ MW}$

$\Delta U_1 = 178 \text{ V}$
 $\Delta U_2 = 334 \text{ V}$

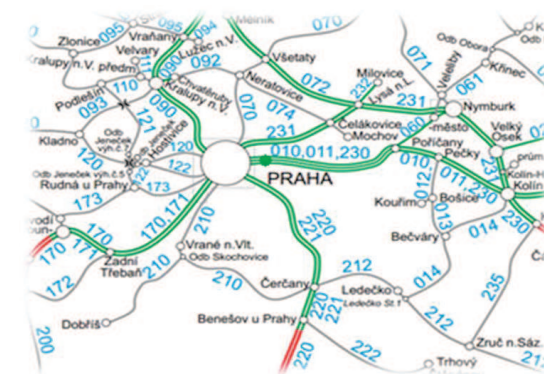
$P_{2,7\text{kV}} = 6,0 \text{ MW}$
 $P_{2,0\text{kV}} = 8,3 \text{ MW}$

vzdálenost $L = 16 \text{ km}$
 TM Rostoklaty

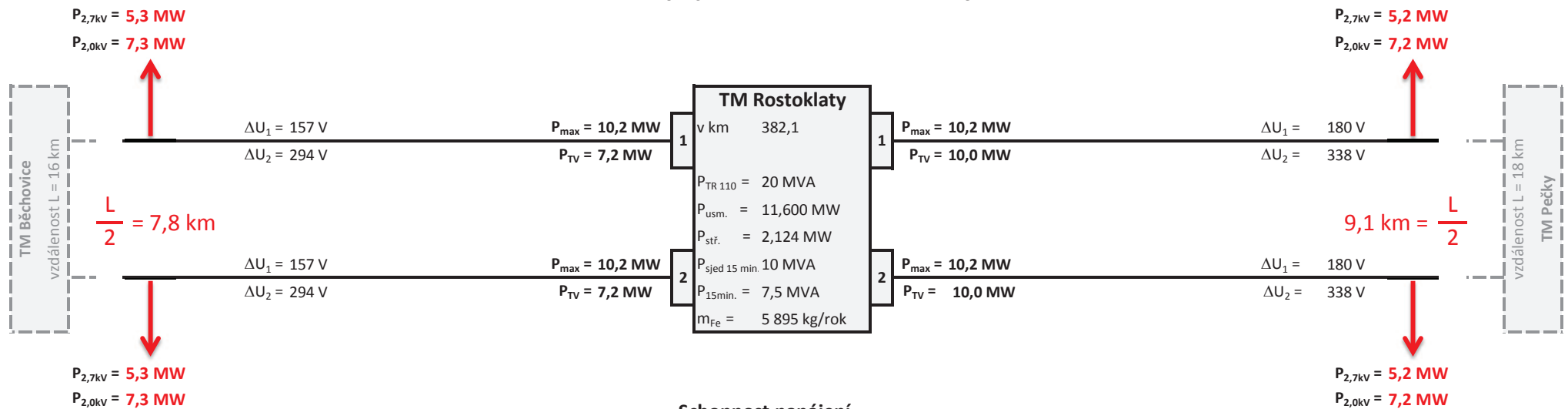
Schopnost napájení



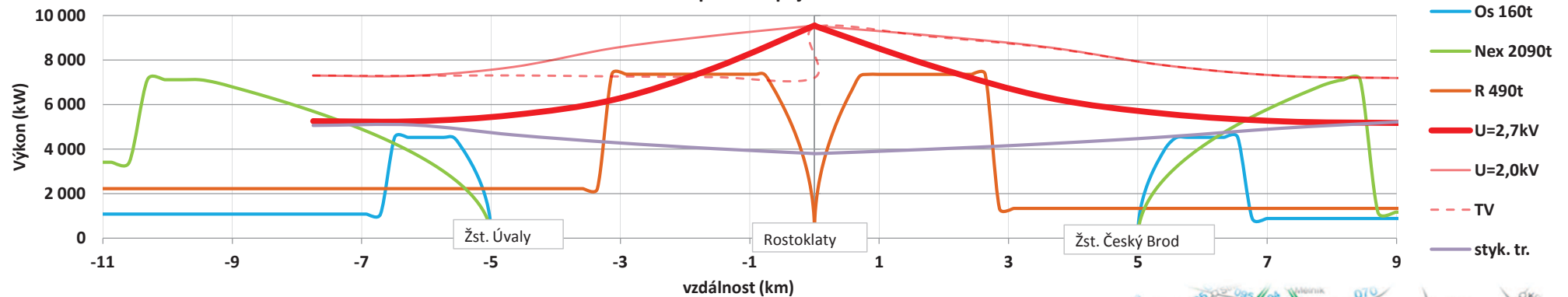
Úbytek napětí na kolejnici



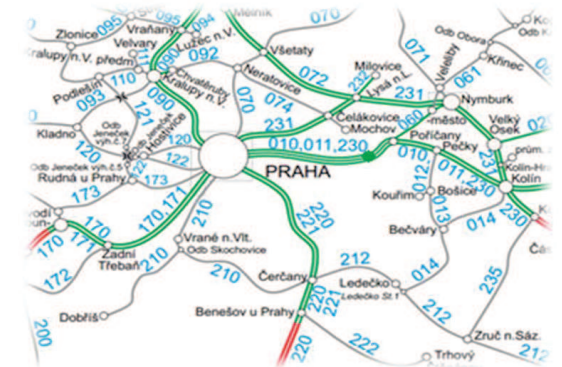
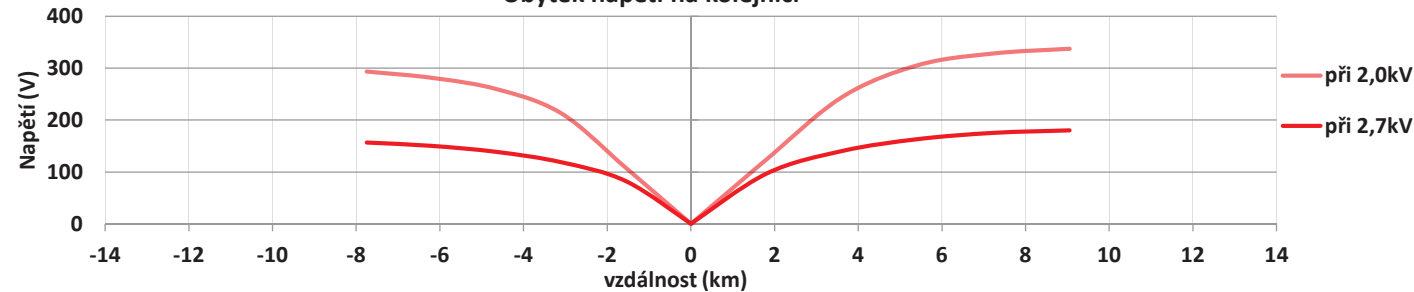
Trakční napájecí stanice Rostoklaty 2015 - 3kV =



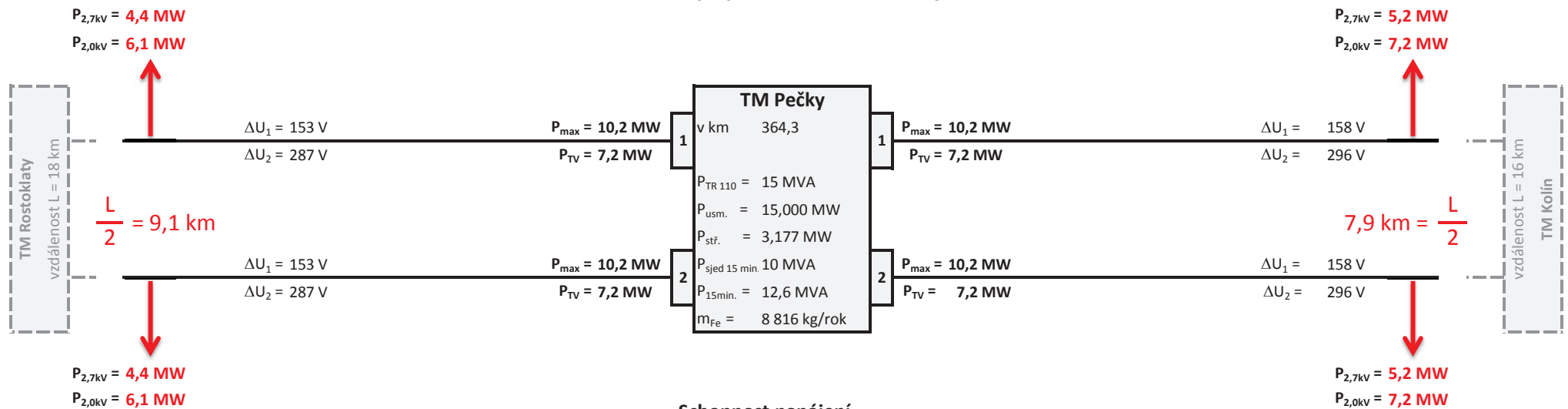
Schopnost napájení



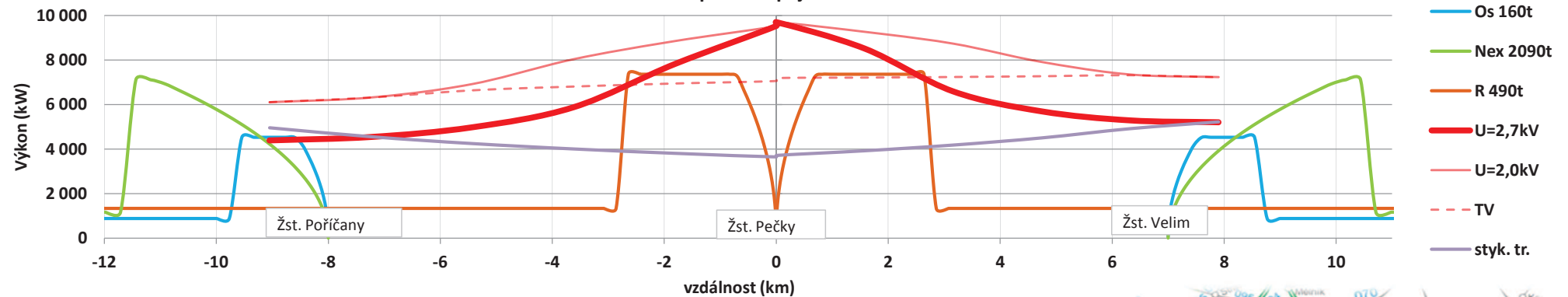
Úbytek napětí na kolejnici



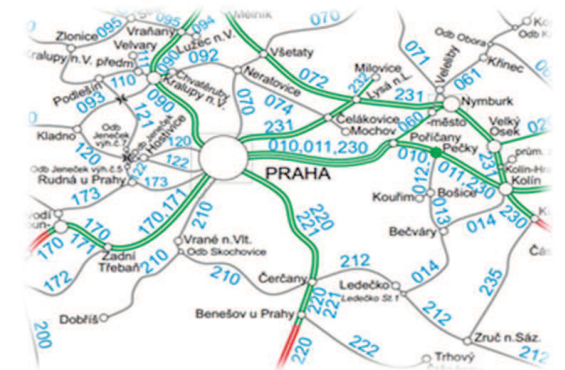
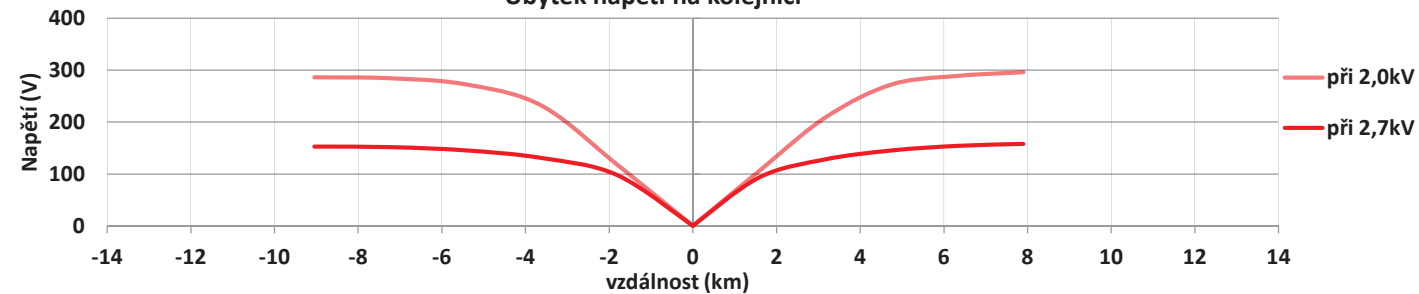
Trakční napájecí stanice Pečky 2015 - 3kV =



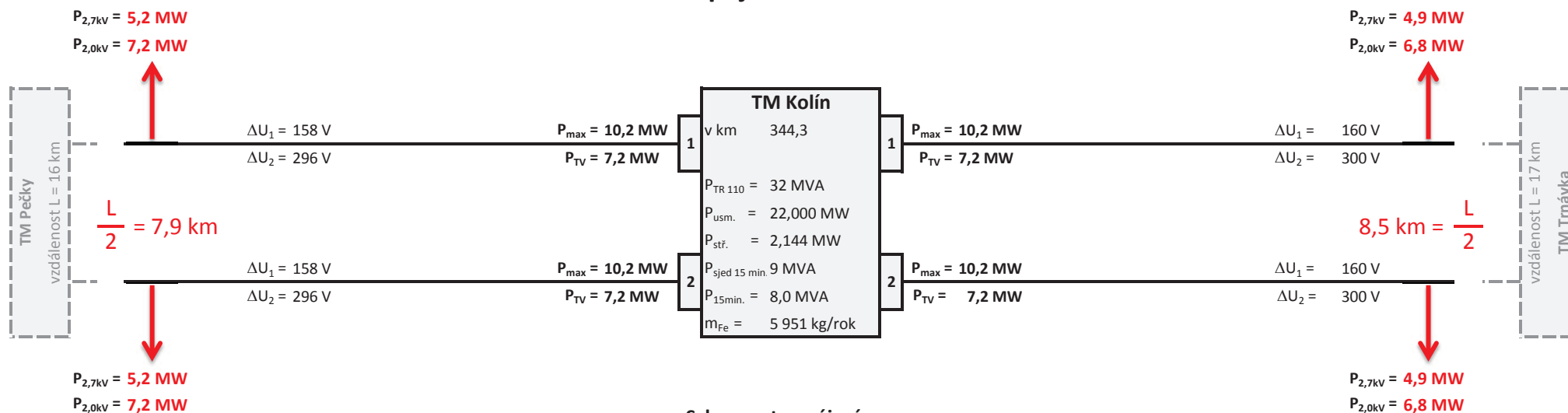
Schopnost napájení



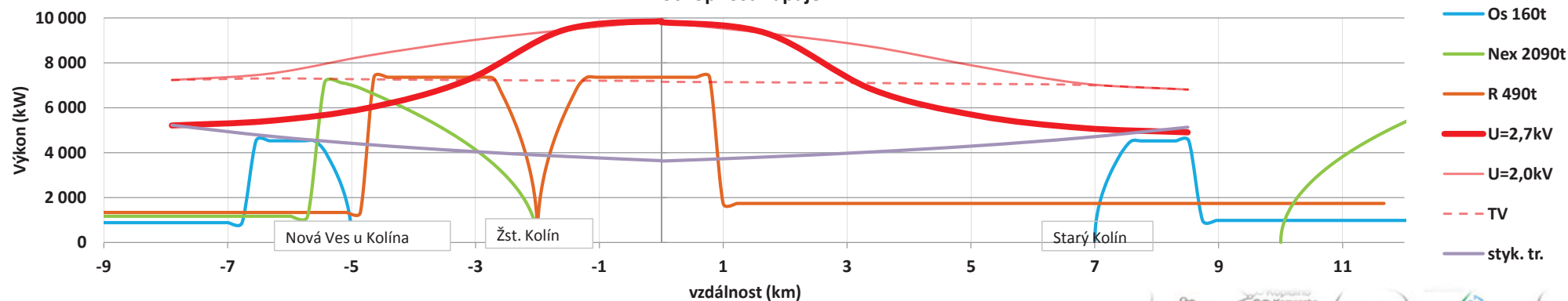
Úbytek napětí na kolejnici



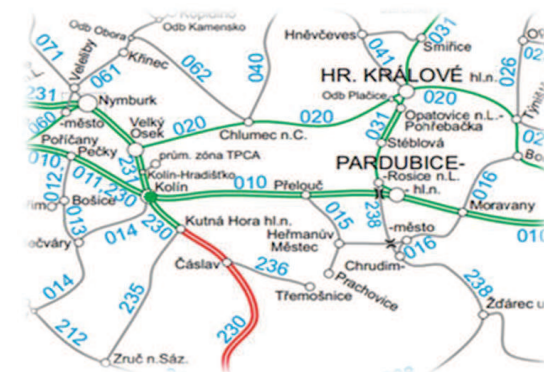
Trakční napájecí stanice Kolín 2015 - 3kV =



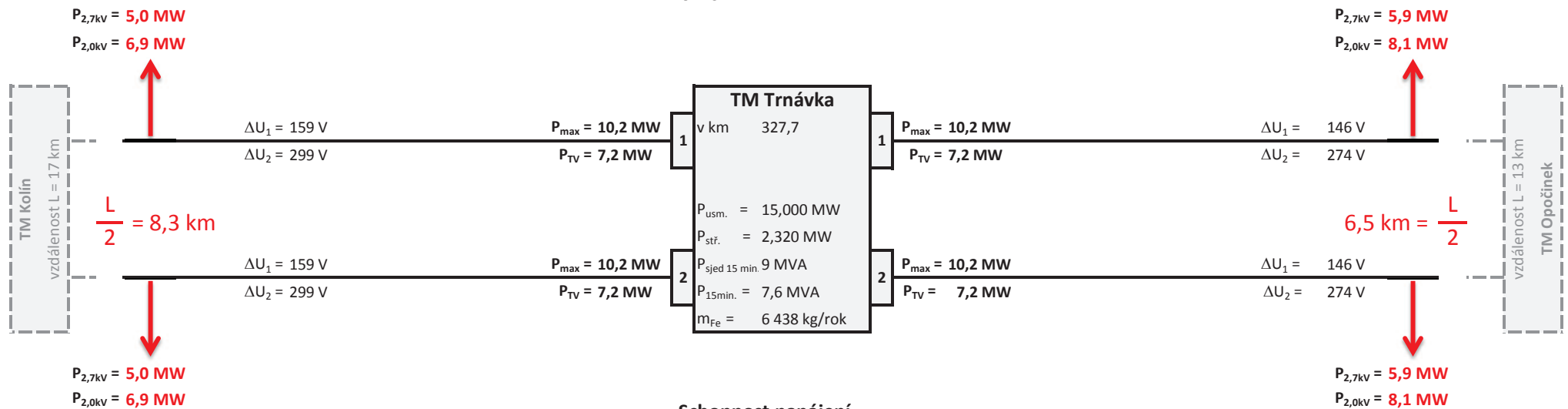
Schopnost napájení



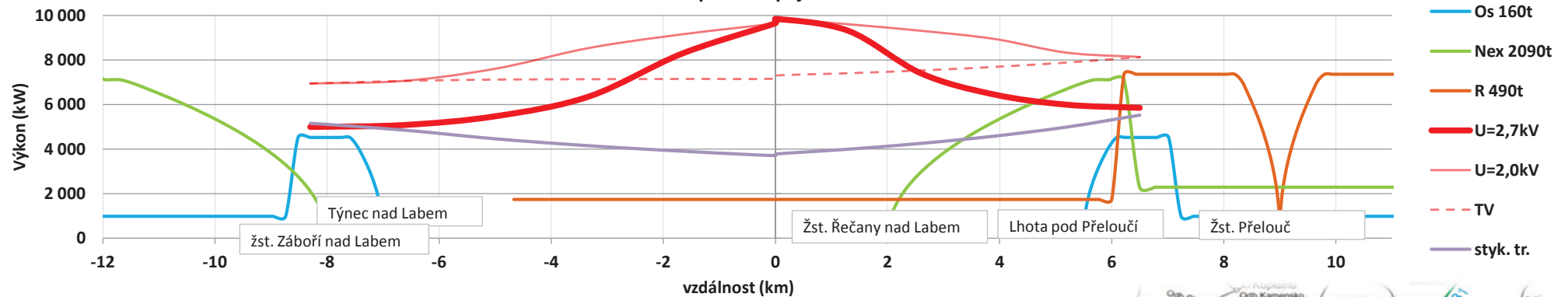
Úbytek napětí na kolejnici



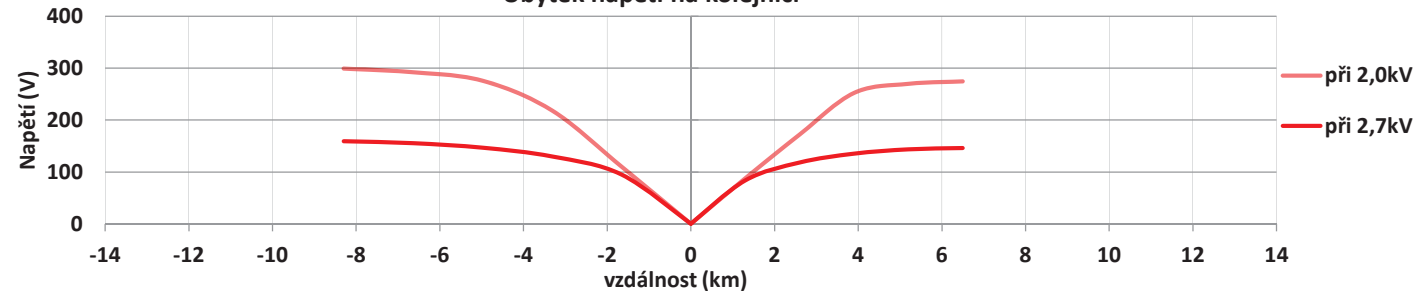
Trakční napájecí stanice Trnávka 2015 - 3kV =



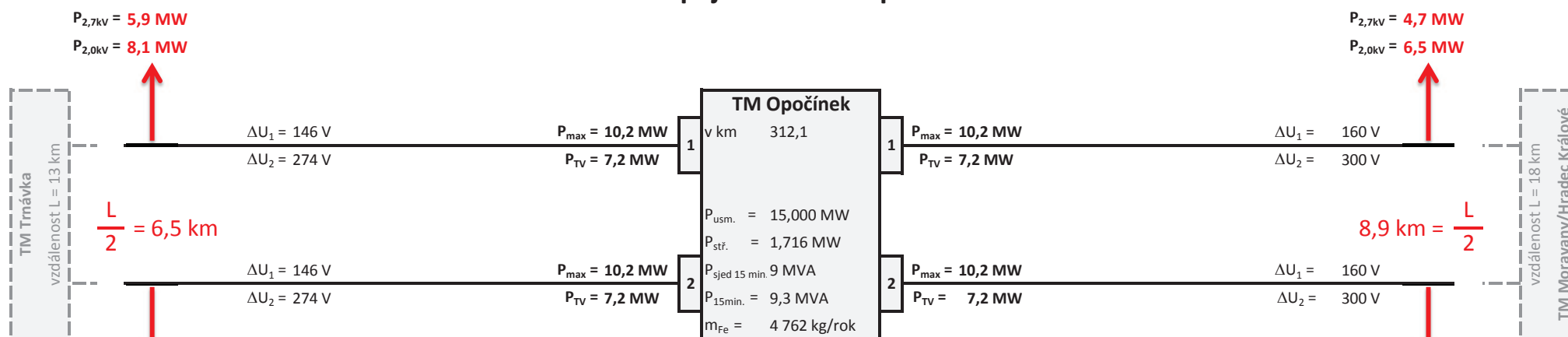
Schopnost napájení



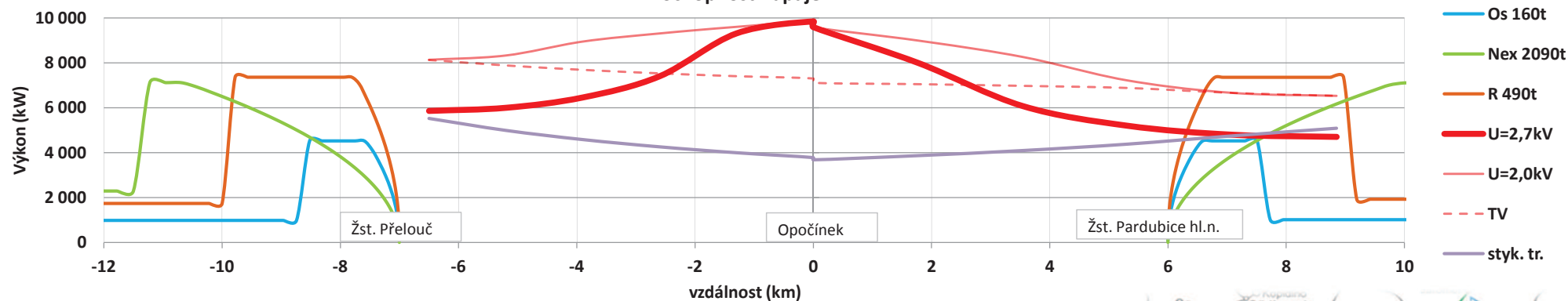
Úbytek napětí na kolejnici



Trakční napájecí stanice Opočíněk 2015 - 3kV =



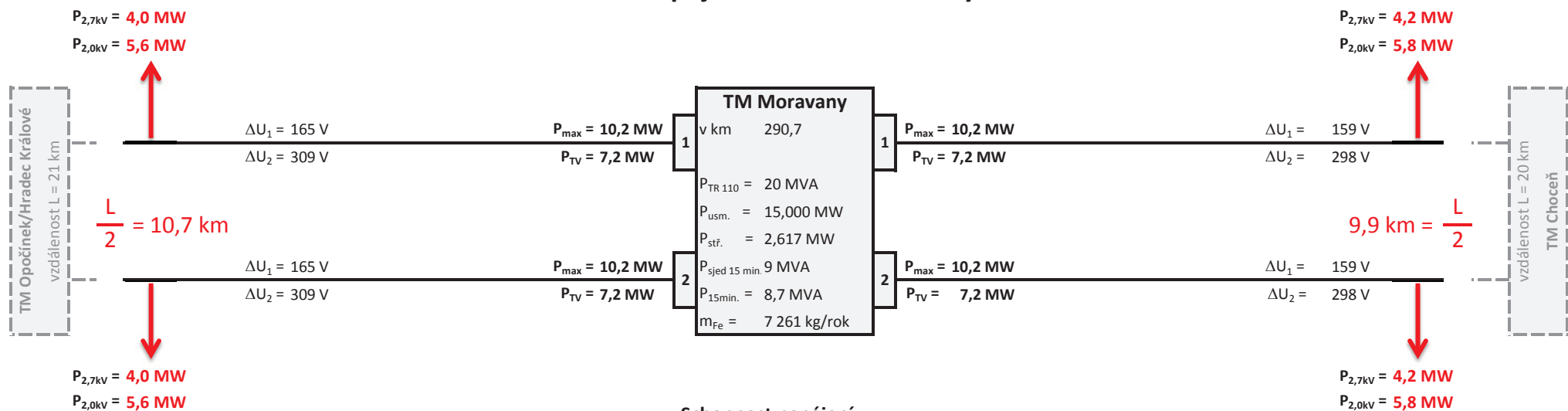
Schopnost napájení



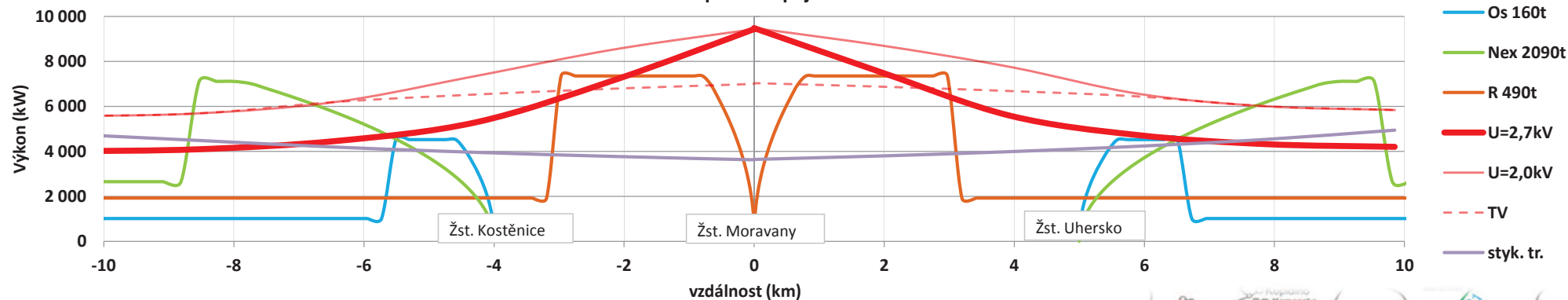
Úbytek napětí na kolejnici



Trakční napájecí stanice Moravany 2015 - 3kV =



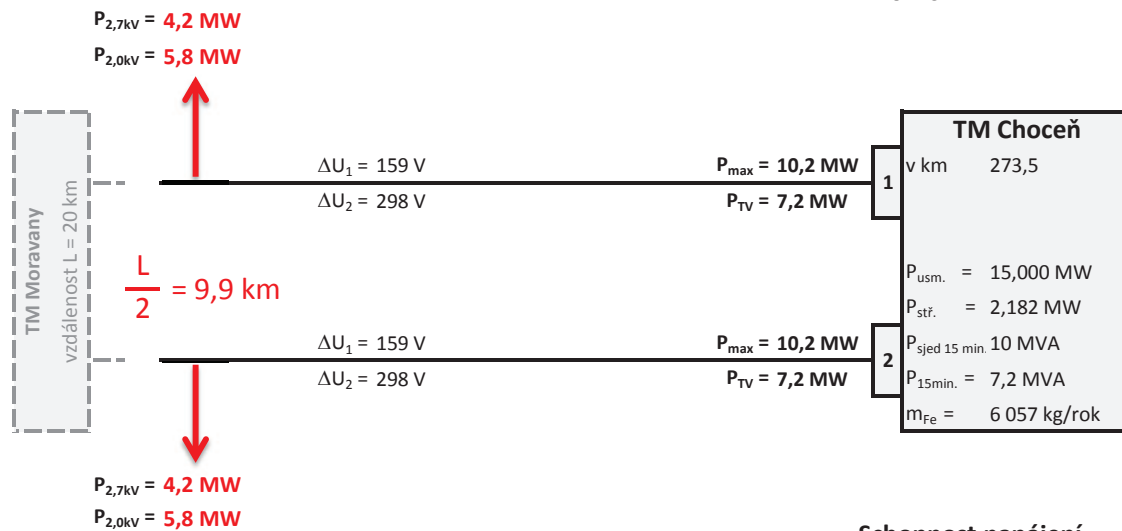
Schopnost napájení



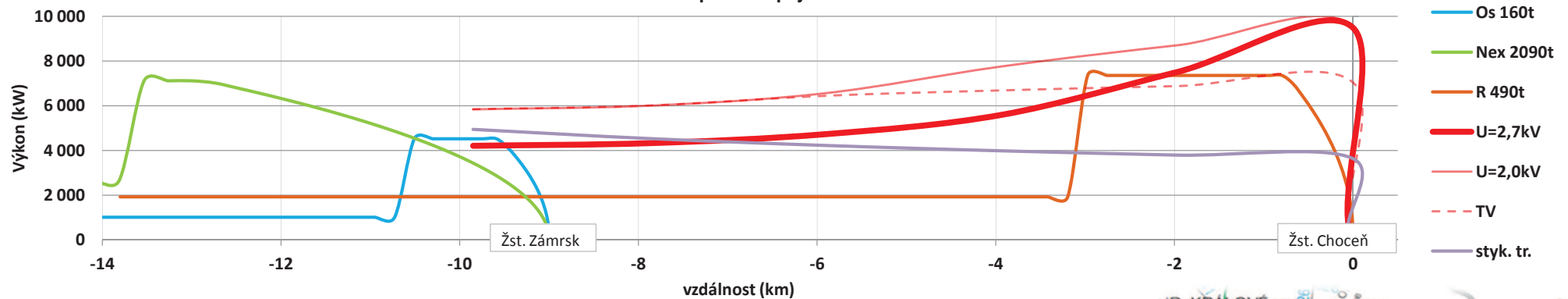
Úbytek napětí na kolejnici



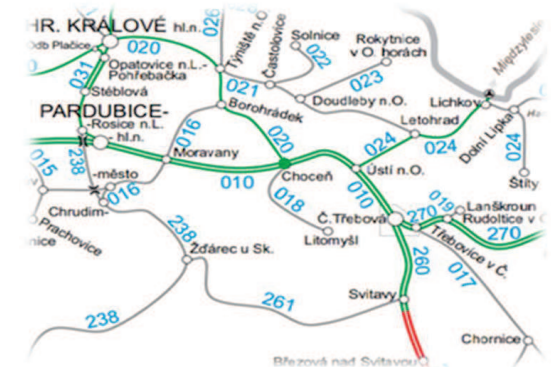
Trakční napájecí stanice Choceň 2015 - 3kV =



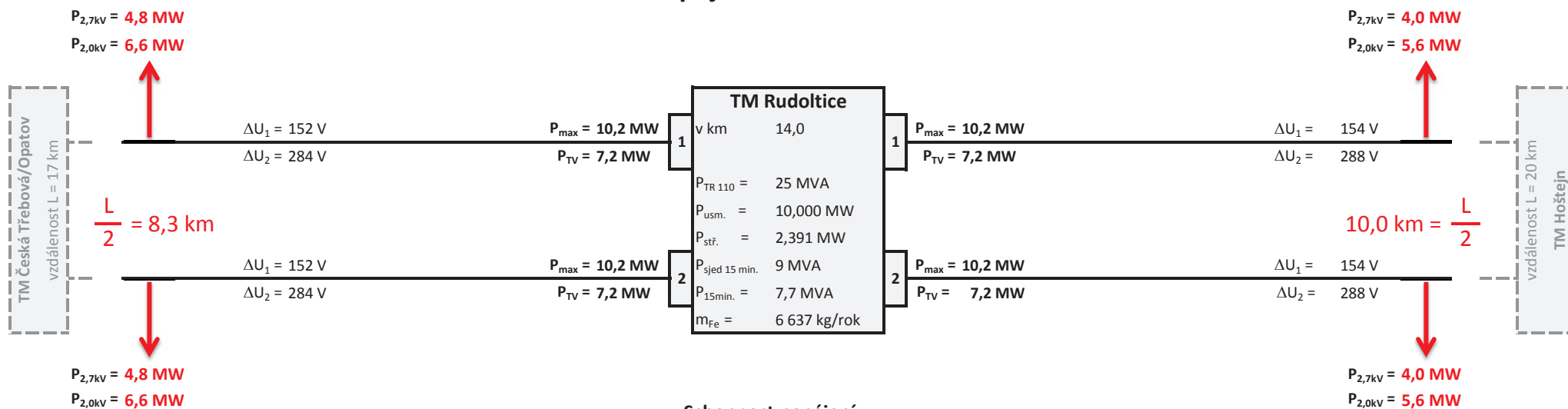
Schopnost napájení



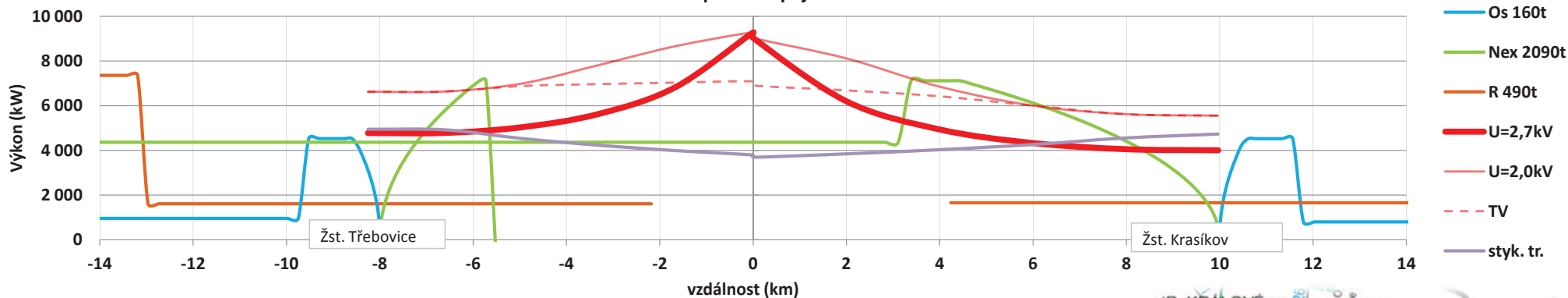
Úbytek napětí na kolejnici



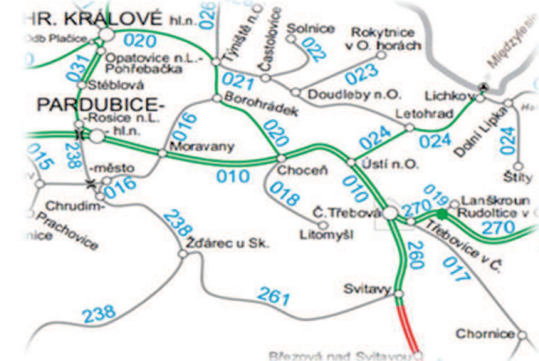
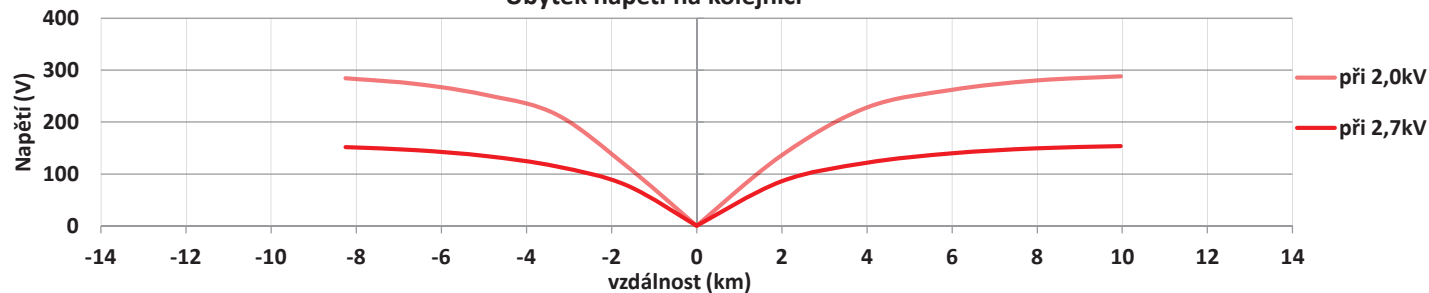
Trakční napájecí stanice Rudoltice 2015 - 3kV =



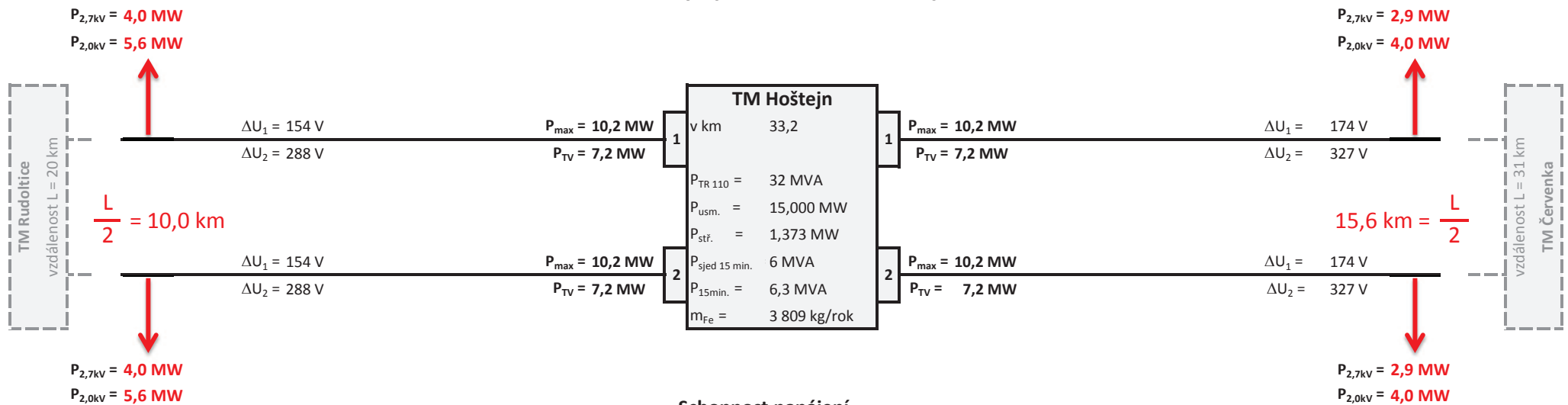
Schopnost napájení



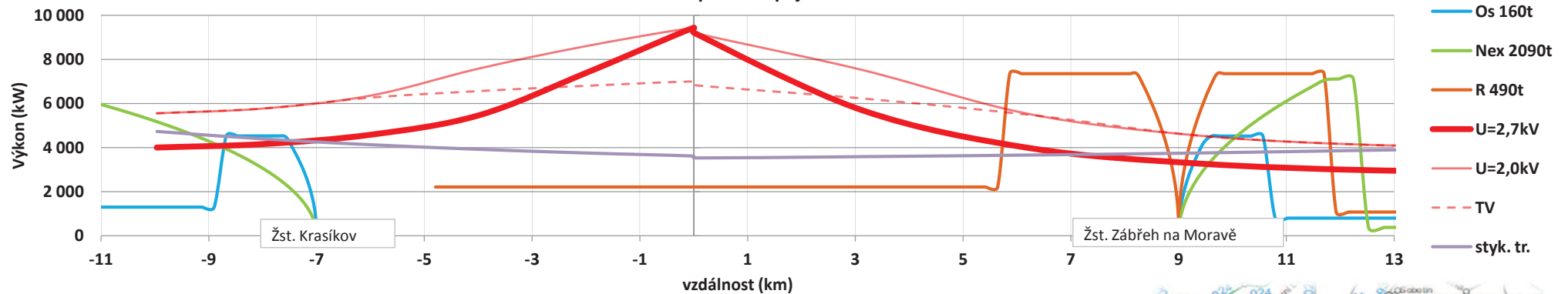
Úbytek napětí na kolejnici



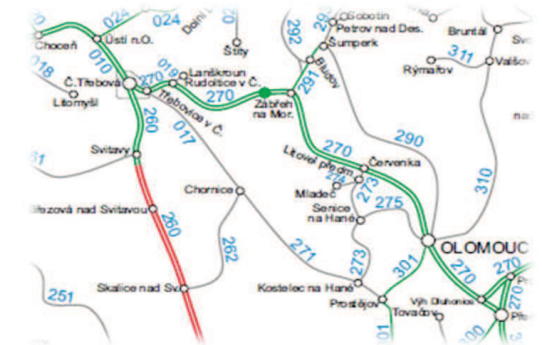
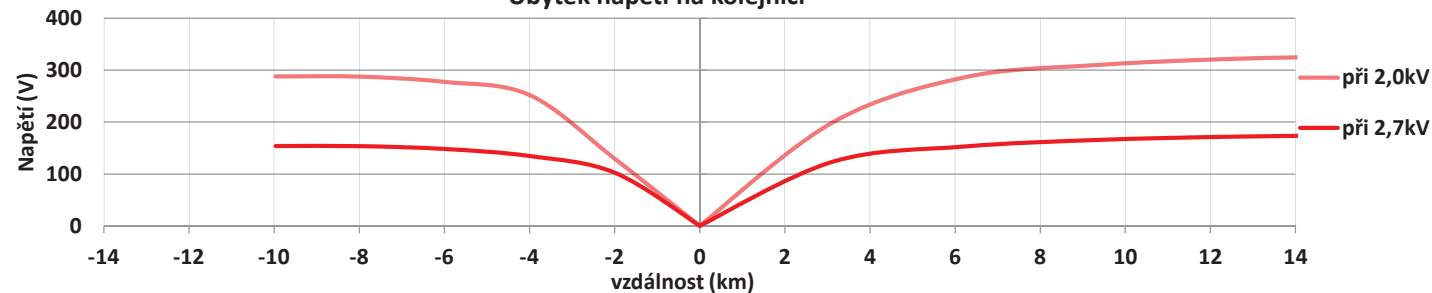
Trakční napájecí stanice Hoštejn 2015 - 3kV =



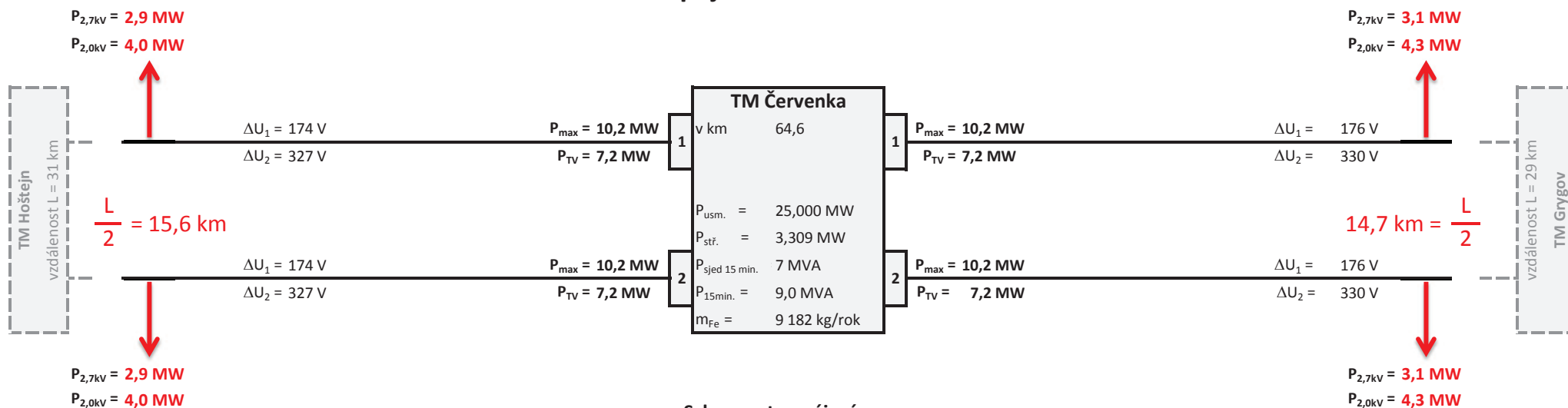
Schopnost napájení



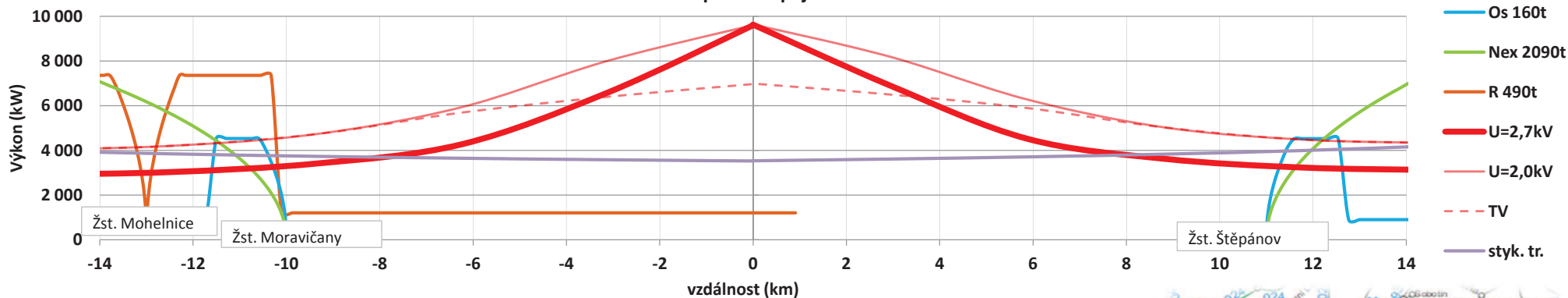
Úbytek napětí na kolejnici



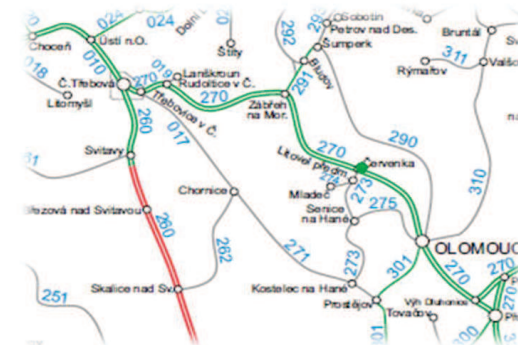
Trakční napájecí stanice Červenka 2015 - 3kV =



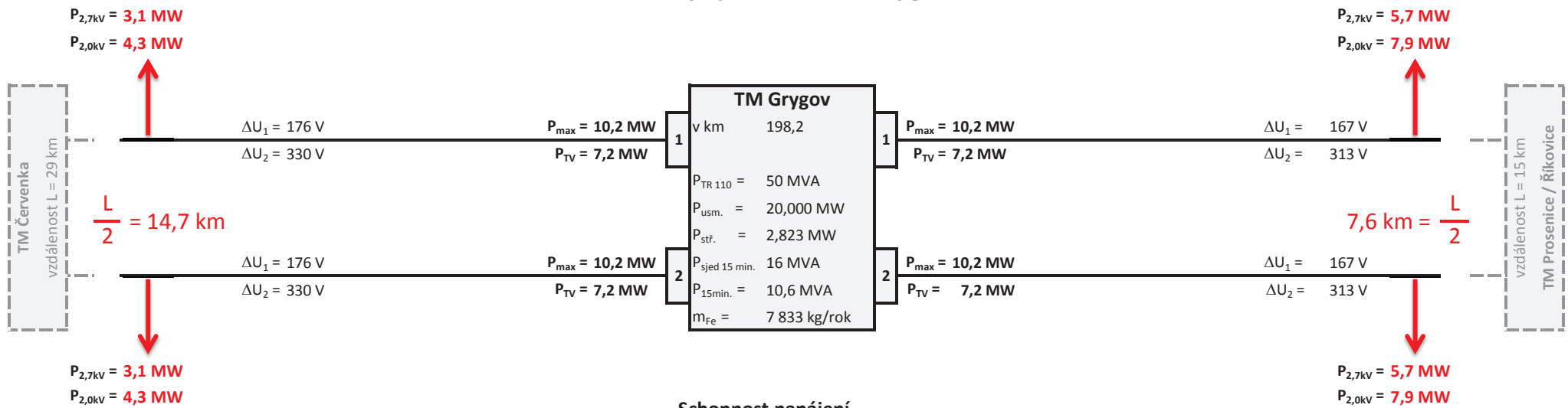
Schopnost napájení



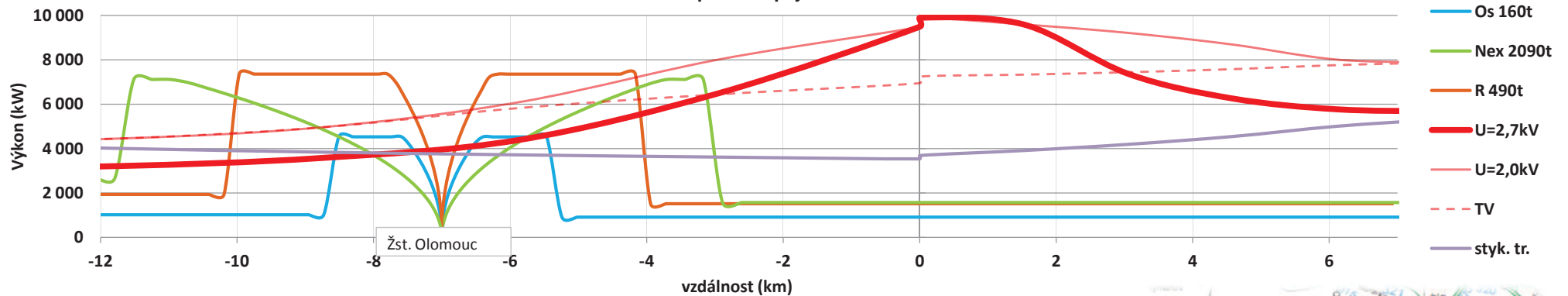
Úbytek napětí na kolejnici



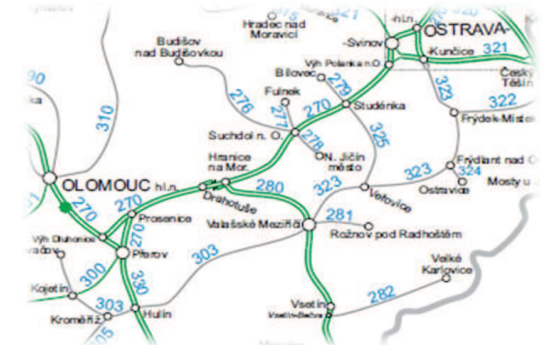
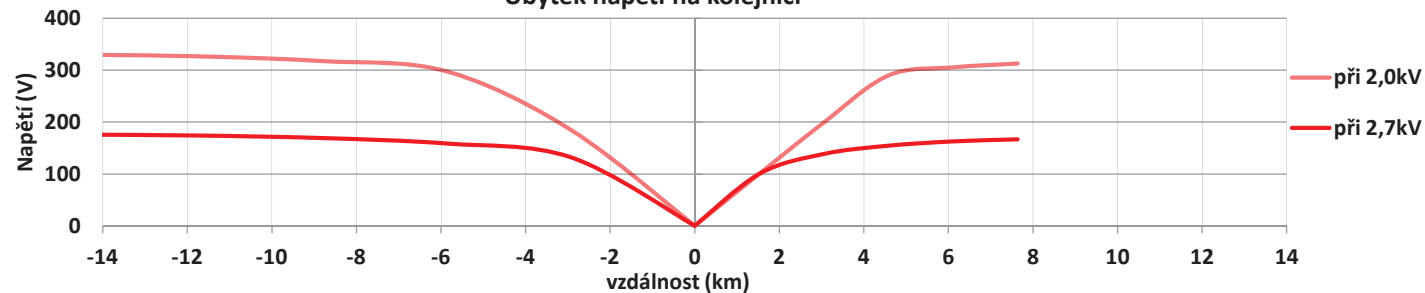
Trakční napájecí stanice Grygov 2015 - 3kV =



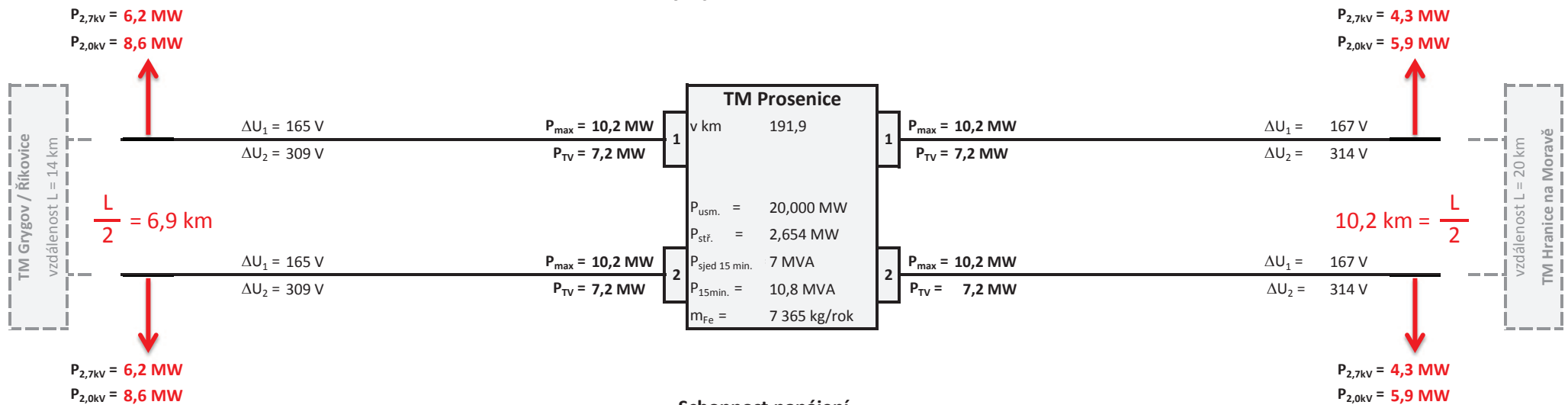
Schopnost napájení



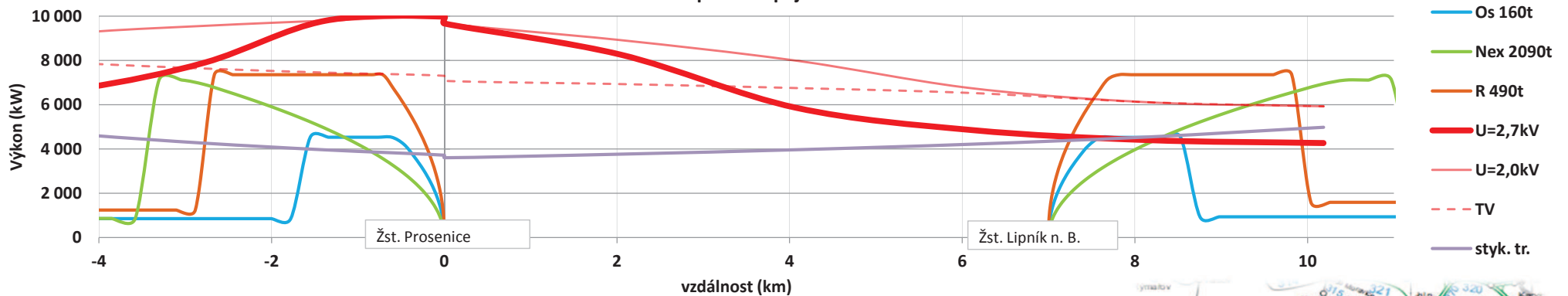
Úbytek napětí na kolejnici



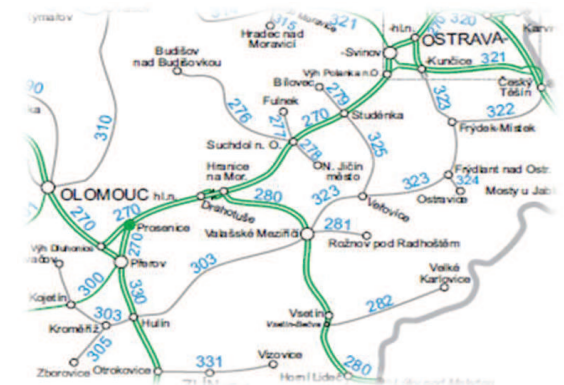
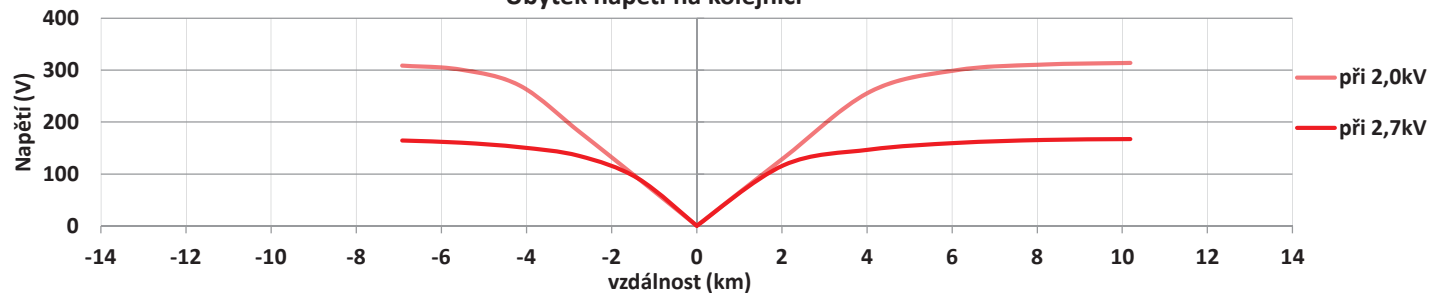
Trakční napájecí stanice Prosenice 2015 - 3kV =



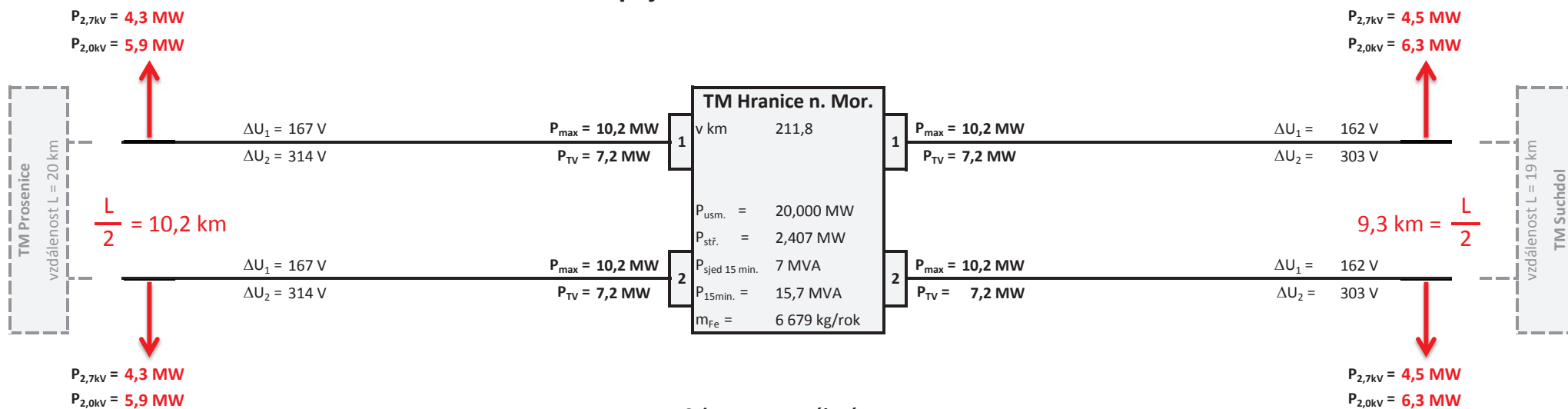
Schopnost napájení



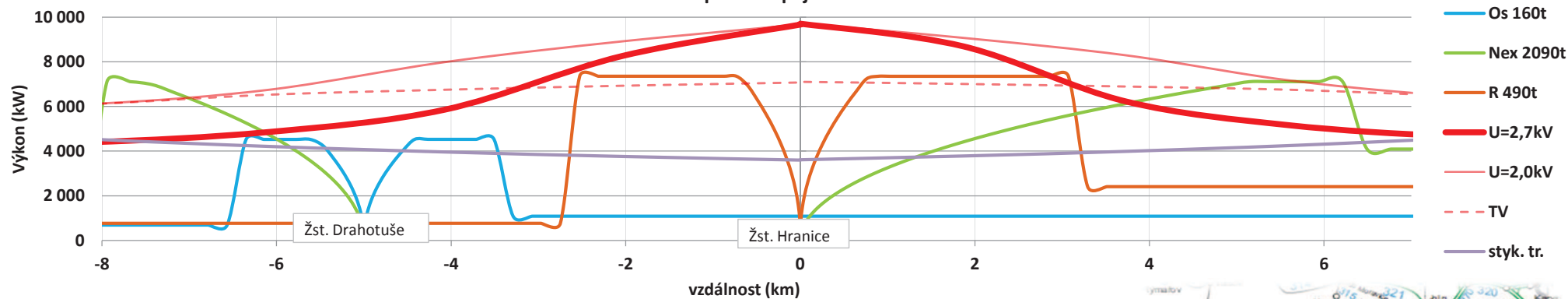
Úbytek napětí na kolejnici



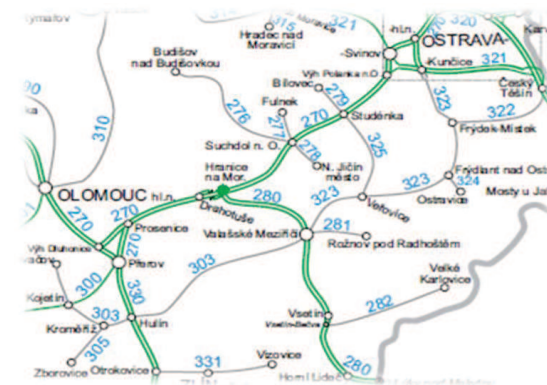
Trakční napájecí stanice Hranice na Moravě 2015 - 3kV =



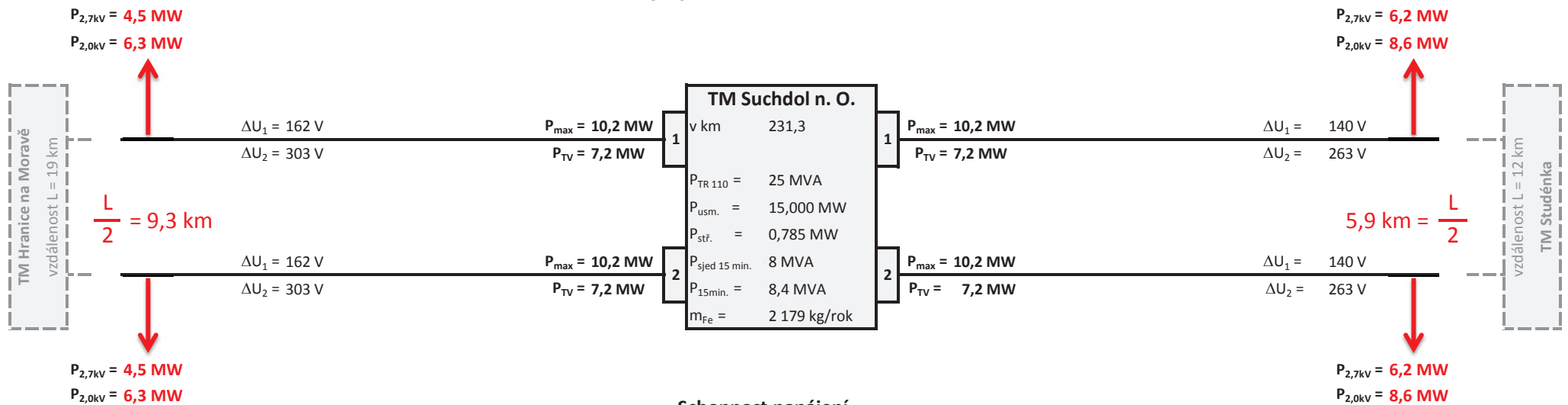
Schopnost napájení



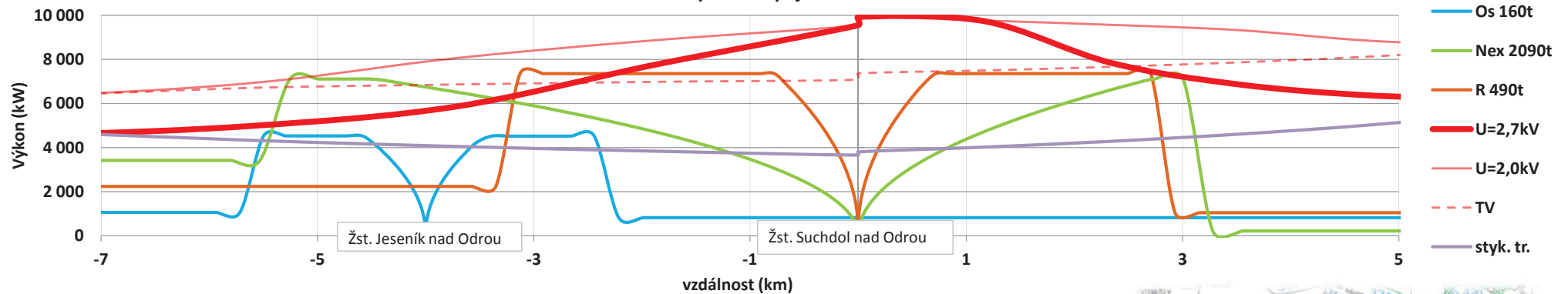
Úbytek napětí na kolejnici



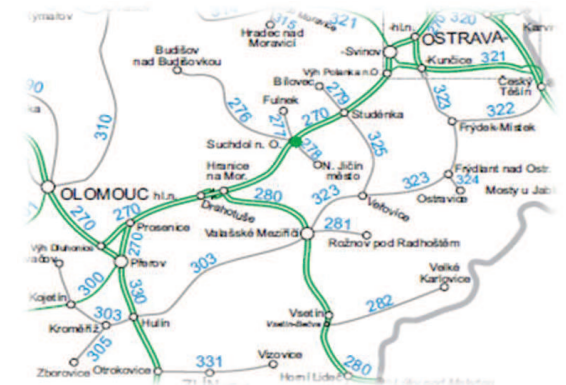
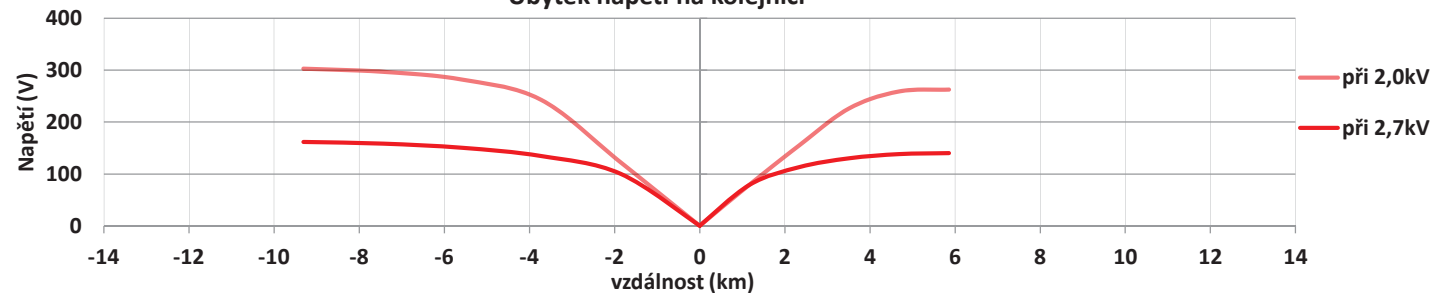
Trakční napájecí stanice Suchdol n. O. 2015 - 3kV =



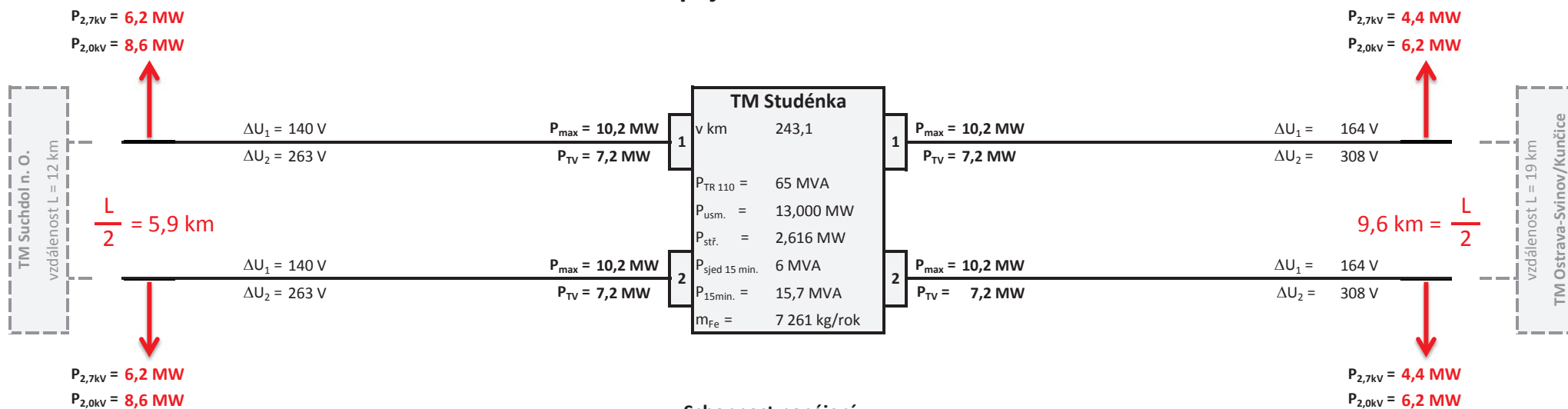
Schopnost napájení



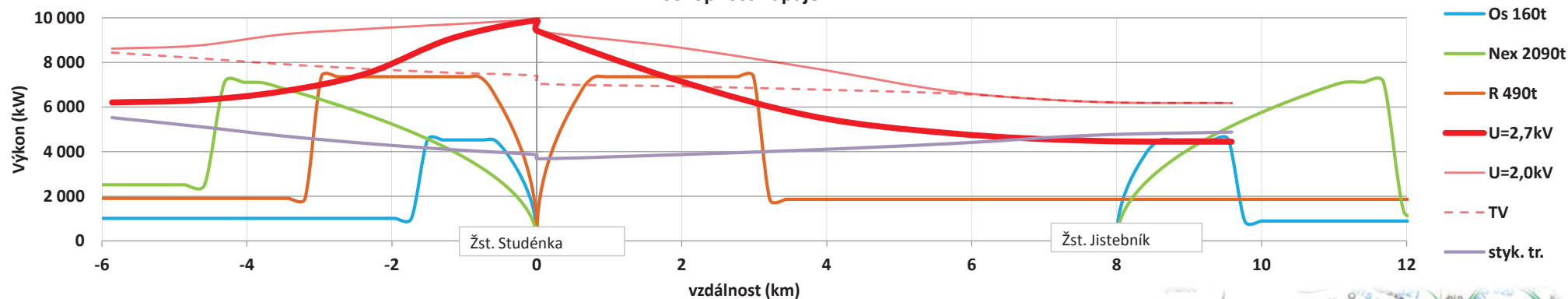
Úbytek napětí na kolejnici



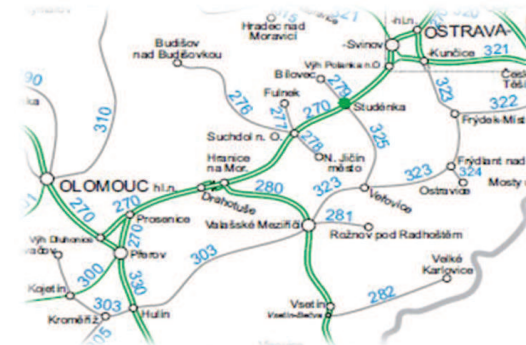
Trakční napájecí stanice Studénka 2015 - 3kV =



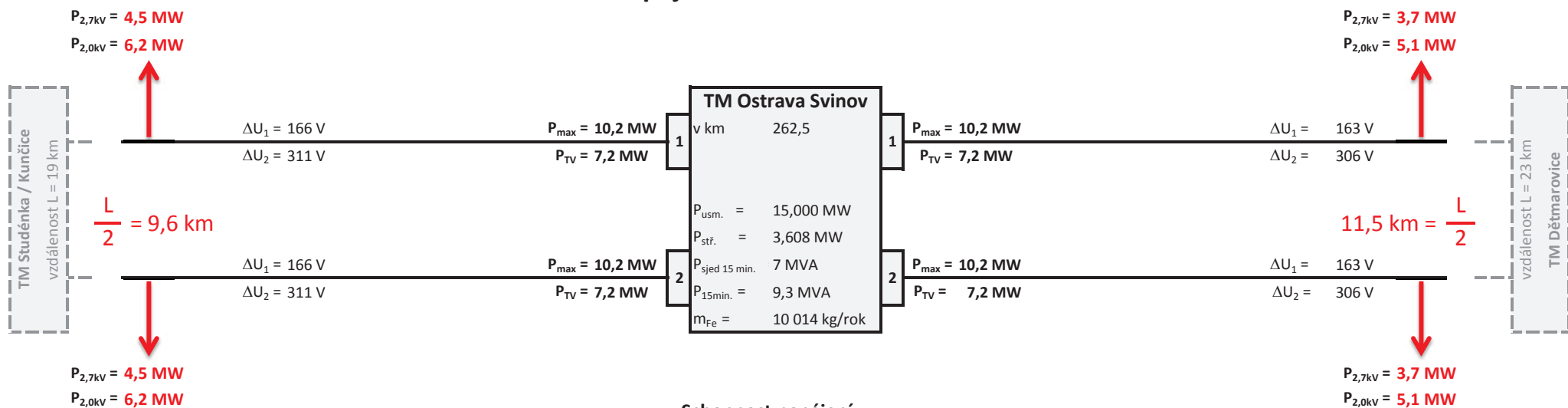
Schopnost napájení



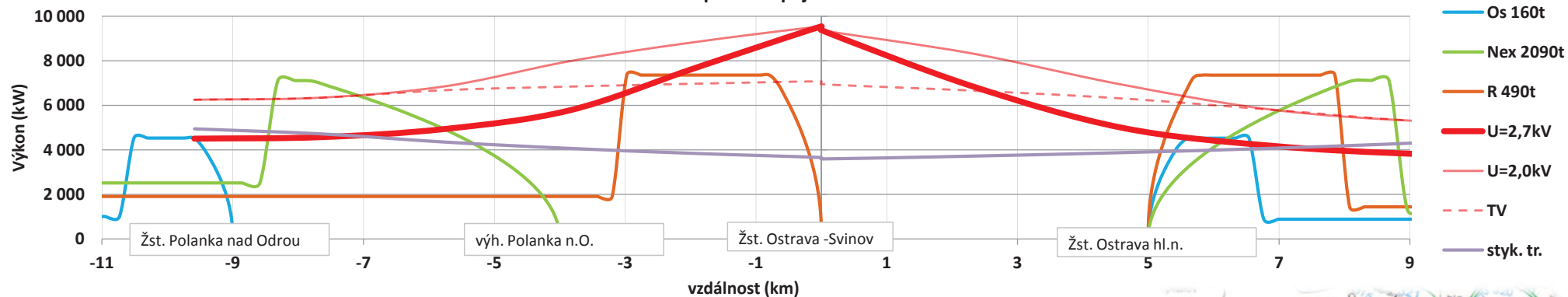
Úbytek napětí na kolejnici



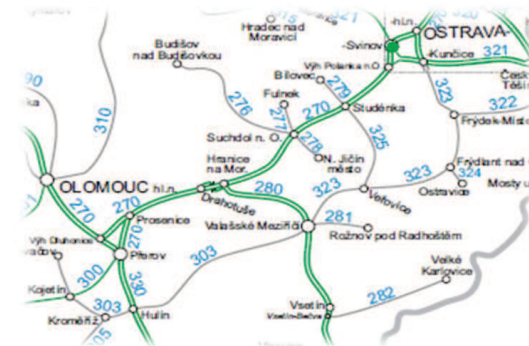
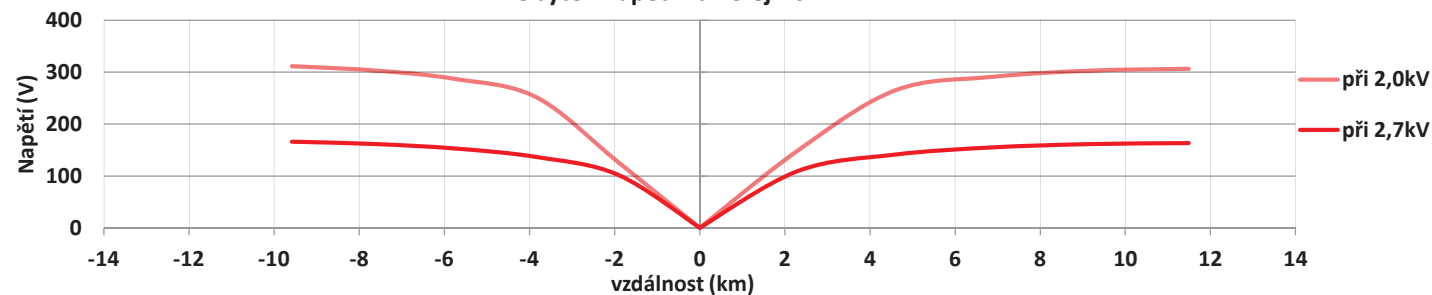
Trakční napájecí stanice Ostrava Svinov 2015 - 3kV =



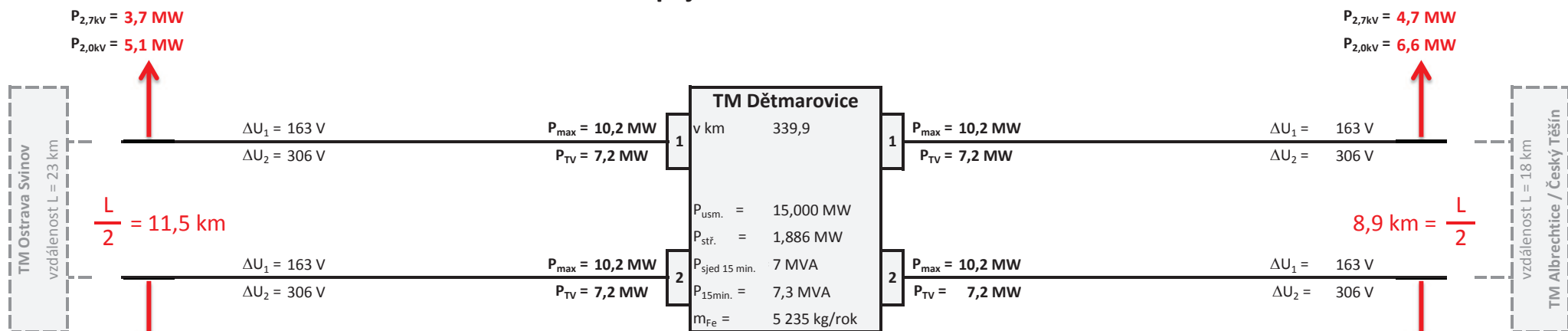
Schopnost napájení



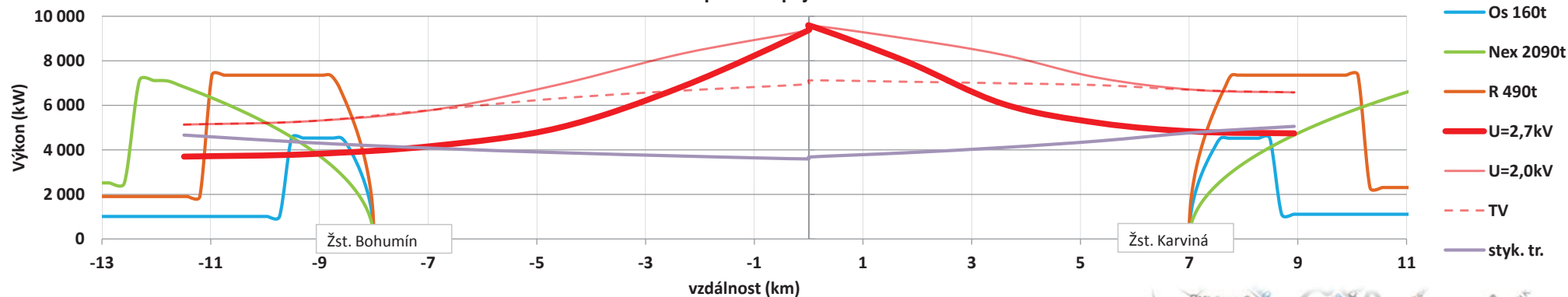
Úbytek napětí na kolejnici



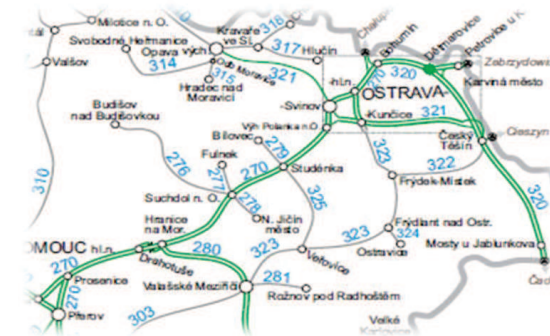
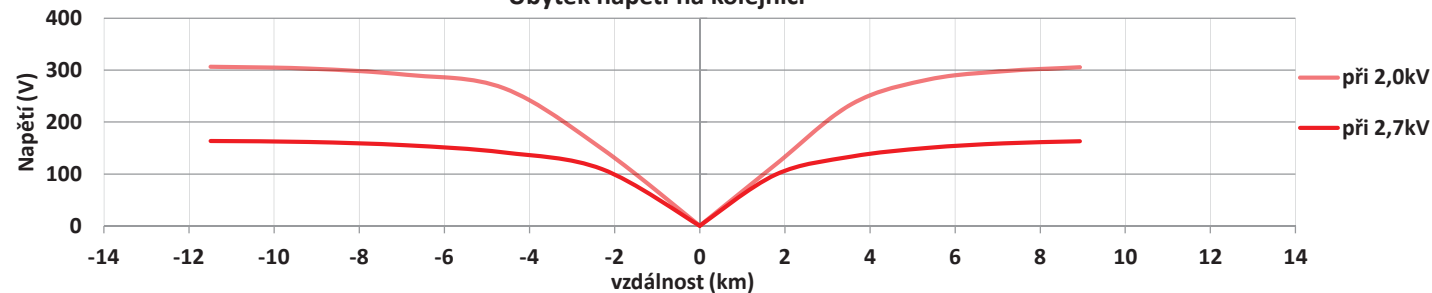
Trakční napájecí stanice Dětmorovice 2015 - 3kV =



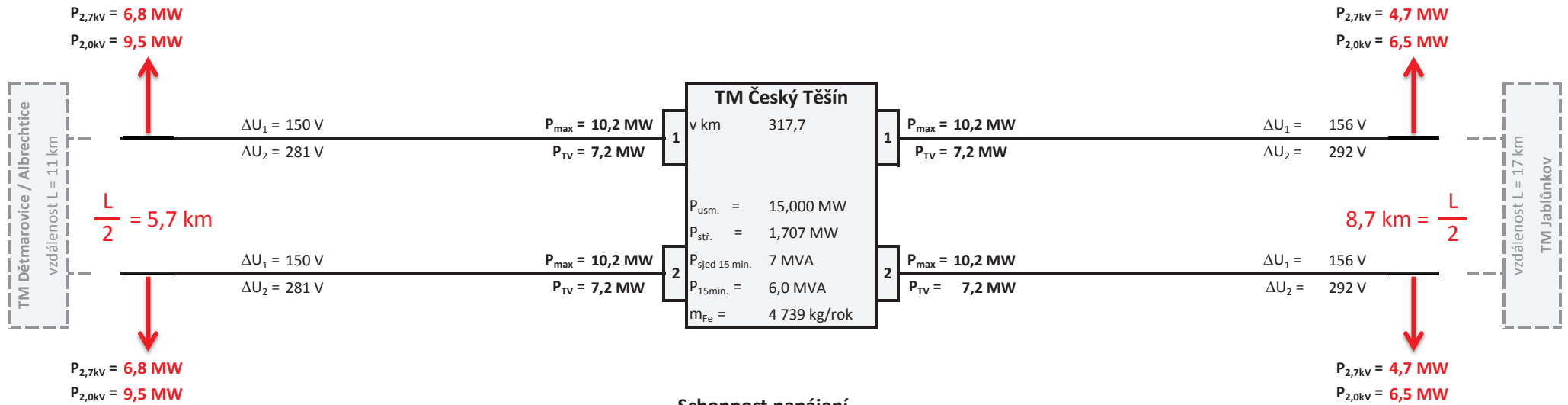
Schopnost napájení



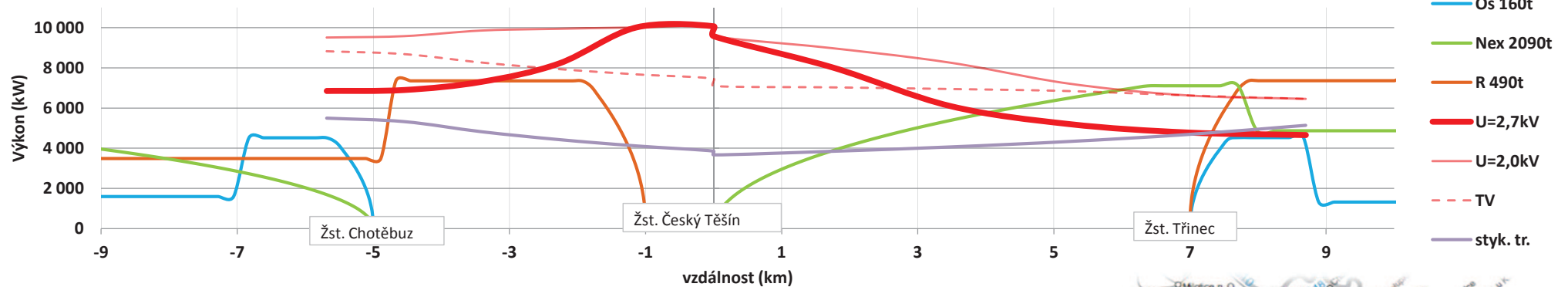
Úbytek napětí na kolejnici



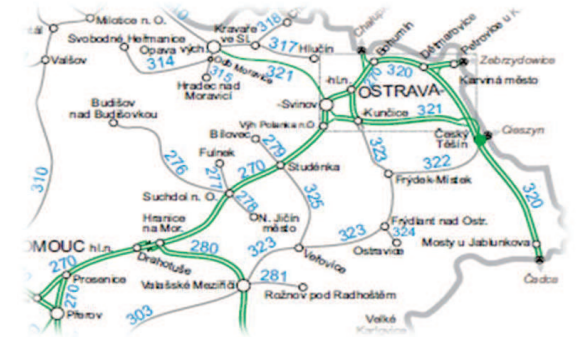
Trakční napájecí stanice Český Těšín 2015 - 3kV =



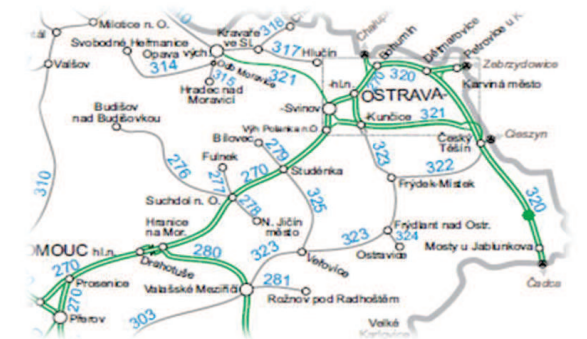
Schopnost napájení



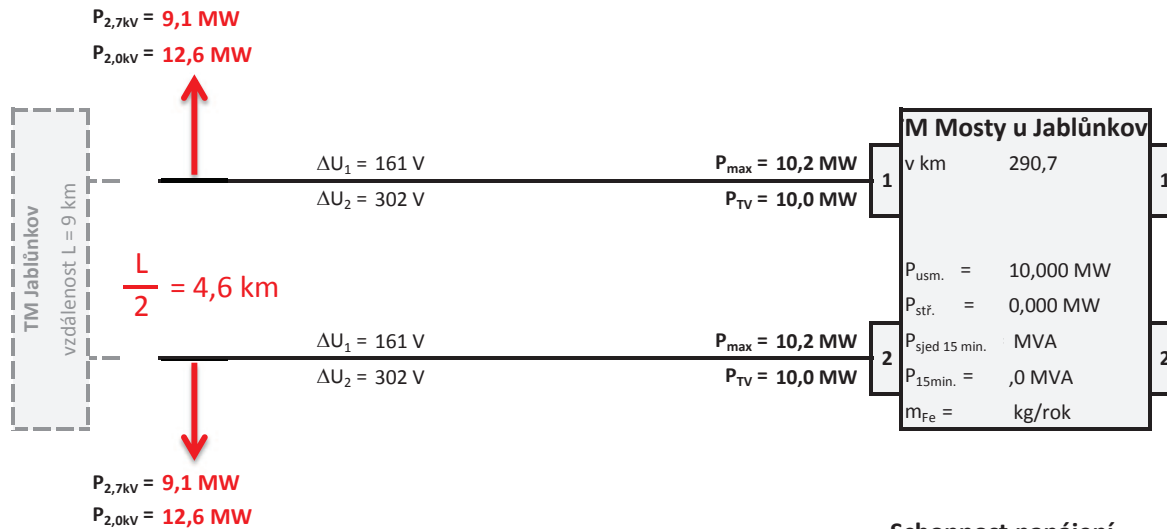
Úbytek napětí na kolejnici



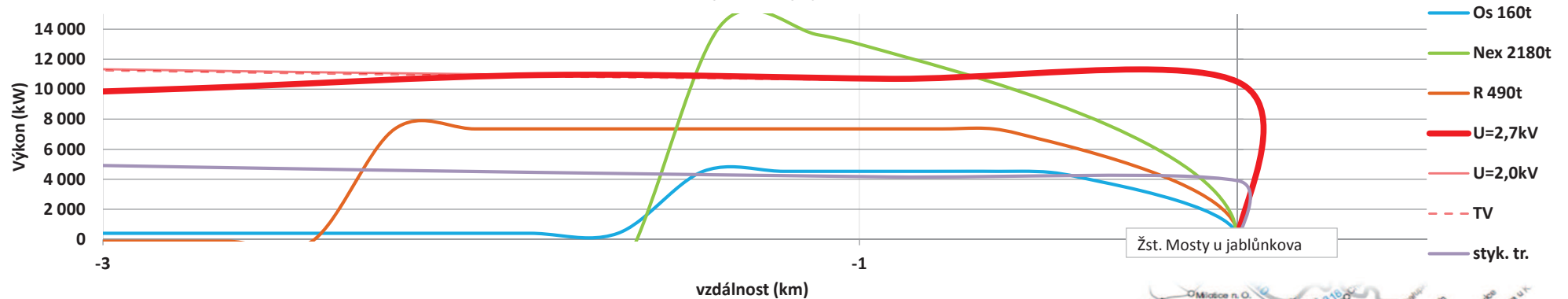
TM Jablůnkov	
v km	299,9
$P_{TR\ 110}$	60 MVA
$P_{usm.}$	15,000 MW
$P_{stř.}$	2,299 MW
$P_{sjed\ 15\ min.}$	10 MVA
$P_{15min.}$	14,7 MVA
m_{Fe}	6 381 kg/rok



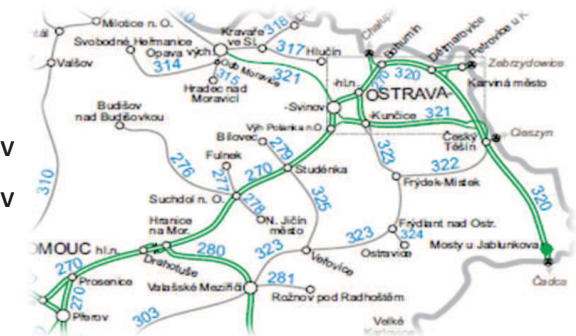
Trakční napájecí stanice Otrokovice 2015 - 3kV =



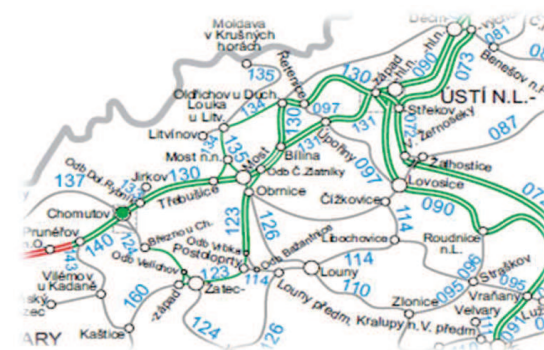
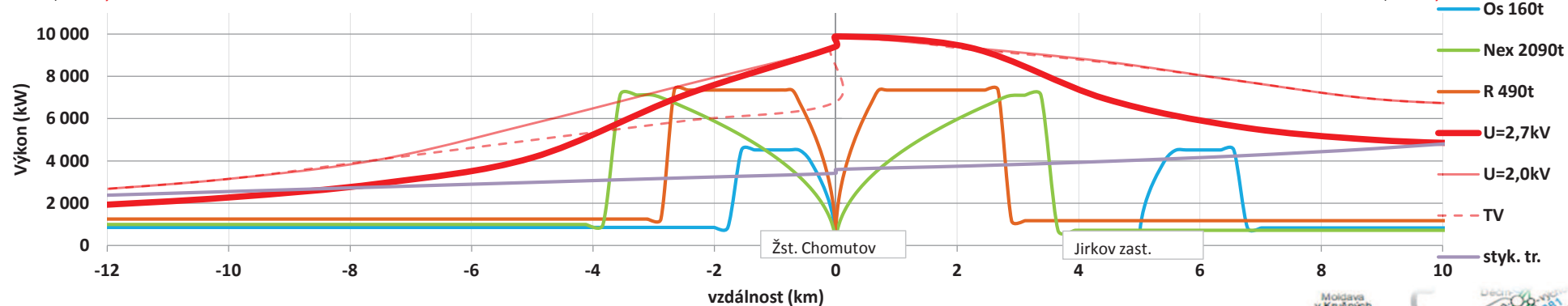
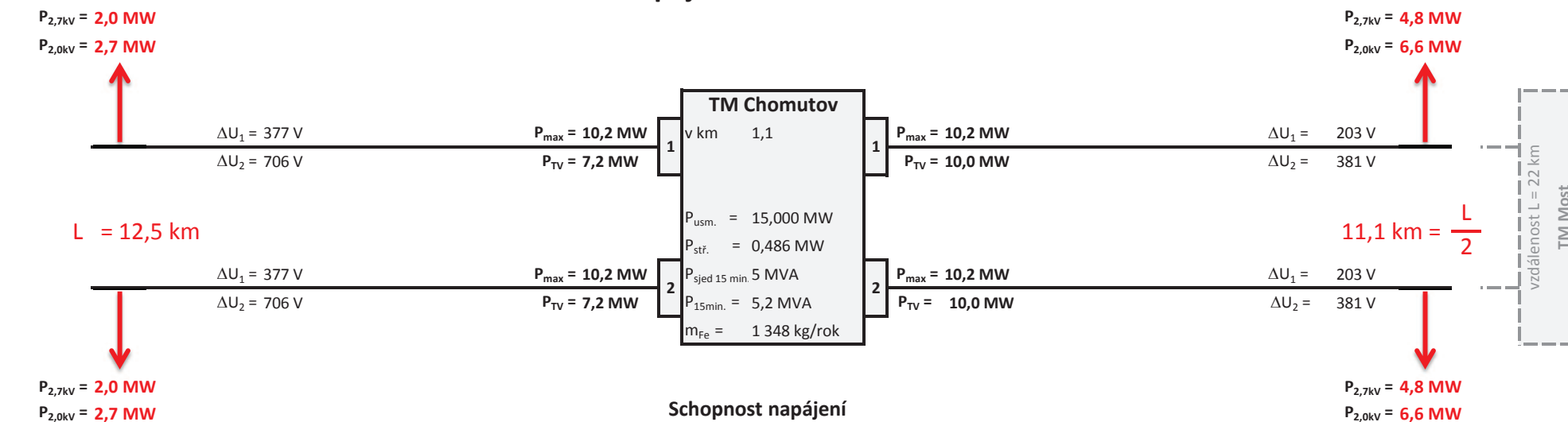
Schopnost napájení



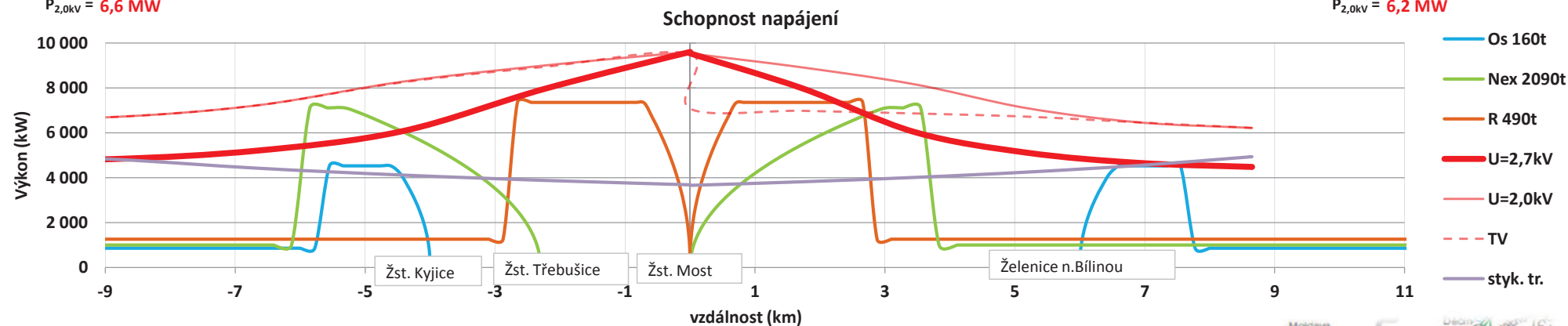
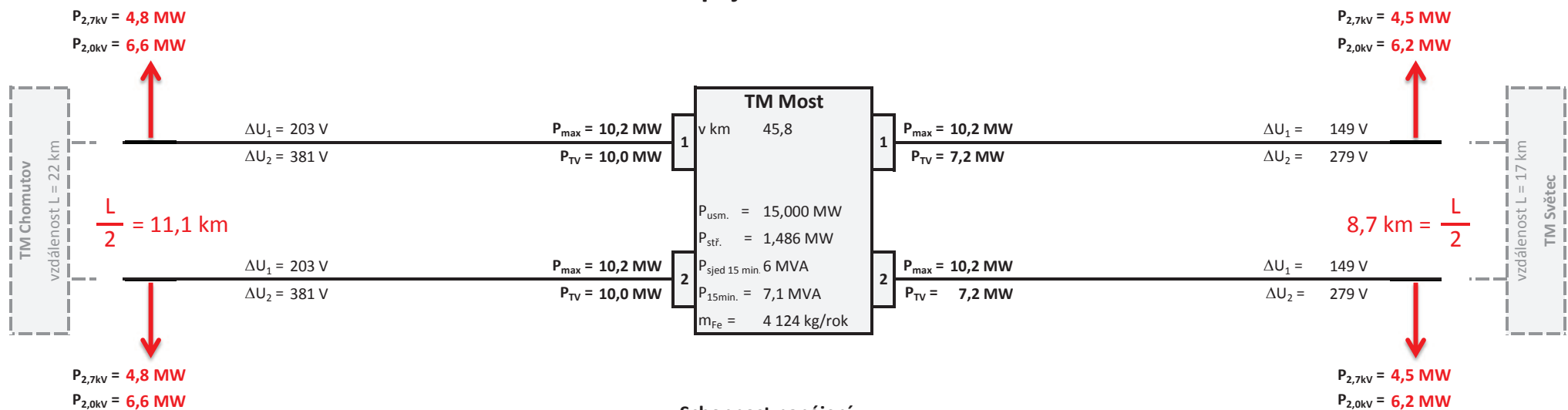
Úbytek napětí na kolejnici



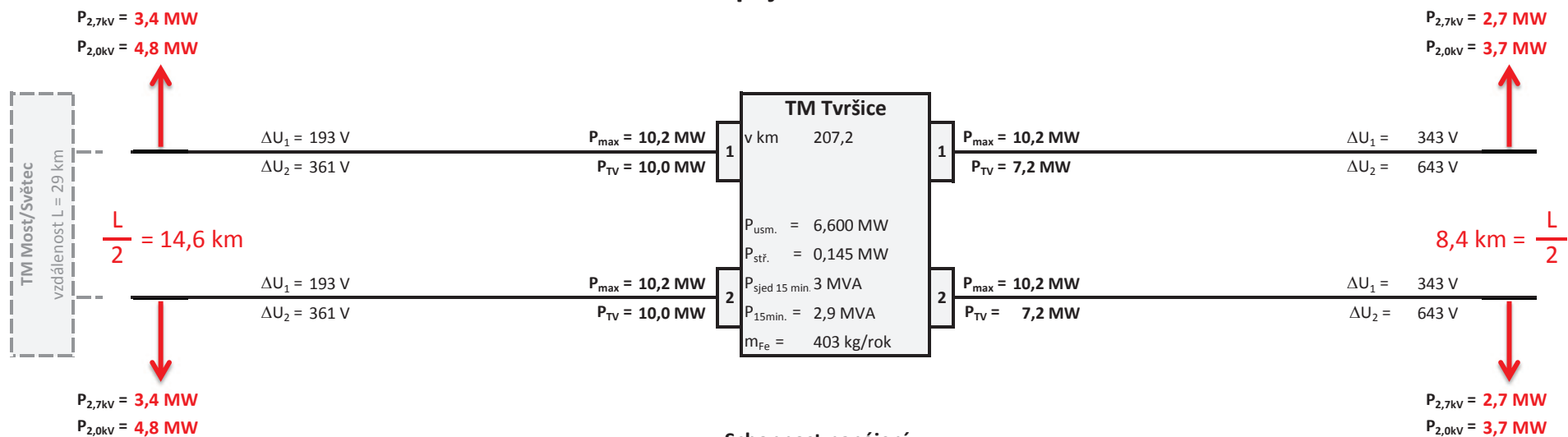
Trakční napájecí stanice Chomutov 2015 - 3kV =



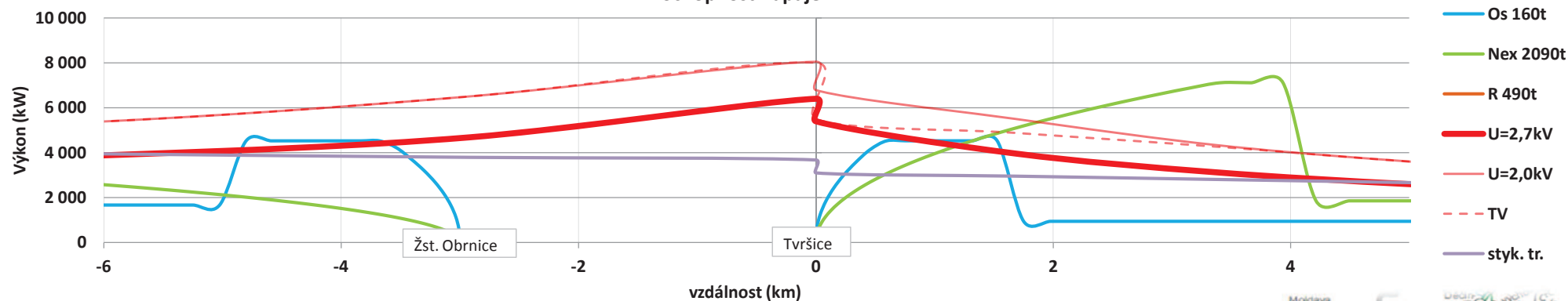
77



Trakční napájecí stanice Tvršice 2015 - 3kV =



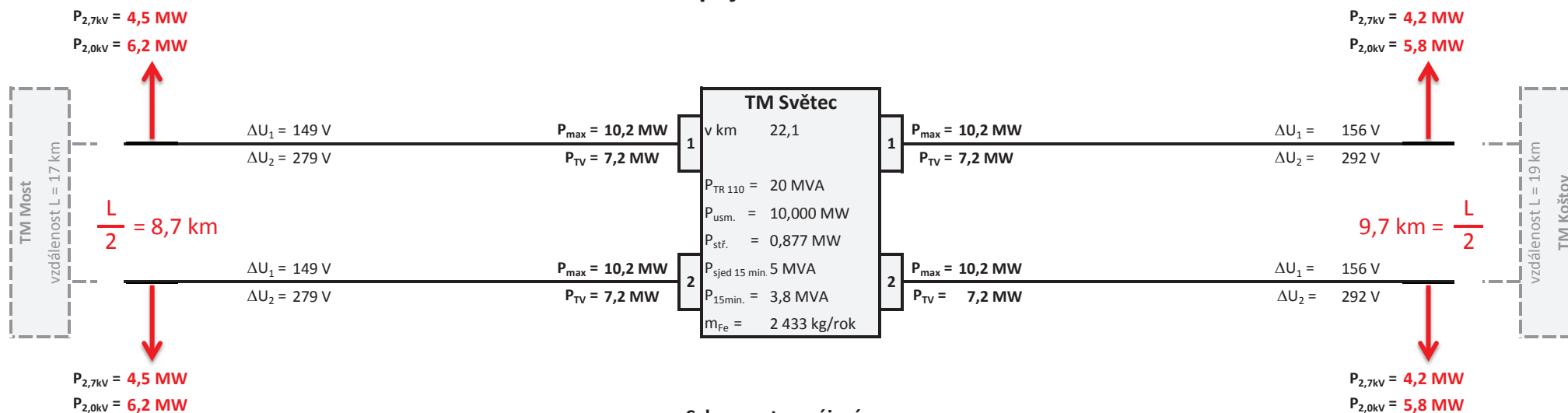
Schopnost napájení



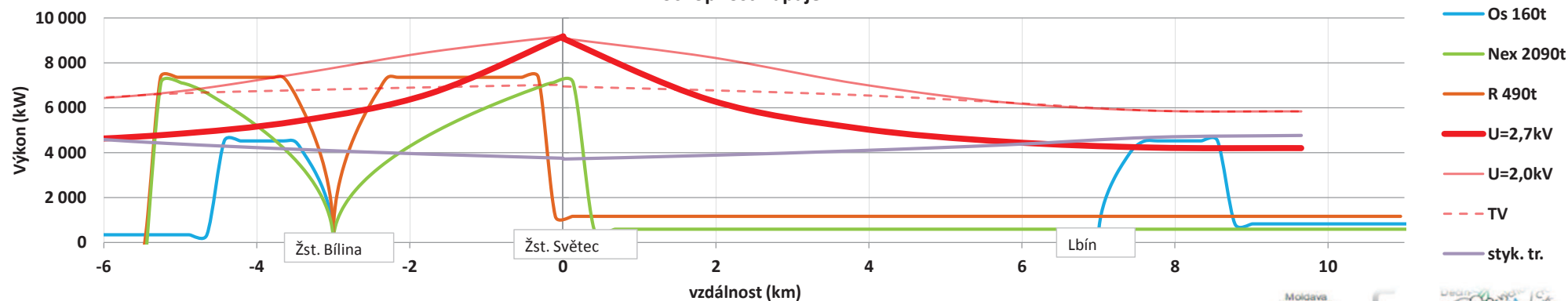
Úbytek napětí na kolejnici



Trakční napájecí stanice Světec 2015 - 3kV =



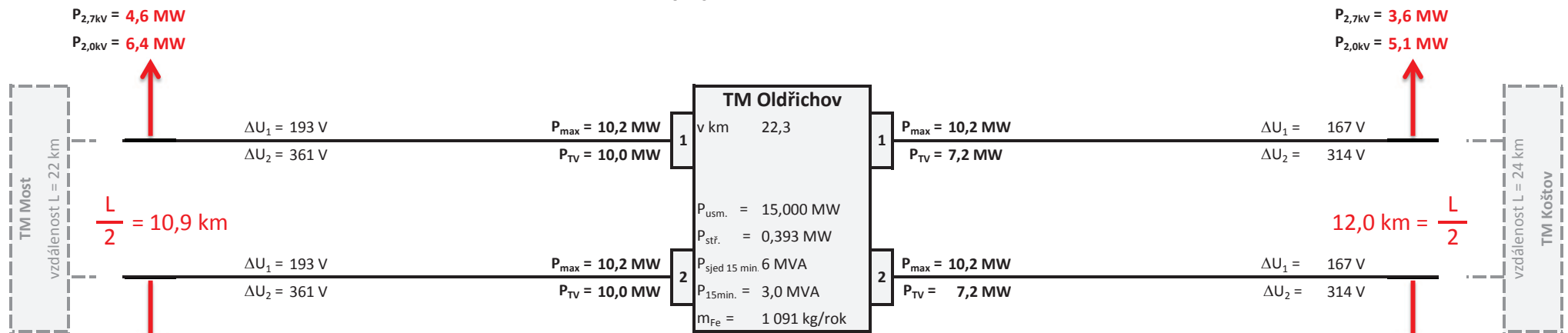
Schopnost napájení



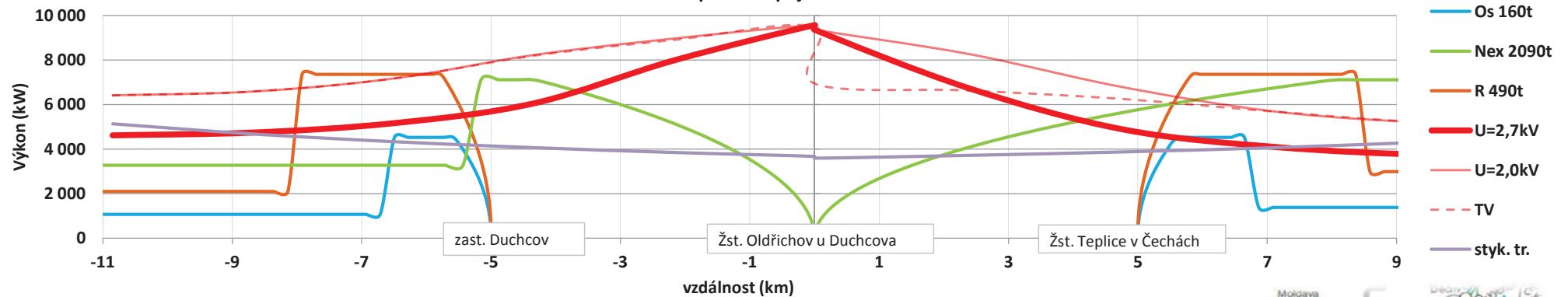
Úbytek napětí na kolejnici



Trakční napájecí stanice Oldřichov 2015 - 3kV =



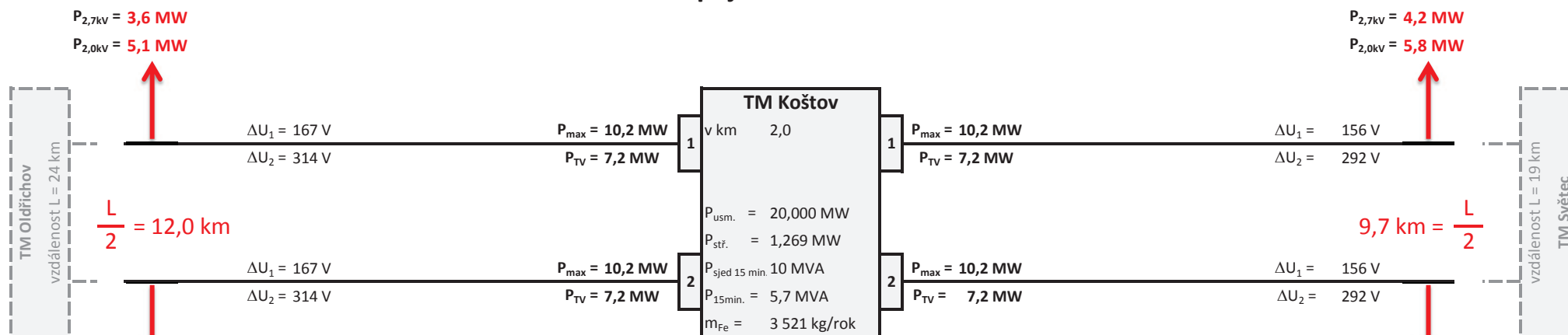
Schopnost napájení



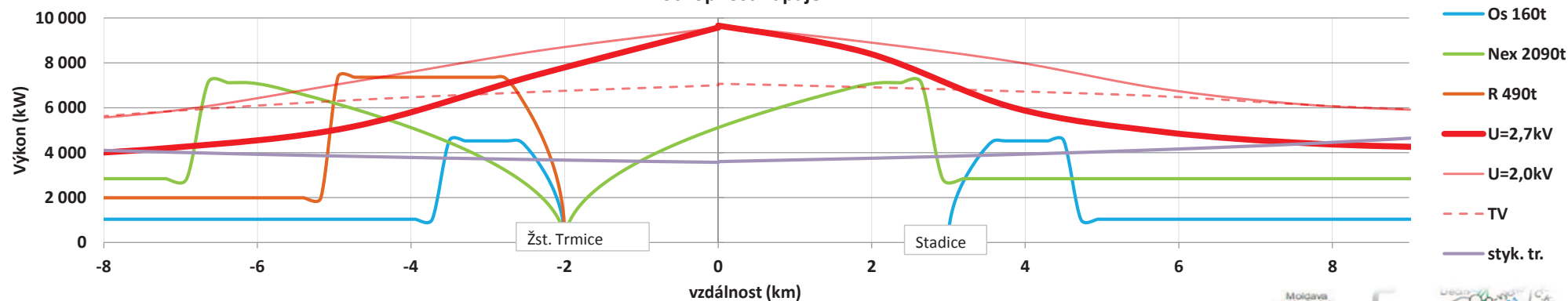
Úbytek napětí na kolejnici



Trakční napájecí stanice Koštov 2015 - 3kV =



Schopnost napájení



Úbytek napětí na kolejnici



Trakční napájecí stanice Opatov 2015 - 3kV =

TM Chuchle	
v km	5,0
$P_{\text{usm.}}$	10,000 MW
$P_{\text{stř.}}$	1,310 MW
$P_{\text{sjed 15 min.}}$	8 MVA
$P_{15\text{min.}}$	4,6 MVA
m_{Fe}	3 635 kg/rok

1 $P_{\text{max}} = 10,2 \text{ MW}$
 $P_{\text{TV}} = 7,2 \text{ MW}$

$\Delta U_1 = 162 \text{ V}$
 $\Delta U_2 = 304 \text{ V}$

2 $P_{\text{max}} = 10,2 \text{ MW}$
 $P_{\text{TV}} = 7,2 \text{ MW}$

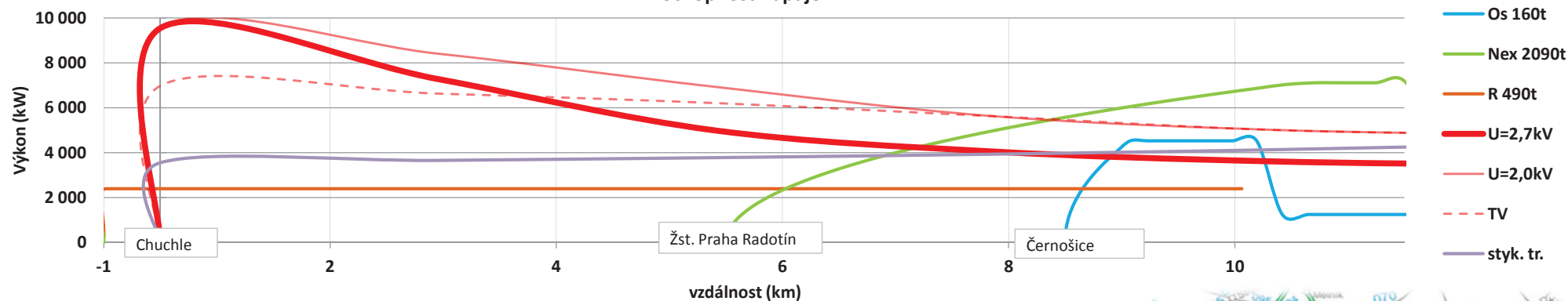
$\Delta U_1 = 162 \text{ V}$
 $\Delta U_2 = 304 \text{ V}$

$P_{2,7\text{kV}} = 3,4 \text{ MW}$
 $P_{2,0\text{kV}} = 4,8 \text{ MW}$

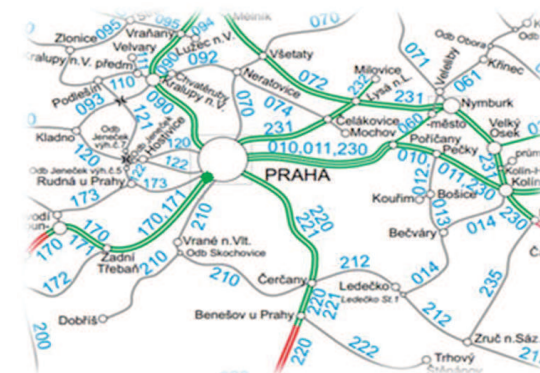
$12,3 \text{ km} = \frac{L}{2}$

$P_{2,7\text{kV}} = 3,4 \text{ MW}$
 $P_{2,0\text{kV}} = 4,8 \text{ MW}$

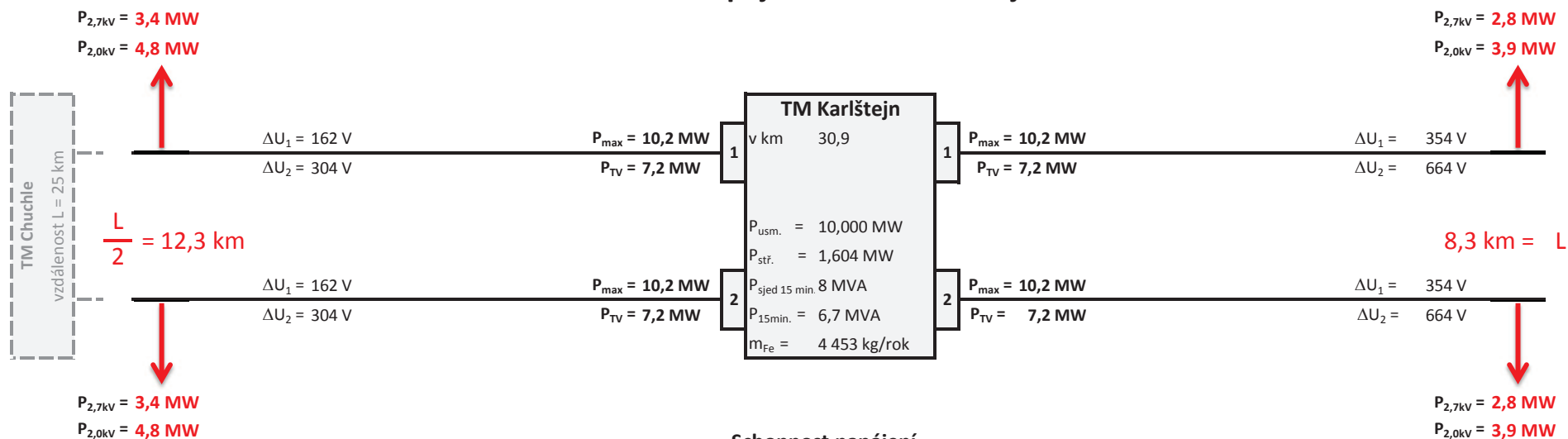
Schopnost napájení



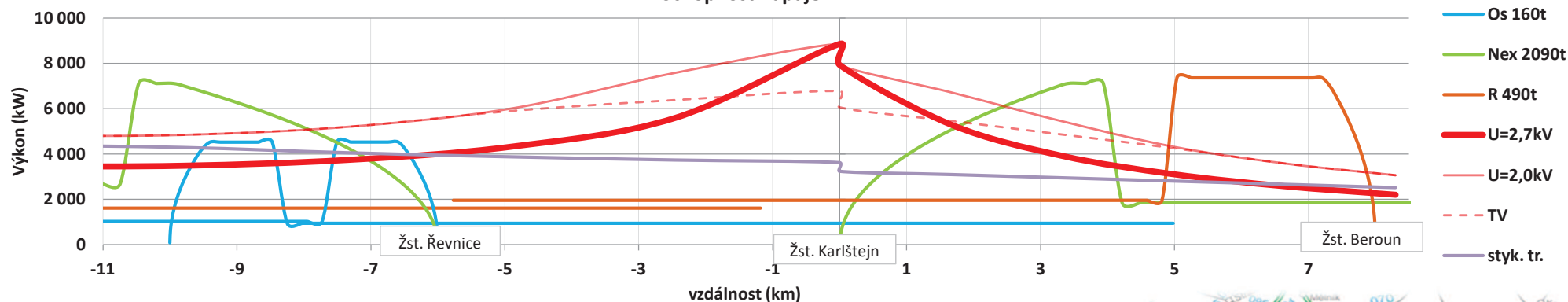
Úbytek napětí na kolejnici



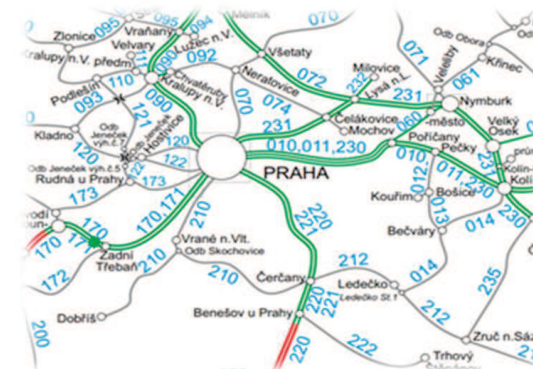
Trakční napájecí stanice Karlštejn 2015 - 3kV =



Schopnost napájení



Úbytek napětí na kolejnici



Trakční napájecí stanice Třešňovka 2015 - 3kV =

TM Třešňovka	
v km	180,8
$P_{\text{usm.}}$	15,000 MW
$P_{\text{stř.}}$	1,848 MW
$P_{\text{sjed 15 min.}}$	8 MVA
$P_{\text{15min.}}$	6,3 MVA
m_{Fe}	5 128 kg/rok

1 $P_{\text{max}} = 10,2 \text{ MW}$
 $P_{\text{TV}} = 10,0 \text{ MW}$

$\Delta U_1 = 191 \text{ V}$
 $\Delta U_2 = 358 \text{ V}$

$P_{2,7\text{kV}} = 5,0 \text{ MW}$
 $P_{2,0\text{kV}} = 6,9 \text{ MW}$

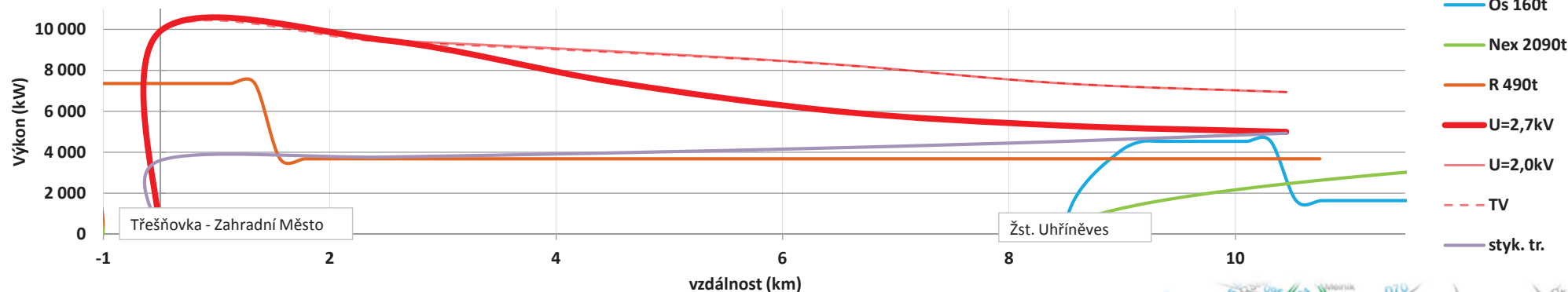
2 $P_{\text{max}} = 10,2 \text{ MW}$
 $P_{\text{TV}} = 10,0 \text{ MW}$

$\Delta U_1 = 191 \text{ V}$
 $\Delta U_2 = 358 \text{ V}$

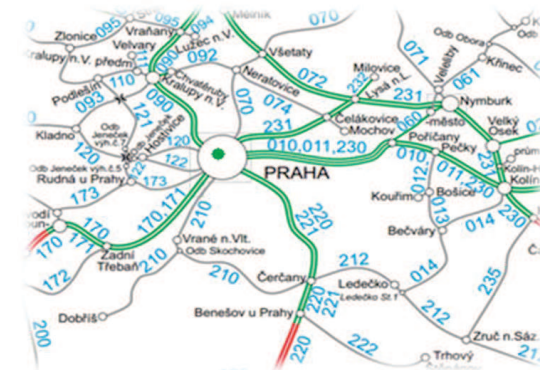
$10,0 \text{ km} = \frac{L}{2}$

vzdálenost $L = 20 \text{ km}$
TM Strančice

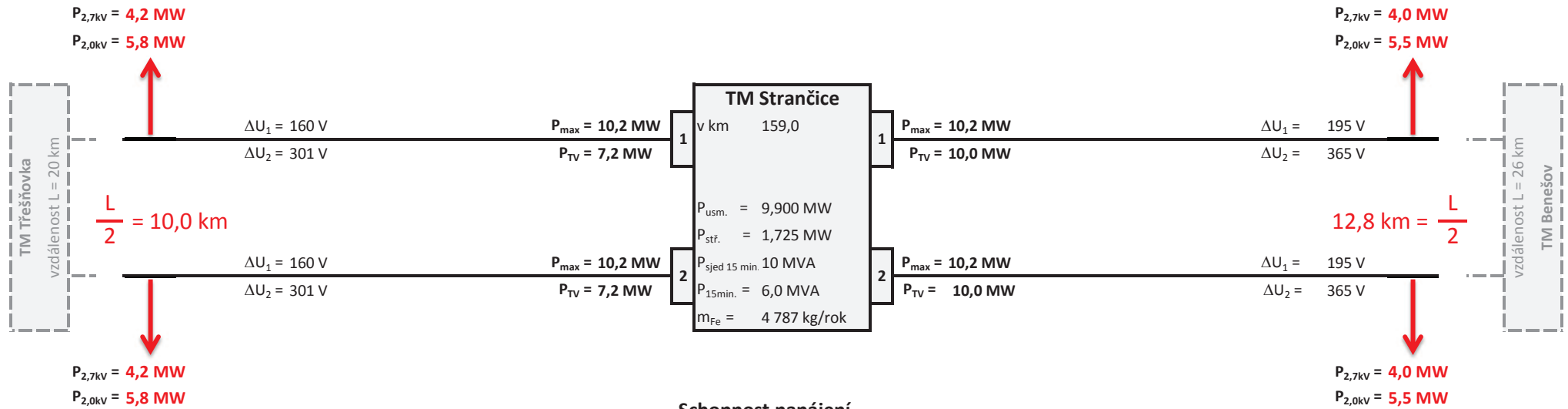
Schopnost napájení



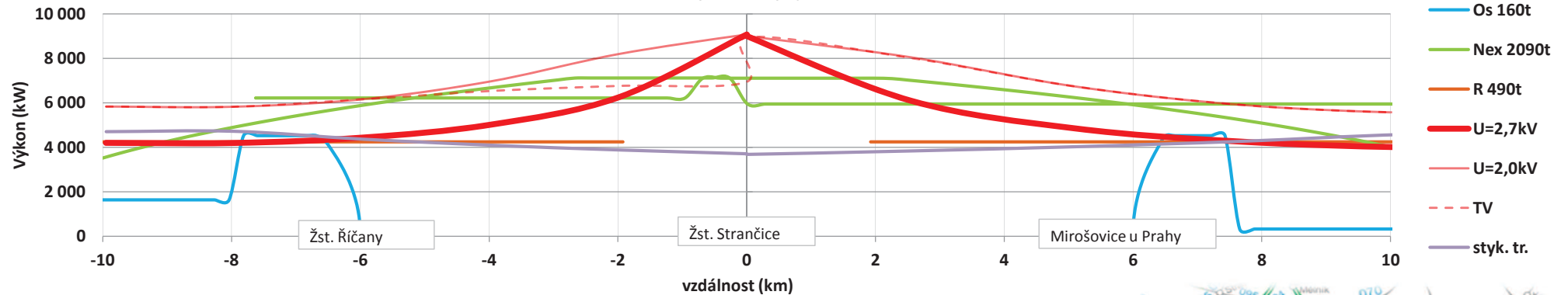
Úbytek napětí na kolejnici



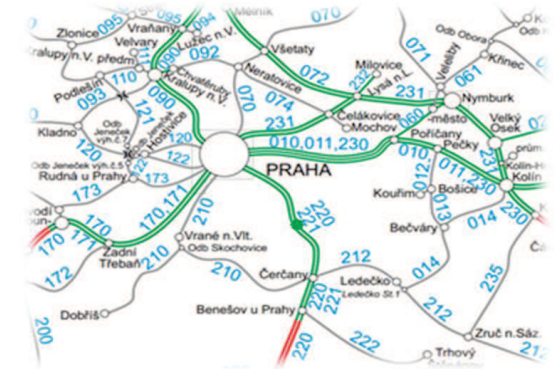
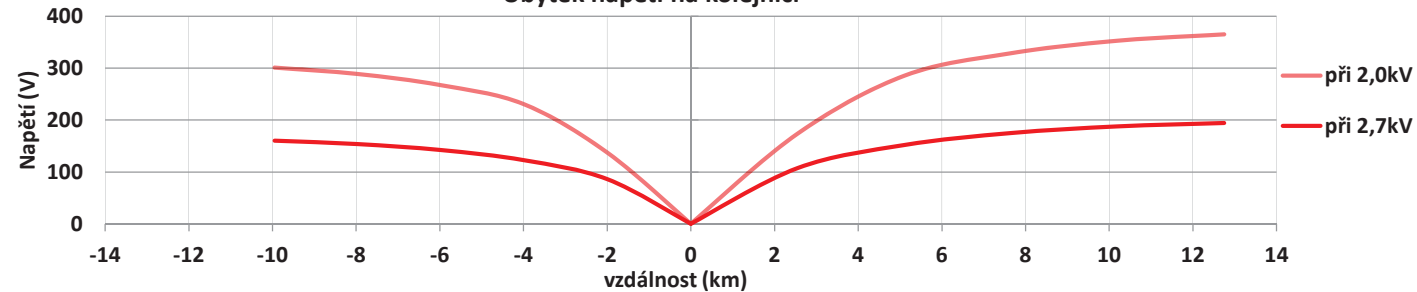
Trakční napájecí stanice Strančice 2015 - 3kV =



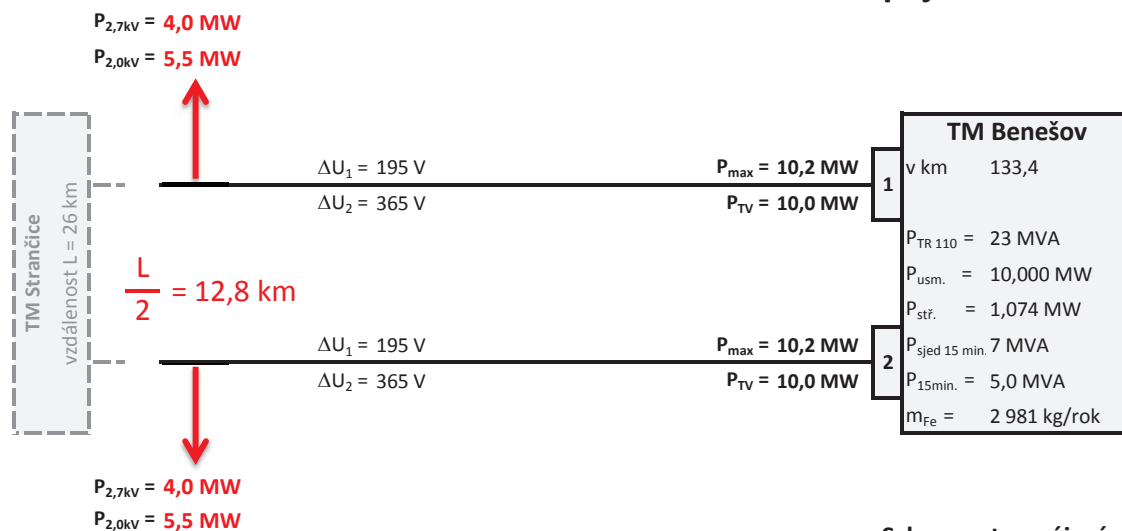
Schopnost napájení



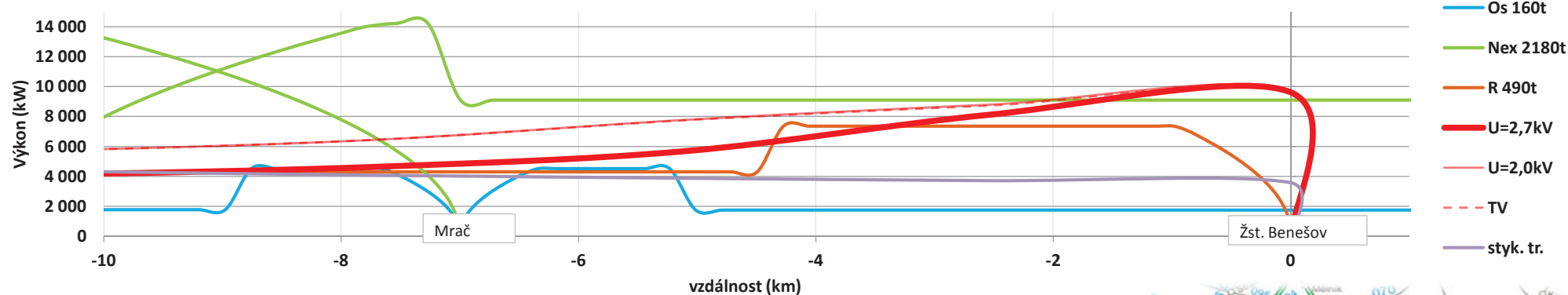
Úbytek napětí na kolejnici



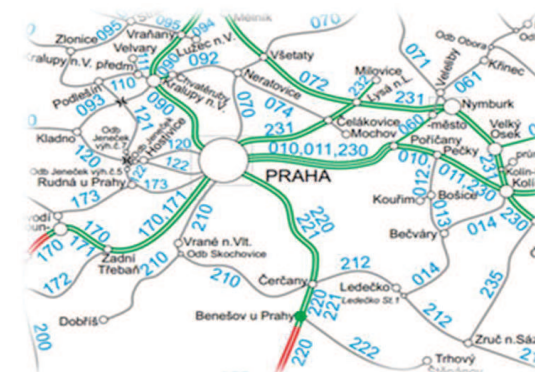
Trakční napájecí stanice Benešov 2015 - 3kV =



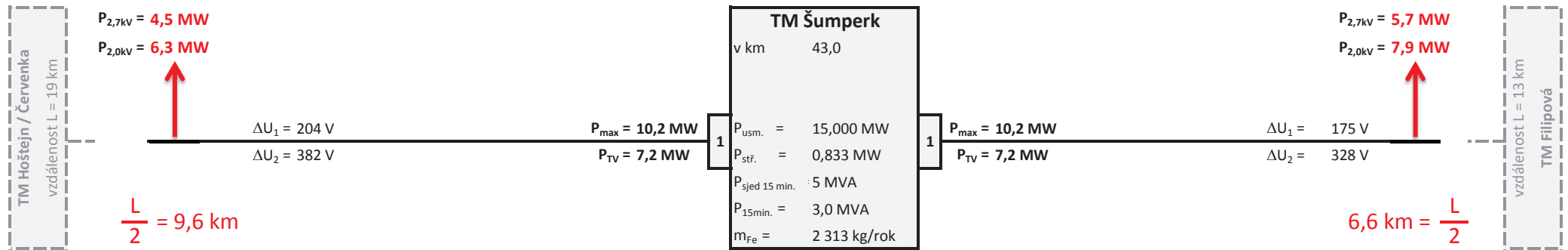
Schopnost napájení



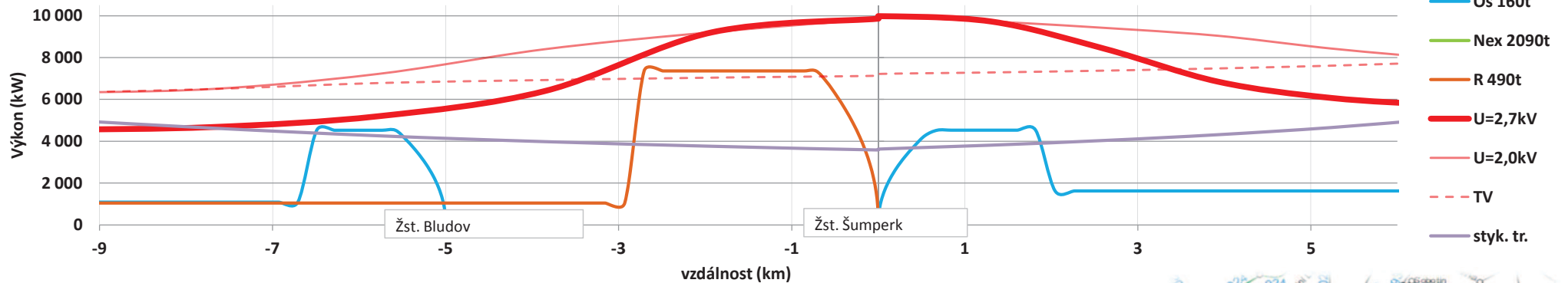
Úbytek napětí na kolejnici



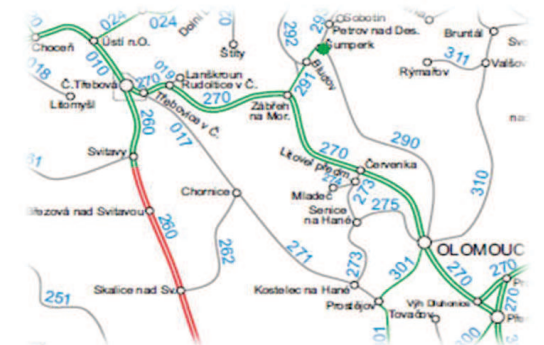
Trakční napájecí stanice Šumperk 2015 - 3kV =



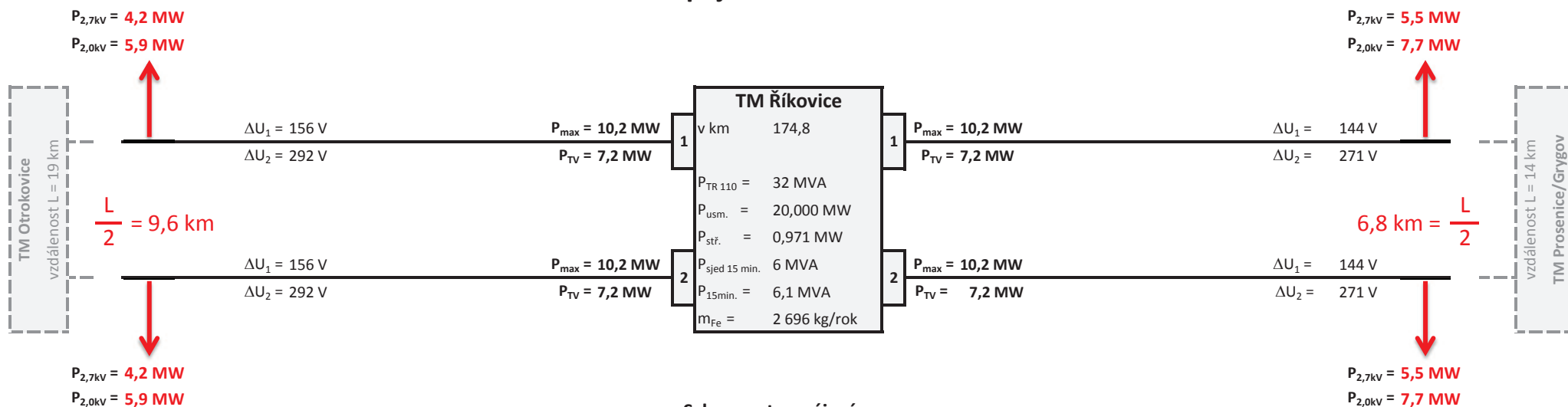
Schopnost napájení



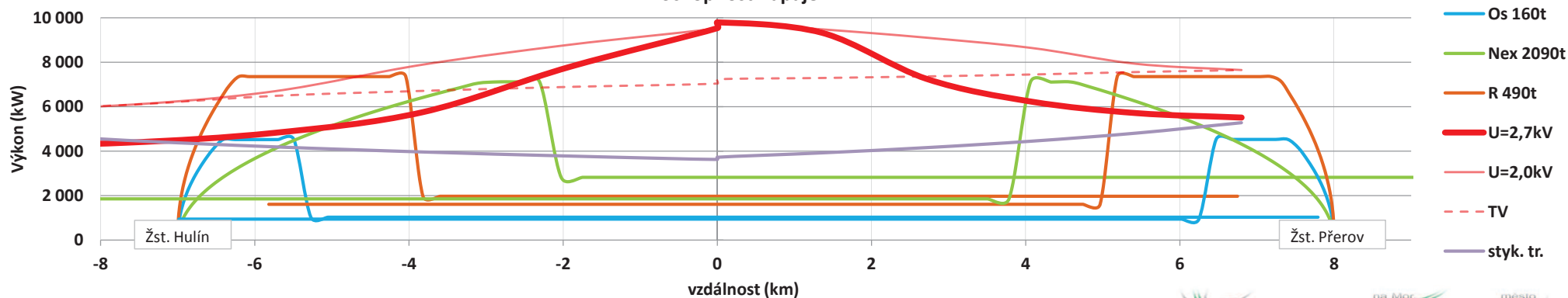
Úbytek napětí na kolejnici



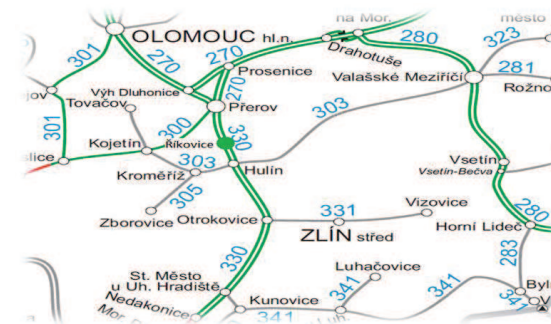
Trakční napájecí stanice Říkovice 2015 - 3kV =



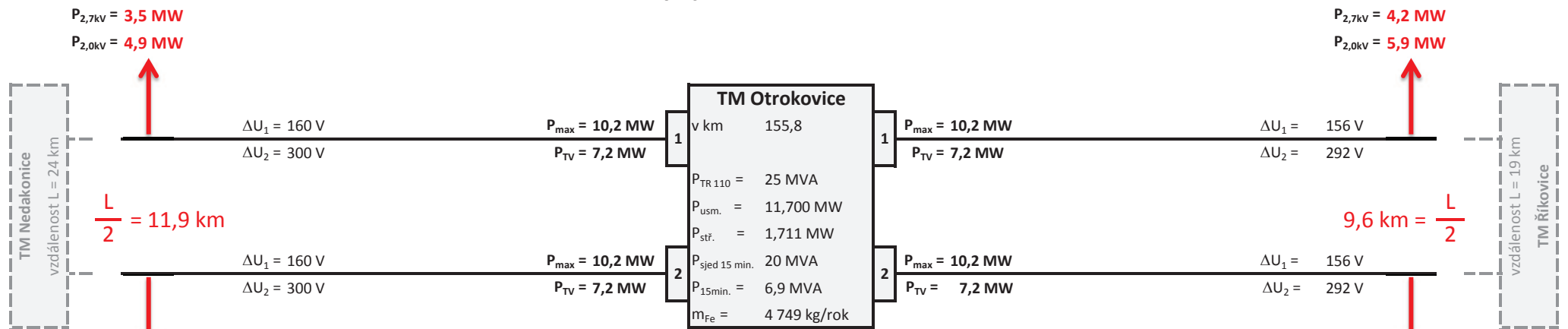
Schopnost napájení



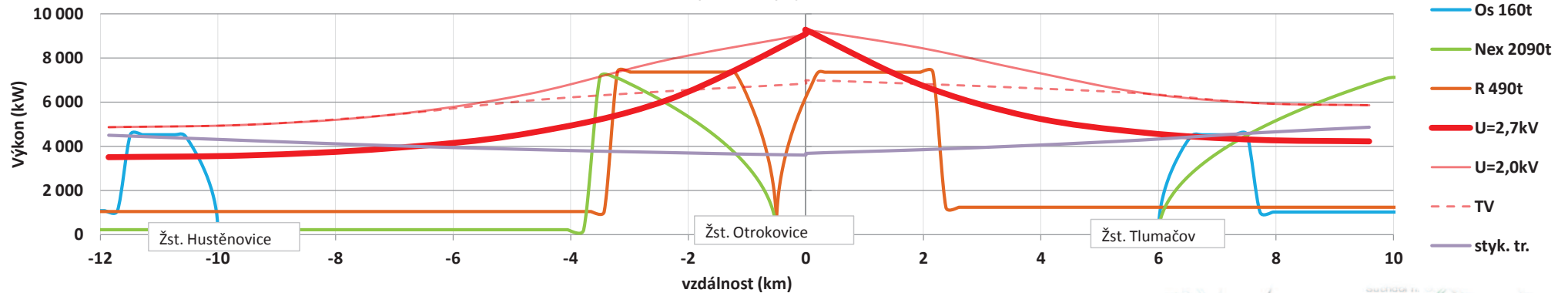
Úbytek napětí na kolejnici



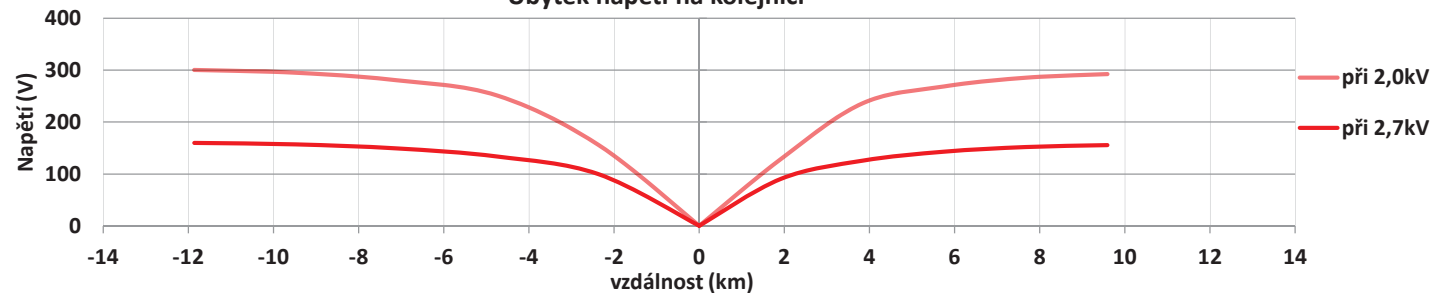
Trakční napájecí stanice Otrokovice 2015 - 3kV =



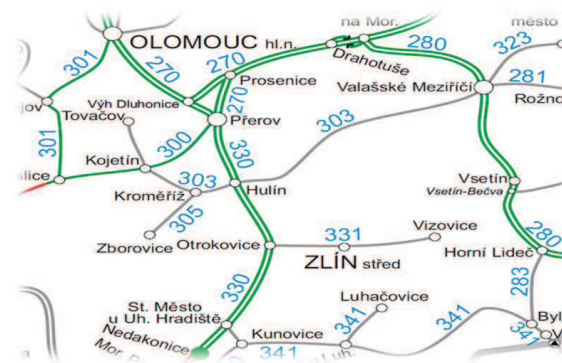
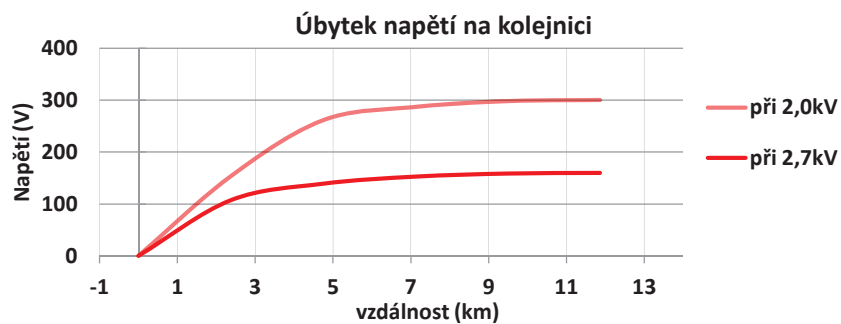
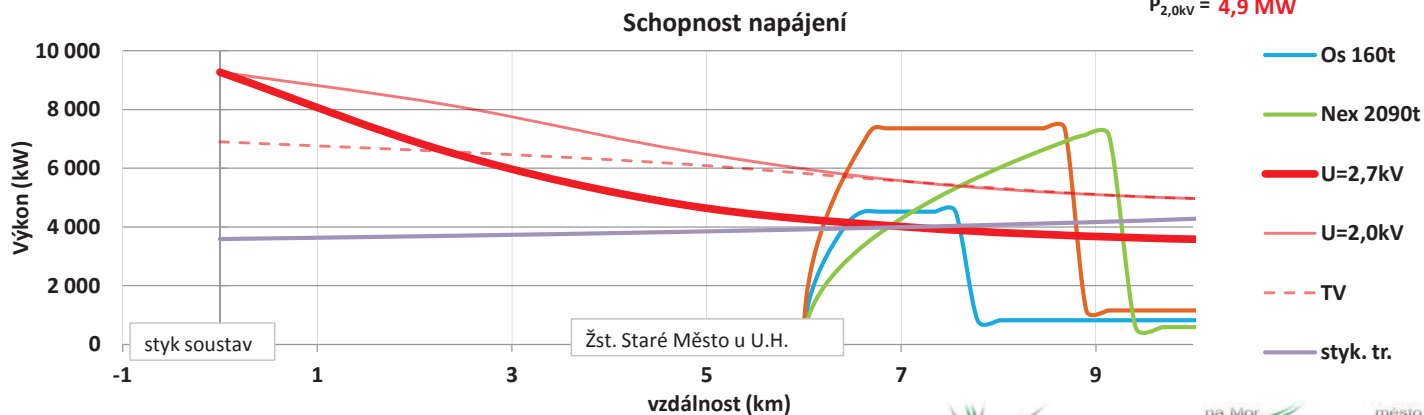
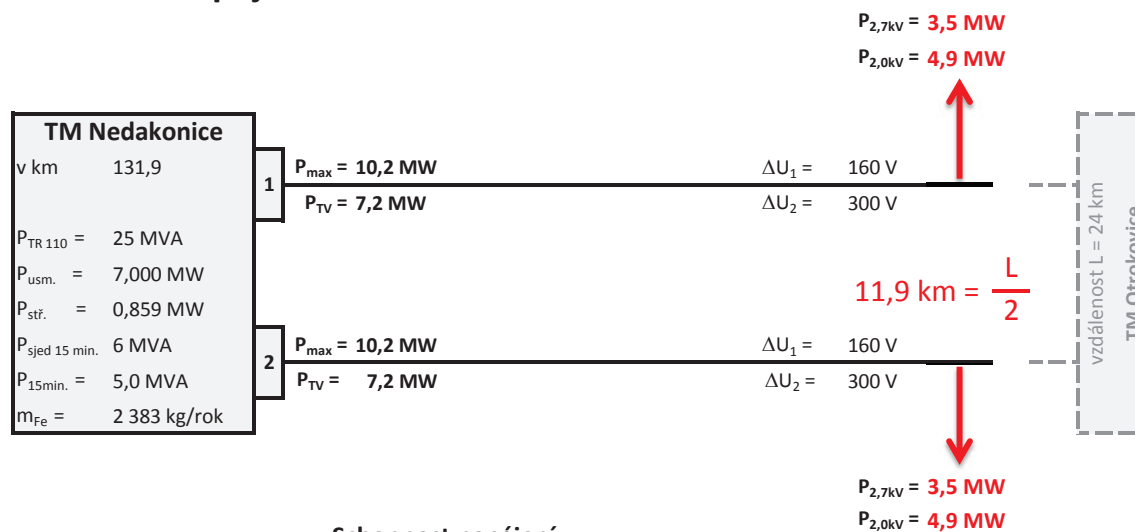
Schopnost napájení



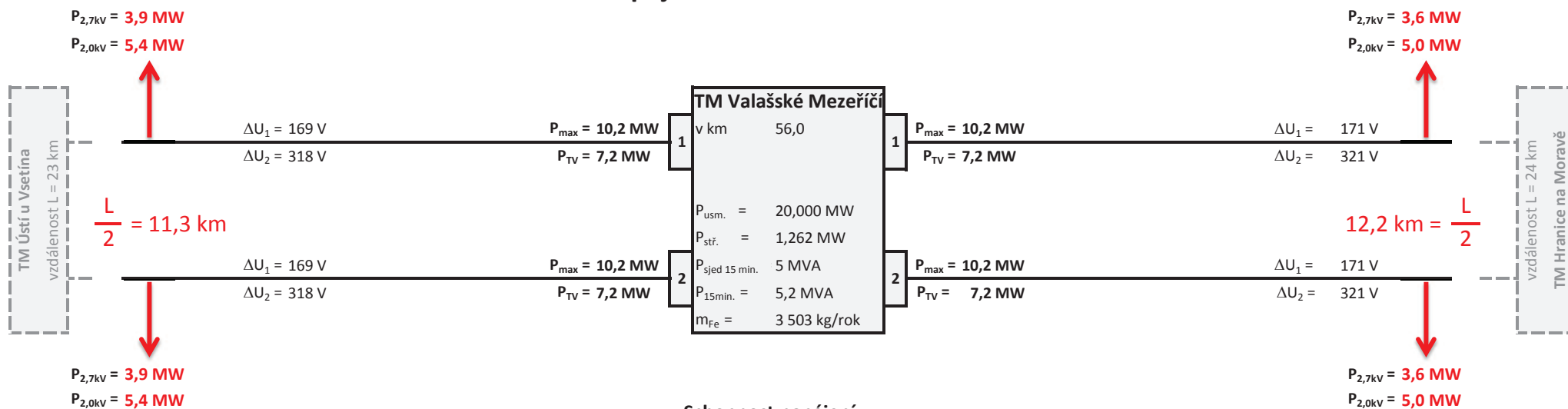
Úbytek napětí na kolejnici



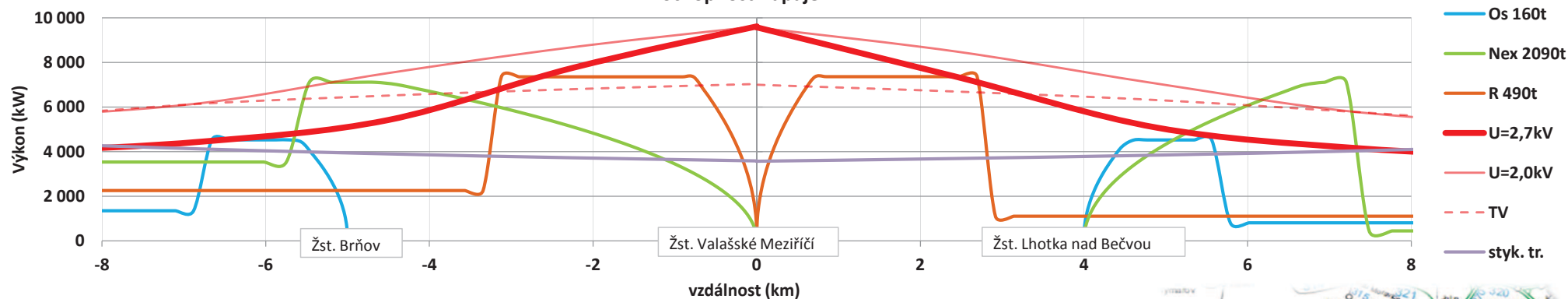
Trakční napájecí stanice Nedakonice 2015 - 3kV =



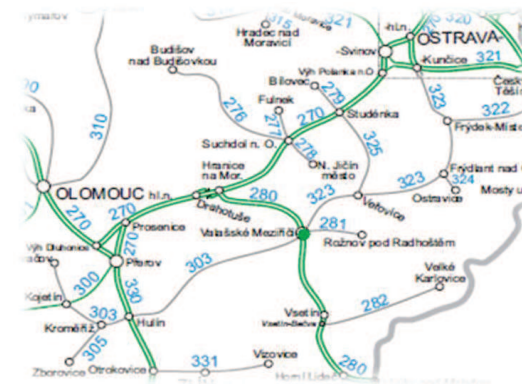
Trakční napájecí stanice Valašské Meziříčí 2015 - 3kV =



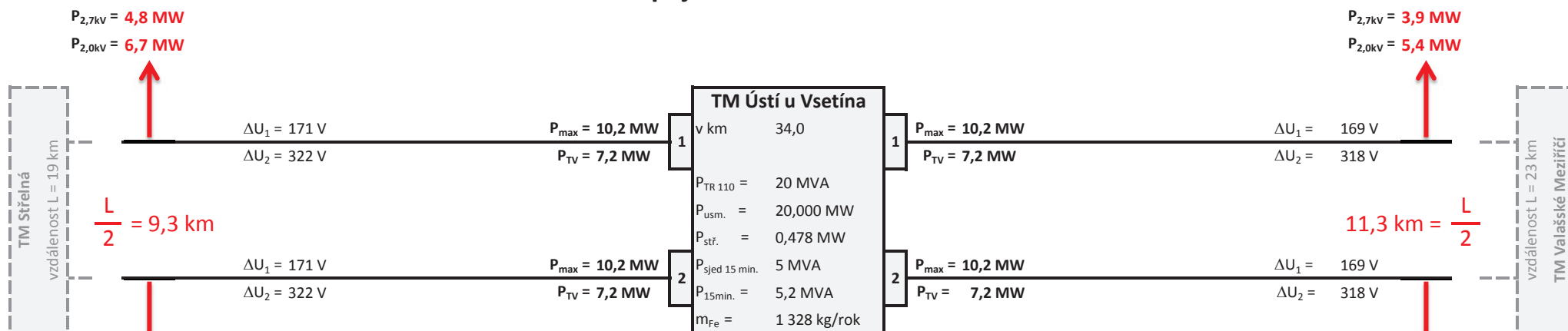
Schopnost napájení



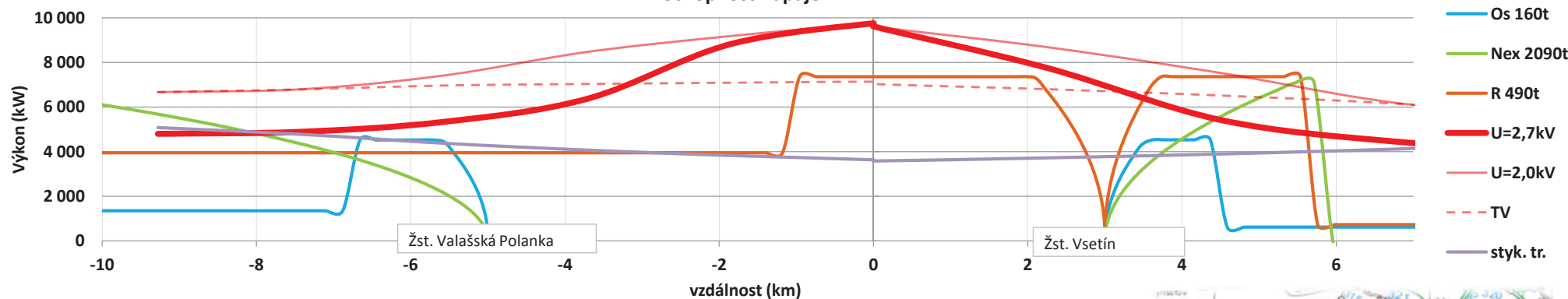
Úbytek napětí na kolejnici



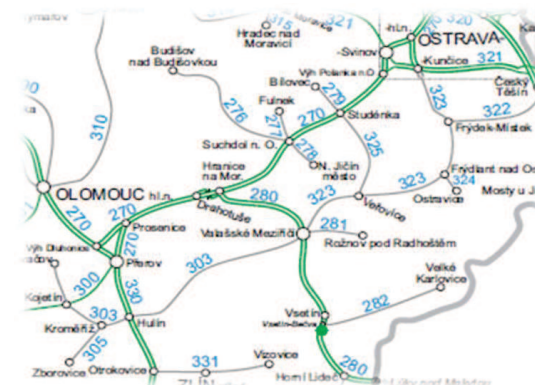
Trakční napájecí stanice Ústí u Vsetína 2015 - 3kV =



Schopnost napájení

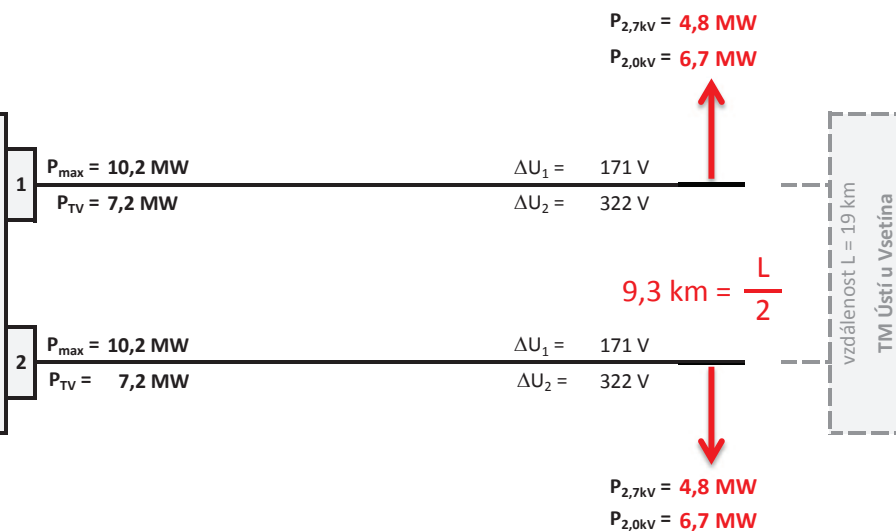


Úbytek napětí na kolejnici

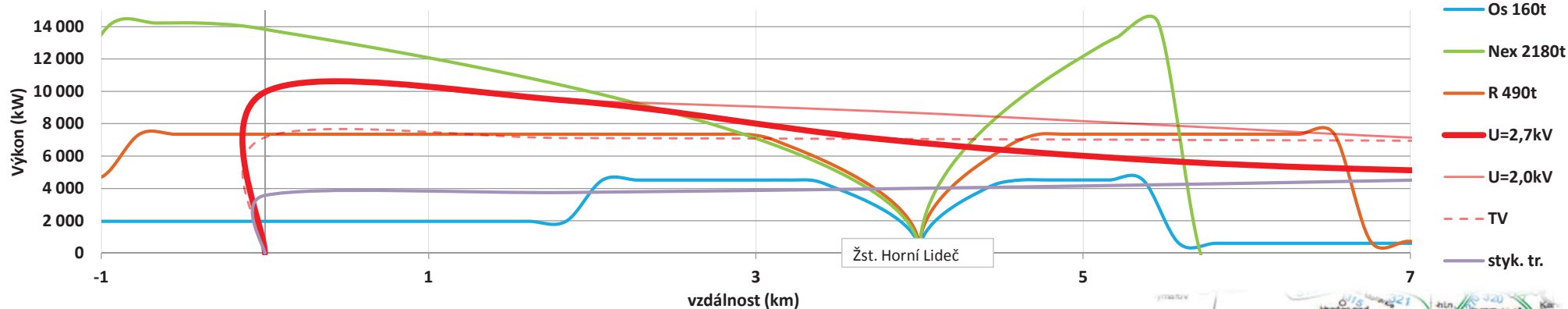


Trakční napájecí stanice Střelná 2015 - 3kV =

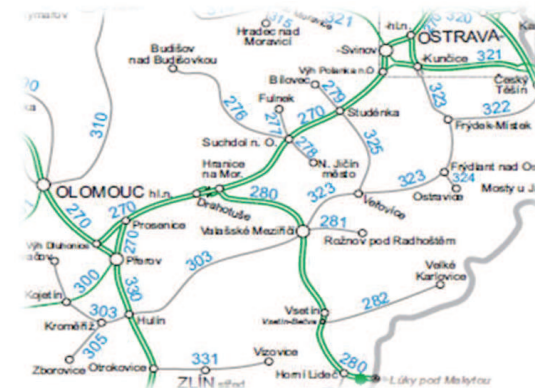
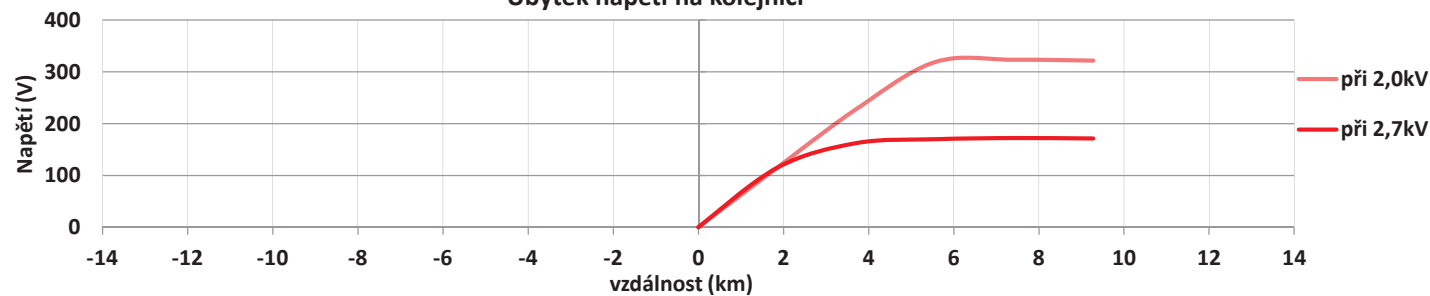
TM Střelná	
v km	22,8
$P_{TR\ 110}$	32 MVA
$P_{usm.}$	20,000 MW
$P_{stř.}$	0,777 MW
$P_{sjed\ 15\ min.}$	7 MVA
$P_{15min.}$	8,3 MVA
m_{Fe}	2 156 kg/rok



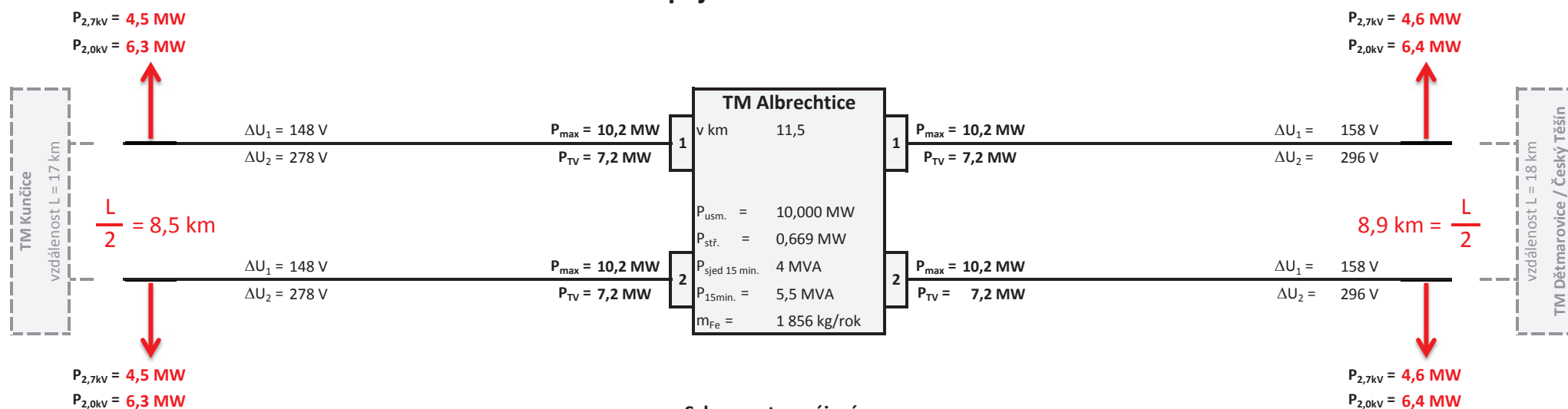
Schopnost napájení



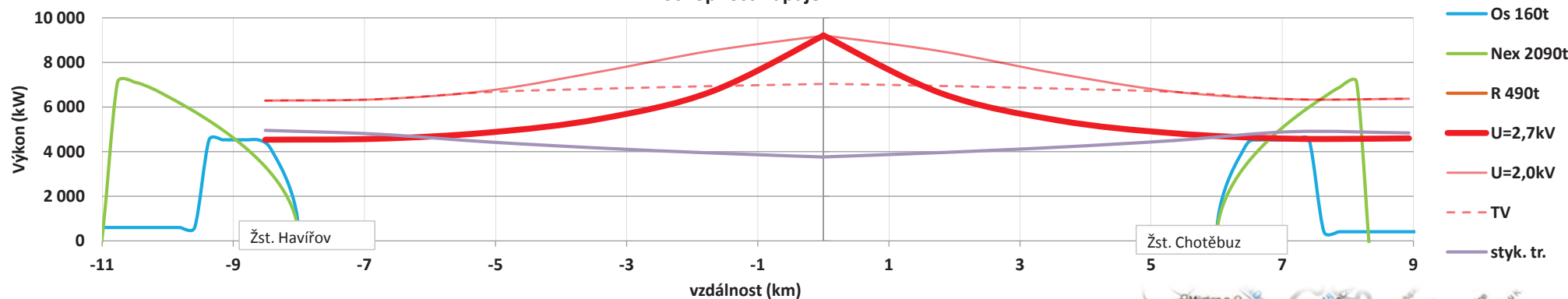
Úbytek napětí na kolejnici



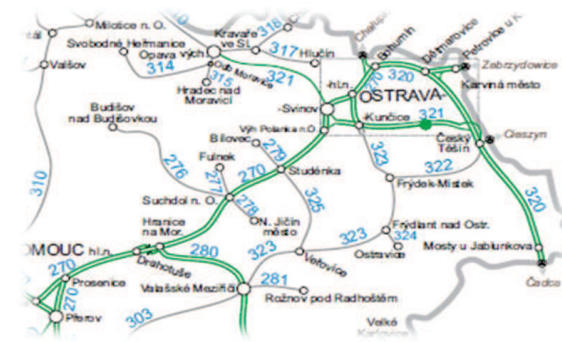
Trakční napájecí stanice Albrechtice 2015 - 3kV =



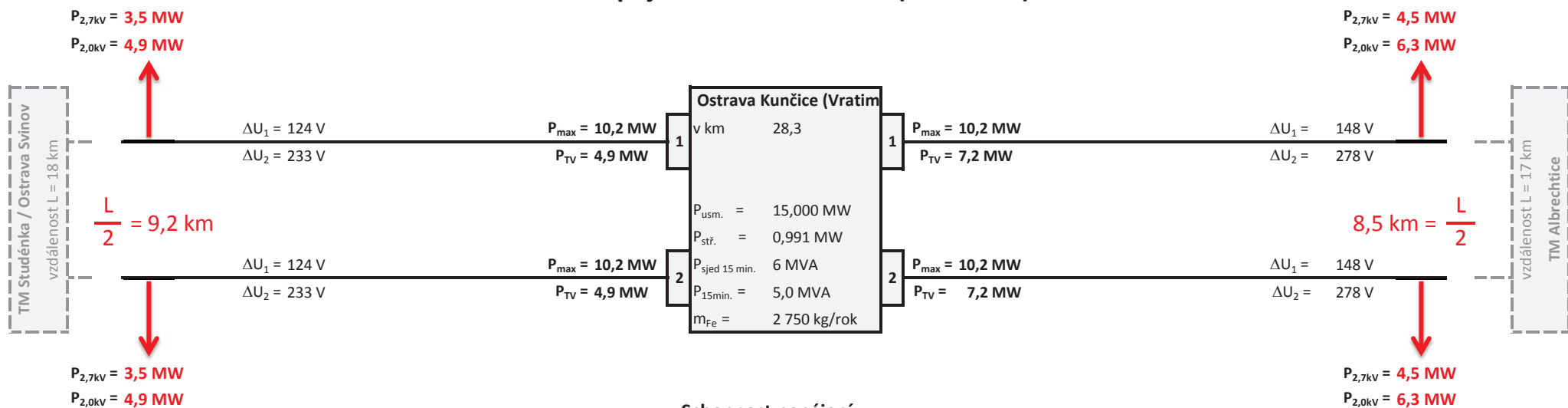
Schopnost napájení



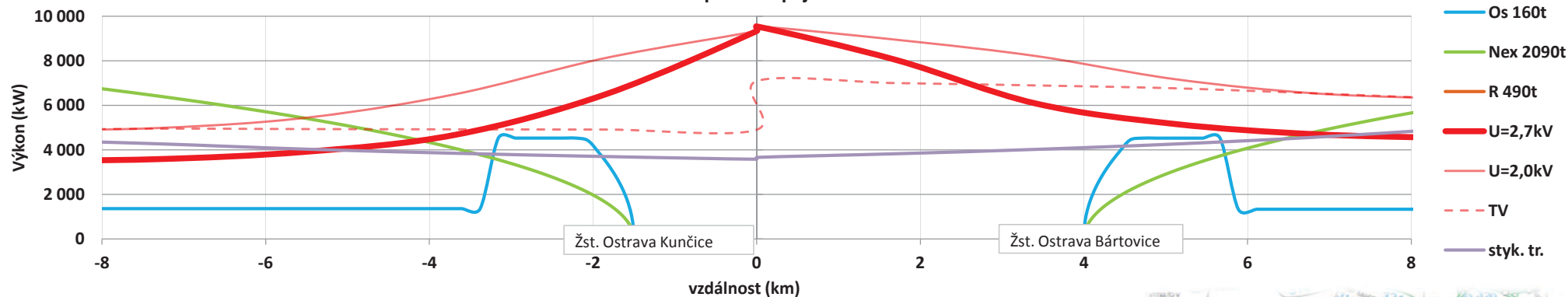
Úbytek napětí na kolejnici



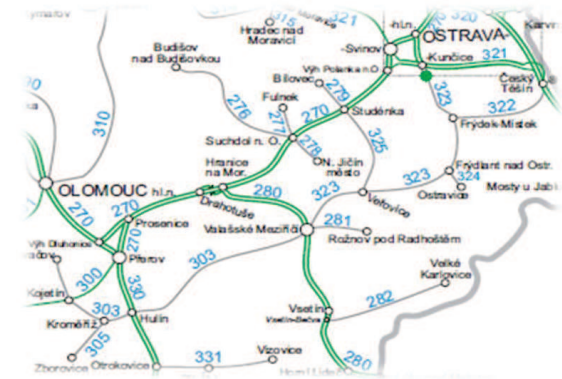
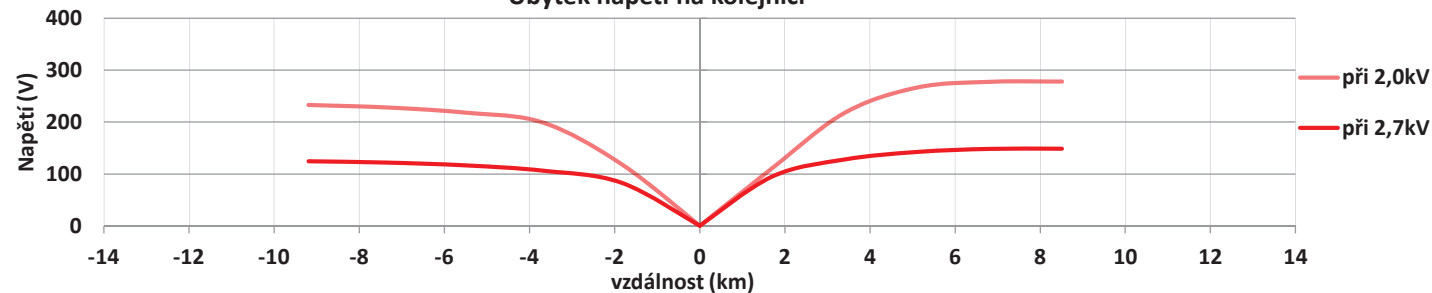
Trakční napájecí stanice Kunčice (Vratimov) 2015 - 3kV =



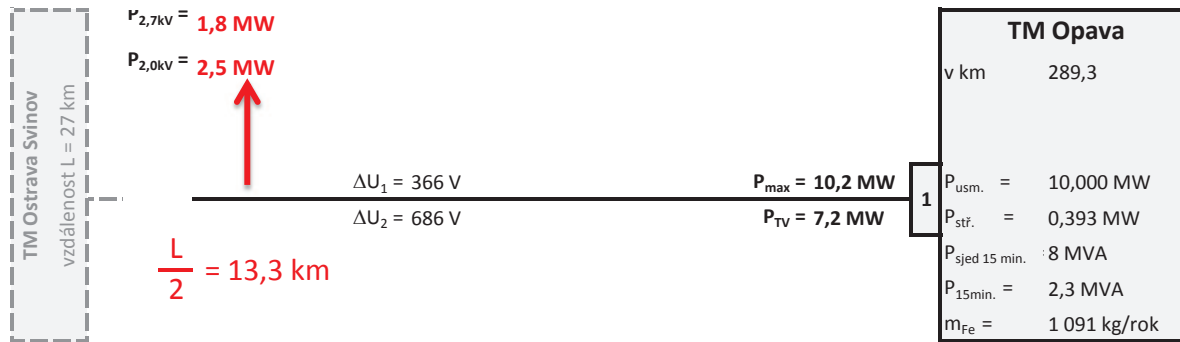
Schopnost napájení



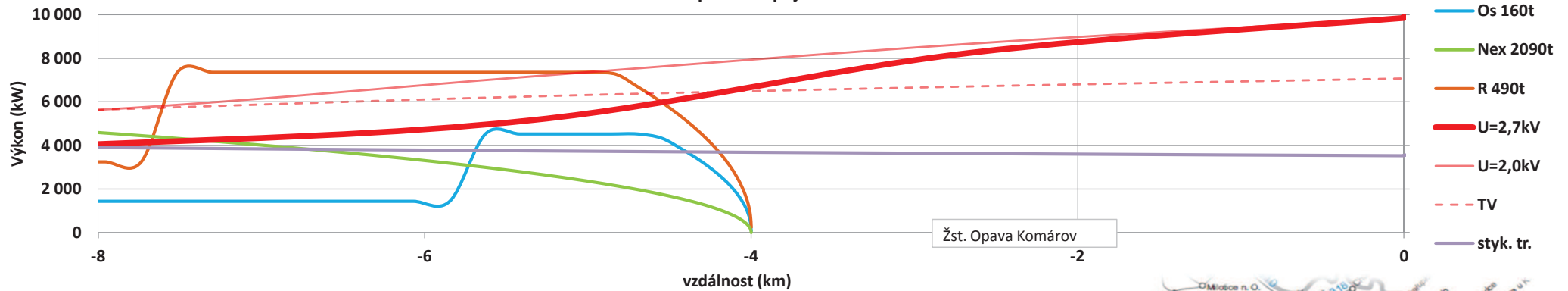
Úbytek napětí na kolejnici



Trakční napájecí stanice Opava 2015 - 3kV =



Schopnost napájení



Úbytek napětí na kolejnici

