UNIVERZITA PARDUBICE

DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

ANALÝZA JEVŮ OVLIVŇUJÍCÍCH NAPĚTÍ NA ÚSEKOVÝCH DĚLIČÍCH NA SOUSTAVĚ 3kV DC

Jan Czagan

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2018

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: **2017/2018**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Jan Czagan**
Osobní číslo:	**D16384**
Studijní program:	**N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor:	**Elektrotechnické a elektronické systémy v dopravě**
Název tématu:	**Analýza jevů ovlivňujících napětí na úsekových děličích na soustavě 3kV DC**
Zadávající katedra:	**Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě**

Zásady pro vypracování:

Práce bude popisovat možné provozní stavy v síti 3kV DC mající vliv na napětí na úsekovém děliči. Cílem je analyzovat vliv jednotlivých provozních stavů a navrhnout opatření pro minimalizaci napětí na úsekových děličích. Součástí DP bude i rešerše používaných řešení u zahraničních provozovatelů soustavy 3kV DC. Význam navržených opatření bude početně ověřen na několika konkrétních úsecích.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

[1] ČERNÝ, Ondřej a Radovan DOLEČEK. Trakční napájecí soustavy: studijní opora. Univerzita Pardubice, 2015. ISBN 978-80-7395-879-4.
[2] ČSN EN 50163 ed. 2. Drážní zařízení Napájecí napětí trakčních soustav. Praha: Český normalizační institut 2005.
[3] HLAVA, Karel. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) drážních zařízení. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. ISBN 55-708-04.
[4] ESVELD, Coenraad. Modern railway track. 2nd ed. Zaltbommel: MRT Productions, c2001. ISBN 90-800324-3-3.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ladislav Mlynařík, Ph.D.**
Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě

Datum zadání diplomové práce: **15. prosince 2017**
Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2018**

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

L.S.

Ing. Dušan Čermák, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 12. března 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 28. dubna 2018

Jan Czagan

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval Ing. Ladislavu Mlynaříkovi, Ph.D. za odborné vedení, věnovaný čas a pomoc při zpracování mé diplomové práce. Taktéž děkuji odboru energetiky společnosti SŽDC za poskytnutá data.

Další dík patří mojí rodině za podporu a trpělivost v době mého studia.

Jan Czagan

Tato práce se zabývá problematikou vzniku napětí na úsekových děličích na soustavě 3kV DC. Proběhne analýza jevů ovlivňujících vznik napětí na úsekových děličích. Analyzuje se situace v Čechách a zahraničí. Na 5 úsecích v České republice proběhnou teoretické výpočty na úsekových děličích. Nakonec bude provedena analýza výsledků s možnými návrhy řešení.

This word is about issues with voltage on section dividers at 3kV DC. The will be an analysis of the phenomena which are creating voltage on section dividers. It evaluates situation in Czech Republic and abroad. On 5 sections in Czech Republic will be calculations on section dividers. In the end, there will be analysis of results with possible solution.

Klíčová slova:
Železnice,
Úsekový dělič,
Analýza,
Výpočty,
Řešení.

Key words:
Railway,
Section divider,
Analysis,
Calcuations,
Solution.

Obsah

Úvod....10
1. Soustava 3 kV DC....11
1.1. Obecná struktura soustavy 3 kV DC v ČR....12
2. Napětí na úsekových děličích....15
2.1. Jevy ovlivňující vznik napětí na úsekových děličích....16
2.1.1. Výpadek měnírny....17
2.1.2. Zatěžování vlakem....17
2.1.3. Tvrdost napájecí stanice....18
2.1.4. Rekuperace....18
2.2. Řešení v České republice....18
2.2.1. Návěštění....18
2.2.2. Děličník....21
2.2.3. Technická zlepšování parametrů napájecí sítě....21
2.3. Řešení v zahraničí....22
2.3.1. Itálie....22
2.3.2. Polsko....25
2.3.3. Ostatní země....26
2.3.4. Experimenty s ukládáním energie....27
3. Početní ověření rozdílu napětí na úsekových děličích za běžného provozního stavu....29
3.1. Lokalizace....29
3.2. Algoritmus....30
3.3. Výsledky jednotlivých úseků....34
3.3.1. Číselný výpočet stanice Čerčany....35
3.3.2. Výsledky stanice Stráncice....39
3.3.3. Výsledky stanice Dobřichovice....39
3.3.4. Výsledky stanice Polom....40

3.3.5. Výsledky stanice Moravičany 43
3.3.6. Výsledky stanice Huštěnovice s různými průřezy vedení 45
3.4. Analýza výsledků 48
3.4.1. Úsek Benešov - Stráncice 48
3.4.2. Stanice Dobřichovice 49
3.4.3. Stanice Polom 50
3.4.4. Stanice Moravičany 52
3.4.5. Huštěnovice 54
4. Možná řešení rozdílů napětí na úsekových děličích vedoucí k možnosti odstranit stahování sběrače 56
4.1.1. Zesilovací vedení 56
4.1.2. Silnější průřezy vedení 58
4.1.3. Zákaz rekuperace 58
4.1.4. Podmíněný děličník 59
4.1.5. Spínací stanice 59
4.1.6. Propojky 60
4.1.7. Substanice 60
4.1.8. Akumulační uložiště energie 60
4.1.9. Materiál drátu 61
Závěr 62
Seznam obrázků 65
Seznam tabulek 66
Zdroje 68
Příloha A 70
Příloha B 76
Příloha C 86
Příloha D 89

Příloha E 96
Příloha F 101
Příloha G 104
Příloha H 107
Příloha I 110
Příloha J 113

Úvod

Tato diplomová práce se bude zabývat drážní napájecí soustavou 3 kV. Soustava 3 kV DC je jednou z nejpoužívanějších napájecích soustav v Evropě. Stejně jako mnoho ostatních soustav i tato používá úsekové děliče. Úsekový dělič je elektrický přístroj, který se používá v železniční, tramvajové a trolejbusové dopravě. Slouží k rozdělení elektrického vedení na několik samostatných úseků. A právě napětím mezi jednotlivými úseky se tato práce zabývá. Obsahově lze tuto práci rozdělit na 2 velké části.

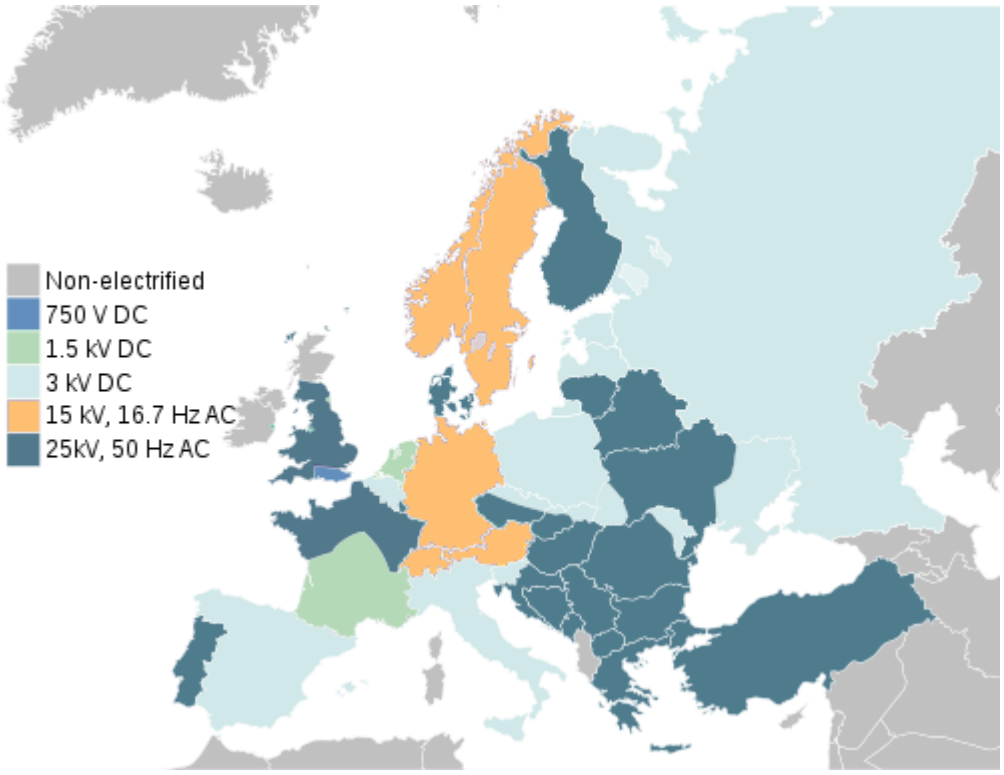
První část práce bude obsahovat základní informace o soustavě 3 kV DC. Následovat bude stručné popsání napájecích stanic používaných v České republice. Poté se již práce bude zabývat problematikou úsekových děličů. V první fázi si popíšeme jevy, které buď sami o sobě, či v kombinaci s jinými, způsobují vznik napětí na úsekových děličích. Po této části bude následovat popis současných řešení tohoto problému v České republice. Dále se tato část bude věnovat popsání soustavy 3 kV DC v zahraničí, se zaměřením na tamější řešení problematiky úsekových děličů.

Následující část práce bude výpočetní. Nejprve si uvedeme skutečné úseky na tratích České republiky, kde budou výpočty probíhat. Následovat bude popis algoritmu, pomocí kterého výpočty probíhaly. Poté již budou navazovat samotné výpočty, které vypočítají maximální námi přípustné zatížení (proudy) v úseku, tak aby se zachovala určitá hladina maximálního rozdílu napětí na děliči. Výpočty budou probíhat, jak se skutečnými parametry tratí, tak s fiktivními parametry. Na těchto fiktivních parametrech si nakonec ukážeme vliv jednotlivých parametrů na soustavu vedení. Což nám mimo jiné ukáže návrhy možných řešení vzniku příliš velkého napětí na úsekových děličích, které by bylo možné využít v praxi.

1. Soustava 3 kV DC

Počátky trakční napájecí soustavy 3 kV DC lze datovat přibližně o století zpátky. Za evropského průkopníka této soustavy lze ve 20. letech 20. století považovat Itálii. Postupně se však tato napájecí soustava rozšířila do dalších zemí. Krom Itálie můžeme 3 kV DC najít například i v severní části České republiky, Španělsku, Belgii, Polsku, Lotyšsku, Rusku a dalších zemích.

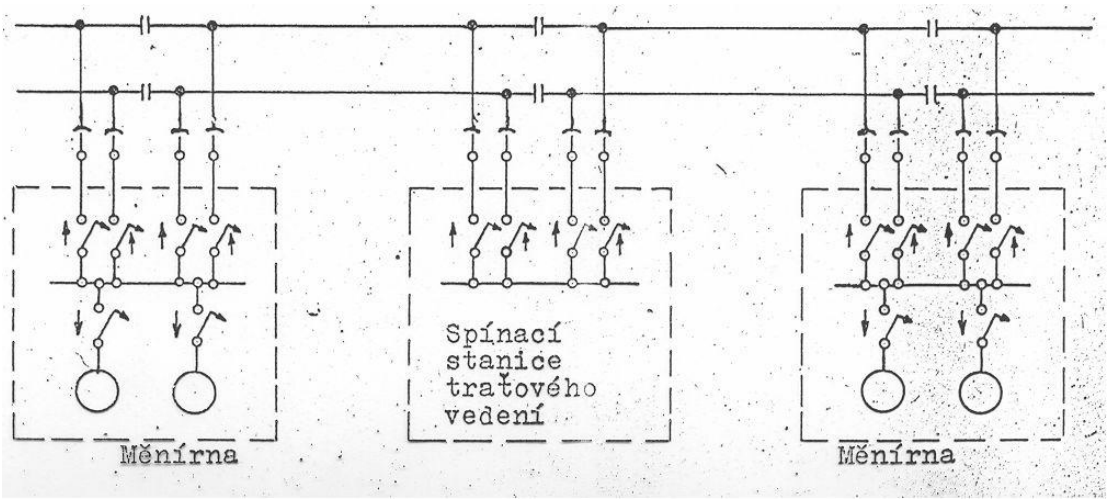
Obecným trendem dnešní doby je snaha o přechod na střídavou napájecí soustavu. Důvodem je několik významných nevýhod soustavy 3 kV DC. Jedním z největších negativ jsou vysoké trakční proudy oproti střídavým soustavám provozovaných na vyšším napětí. S tím jde ruku v ruce další problém a to vysoké ztráty na trakčním vedení. Taktéž je nutné počítat s větším množstvím trakčních napájecích stanic oproti střídavým soustavám na vyšším napětí. Důležité je brát v potaz také problematiku bludných proudů. I kvůli těmto důvodům se v dnešní době, kdy se staví vysokorychlostní železniční sítě, přechází i ve výše zmíněných zemích na střídavou soustavu o vyšším napětí (nejčastěji 25 kV, 50 Hz). Nutné si je ale zmínit i výhody této soustavy. Například díky napětí 3 kV DC v trakčním vedení je hnací vozidlo, co do elektrické výbavy jednodušší, což má výhody jak cenové, prostorové tak i váhové. Taktéž není problém realizovat toto napájení dvoustraně a měnírna zatěžuje nadřazenou napájecí síť symetricky. Tyto záležitosti se ve střídavé soustavě 25 kV, 50 Hz musí brát daleko více v potaz. Jako výhodu lze uvést i jednoduchou možnost rekuperace, ale toto často platí pouze jen pro daný úsek, kde by muselo být další vozidlo.



obr 1 - Trakční napájecí soustavy v Evropě [2]

1.1. Obecná struktura soustavy 3 kV DC v ČR

Struktura napájecí soustavy 3 kV DC se může v určitých aspektech lišit země od země. Proto se nyní zaměříme na strukturu napájecí soustavy v České republice. I zde se v rámci jednotlivých měníren mohou objevovat určité rozdíly, avšak základní struktura zůstává stejná. Prvně je si nutno říci, že trať je z hlediska napájení rozdělena na úseky. Úsek je napájen oboustranně z rozdílných měníren. Existují ovšem i výjimky, kde je napájení úseků jednostranné (Hradec Králové – Jaroměř).

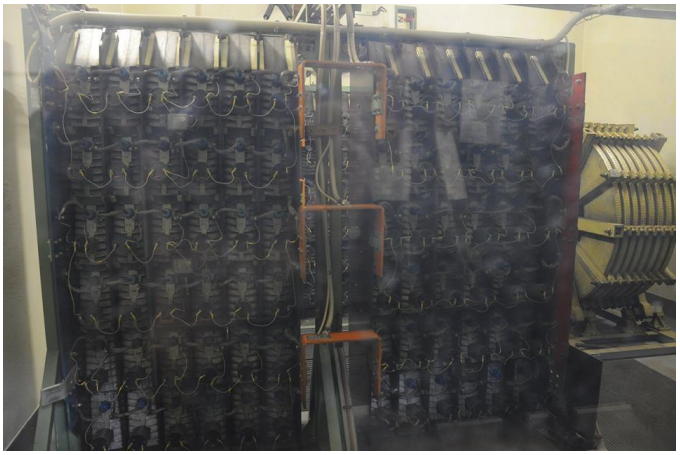


obr 2 - Obecné schéma napájení trati na 3 kV DC [19]

Každá měnírna čerpá elektrickou energii z nadřazené distribuční sítě. U nás se prakticky výhradně jedná o čerpání ze sítě velmi vysokého napětí 110 kV. Toto napětí je nutné transformovat na požadovanou hodnotu. Nejprve se 110 kV transformuje na 22 kV a poté z těchto 22 kV se napětí převede na požadované 3 kV (ve skutečnosti cca 3,3 kV DC a před usměrněním 2,5 kV AC). Pro první transformaci (110 kV/22 kV) se používají transformátory o výkonech například 10, 12,5 či 16 MVA. Vše samozřejmě záleží na výkonových požadavcích v daném místě trati. Pro druhou transformaci (22 kV/2,5 kV AC) se obvykle používají transformátory v zapojení Yy0/Yd1. Může se jednat jak o olejové tak dnes spíše i více používanější suché transformátory. Například se může používat suchý transformátor 22 kV/2x2,5 kV o výkonu 5,3 MVA.

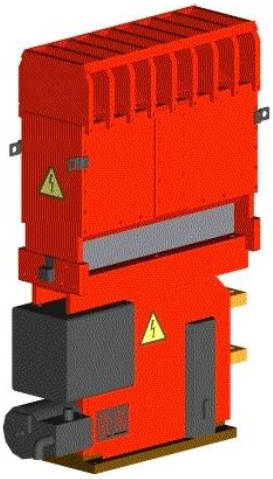
obr 3 - Transformátor 110 kV/22 kV [4]

Po transformaci napětí na požadovanou hladinu následuje usměrnění. Pro zapojení se používá 12 - pulsní usměrňovač. Diody jsou chráněny RC členy pro omezení komutačních přepětí a taktéž zde je například přepěťová ochrana na AC vstupu. Stále, ale je v jednotlivých větvích usměrňovače zapojeno více diod v sérii (často po 3). Za usměrňovačem se nachází tlumivka o hodnotě 4 mH. Tato tlumivka má za úkol zpomalovat nárůsty zkratových proudů, tak aby rychlovypínače mohly včas zareagovat a vypnout.



obr 4 - 12-pulsní usměrňovač, napravo tlumivka 4 mH [4]

Poslední velice důležitou částí měnírny za tlumivkou jsou rychlovypínače. Jedná se o elektrické přístroje, které slouží k vypínání zařízení v DC obvodech. Rychlovypínače se v dnešní době nejčastěji dodávají ve výsuvném provedení pro rozvaděčové skříně v měnírnách. V České republice je známý výrobce rychlovypínačů MEP Postřelmov.



obr 5 - Rychlovypínač MEP Postřelmov Un = 3000 V [5]

Vybrané technické parametry MEP Postřelmov na 3 kV DC:	
Jmenovitý provozní proud	2600 A nebo 4200 A
Předpokládaný trvalý zkratový proud	40 kA
Jmenovitý zkratový proud	20 kA
Nejvyšší napětí sítě	3600 V
Nejvyšší obloukové napětí	6000 V
Mechanická životnost	20 000 pracovních cyklů
Vypínací čas rychlovypínače dle spouště:	
Elektromagnetická nadproudová spoušť	5 ms
Elektrodynamická spoušť	15 ms
Napěťová spoušť	60 ms
Podpěťová spoušť	120 ms

tab 1 - Parametry rychlovypínače na 3 kV DC [5]

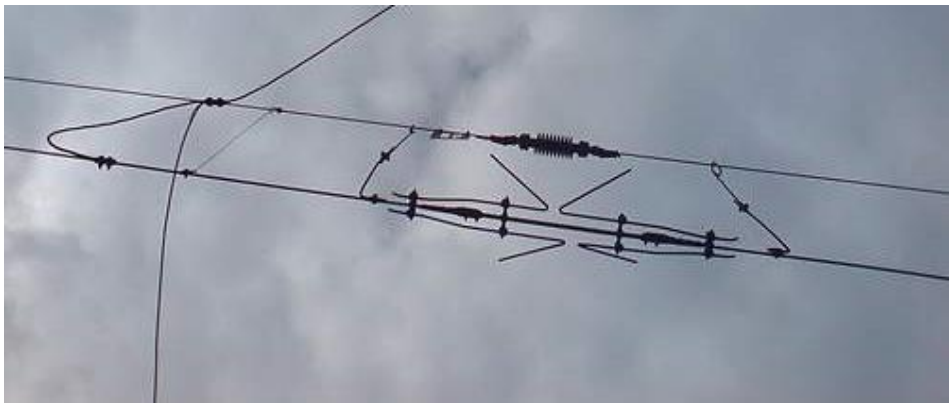
2. Napětí na úsekových děličích

Celé trakční vedení 3 kV DC je napájeno z měníren. Stejně jako ve střídavých soustavách je i zde nutné dělení vedení na jednotlivé úseky. V případě stejnosměrných soustav jsou hlavními důvody úsekového napájení provozní požadavky. Jde například o údržbu. Bylo by velice nepraktické vypnout celé napájení tratě, jen kvůli údržbě jednoho místa. Daleko výhodnější je vypnout pouze daný úsek. Poté je zde také záležitost poruch. Bez úsekového dělení by například zkrat kdekoliv na vedení znamenal obrovský problém. Proto je logické, že jak ve stejnosměrných, tak střídavých trakčních napájecích soustavách je jakékoliv napájení řešeno úsekově.

Většina úseků v soustavě 3 kV DC je napájena oboustranně. Výhody toho způsobu napájení si uvedeme až dále. Každá měnírna na této soustavě by tedy ideálně měla napájet 2 sousedící úseky, tak aby každý úsek byl napájen dvěma měnírnami. Důvody takovéhoto zapojení jsou jak technické, tak i ekonomické.

Úsekový dělič je tedy obecně elektrický přístroj, který se používá jak v železniční, tak například i v trolejbusové a tramvajové dopravě. Slouží k rozdělení napájecího trolejového vedení na jednotlivé sekce, které je potom možno nezávisle napájet i jistit. Úsekové děliče lokomotiva se sběračem projíždí různě. Na určitých děličích se musí stahovat sběrač. Jinde postačuje, když vozidlo nebude odebírat ve chvíli přechodu úsekového děliče trakční proud. Úplně nejvhodnější stav ale je, když jízda nemusí být úsekovým děličem nijak limitována.

Konstrukcí úsekových děličů je vícero. Liší se v úrovni napětí, na které jsou instalovány a i v know-how výrobce. Na obr 6 lze vidět standartní úsekový dělič pro soustavu 3 kV DC. Nosné lano je opatřeno izolátorem. Pod ním leží úsekový dělič. Uprostřed děliče se nachází izolátor, který kopíruje stopu trolejového vedení. Ještě před izolátorem jsou vyvedeny z každé strany dva dráty. Uprostřed děliče jsou zpět ohnuté do tvaru opalovacích růžků, tak aby se obě strany vzájemně nedotýkaly. To je z důvodu zhášení potenciálního oblouku. Je nutné si ještě všimnout, že 2 dráty (pro obě strany) mají různou délku. To znamená, že sběrač je po celou dobu průjezdu napájen. Problematická situace nastává ve fázi, kdy sběrač je napájen z obou úseků. Při rozdílu napětí mezi úseky, proteče přes sběrač (konkrétně lištu sběrače) vyrovnávací proud mezi úseky. Velikost tohoto proudu je omezena pouze odporem lišty sběrače. Tato situace může následně vést k poškození sběrače a taktéž děliče.



obr 6 - Úsekový dělič [6]

2.1. Jevy ovlivňující vznik napětí na úsekových děličích

Jak již bylo napsáno výše. Úsekové děliče se projíždějí různými způsoby. V případě stejnosměrné soustavy 3 kV DC je hlavní problémem rozdíl napětí na úsekových děličích. Nebo-li rozdílná momentální úroveň napětí na krajích 2 sousedících úseků.

Když vozidlo najede na úsekový dělič a odebírá přitom trakční proud z vedení, tak může nastat několik vážných problémů. Klasicky se jedná o vytažení elektrického oblouku přes dělič, jehož následky závisí hlavně na rozdílu napětí mezi sekcemi. Jsou-li motory v záběru a vozidlo najede na úsekový dělič, tak nastane výrazný proudový náraz. Ten může poškodit elektrickou výzbroj vozidla (například připečení kontaktů v poloze, kdy nastal proudový náraz). Taktéž je toto samozřejmě doprovázeno citelným cuknutím vozidla. Druhý výrazný problém vzniká na vedení. Při projetí vozidla úsekovým děličem se zvednutým sběračem a odebíraným trakčním proudem dochází k přeskočení výboje, či až k zahoření oblouku, který může výrazně poškodit vedení. Nejjednodušší řešení by bylo před každým úsekovým děličem stáhnout sběrač. To je však nepraktické řešení, neboť klade další povinnosti na strojvedoucí (zvyšuje riziko možné chyby strojvedoucího). Vozidla smějí projíždět úsekový dělič se zvednutým sběračem do určitého rozdílu napětí na děliči (500 V). Vozidla ale velikost napětí na děliči neznají. Vhodným dimenzováním vedení (např. použití zesilovacího vedení) lze tuto hodnotu (nebo nižší hodnotu) v běžném provozním stavu předpokládat. Větší rozdíl napětí může způsobit poškození sběrače i děliče. V určitých případech, kdy se očekává velký napěťový rozdíl (větší než přípustných 500V) na děliči je nařízeno vypnout proud nebo dokonce stáhnout sběrač (například úsekový dělič v Děčíně[6]).

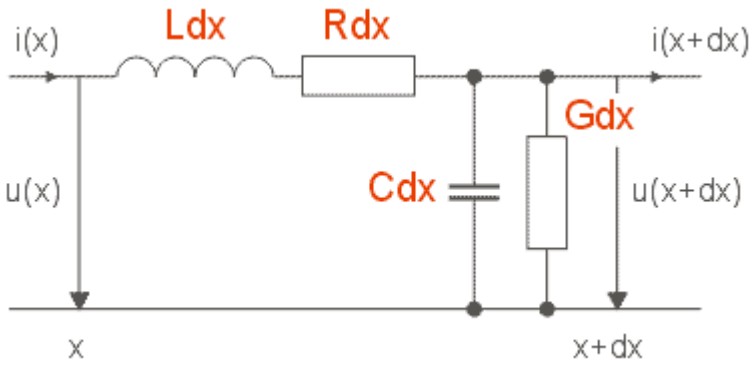
2.1.1. Výpadek měnírny

Asi největší problém z hlediska vzniku napětí na úsekovém děliči představuje výpadek měnírny v jedné sekci. Vše samozřejmě záleží na struktuře napájení sekce. Nejčernější scénář je takový, kdy na úsekovém děliči je kvůli výpadku celé sekce plné napětí. Může se jednat o více než 3 kV. V České republice je udávané napětí měnírny 3,3 kV DC a se zohledněním rekuperace se počítá až se 3,6 kV DC. V případě zahraničí se bere až 3,9 kV.

V případě tedy, že zvláště časové okolnosti se sejdou tak nešťastně, že by tato situace mohla nastat, hrozí výrazné poškození, jak lokomotivy, tak vedení přetažením oblouku. Taktéž při údržbě úseku by přetažením oblouku, mohlo na vypnutém úseku vzniknout napětí a způsobit zranění údržbě.

2.1.2. Zatěžování vlakem

Každé vedení je charakterizováno určitou impedancí. Ta je složena z podélného odporu R, indukčnosti L, kapacity C a svodu G. Pro nás je nyní nejdůležitější odpor vedení. S rostoucí vzdáleností od napájecí stanice roste odpor a klesá napájecí napětí.



obr 7- Homogenní vedení [8]

Obecně platí, že při zatěžování klesá napětí (z důvodu odporu). To znamená, že když vlak odebírá energii, tak napětí v síti klesá. Jedná se prakticky o stejný princip jako v případě ztrát na vedení. Zde se pouze jedná o přerušovaný jev.

Právě tato nespojitost děje zapříčiňuje vznik napětí na úsekovém děliči. Když v jednom úseku jsou například 2 vlaky, které odebírají trakční proud, tak v onom úseku je výrazně nižší napětí než v úseku vedlejším, který je volný. To opět může znamenat problém na úsekovém děliči (rozdíl i ve stovkách volt).

2.1.3. Tvrdost napájecí stanice

Do této problematiky kolem ztrát a zatěžování ještě výrazně promlouvá tvrdost napájecí stanice. Fyzikálně se jedná prakticky o tvrdost zdroje. Čím je napájecí stanice „tvrdší“ (má menší odpor způsobený ztrátami na transformátoru), tím budou poklesy napětí menší. Na koridorech, či zahraničních vysokorychlostních tratích na 3 kV DC, se je nutné touto problematikou výrazně zabývat.

2.1.4. Rekuperace

Zajímavým jevem, který mění hladinu napětí v trakčním vedení, je rekuperace. V případě stejnosměrné soustavy 3 kV DC, nelze jednoduše rekuperovat zpět do distribuční sítě. Platí tedy, že rekuperace je možná jen tehdy, když v daném úseku je další vozidlo, které by tuto energie odebíralo. Během tohoto jevu se ve vedení často mění toky proudů a napájecí stanice je méně zatěžována. To má za následek změnu napěťové hladiny sekce. A opět tedy na úsekovém děliči vzniká napětí mezi sekcemi.

2.2. Řešení v České republice

I přes budoucí plány postupného přechodu trakční napájecí soustavy 3 kV DC na 25 kV AC, je nutné se problémem průjezdu úsekovými děliči na 3 kV DC zabývat. Tím, že tato stejnosměrná soustava je provozována i na našich hlavních koridorech, vznikají, s popularitou železnice, vyšší a vyšší výkonové požadavky na napájecí stanice. A zde se právě objevuje významná problematika rozdílů napětí na úsekových děličích. Zkrátka, kvůli vyšším výkonům (rychlostem) a vyšší hustotě dopravy vozidel, vznikají výraznější úbytky na napětí v sekcích. A to se samozřejmě negativně projevuje na vzniku větších napětí na úsekovém děliči.

2.2.1. Návěštění

Nejjednodušší a nejlevnější možností jak zabezpečit průjezd přes úsekový dělič je pomocí návěsti. Toto řešení má své mnohé provozní nevýhody. Hlavní problém spočívá v tom, že vše závisí na strojvedoucím, který musí danou návěst zaregistrovat a dle toho zareagovat. To samozřejmě znamená více povinností pro strojvedoucí a možnost jejich selhání. V této části se budeme zabývat podélnými děleními jedné stopy (při průjezdu mezi kolejemi se tyto návěsti nepoužívají).

První z používaných návěstí kolem problematiky přejezdu přes úsekový dělič je, návěst vypněte proud. Je to čtvercová návěst, postavená na vrcholu. Jedná se o modrou desku s černým orámováním a bílým okrajem. Uvnitř se nachází znak písmene U s přerušenými svislými čárami. Návěst přikazuje strojvedoucímu elektrického vozidla ukončit odběr trakčního proudu, vypnout pomocné pohony a vypnout elektrické vytápění vlaku nejpozději na úrovni této návěsti.

obr 8 - Návěst vypněte proud [9]

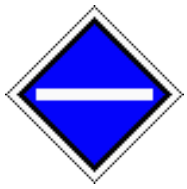
Nyní návěst opačná, zapněte proud. Vizuálně jediný rozdíl oproti návěsti předešlé je, že písmeno U je nyní celé. Návěst dovoluje strojvedoucímu elektrického hnacího vozidla začít odebírat proud, zapnout pomocné pohony a zapnout elektrické vytápění vlaku. Samozřejmě až po minutí této návěsti, nikoliv před návěstí.

obr 9 - Návěst zapněte proud [9]

Po úsekových děličích, kde stačí vypnout a zapnout odběr proudu, existují i úsekové děliče, kde je nutné stáhnout sběrač. Vizuálně se opět jedná o podobnou návěst jako předchozí. Liší se pouze prostřední motiv, kde jsou symetricky umístěné dva krátké vodorovné pruhy. Levní ve spodní části a pravý ve vrchní části desky. Jedná se o předvěst návěsti, stáhni sběrač.

obr 10 - Návěst přípravy ke stažení sběrače [9]

Po předvěsti následuje samotná návěst, stáhněte sběrač. Barevný podklad je opět stejný, krom vnitřního obsahu. Zde je dlouhý vodorovný pruh v uhlopříčce. Tato návěst přikazuje strojvedoucímu jízdu se staženým sběračem nejpozději v úrovni této návěsti.



obr 11 - Návěst stáhněte sběrač [9]

Po stažení sběrače, musí následovat jeho zdvihnutí. Návěst je prakticky identická, pouze pruh, který byl vodorovný je nyní svislý. Návěst dovoluje jízdu se zdviženým sběračem po minutí této návěsti.

obr 12 - Návěst zdvihněte sběrač [9]

Předchozí návěsti byly všechny pevně dané a neměnné. Nicméně to není vždy nutné a není to ani praktické. Proto se používají ještě návěsti se světelnou indikací. Podkladově vypadají stejně jako návěsti předchozí. Jejich obsah je, ale viditelný pouze při určitých stavech. Jinak se jeví jako prázdná modrá plocha. Klasickým případem je návěst stáhni sběrač se světelnou signalizací (neboli „podmíněná návěst“). Tato návěst se osazuje u úsekových dělení u napájecích a spínacích stanic. Není-li třeba, návěst nesvítí. Rozsvítí se jen tehdy, když je například jedna z napájecích stanic v úseku vypnutá, což má za následek vznik výrazného napětí na úsekovém děliči. Zaváděním těchto „občasných“ návěstí se světelnou indikací má pozitivní vliv jak na bezpečnost, tak na rychlost železniční dopravy.

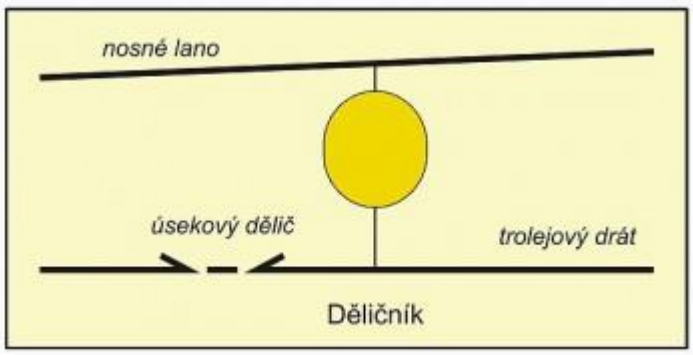
obr 13 - Návěst stáhněte sběrač se světelnou indikací [11]

Z hlediska problematicky úsekových děličů, je jedno z nejpoužívanějších řešení, návěst vypněte trakční proud. Návěst přikazuje vypnutí trakčního proudu, s tím že pomocné pohony mohou zůstat zapnuté. Riziko přetažení oblouku na úsekovém děliči se tak výrazně sníží.

obr 14 - Návěst vypněte trakční proud [20]

2.2.2. Děličník

Speciální možností používanou v České republice výhradně pro dělení mezi stopami, je děličník. Formálně jde ale stále o návěst. V tomto případě, ale neřešíme podélné dělení jedné stopy, ale dělení úseku mezi dvěma stopami (kolejemi). Podle předpisu SŽDC D1 se jedná o tzv. návěst „úsekový dělič“. Strojvedoucímu elektricky hnacího vozidla je přikázána jízda se staženým sběračem přes úsekový dělič. Děličník je nepravidelný žlutý elipsoid a může být doplněn o dva reflexní proužky. Historie používání děličníků sahá do roku 2002. Vychází ale už ze Zákonu o drahách (vydán 1995). Nicméně zvláště s nástupem moderních vozidel bylo stahování sběrače více a více nepraktické. Lokomotivy mají více a více softwaru, pro který je občasný výpadek napájení problematický (než znovu za děličem software nastartuje, případně řešit záložní zdroj napájení). Proto se postupně od děličníků upouští (po úpravách daných napájecích úseků) a postupně se sundávají.



obr 15 – Děličník [13]

2.2.3. Technická zlepšování parametrů napájecí sítě

Z pohledu dopravy je nejjednodušší, když vlak nemusí na úsekový dělič reagovat. Obecně přijímaná teze (dle vydané metodiky[21]) je, že lze úsekový dělič projet do napětí 500V . Je tedy snaha, aby na úsekovém děliči vznikalo maximálně toto napětí, neboť vozidlo neví jaký je aktuální rozdíl napětí na děliči. To lze řešit například zlepšováním parametrů vedení. Lze použít například silnější vodiče (neboli nižší odpory). V České republice se nicméně často používá zesilovací vedení. To má vliv na celkový odpor vedení, což v konečném důsledku má právě pozitivní vliv na úbytky napětí.

2.3. Řešení v zahraničí

Napájecí soustava 3 kV DC se nachází v mnoha evropských zemích. Bylo by zbytečné popisovat znovu a znovu celou soustavu pro danou zemi. Základní struktura soustavy si bývá velice podobná, zvlášť v případech starších napájecích stanic. S postupnou modernizací tratí v zahraničí se modernizují i napájecí stanice, čímž se začínají používat v různých zemích různé metody, jak vylepšit napájecí soustavu 3 kV DC.

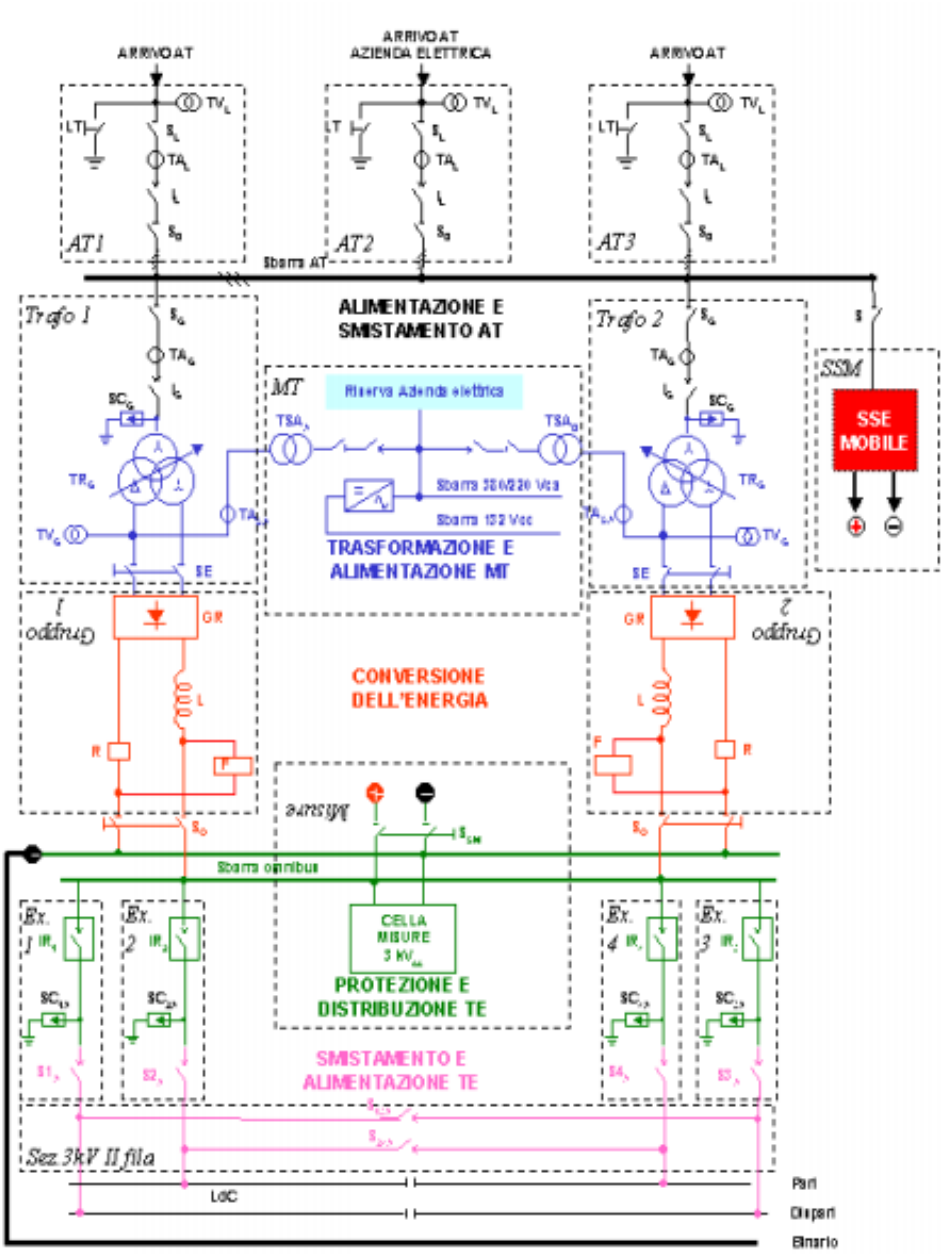
Tato modernizace se samozřejmě týká i řešení napětí na úsekových děličích. V této kapitole si tak uvedeme jednotlivé, více či méně, používané zahraniční řešení, zabývající se problémem přejezdu úsekových děličů.

2.3.1. Itálie

Itálie je, co do vylepšení soustavy 3 kV DC, technologicky nejdále. Pravděpodobně to je způsobeno dvěma fakty. Zaprvé, tuto napájecí soustavu začala Itálie zavádět jako první. A druhý důležitý důvod, je že Italové tuto soustavu používají jako jedni z mála v Evropě i pro své vysokorychlostní tratě. Z tohoto důvody je tedy na soustavu 3 kV DC kladeny mnohem vyšší požadavky, což se týká i úsekových děličů.

Na vysokorychlostních tratích jsou samozřejmě mnohem větší požadavky na výkon. Znamená to tedy, že na úsekových děličích mohou vznikat daleko větší rozdíly napětí. Snahou je, maximální možnou mírou tato napětí eliminovat, tak aby nebyl rušen provoz. Je nutné říci, že ale neexistuje nějaké všespásné řešení, které by tento problém vyřešilo. Používá se tedy velký soubor jednotlivých opatření, pro maximální zjednodušení provozu.

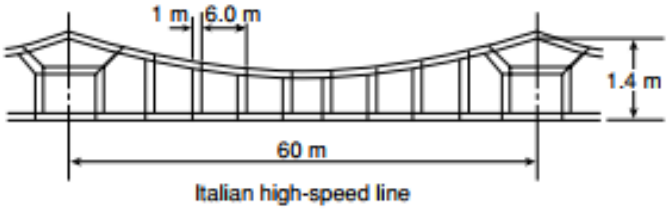
Samotné schéma napájecí stanice můžeme vidět na obr 16. Napájecí stanice může být napájena z více distribučních vedení pro maximální eliminování možných výpadků v síti (v tomto případě dokonce maximum 3 vstupy). K této vstupní části (černá zvýrazněná část) jsou taktéž připojovány substanice (SSE). Následuje transformační část (modře zvýrazněná část). Jedná se o pouze jednu přímou transformaci zapojení Yyd (zapojení do hvězdy na primární části a hvězda s trojúhelníkem na sekundární). Poté již polovodičový 12-ti pulsní usměrňovač následovaný tlumivkou (červeně zvýrazněná část). Nakonec ještě ochrana rychlovypínači (zeleně zvýrazněná část).



obr 16 - Schéma napájecí stanice v Itálii [15]

Z pohledu konstrukce vedení se používá dvouvodičové vedení. Toto řešení není v Evropě tak často využíváno (důvody jsem ekonomické i bezpečnostní). Umožňuje ale přenést mnohem vyšší výkony a místo jednoho silného drátu požaduje 2 slabší. Kontaktní část se sběračem je drát ze sloučeniny mědi a stříbra o průřezu 151,7 mm^2. Nosná část vedení je drát ze sloučeniny CdCu o průřezu 153,7 mm^2. Použití příměsi mědi i v nosném vedení vylepšuje odpor vedení, což má vliv na dynamiku hladiny napětí. A nakonec je nutné stále počítat s tím, že trolejová část vedení zde je obsazena dvakrát (sběrač jede po dvou vodičích nejednou), takže celkový průřez vedení může být standardně i přes 600 mm^2 (při použití k tomu ještě

jednoho zesilovacího vedení 150mm^2). Takto velký průřez dovoluje přenášet velké výkony, aniž by extrémně klesalo napětí.

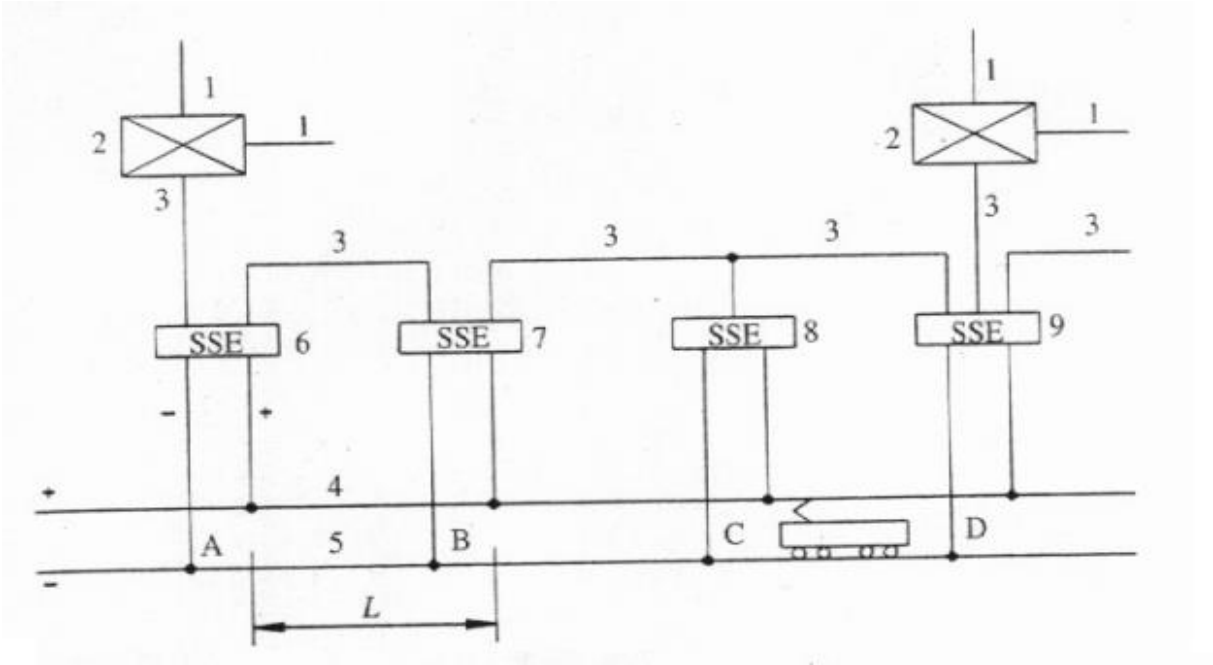


obr 17 - Dvojvodičové vedení v Itálii [14]

Nyní se podíváme na strukturu jednotlivých stanic. V Itálii, je na velmi zatížených tratích běžné používání hlavních napájecích stanic a poté jednotlivých substanic mezi těmito stanicemi. Používání substanic je tedy časté řešení. Následkem toho se vzdálenost mezi jednotlivými napájecími místy zkrátila. Původně v málo frekventovaných úsecích dosahovala vzdálenost mezi stanicemi přes 30 km (v extrémech až 45 km). Nyní ty nejnáročnější úseky jsou napájeny ve vzdálenosti pouze 15 km.

Taktéž se využívá faktu, že většina frekventovaných úseků je dvojkolejná. Takže s využitím spínacích stanic se tyto 2 stopy propojují, což opět zlepšuje parametry vedení.

Z důvodu většího počtu napájecích stanic či substanic vzniká problém s jejich napájením z distribuční sítě. Zkrátka v některých oblastech, kde byla potřeba napájecí stanice, se nenacházela dostatečná distribuční síť, ze které by se dala energie čerpat. Proto vzniklo řešení mnoha substanic (SSE), které jsou mezi sebou propojeny vlastní 3-fázovou vysokonapěťovou sítí. To má mnohé výhody. Použití substanic (SSE) zmenšuje úbytky napětí na vedení, což zmenšuje napětí na úsekových děličích. V tomto směru se zkouší i rekuperace do této vlastní sítě, ale nejedná se o příliš časté řešení (s použitím střídačů). Podobně se experimentuje i s možností ukládání rekuperované energie. Pro lepší představu schématu hlavních napájecích stanic (proškrtnutý prvek) a substanic (prvek SSE) [obr 18].



obr 18 - Schéma zapojení napájecích stanic (proškrtnuté) a substanic (SSE) v Itálii [15]

V případě velice frekventovaných tratí je ze všeho nejdůležitější kontinuita provozu. Proto se hledí na to, aby každý úsek (zvlášť substanic) měl nezávislé napájení alespoň ze dvou hlavních napájecích stanic (výjimečně existuje i ze třech hlavních napájecích stanic). Taktéž se velice řeší bezpečnost. Experimentuje se s novými typy rychlovypínačů a vypínáním sekcí v případě poruch, tak aby nastala, co nejrychlejší reakce a vlak neprojel na úsekovém děliči přes plné napětí.

2.3.2. Polsko

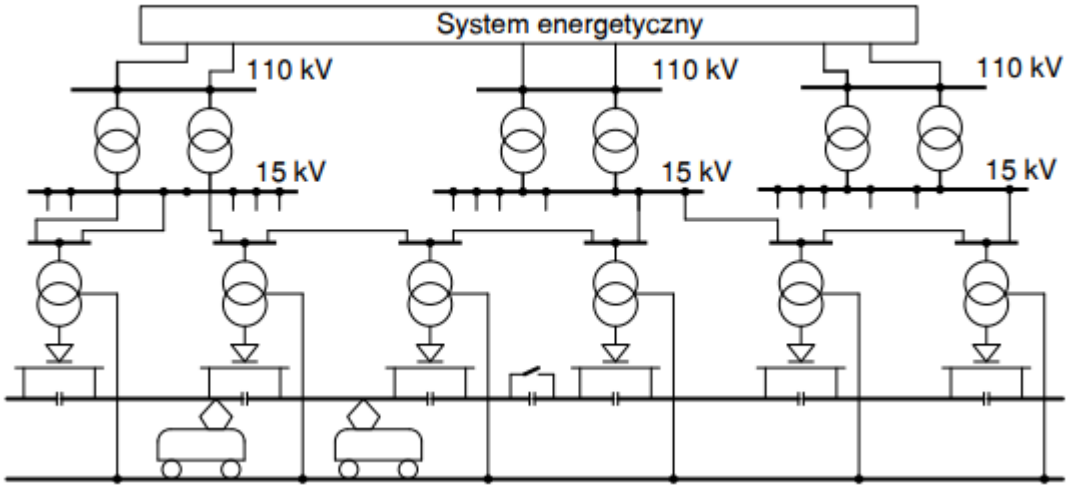
Soustava 3 kV DC je v Polsku velice obvyklá. Do stavby vysokorychlostních tratí se jednalo prakticky o jedinou soustavu. Nicméně i tato soustava se používá v Polsku pro vyšší rychlosti (i přes 200 km/h). Opět je tedy nutné řešit pro zlepšení parametrů dopravy problematiku úsekových děličů. Stejně jako v Itálii, se tato problematika řeší vhodným dimenzováním infrastruktury napájecí soustavy. Instalují se transformátory s vyššími jmenovitými výkony a zvětšuje se celkový průřez trolejového vedení. Dále jejich vzdálenosti na trati a parametrů vedení. To má vše za následek snížení úbytku napětí na vedení.

Na menších regionálních tratích napájených 3 kV DC je situace prakticky stejná jako v České republice. Používá se jednoduchý a laciný princip zesilovacího vedení a v případně návěsti vypnutí trakčního proudu či stáhnutí sběrače. Tyto navěsti vizuálně vypadají prakticky stejně jako naše.

Při rychlostech na 200 km/h může jedno vozidlo vyvíjet výkon až 8 MW. Tím pádem napájecích stanice musí být instalovány a připraveny na ještě větší výkony. Pro přenos těchto výkonů se opět používá silnější průřez drátu. Používá se celkový průřez až 610 mm^2 (trolejové vedení + zesilovací vedení). To cca také odpovídá parametrům v Itálii.

Taktéž napájecí stanice jsou mnohem blíže u sebe. Je nutné zmínit, že i zde jsou běžnou praxí tzv. substanice. Délka napájecí sekce (vzdálenost mezi napájecími stanicemi či substanicemi), tak může být i pouze 10 km (pro nejvíce frekventované úseky).

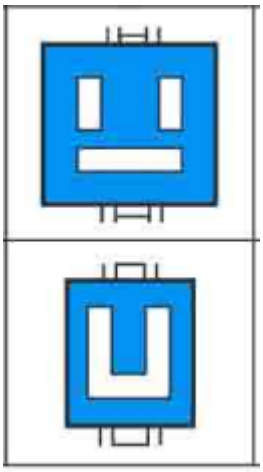
Taktéž je nutné přemýšlet nad samotným dimenzováním a strukturou napájecích stanic. V běžné napájecí stanici se podobně jako u nás transformuje napětí dvakrát. Jen první transformace není na 23 kV ale na 15 kV (viz obr 19). Pro snížení výše zmíněných jevů, se na určitých úsecích staví napájecí stanice s jednostupňovou transformací (např. Huta Zawadzka).



obr 19 - Schéma typu napájení 3 kV DC v Polsku [17]

2.3.3. Ostatní země

V rámci modernizace soustavy 3 kV DC a řešení úsekových děličů se nedá říci, že v dalších zemích by bylo něco, co ve výše zmíněných zemích už není. Polsko a Itálie jsou v rámci této soustavy pravděpodobně nejdále díky využití 3 kV DC na frekventovaných tratích při vyšších rychlostech na nich. V ostatních zemích jako Belgii či Španělsku se tato soustava používá hlavně na nižších rychlostech (a tedy i požadovaných nižších výkonech?). Proto jako řešení většinou postačí zesilovací vedení, případně substanice. Podobně jako u nás se taktéž využívá návěsti „vypnout odběr trakčního proudu“. Tyto návěsti si jsou skrz různé země velice podobné.



obr 20 - Návěsti vypněte a zapněte odběr trakčního proud ve Španělsku [18]

2.3.4. Experimenty s ukládáním energie

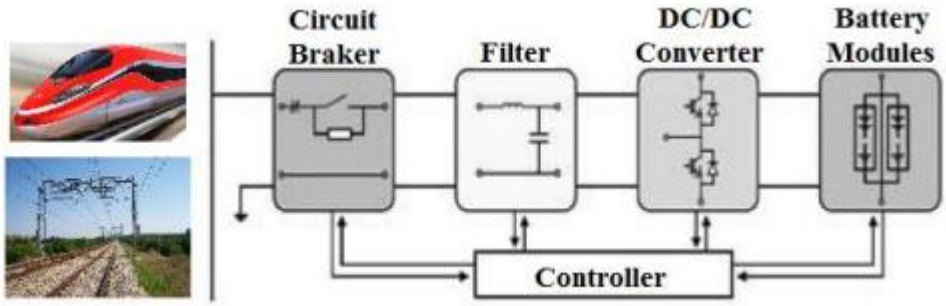
Rekuperace na soustavě 3 kV DC je vcelku běžná záležitost. Bohužel, je nutné jiné vozidlo v dané sekci, které energii odebere. Jinak se energie zmaří. To je nepraktický stav. Proto se experimentuje s možnostmi ukládání energie. Toto řešení by mohlo být zvlášť užitečné v případně lokálních tratí, méně frekventovaných tratí.

V rámci Evropy je v tomto směru nejdále asi Itálie. Ta zvolila cestu ukládání rekuperované energie do baterií přímo na trati, nikoliv v napájecích stanicích. Jedná se v podstatě tedy o jakési doplňkové napájecí substanice. Toto řešení má mnoho výhod. Rekuperovaná energie není zatížena takovými ztrátami jako, kdyby se musela dostat až do měnírny. To samé platí o odběru energie vlaku z mnohem bližší bateriové substanice. Dále je velkou výhodou snížení proudových špiček a tím pádem i snížení poklesu napětí ve vedení. To má potom samozřejmě kladný vliv na napětí na úsekových děličích. V případě skutečné trati v Itálii, kde bylo toto řešení zkoušeno, se energetické ztráty snížili o cca 5 %. Špičky proudu se snížili dokonce o více než 43 % a pokles napětí se zmenšil o více než 22 % [16].

Jedná se tedy o technicky zajímavé řešení. Současným asi největším problémem je stránka ekonomická. Nicméně mohlo by se jednat o řešení, které výrazně napomůže i řešení problému úsekových děličů.

V rámci Evropy se tedy stále ještě jedná o technologii v rámci experimentů. Nicméně v Japonsku, na nižší napěťové soustavě 1500 V DC, se již ukládání energie na Li-Ion baterie používá v ostrém provozu (hlavně pro kompenzaci úbytků napětí) a stále se zde rozšiřuje.

Tato technologie je řešena tak, aby se dala maximálně jednoduše přímo připojit na trakční vedení. Na začátku akumulační soustavy je rychlovypínač, následuje filtr a poté stejnosměrný měnič (DC/DC), který snižuje napětí při nabíjení a zvyšuje napětí při vybíjení. Za měničem jsou již baterie. Celá akumulační sestava je řízena kontrolérem [obr 21].



obr 21 - Schéma ukládání energie [16]

3. Početní ověření rozdílu napětí na úsekových děličích za běžného provozního stavu

Tato část se bude zabývat výpočty na předem zvolených úsekových děličích (v současném stavu s osazenými děličníky). Úkolem bude vypočítat, na jaké proudy lze nastavit spouště rychlovypínačů, tak aby nevznikl příliš velký rozdíl napětí na staničním úsekovém děliči mezi sudou a lichou stopou. Nebo-li vypočítat, jaké maximální proudy můžeme připustit, abychom děličníky mohli sundat. Maximální přijatelný rozdíl napětí na děliči (při kterém děličník můžeme sundat) pro nás bude 500V.

Výpočetní algoritmus bude aplikován na skutečné děliče umístěné ve stanicích. Pokaždé se bude jednat o dělič mezi sudou a lichou hlavní kolejí. Pro výpočty bylo vybráno celkem 5 stanic. Z pohledu parametrů vedení si situaci zjednodušíme, neboť nebudeme brát v úvahu více paralelních cest ve stanicích. Pevné propojky stop se na železnici nepoužívají. V úvahu lze brát pouze propojení stop díky spínacím stanicím. Průřezy vedení bývají často po celou dobu úseku stejné. Občasné krátké změny průřezů (například ve stanicích) lze taktéž zanedbat pro zjednodušení výpočtu. Výsledný algoritmus poté vlastně počítá jednolitou soustavu vedení od napájecí stanice po dělič.

3.1. Lokalizace

První ze stanic jsou Čerčany ležící mezi Benešovem a Prahou (Příloha A). Ve stanici jsou mezi sudou a lichou kolejí 4 děliče. Z toho 2 a 2 děliče leží blízko u sebe (viz schéma). Proto si lze situaci zjednodušit na počítání rozdílu napětí pouze na 2 děličích, které jsou dále od sebe (Benešovské a Senohrabské zhlaví). Čerčany jsou napájeny z 2 napájecích stanic. Jedna leží u stanice Benešov u Prahy a druhá u stanice Strančice. Vedení je zde složeno ze 4 vodičů. Trolejové lano o průřezu 120 mm^2 Cu, nosné lano o průřezu 150 mm^2 Cu a dvojice zesilovacích vedení o průřezech 120 mm^2 Cu.

Další stanice jsou Moravičany ležící na Moravě u Mohelnice a Loštic (Příloha B). Zde jsou pouze 2 úsekové děliče ležící u stejného zhlaví. Proto situaci chápeme jako 1 dělič (jejich poloha je pro praktické výpočty velmi podobná). Úsek je napájen z napájecích stanic Červenka a Hoštejn. Za zmínku ještě stojí, že v případě určitých podmínek může být úsek napájen i ze stanice Šumperk.

Další ze stanic je Polom. Tato obec leží u Nového Jičína (Příloha C). Úsek je napájen ze stanic Hranice na Moravě a Suchdol nad Odrou. Ve stanici Polom se mezi sudou a lichou

kolejí nacházejí 4 děliče. Situaci opět půjde zjednodušit na pouze 2 děliče, neboť dvojice děličů leží u sebe

Jedna ze zvolených stanic jsou Dobřichovice ležící jihozápadně od Prahy (Příloha D). Napájeny jsou z napájecích stanic Praha - Chuchle a Karlštejn. V Dobřichovicích se situace opět zjednoduší, na celkem 2 děliče na kterých se budou rozdíly napětí počítat.

Poslední z analyzovaných stanic jsou Huštěnovice u Uherského Hradiště (Příloha E). Úsek je napájen z napájecích stanic Otrokovice a Nedakonice. Ve stanici jsou pouze 2 děliče na kterých se bude počítat.

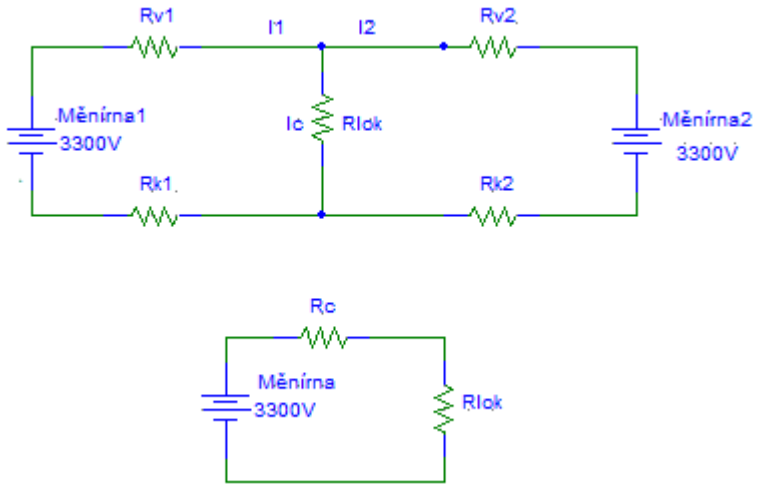
Na těchto všech úsekových děličích lze předpokládat větší rozdíly napětí, neboť napájecí stanice jsou od děličů velmi vzdálené (8 km a více). To znamená, že abychom se vešli do rozdílu napětí 500 V, bude nutno pomocí nastavení rychlovypínačů povolit pouze menší proudy (menší zátěž). Proto pro znázornění vlivu vzdálenosti od napájecích stanic si ukážeme možný rozdíl napětí na úsekovém děliči ve Stránčičích (Příloha A). Ten je vzdálen ani ne 1,5 km od napájecí stanice.

3.2. Algoritmus

Ke všem výpočtům se bude přistupovat prakticky stejně. Dělič se nachází vždy mezi sudou a lichou kolejí. Úkolem je vypočítat takovou zátěž, která způsobí ještě přijatelný úbytek napětí na vedení v místě úsekového děliči. Na děliči poté vzniká rozdíl napětí. Ještě přijatelný rozdíl napětí je 500 V. Požadovanou maximální zátěž lze znázornit proudy, které tečou přes rychlovypínače. Zde je důležité nastavení spouště rychlovypínače. Algoritmus bude uvažovat nejhorší možný případ, jaký může nastat. To znamená stav, kdy ještě není potřeba stahovat sběrač a lze sundat děličník. To znamená maximální přípustný rozdíl napětí na děliči 500 V.

Na obr 22 můžeme vidět samotné napájecí schéma které budeme počítat. Na krajích úseků leží v našem případě vždy napájecí stanice (měnírna) o výstupním napětí cca 3300V. Od napájecích stanic vychází vedení s odpory R_{v1} a R_{v2}. Do těchto odporů spadají pararelní vedení trolejového lana, nosného lana a zesilovacích vedení (tzn. R_v je složeno několika paralelních odporů). Předpokládáme nejhorší možný případ. Úsekový dělič proto leží v místě úseku, kde se nachází lokomotiva (R_{lok}). Zde do lokomotivy teče celkový proud I_c (daný součtem I_1 a I_2), který odpovídá napětí v místě 2800V (úbytek napětí 500V oproti sousední nezatížené koleji). Taktéž se do obvodu započítá zpětná cesta kolejemi R_{k1} a R_{k2}. Výsledný obvod si lze zjednodušit pomoci Théveninovy věty. Odpor R_c vypočítáme tak, že zkratujeme

zdroje napětí a odpojíme R_{lok}. Zbylé odpory R_{v1} a R_{v2} jsou poté stejně jako R_{k1} a R_{k2} zapojeny paralelně a lze je zjednodušit na R_v a R_k. Tyto dva odpory jsou vůči sobě v sérii a lze je sečíst na R_c. Požadované napětí v daném místě polohy lokomotivy a úsekového děliče již známe, čímž dostaneme proud I_c.



obr 22 - Modelové schéma výpočtu

V první části výpočtů si je nutné nadefinovat několik elementárních vstupních parametrů. Je třeba znát napětí na druhé straně děliče a napětí vystupující z napájecích stanic. Dále je třeba si zvolit požadovaný rozdíl napětí na děliči, pro zjištění maximální možné zátěže. Další z parametrů pomohou vypočítat již odpory jednotlivých části. Jedná se o rezistivitu materiálu (v tomto případě mědi Cu), průřezy vodičů a typ kolejnice (v tomto případě UIC 60). Pro snazší počítání si je dobré odpory vedení a koleje na hodnotu odpovídající jednomu kilometru. Protože předpokládáme nejhorší možný případ, tak vynecháme i možný svodový odpor mezi kolejnicí a zemí.

Výpočet odporu koleje UIC 60 na 1 km vzdálenosti:

$$R_{kkm} = \frac{1}{60} \tag{1}$$

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

Výpočet odporu vodiče:

$$R_{vxy} = \frac{\rho * l}{S} \tag{2}$$

R_{vxy} … odpor vedení daného průřezu S [Ω]

ρ … rezistivita materiálu [nΩ/m]

l … délka vedení (pro náš případ prozatím 1) [km]

S … průřez vodiče [mm^2]

Výpočet délky vedení:

$$l = |l_1 - l_0| \tag{3}$$

l … délka vedení [km]

l_1 … cílový bod měření kilometrovníku [km]

l_0 … počáteční bod měření kilometrovníku [km]

Pro výpočet odporu vedení použijeme vzorec pro výpočet 2 paralelních odporů. V našem případě může být paralelních odporů větší počet. Každý z odporů R_1 a R_2 bude reprezentovat rozdílný průřez. Tyto odpory v našem případě budou chápány jako odpory na 1 km. Proto je vždy vynásobíme počtem km. Různý počet vodičů daného průřezu je vyřešen tak, že celý zlomek s daným odporem R_1 či R_2 vynásobíme počtem vodičů daného průřezu.

$$R_v = (\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2})^{-1} \tag{4}$$

Odpor vedení:

$$R_v = \left(\frac{x}{R_{vx} * l} + \frac{y}{R_{vy} * l}\right)^{-1} \tag{5}$$

R_v … odpor vedení [Ω]

R_{vx} … odpor vedení 1 km průřezu x mm^2 [Ω]

R_{vy} … odpor vedení 1 km průřezu y mm^2 [Ω]

l … délka vedení [km]

x … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

y … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

Odpor koleje:

$$R_k = R_{kkm} * l \tag{6}$$

R_k … odpor koleje [Ω]

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

l … délka vedení [km]

Celkový odpor vedení v místě děliče:

$$R_{cv} = \left(\frac{1}{R_{v1}} + \frac{1}{R_{v2}}\right)^{-1} \tag{7}$$

R_{cv} … Celkový odpor vedení v místě děliče [Ω]

R_{v1} … Odpor vedení z jedné strany [Ω]

R_{v2} … Odpor vedení z druhé strany [Ω]

Celkový odpor kolejí v místě děliče:

$$R_{ck} = \left(\frac{1}{R_{k1}} + \frac{1}{R_{k2}}\right)^{-1} \quad (8)$$

R_{ck} … Celkový kolejí v místě děliče [Ω]

R_{k1} … Odpor kolejí z jedné strany [Ω]

R_{k2} … Odpor kolejí z druhé strany [Ω]

Celkový odpor v místě děliče:

$$R_c = R_{cv} + R_{ck} \quad (9)$$

R_c … Celkový odpor v místě děliče [Ω]

R_{cv} … Celkový odpor vedení v místě děliče [Ω]

R_{ck} … Celkový odpor kolejí v místě děliče [Ω]

Když známe hodnotu odporu k místu úsekového děliče, tak se už lze pomalu dopočítat proudům, které potečou z napájecích stanic. Jako první si je ale nutné určit hladinu napětí v úseku bez poruchy. Z toho poté lze vypočítat celkový proud. Ten je nutné rozdělit mezi dvě napájecí stanice (první Kirchoffův zákon). Rozdělení proběhne pomocí největšího provozně možného úbytku napětí na vedení. Tento úbytek se nakonec podělí s odpory z obou směrů vedení a dostaneme tak proudy z napájecích stanic.

Nejnižší možná hladina napětí v daném místě v bezporuchovém stavu:

$$U_{min} = U_{ex} - \Delta U \quad (10)$$

U_{min} … Hladina napětí v daném místě [V]

ΔU … Rozdíl napětí na děliči [V]

U_{ex} … Hladina napětí v sousedním úseku za děličem [V]

Celkový tekoucí proud:

$$I_c = \frac{U_{in} - U_{min}}{R_c} \quad (11)$$

I_c … Celkový proud [A]

U_{min} … Hladina napětí v daném místě [V]

U_{in} … Napětí vystupující z napájecí stanice [V]

R_c … Celkový odpor v místě děliče [Ω]

Největší provozně možný úbytek napětí na vedení:

$$U_{mu} = R_{cv} * I_c \tag{12}$$

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení (pro oba směry menší ze dvou hodnot) [V]

I_c … Celkový proud [A]

R_{cv} … Celkový odpor vedení v místě děliče [Ω]

Proudy tekoucí z daných směrů:

$$I_{12} = \frac{U_{mu}}{R_{v12}} \tag{13}$$

I_{12} … Proud tekoucí z jedné (1) nebo druhé (2) strany [A]

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení (pro oba směry menší ze dvou hodnot) [V]

R_{v12} … Odpor vedení z jedné (1) nebo druhé (2) strany [Ω]

3.3. Výsledky jednotlivých úseků

Jak jsi bylo řečeno. Výpočty probíhají na 5 úsecích. V každém z úseků leží stanice s úsekovými děliči osazenými děličníky. V této části si ukážeme nejprve vzorový číselný výpočet pro úsekový dělič v Čerčanech (na zhlaví směr Benešov) a poté již pro přehlednost pouze tabulky s výpočty. Na tomto úseku Benešov – Stráncice si taktéž ukážeme případ úsekového děliče, který osazen děličníkem není a nemusí. Další číselné výpočty budou přiloženy v rámci příloh. Výpočet druhého děličníku stanice Čerčany se nachází v Příloha F Výpočet děliče pro stanici Dobřichovice je v Příloha B. V Příloha H jsou uloženy výpočty stanice Polom. Výpočet na úsekovém děliči stanice Moravičany je v Příloha I. Poslední ze stanic jsou Huštěnovice uloženy v Příloha J

V rámci výpočtů a analýzy výsledků si rozdělíme 5 analyzovaných úseků na 2 skupiny. V první skupině se nachází úsek Benešov – Stráncice (Čerčany) a úsek Chuchle – Karlštejn (Dobřichovice). Zde budeme počítat se skutečnými, aktuálními parametry na daných úsecích a analyzovat zda v počítaných stanicích osazenými děličníky (Čerčany a Dobřichovice) jsou dané děličníky potřeba. Do druhé skupiny spadají zbývající úseky se stanicemi (s úsekovými děliči osazenými děličníky) Polom, Moravičany a Huštěnovice. Pro tuto skupinu většinu z parametrů trati neznáme. Známe pouze polohu napájecích stanic a polohu počítaných úsekových děličů. Proto si na těchto 3 stanicích ukážeme různé, provozně realizovatelné, kombinace parametrů. Zaměříme se zvláště na možnosti rekuperace (povolení či zakázání) a možnosti s různými počty zesilovacích vedení. Tímto zjistíme, která z provozně obvyklých

konfigurací bude dostačující pro sundání děličníků na úsekových děličích. Samozřejmě může i vyjít najevo, že pro určité stanice nebude žádná z konfigurací pro odstranění děličníku vyhovovat.

3.3.1. Číselný výpočet stanice Čerčany

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Benešov	Dělič (Čerčany)		Strana Strančice
Úseky L [km]	133,49	143,2	143,2	158,593
x = Počet vodičů Cu 120 mm2	3		3	
y = Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300			
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3300			
Maximální přípustný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500			
Průžezy vodičů S [mm^2]	120		150	
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18			

tab 2 – Parametry sloužící k výpočtům stanice Čerčany (dělič směr Benešov)

$$R_{kkm} = \frac{1}{60} = 0{,}0167 \tag{14}$$

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

60 … typ koleje UIC 60

Výpočet odporu vodiče:

$$R_{vx} = \frac{\rho * l}{S} = \frac{18 * 1}{120} = 0{,}15 \tag{15}$$

R_{vx} … odpor vedení daného průřezu S [Ω/km]

ρ … rezistivita materiálu [nΩ/m]

l … délka vedení (pro náš případ 1) [km]

S … průřez vodiče [mm^2]

$$R_{vy} = \frac{\rho * l}{S} = \frac{18 * 1}{150} = 0{,}12 \tag{16}$$

R_{vy} … odpor vedení daného průřezu S [Ω/km]

ρ … rezistivita materiálu [nΩ/m]

l … délka vedení (pro náš případ 1) [km]

S … průřez vodiče [mm^2]

$$l_a = |L_1 - L_0| = 143{,}2 - 133{,}49 = 9{,}71 \tag{17}$$

l_a … délka vedení ze směru a [km]

L_1 … cílový bod měření kilometrovníku [km]

L_0 … počáteční bod měření kilometrovníku [km]

$$l_b = |L_1 - L_0| = 158{,}59 - 143{,}2 = 15{,}39 \quad (18)$$

l_b … délka vedení ze směru a [km]

L_1 … cílový bod měření kilometrovníku [km]

L_0 … počáteční bod měření kilometrovníku [km]

$$R_{va} = \left(\frac{x}{R_{vx} * l_a} + \frac{y}{R_{vy} * l_a}\right)^{-1} = \left(\frac{3}{0{,}15 * 9{,}71} + \frac{1}{0{,}12 * 9{,}71}\right)^{-1} = 0{,}343 \quad (19)$$

R_{va} … odpor vedení ze směru a [Ω]

R_{vx} … odpor vedení 1 km průřezu x mm^2 [Ω]

R_{vy} … odpor vedení 1 km průřezu y mm^2 [Ω]

l_a … délka vedení ze směru a [km]

x … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

y … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

$$R_{vb} = \left(\frac{x}{R_{vx} * l_b} + \frac{y}{R_{vy} * l_b}\right)^{-1} = \left(\frac{3}{0{,}15 * 15{,}39} + \frac{1}{0{,}12 * 15{,}39}\right)^{-1} = 0{,}543 \quad (20)$$

R_{vb} … odpor vedení ze směru b [Ω]

R_{vx} … odpor vedení 1 km průřezu x mm^2 [Ω]

R_{vy} … odpor vedení 1 km průřezu y mm^2 [Ω]

l_b … délka vedení ze směru b [km]

x … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

y … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

$$R_{ka} = R_{kkm} * l_a = 0{,}0167 * 9{,}71 = 0{,}162 \quad (21)$$

R_{ka} … odpor koleje ze směru a [Ω]

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

l_a … délka vedení ze směru a [km]

$$R_{kb} = R_{kkm} * l_b = 0{,}0167 * 15{,}39 = 0{,}257 \quad (22)$$

R_{kb} … odpor koleje ze směru b [Ω]

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

l_b … délka vedení ze směru b [km]

$$R_{cv} = \left(\frac{1}{R_{va}} + \frac{1}{R_{vb}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{0{,}343} + \frac{1}{0{,}543}\right)^{-1} = 0{,}21 \quad (23)$$

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

R_{va} … Odpor vedení z jedné strany a [Ω]

R_{vb} … Odpor vedení z druhé strany b [Ω]

$$R_{ck} = \left(\frac{1}{R_{ka}} + \frac{1}{R_{kb}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{0{,}162} + \frac{1}{0{,}257}\right)^{-1} = 0{,}099 \quad (24)$$

R_{ck} … Celkový odpor kolejí [Ω]

R_{ka} … Odpor kolejí z jedné strany a [Ω]

R_{kb} … Odpor kolejí z druhé strany b [Ω]

$$R_c = R_{cv} + R_{ck} = 0{,}21 + 0{,}099 = 0{,}309 \quad (25)$$

R_c … Celkový odpor [Ω]

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

R_{ck} … Celkový odpor kolejí [Ω]

$$U_{min} = U_{ex} - \Delta U = 3300 - 500 = 2800 \quad (26)$$

U_{min} … Hladina napětí v daném místě [V]

ΔU … Rozdíl napětí na děliči [V]

U_{ex} … Hladina napětí v sousedním úseku za děličem [V]

Celkový tekoucí proud:

$$I_c = \frac{U_{in} - U_{min}}{R_c} = \frac{3300 - 2800}{0{,}309} = 1616 \quad (27)$$

I_c … Celkový proud [A]

U_{min} … Hladina napětí v daném místě [V]

U_{in} … Napětí vystupující z napájecí stanice [V]

R_c … Celkový odpor [Ω]

$$U_{mu} = R_{cv} * I_c = 0{,}21 * 1616 = 340 \quad (28)$$

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

I_c … Celkový proud [A]

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

$$I_1 = \frac{U_{mu}}{R_{va}} = \frac{340}{0{,}343} = 991 \quad (29)$$

I_1 … Proud tekoucí z jedné strany a [A]

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

R_{va} … Odpor vedení z jedné strany a [Ω]

$$I_2 = \frac{U_{mu}}{R_{vb}} = \frac{340}{0{,}543} = 625 \quad (30)$$

I_2 … Proud tekoucí z druhé strany b [A]

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

R_{vb} … Odpor vedení z druhé strany b [Ω]

Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300,0	
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3300	
Požadovaný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500	
Průžezy vodičů S [mm^2]	120	150
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18	
Odpor koleje UIC 60 na 1 kilometr R_{kkm} [Ω/km]	0,0167	
Odpor vodiče 120 mm^2 na 1 km R_{vx}	0,15	
Odpor vodiče 150 mm^2 na 1 km R_{vy}	0,12	

tab 3 - Vstupní parametry stanice Čerčany

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Benešov	Dělič (Čerčany)		Strana Strančice
Úseky L [km]	133,49	143,2	143,2	158,593
Délka úseku [km]	9,71		15,393	
Počet vodičů Cu 120 mm2	3		3	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,343		0,543	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,162		0,257	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,210			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{ck} [Ω]	0,099			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,309			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Celkový proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	1616			
Největší provozně možný úbytek napětí U_{mu} [V]	340			
Proudy tekoucí z daných směru (U na děliči 500V) I_{12} [A]	991		625	

tab 4 - Výpočet stanice Čerčany, dělič směr Benešov

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Benešov	Dělič (Čerčany)		Strana Strančice
Úseky L [km]	133,49	145,1	145,1	158,593
Délka úseku [km]	11,61		13,493	
Počet vodičů Cu 120 mm2	3		3	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,410		0,476	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,194		0,225	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,220			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,104			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,324			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Celkový proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	1542			
Největší provozně možný úbytek napětí U_{mu} [V]	340			
Proudy tekoucí z daných směru (U na děliči 500V) I_{12} [A]	829		713	

tab 5 - Výpočet stanice Čerčany, dělič směr Strančice

3.3.2. Výsledky stanice Stráněice

Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300,0	
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3300	
Požadovaný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500	
Průžezy vodičů S [mm^2]	120	150
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18	
Odpor koleje UIC 60 na 1 kilometr R_{kkm} [Ω/km]	0,0167	
Odpor vodiče 120 mm^2 na 1 km R_{vx}	0,15	
Odpor vodiče 150 mm^2 na 1 km R_{vy}	0,12	

tab 6 – Vstupní parametry stanice Stráněice

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Benešov	Dělič (Stráněice)		Strana Strančice
Úseky L [km]	133,49	157,4	157,4	158,593
Délka úseku [km]	23,91		1,193	
Počet vodičů Cu 120 mm2	3		3	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,844		0,042	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,399		0,020	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,040			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,019			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,059			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Celkový proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	8468			
Největší provozně možný úbydek napětí U_{mu} [V]	340			
Proudy tekoucí z daných směru (U na děliči 500V) I_{12} [A]	402		8066	

tab 7 - Výpočet stanice Stráněice (blízko napájecí stanice)

3.3.3. Výsledky stanice Dobřichovice

Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300,0	
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3300	
Požadovaný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500	
Průžezy vodičů S [mm^2]	120	150
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18	
Odpor koleje UIC 60 na 1 kilometr R_{kkm} [Ω/km]	0,0167	
Odpor vodiče 120 mm^2 na 1 km R_{vx}	0,15	
Odpor vodiče 150 mm^2 na 1 km R_{vy}	0,12	

tab 8 - Vstupní parametry stanice Dobřichovice

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Chuchle	Dělič (Dobřichovice)		Strana Karlštejn
Úseky L [km]	5,09	19,98	19,98	30,68
Délka úseku [km]	14,89		10,7	
Počet vodičů Cu 120 mm2	2		2	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,687		0,494	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,248		0,178	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,287			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,104			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,391			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Celkový proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	1278			
Největší provozně možný úbydek napětí U_{mu} [V]	367			
Proudy tekoucí z daných směru (U na děliči 500V) I_{12} [A]	535		744	

tab 9 - Výpočet stanice Dobřichovice, dělič směr Karlštejn

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Chuchle	Dělič (Dobřichovice)		Strana Karlštejn
Úseky L [km]	5,09	19,11	19,11	30,68
Délka úseku [km]	14,02		11,57	
Počet vodičů Cu 120 mm2	2		2	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,647		0,534	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,234		0,193	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,293			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,106			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,398			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Celkový proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	1256			
Největší provozně možný úbydek napětí U_{mu} [V]	367			
Proudy tekoucí z daných směru (U na děliči 500V) I_{12} [A]	568		688	

tab 10 - Výpočet stanice Dobřichovice, dělič směr Chuchle

3.3.4. Výsledky stanice Polom

Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300,0	
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3300	
Požadovaný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500	
Průžezy vodičů S [mm^2]	120	150
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18	
Odpor koleje UIC 60 na 1 kilometr R_{kkm} [Ω/km]	0,0167	
Odpor vodiče 120 mm^2 na 1 km R_{vx}	0,15	
Odpor vodiče 150 mm^2 na 1 km R_{vy}	0,12	

tab 11 - Vstupní parametry stanice Polom se zakázanou rekuperací

Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300	
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3600	
Požadovaný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500	
Průžezy vodičů S [mm^2]	120	150
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18	
Odpor koleje UIC 60 na 1 kilometr R_{kkm} [Ω/km]	0,0167	
Odpor vodiče 120 mm^2 na 1 km R_{vx}	0,15	
Odpor vodiče 150 mm^2 na 1 km R_{vy}	0,12	

tab 12 – Vstupní parametry stanice Polom s povolenou rekuperací

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hranice na Moravě	Dělič (Polom)		Strana Suchdol nad Odrou
Úseky L [km]	212,69	221,35	221,35	231,27
Délka úseku [km]	8,66		9,92	
Počet vodičů Cu 120 mm2	4		4	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,247		0,283	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,144		0,165	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,132			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,077			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,209			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	3100			
Proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	956			
Největší provozně možný úbydek napětí U_{mu} [V]	126			
Proudy tekoucí z daných směru (U na děliči 500V) I_{12} [A]	511		446	

tab 13 – Výpočet stanice Polom dělič směr Hranice, 3 zesilovací vedení, s rekuperací

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hranice na Moravě	Dělič (Polom)		Strana Suchdol nad Odrou
Úseky L [km]	212,69	221,35	221,35	231,27
Délka úseku [km]	8,66		9,92	
Počet vodičů Cu 120 mm2	3		3	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,306		0,350	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,144		0,165	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,163			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,077			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,240			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	2081			
Největší provozně možný úbydek napětí U_{mu} [V]	340			
Proudy tekoucí z daných směru (U na děliči 500V) I_{12} [A]	1111		970	

tab 14 – Výpočet stanice Polom dělič směr Hranice, 2 zesilovací vedení bez rekuperace

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hranice na Moravě	Dělič (Polom)		Strana Suchdol nad Odrou
Úseky L [km]	212,69	221,35	221,35	231,27
Délka úseku [km]	8,66		9,92	
Počet vodičů Cu 120 mm2	3		3	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,306		0,350	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,144		0,165	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,163			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,077			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,240			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	3100			
Proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	832			
Největší provozně možný úbydek napětí U_{mu} [V]	136			
Proudy tekoucí z daných směru I_{12} [A]	444		388	

tab 15 - Výpočet stanice Polom dělič směr Hranice, 2 zesilovací vedení, s rekuperací

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hranice na Moravě	Dělič (Polom)		Strana Suchdol nad Odrou
Úseky L [km]	212,69	221,35	221,35	231,27
Délka úseku [km]	8,66		9,92	
Počet vodičů Cu 120 mm2	2		2	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,400		0,458	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,144		0,165	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,213			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,077			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,290			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	1721			
Největší provozně možný úbydek napětí U_{mu} [V]	367			
Proudy tekoucí z daných směru I_{12} [A]	919		802	

tab 16 - Výpočet stanice Polom dělič směr Hranice na Moravě 1 zesilovací vedení

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hranice na Moravě	Dělič (Polom)		Strana Suchdol nad Odrou
Úseky L [km]	212,69	221,35	221,35	231,27
Délka úseku [km]	8,66		9,92	
Počet vodičů Cu 120 mm2	1		1	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,577		0,661	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,144		0,165	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,308			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,077			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,385			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	1298			
Největší provozně možný úbydek napětí U_{mu} [V]	400			
Proudy tekoucí z daných směru I_{12} [A]	693		605	

tab 17 - Výpočet stanice Polom směr Hranice na Moravě bez zesilovacího vedení

3.3.5. Výsledky stanice Moravičany

Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300,0	
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3300	
Požadovaný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500	
Průžezy vodičů S [mm^2]	120	150
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18	
Odpor koleje UIC 60 na 1 kilometr R_{kkm} [Ω/km]	0,0167	
Odpor vodiče 120 mm^2 na 1 km R_{vx}	0,15	
Odpor vodiče 150 mm^2 na 1 km R_{vy}	0,12	

tab 18 Vstupní parametry stanice Moravičany se zakázanou rekuperací

Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300,0	
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3600	
Požadovaný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500	
Průžezy vodičů S [mm^2]	120	150
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18	
Odpor koleje UIC 60 na 1 kilometr R_{kkm} [Ω/km]	0,0167	
Odpor vodiče 120 mm^2 na 1 km R_{vx}	0,15	
Odpor vodiče 150 mm^2 na 1 km R_{vy}	0,12	

tab 19 - Vstupní parametry stanice Moravičany s povolenou rekuperací

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hoštejn	Dělič (Moravičany)		Strana Červenka
Úseky L [km]	32,42	56,39	56,39	64,71
Délka úseku [km]	23,97		8,32	
Počet vodičů Cu 120 mm2	4		4	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,685		0,238	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,400		0,139	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,176			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,103			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,279			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	3100			
Proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	716			
Největší provozně možný úbytek napětí U_{mu} [V]	126			
Proudy tekoucí z daných směru (U na děliči 500V) I_{12} [A]	184		531	

tab 20 – Výpočet stanice Moravičany, 3 zesilovací vedení s povolenou rekuperací

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hoštejn	Dělič (Moravičany)		Strana Červenka
Úseky L [km]	32,42	56,39	56,39	64,71
Délka úseku [km]	23,97		8,32	
Počet vodičů Cu 120 mm2	3		3	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,846		0,294	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,400		0,139	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,218			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,103			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,321			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Celkový proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	1558			
Největší provozně možný úbytek napětí U_{mu} [V]	340			
Proudy tekoucí z daných směru I_{12} [A]	401		1157	

tab 21 - Výpočet stanice Moravičany, 2 zesilovací vedení se zakázanou rekuperací

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hoštejn	Dělič (Moravičany)		Strana Červenka
Úseky L [km]	32,42	56,39	56,39	64,71
Délka úseku [km]	23,97		8,32	
Počet vodičů Cu 120 mm2	3		3	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,846		0,294	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,400		0,139	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,218			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,103			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,321			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	3100			
Proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	623			
Největší provozně možný úbytek napětí U_{mu} [V]	136			
Proudy tekoucí z daných směru I_{12} [A]	161		463	

tab 22 - Výpočet stanice Moravičany, 2 zesilovací vedení s povolenou rekuperací

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hoštejn	Dělič (Moravičany)		Strana Červenka
Úseky L [km]	32,42	56,39	56,39	64,71
Délka úseku [km]	23,97		8,32	
Počet vodičů Cu 120 mm2	2		2	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	1,106		0,384	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,400		0,139	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,285			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,103			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,388			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	1289			
Největší provozně možný úbytek napětí U_{mu} [V]	367			
Proudy tekoucí z daných směru I_{12} [A]	332		957	

tab 23 – Výpočet stanice Moravičany, 1 zesilovací vedení se zakázanou rekuperací

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hoštejn	Dělič (Moravičany)		Strana Červenka
Úseky L [km]	32,42	56,39	56,39	64,71
Délka úseku [km]	23,97		8,32	
Počet vodičů Cu 120 mm2	1		1	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	1,598		0,555	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,400		0,139	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,412			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,103			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,515			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	971			
Největší provozně možný úbytek napětí U_{mu} [V]	400			
Proudy tekoucí z daných směru (U na děliči 500V) I_{12} [A]	250		721	

tab 24 - Výpočet stanice Moravičany, bez zesilovacího vedení se zakázanou rekuperací

3.3.6. Výsledky stanice Huštěnovice s různými průřezy vedení

Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300,0	
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3300	
Požadovaný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500	
Průžezy vodičů S [mm^2]	120	150
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18	
Odpor koleje UIC 60 na 1 kilometr R_{kkm} [Ω/km]	0,0167	
Odpor vodiče 120 mm^2 na 1 km R_{vx}	0,15	
Odpor vodiče 150 mm^2 na 1 km R_{vy}	0,12	

tab 25 - Vstupní parametry stanice Huštěnovice bez rekuperace

Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300,0	
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3600	
Požadovaný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500	
Průžezy vodičů S [mm^2]	120	150
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18	
Odpor koleje UIC 60 na 1 kilometr R_{kkm} [Ω/km]	0,0167	
Odpor vodiče 120 mm^2 na 1 km R_{vx}	0,15	
Odpor vodiče 150 mm^2 na 1 km R_{vy}	0,12	

tab 26 - Vstupní parametry stanice Huštěnovice s povolenou rekuperací

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Nedakonice	Dělič (Huštěnovice)		Strana Otrokovice
Úseky L [km]	133,04	143,94	143,94	155,43
Délka úseku [km]	10,9		11,49	
Počet vodičů Cu 120 mm2	4		4	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,311		0,328	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,182		0,192	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,160			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,093			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,253			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	3100			
Proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	790			
Největší provozně možný úbytek napětí U_{mu} [V]	126			
Proudy tekoucí z daných směru I_{12} [A]	406		385	

tab 27 - Výpočet stanice Huštěnovice, 3 zesilovací vedení s rekuperací

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Nedakonice	Dělič (Huštěnovice)		Strana Otrokovice
Úseky L [km]	133,04	143,94	143,94	155,43
Délka úseku [km]	10,9		11,49	
Počet vodičů Cu 120 mm2	3		3	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,385		0,406	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,182		0,192	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,197			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,093			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,291			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Celkový proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	1720			
Největší provozně možný úbytek napětí U_{mu} [V]	340			
Proudy tekoucí z daných směru (ΔU = 500V) I_{12} [A]	883		837	

tab 28 - Výpočet stanice Huštěnovice, 2 zesilovací vedení bez rekuperace

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Nedakonice	Dělič (Huštěnovice)		Strana Otrokovice
Úseky L [km]	133,04	143,94	143,94	155,43
Délka úseku [km]	10,9		11,49	
Počet vodičů Cu 120 mm2	0		0	
Počet vodičů Cu 150 mm3	4		4	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,327		0,345	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,182		0,192	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,168			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,093			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,261			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Celkový proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	1915			
Největší provozně možný úbytek napětí U_{mu} [V]	321			
Proudy tekoucí z daných směru (ΔU = 500V) I_{12} [A]	983		932	

tab 29 - Výpočet stanice Huštěnovice, 2 zesilovací vedení bez rekuperace, vše 150 mm^2

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Nedakonice	Dělič (Huštěnovice)		Strana Otrokovice
Úseky L [km]	133,04	143,94	143,94	155,43
Délka úseku [km]	10,9		11,49	
Počet vodičů Cu 120 mm2	3		3	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,385		0,406	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,182		0,192	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,197			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,093			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,291			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	3100			
Celkový proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	688			
Největší provozně možný úbytek napětí U_{mu} [V]	136			
Proudy tekoucí z daných směru I_{12} [A]	353		335	

tab 30 - Výpočet stanice Huštěnovice, 2 zesilovací vedení s rekuperací

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Nedakonice	Dělič (Huštěnovice)		Strana Otrokovice
Úseky L [km]	133,04	143,94	143,94	155,43
Délka úseku [km]	10,9		11,49	
Počet vodičů Cu 120 mm2	2		2	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,503		0,530	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,182		0,192	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,258			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,093			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,351			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Celkový proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	1423			
Největší provozně možný úbytek napětí U_{mu} [V]	367			
Proudy tekoucí z daných směru I_{12} [A]	730		693	

tab 31 - Výpočet stanice Huštěnovice, 1 zesilovací vedení a bez rekuperace

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Nedakonice	Dělič (Huštěnovice)		Strana Otrokovice
Úseky L [km]	133,04	143,94	143,94	155,43
Délka úseku [km]	10,9		11,49	
Počet vodičů Cu 120 mm2	1		1	
Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Odpor vedení R_v [Ω]	0,727		0,766	
Odpor kolejí R_k [Ω]	0,182		0,192	
Celkový odpor vedení v místě děliče R_{cv} [Ω]	0,373			
Celkový odpor kolejí v místě děliče R_{cz} [Ω]	0,093			
Celkový odpor v místě děliče R_c [Ω]	0,466			
Minimální napětí v úseku bez poruchy U_{min} [V]	2800			
Celkový proud při maximální provozní zátěži I_c [A]	1073			
Největší provozně možný úbydek napětí U_{mu} [V]	400			
Proudy tekoucí z daných směru I_{12} [A]	550		522	

tab 32 - Výpočet stanice Huštěnovice, bez zesilovacího vedení a bez rekuperace

3.4. Analýza výsledků

3.4.1. Úsek Benešov - Stráncice

První z počítaných stanic je stanice Čerčany. Je napájena ze dvou napájecích stanic (Benešov a Stráncice). Oba děliče, v místech kterých jsme počítali, leží blíže stanice Benešov. To znamená, že i odpor vedení z této strany bude menší a proud poteče odtud větší.

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Benešov	Dělič (Čerčany)	Strana Strančice
Délka úseku [km]	9,71		15,393
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A];	991		625

tab 33 - Sumarizace výsledků stanice Čerčany, dělič na zhlaví směr Benešov

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Benešov	Dělič (Čerčany)	Strana Strančice
Délka úseku [km]	11,61		13,493
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A];	829		713

tab 34 - Sumarizace výsledků stanice Čerčany, dělič na zhlaví směr Stráncice

Jak bylo řečeno, výpočty probíhaly na dvou místech, kde leží úsekové děliče. Jeden dělič je stanice Benešov blíže o necelých 6 km, druhý o 2 km. To se promítlo na rozložení tekoucích proudů. K tomu aby v daných místech (úsekových děličů) byl úbytek napětí 500V, musí do těchto míst téci 1616A (zhlaví směr Benešov, 991A a 625A), potažmo 1542A (zhlaví směr Stráncice 829A a 713A). Prostým vynásobením proudu a napětí lze v daném místě dostat výkon. Ten odpovídá cca 4,5 MW. Takový výkon lze v daném místě odebírat, což vzhledem k výkonům jedné stejnosměrné lokomotivy ve většině případů bude dostačovat. Nicméně problémem je, že v daném úseku se můžou nacházet i další lokomotivy a pak už daný výkon nemusí stačit. Zkrátka vezmeme-li největší možné zatížení, tak bude zapotřebí vyšší proud a tím vznikne i za běžné provozní situace větší úbytek napětí v místě děliče než 500V.

Jak již bylo řečeno, z pohledu rychlovypínačů jsou velikosti proudů na děličích v Čerčanech nízké. Mezi velikostí tekoucích proudů jsou rozdíly. Ty jsou dány rozložením velikosti odporů z daných směrů. Ve středu úseku budou proudy z obou směrů stejné (při stejném vedení) a jejich součet bude nejmenší z celého úseku. Směrem od středu úseku bude růst rozdíl mezi tekoucími proudy a celkový proud (jejich součet) bude růst.

To lze prezentovat na úsekovém děliči ve Stráncicích (tab 35, 1200 metrů od napájecí stanice). Zdejší úsekové děliče nejsou osazeny děličníky. Kdybychom totiž předpokládali

rozdíl napětí na úsekovém děliči 500V, tak z napájecí stanice Stráncice poteče 8kA a z Benešova pouze 402A. Proud 8kA neodpovídá realitě. V bezporuchovém stavu tuto zátěž nelze na železnici čekat. Na tuto velikost proudu rychlovypínače nebudou určitě nastaveny. Blízko napájecí stanice tedy nemůže být rozdíl na děliči 500V. Díky nastavení vypínače bude vždy menší.

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Benešov	Dělič (Stráncice)	Strana Strančice
Délka úseku [km]	23,91		1,193
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A];	402		8066

tab 35 - Sumarizace výsledků stanice Stráncice

V případě úseku Benešov – Stráncice bylo dokázáno, že nastavit spouště rychlovypínačů (ve vztahu k úsekovým děličům v Čerčanech) na provozně dostatečně vysoký proud a zároveň splnit podmínku maximálního úbytku napětí na úsekových děličích v Čerčanech je prakticky nemožné. K tomu aby, byla splněna podmínka rozdílu na děličích v Čerčanech 500V jsou zapotřebí pouze nízké proudy a tím pádem nízký výkon. V Senohrabech či Strančicích by poté úbytek napětí byl ještě menší než 500V. Jak již bylo řečeno, výkon který by rychlovypínače povolily, není dostatečný a v provozu by tedy velice často vypadávalo napájení. V tomto směru je problémem taktéž rekuperace. Dosavadní výpočtu v tomto úseku byly brány bez rekuperace. Vezmeme-li nejhorší možný případ, kdy v sousedním úseku se rekuperuje na 3600V, tak pak náš možný maximální úbytek nebude 500V, ale už jen pouze 200V, tak aby na děliči nebylo více než 500V. Pak by spouště museli být nastaveny na tak nízký proud, že to není provozně reálné (pro zhlaví směr Benešov 396A a 250A). Výkon by v daném úseku byl dostačující pouze tehdy, kdyby se jednalo o málo frekventovaný úsek (v úseku by byla vždy pouze jedna lokomotiva), daná lokomotiva měla maximální výkon zhruba do 4 MW a byla zakázána rekuperace.

3.4.2. Stanice Dobřichovice

Další z počítaných stanic byly Dobřichovice. Úsek je napájen z jedné strany z Prahy-Chuchle a z druhé z napájecí stanice Karlštejn. V Dobřichovicích jsme opět počítali na 2 místech úsekových děličů.

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Chuchle	Dělič (Dobřichovice)	Strana Karlštejn
Délka úseku [km]	14,02		11,57
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A];	568		688

tab 36 – Sumarizace výsledků stanice Dobřichovice, dělič směr Chuchle

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Chuchle	Dělič (Dobřichovice)	Strana Karlštejn
Délka úseku [km]	14,89		10,7
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A];	535		744

tab 37 - Sumarizace výsledků stanice Dobřichovice, dělič směr Karlštejn

Jak již bylo řečeno, v rámci stanice Dobřichovice se počítalo na 2 úsekových děličích. Stejně jako v případě Čerčan, počítáme, jaký proud může téci z daných napájecích stanic, aby na úsekovém děliči vzniklo napětí 500V. Rekuperace je opět zakázána. Jinak se počítá nejhorší možná provozní varianta (veškerá zátěž v místě úsekového děliče). V prvním případě, kde dělič leží od směru Chuchle, tečou proudy 568A a 688A (tab 36). V druhém případě tečou proudy 535A a 744A (tab 37).

Při porovnání se stanicí Čerčany (tab 33) je patrné že dané celkové proudy pro stanice Dobřichovice jsou menší o cca 300A. Tím pádem i možný maximální dodávaný výkon bude nižší. Důvody tohoto stavu jsou dva. Zaprvé Dobřichovice leží dále od napájecích stanic. Rozdíl je sice pouze v pár kilometrech, ale i to se projeví. Druhým a větším důvodem je fakt, že na úseku Chuchle-Karlštejn se používá pouze jedno zesilovací vedení o průřezu 120mm^2. Tím vzniká výrazný nárůst odporu vedení, oproti situaci s 2 zesilovacími vedení.

Situace v Dobřichovicích je tedy v porovnání s Čerčany, z pohledu napětí mezi stopami při zatížení, ještě o trochu horší. Aby se zachoval rozdíl napětí na děliči do 500V museli by rychlovypínače být nastaveny ještě na nižší hladiny, čímž by celkový přenášený výkon byl ještě nižší než v případě Čerčan.

3.4.3. Stanice Polom

Další z počítaných stanic je Polom. V předešlých stanicích byla infrastruktura pevně daná. Zde si ukážeme, jak změny daného parametru infrastruktury vedení se promítnou na velikosti tekoucího proudu. Stanice Polom je napájená ze stanic Hranice na Moravě a Suchdol nad Odrou. Výhodou je, že v tomto úseku leží s kolejovým rozvětvením pouze stanice Polom. Pouze v této stanici se tedy nacházejí úsekové děliče. Jejich poloha je prakticky zrcadlová vůči středu. Takže i velikosti proudů budou poměrově prakticky stejné (rozdíl 10A), jen vždy

vyšší proud poteče z bližší napájecí stanice. Naše výpočty se zaměří na dělič, který leží blíže napájecí stanici Hranice na Moravě.

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hranice na Moravě	Dělič (Polom)	Strana Suchdol nad Odrou
Délka úseku [km]	8,66		9,92
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; bez zesilovacího vedení	693		605
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 1 zesilovací vedení	919		802
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 2 zesilovací vedení	1111		970
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 3 zesilovací vedení	1276		1114

tab 38 - Sumarizace stanice Polom, bez rekuperace

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hranice na Moravě	Dělič (Polom)	Strana Suchdol nad Odrou
Délka úseku [km]	8,66		9,92
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; bez zesilovacího vedení	277		242
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 1 zesilovací vedení	368		321
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 2 zesilovací vedení	444		388
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 3 zesilovací vedení	511		446

tab 39 - Sumarizace stanice Polom, s rekuperací

Stejně jako v předchozích případech i zde nám jde o to, aby na úsekovém děliči vznikl rozdíl napětí maximálně 500V. Opět budeme uvažovat na jedné straně děliče nejhorší možný případ (všechna zátěž na úrovni děliče). Na druhé straně děliče budeme opět předpokládat 3300V (3600V v případě rekuperace). Uvažujeme 4 konfigurace vedení, dle počtů zesilovacího vedení o průřezu 120mm^2. Konkrétně se jedná o infrastrukturu bez zesilovacího vedení, s 1 zesilovacím vedení, se 2 zesilovacími vedení a pro ilustraci i se 3 zesilovacími vedeními. Konkrétní proudy z daných směrů jsou v tab 38 (pro rekuperaci tab 39). Je patrné, že díky každému zesilovacímu vedení navíc (v případě stavu bez rekuperace) se přenese z daného směru necelých 200A (při zachování maximálního dovoleného rozdílu napětí na děliči 500V) navíc. To má samozřejmě příznivý vliv i na růst přeneseného výkonu.

Nyní vyvstává otázka, zda by bylo v této stanici třeba stahovat. V porovnání s předchozími stanicemi (Čerčany a Dobřichovice) vychází stanice z výpočtů lépe (při zachování stejné konfigurace). To je způsobeno tím, že je o několik kilometrů blíže napájecím stanicím. Už při použití 1 zesilovacího vedení přenese soustava větší výkon než v případě stanice Čerčany s 2

zesilovacími vedeními (při zachování maximálního rozdílu na děliči 500V). Při použití 2 nebo 3 zesilovacích vedení se situace ještě výrazně více zlepší. V případě 3 zesilovacích vedení může být odběr v místě děliče až 6,7MW a úbytek napětí pouze 500V. Nicméně ani tento výkon nemusí teoreticky stačit. Je nutné se uvědomit, že daná trať leží na koridoru na Ostravu. To znamená, vysoké vytížení tratě. Reálně tedy může hrozit, že na jedné straně děliče vznikne příliš vysoká zátěž a naopak druhá strana bude po celém úseku volná. Poté by hrozilo překročení rozdílu napětí na děliči 500V.

Další problém je také s rekuperací (tab 39). Když se vezme v potaz na druhé straně děliče 3600V, tak určitě může nastat provozní případ, kdy na děliči vznikne rozdíl napětí větší než 500V. I při 3 zesilovacích vedení soustava (při zachování rozdílu 500V na děliči) přenese pouze necelé 3MW výkonu. Moderní stejnosměrná lokomotiva tuto hranici dokáže překročit. A při situaci, kdy v úseku bude dvojice lokomotiv, tento výkon nebude dostačující již určitě. Nastavit tedy rychlovypínače na tyto hladiny proud dle tab 39 není vhodné.

Rychlovypínače pro tento úsek by v případě zakázané rekuperace bylo možné nastavit na poměrně vysoké proudy viz (tab 38, oproti Čerčanům a Dobřichovicím). V samotném Polomu se poté dá uvažovat o tom, že na úsekových děličích by se nemuselo stahovat a děličník by se tedy mohl sundat. Záleží samozřejmě na tom, kolik zesilovacích vedení tam je nebo zda se nějaké přidá. Podrobnější data pro tuto stanici nebyla k dispozici, nicméně lze předpokládat podobnou infrastrukturu jako v Čerčanech (2 zesilovací vedení) či Dobřichovicích (1 zesilovací vedení). Lze ale každopádně říci, že jízda bez stahování zde je za splnění určitých podmínek možná (zvláště zakázání rekuperace).

3.4.4. Stanice Moravičany

Dále si zaměříme na stanici Moravičany. Ta leží na úseku Hoštejn – Červenka (je napájena ze stejnojmenných napájecích stanic). Jedná se o více než 32 km dlouhý úsek a Moravičany leží cca ve čtvrtině cesty od Červenky.

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hoštejn	Dělič (Moravičany)	Strana Červenka
Délka úseku [km]	23,97		8,32
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; bez zesilovacího vedení	250		721
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 1 zesilovací vedení	332		957
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 2 zesilovací vedení	401		1157
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 3 zesilovací vedení	461		1328

tab 40 – Sumarizace stanice Moravičany bez rekuperace

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hoštejn	Dělič (Moravičany)	Strana Červenka
Délka úseku [km]	23,97		8,32
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; bez zesilovacího vedení	100		288
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 1 zesilovací vedení	133		383
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 2 zesilovací vedení	161		463
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 3 zesilovací vedení	184		531

tab 41 - Sumarizace stanice Moravičany s rekuperací

Jak již bylo řečeno, Moravičany leží mnohem blíže napájecí stanici Červenka. Proto i většina proudu přitéká z této bližší stanice. Konfigurace vedení byla pro odpovídající porovnání zvolena stejná jako v případě Čerčan (150mm^2 nosné, 120mm^2 trolejové a zvolený počet 120mm^2 zesilovacích vedení). Opět nám jde o to, aby byla splněna podmínka maximální rozdílu napětí na děliči 500V. Co se týče možného maximálního přeneseného výkonu, tak situace je podobná Čerčanům (při 2 zesilovacích vedení cca 4,3 MW). Toto platí pro případ, kdy se na druhé straně děliče předpokládá 3300V. Ještě lepší situace nastane v případě 3 zesilovacích vedení. Tekoucí proudy se zvýší (tab 40) a přenesený výkon je cca 5MW (při zachování 500V rozdílu na děliči). Naopak když oproti Čerčanům budeme mít o jedno zesilovací vedení méně (situace Dobřichovic => 1 zesilovací vedení 120mm^2), tak proudy poklesnou na 332A (z Hoštejnu) a 957A (z Červenky). Přenesený výkon by potom odpovídal 3,6MW, což již není z pohledu výkonových požadavků provozu na zatížené trati dostačující. Situace bez zesilovacího vedení nepřichází v úvahu logicky taktéž.

Nicméně výše zmíněné hodnoty (tab 40) nejsou nejhorší případ. Ten nastane v případě, kdy se v sousedním úseku rekuperuje (tab 41). Poté lze na jedné straně děliče uvažovat 3600V a aby byla splněna podmínka 500V rozdílu, tak v měřeném úseku musí být úbytek napětí pouze 200V na 3100V. Jak ukazuje tabulka (tab 41), tekoucí proudy se výrazně sníží (o 60%).

Takové proudy nepřenesou dostatečný výkon. I při použití 3 zesilovacích vedení poteče z napájecích stanic pouze 184A (z Hoštejna) a 531A (z Červenky), což je z pohledu výkonových požadavků absolutně nedostačující.

V případě Moravičan, když nebudeme uvažovat rekuperaci, platí to samé co v případě Čerčan. Nejhorší případ nám říká, že stahovat je nejspíše třeba (rozhodně je to bezpečnější), nicméně to velice závisí na hustotě provozu a výkonu lokomotiv, které se tam budou pohybovat. Teoreticky by bylo možné i nestahovat, ale situace není tak příznivá jako v případě stanice Polom (možné maximální výkonové zatížení při splnění 500V na úsekovém děliči a stejném počtu zesilovacích vedení je nižší). Když se vezme v potaz rekuperace, tak pak nejhorší možný případ doporučuje stahovat nebo výrazně snížit odběr. To platí v případě Moravičan i dalších počítaných stanic. Povolení rekuperace se zkrátka výrazně promítne do nejhoršího možného případu (do možného rozdílu napětí na děliči mezi sousedními kolejemi).

3.4.5. Huštěnovice

Poslední z počítaných stanic jsou Huštěnovice. Stanice leží v úseku Nedakonice – Otrokovice. Počítáme zde na dvou děličích, které jsou od sebe vzdáleny cca 1400 metrů. Stanice se nachází přibližně ve středu úseku. Na této stanici si budeme mimo jiné demonstrovat vliv velikosti průřezu zesilovacího vedení

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Nedakonice	Dělič (Huštěnovice)	Strana Otrokovice
Délka úseku [km]	10,9		11,49
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; bez zesilovacího vedení	550		522
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 1 zesilovací vedení	730		693
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 2 zesilovací vedení	883		837
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 3 zesilovací vedení	1014		962

tab 42 - Sumarizace stanice Huštěnovice bez rekuperace

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Nedakonice	Dělič (Huštěnovice)	Strana Otrokovice
Délka úseku [km]	10,9		11,49
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; bez zesilovacího vedení	220		209
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 1 zesilovací vedení	292		277
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 2 zesilovací vedení	353		335
Proudy tekoucí z daných směru (rozdíl U na děliči 500V) I_{12} [A]; 3 zesilovací vedení	406		385

tab 43 - Sumarizace stanice Huštěnovice s rekuperací

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Nedakonice	Dělič (Huštěnovice)	Strana Otrokovice
Délka úseku [km]	10,9		11,49
Proudy I_{12} [A], 1x150mm2 a 3x120mm^2	883		837
Proudy I_{12} [A], 4x150mm^2	983		932

tab 44 - Sumarizace stanice Huštěnovice, rozdílný průřez

Úsek mezi napájecími stanicemi Nedakonice – Otrokovice je dlouhý přes 22km. Na této stanici si ukážeme vliv průřezu vedení (tab 44). Zesilovací a trolejové vedení se často osazuje průřezy 120mm^2 a pouze nosné lano má průřez 150mm^2. Když tedy zachováme konfiguraci dvojitého zesilovací vedení, tak vidíme, že při použití průřezu pouze 150mm^2 vzroste proud až o cca 100A (záleží na poloze děliče vůči napájecí stanici). Když to převedeme na možný maximální přenesený výkon, tak ze 4,8MW výkon vzroste na cca 5,5MW.

Nicméně když zůstaneme u průřezu zesilovacího vedení 120mm^2, tak se můžeme podívat na tab 42, která nám ukazuje změny proudů při různém počtu zesilovacích vedení (při zakázané rekuperaci a zachování 500V rozdílu na děliči). Přirozeně s rostoucím počtem zesilovacích vedení rostou proudy a tím přenesený výkon. V případě infrastruktury bez zesilovacího vedení proudy z napájecích stanic sotva překročí 0,5kA. To je z pohledu výkonu nedostatečné. Nicméně už zapojení jednoho zesilovacího vedení situaci výrazně vylepší. Proudy vzrostou z každé napájecí stanice o necelých 200A. Přenesený výkon se poté již blíží 4MW. Při zapojení 2 zesilovacích vedení (jako v Čerčanech) přenesený výkon odpovídá již 4,8MW, což je opět výrazné vylepšení a za určitých podmínek by se děličník mohl sundat.

Po stanici Polom zvládne tento úsek druhé největší z námi počítaných zatížení (bez překročení 500V na děliči za běžné bezporuchové provozní situace). Nicméně i zde hrozí podobný problém jako v případě Polomu. Trať leží na stejném koridoru jako Polom a proto je třeba brát v potaz možnou hustší dopravu. Mohou poté nastat situace, kdy ani tento výkon nemusí stačit a může vzniknout na děliči napětí větší než 500V.

Nicméně výše napsané stále platí pouze v případě zakázané rekuperace. Při zohlednění rekuperace (tab 43) by hrozil rozdíl na děliči větší než 500V zcela určitě. I při použití 3 zesilovacích vedení by museli být rychlovypínače nastaveny na ani ne 400A. Přenesený výkon by byl ani ne 2,5MW, což opět není pro moderní lokomotivy dostačující. V případě menšího počtu zesilovacích vedení by situace byla ještě horší. Nastavení rychlovypínačů by tedy v těchto případech nebylo provozně výhodné (malý výkon na vysokou hustotu dopravy). Chceme-li na těchto děličích zrušit stahování (sundat děličník), je třeba zakázat rekuperaci a provést analýzu hustoty dopravy, neb pro jednu lokomotivu přenesený výkon pravděpodobně bude stačit. Pro 2 lokomotivy pod plným nebo velmi vysokým výkonem už ne. To samé platí i pro děliče ve stanici Polom.

4. Možná řešení rozdílů napětí na úsekových děličích vedoucí k možnosti odstranit stahování sběrače

V této části si rozebereme možná řešení vedoucí ke snížení příliš velkého rozdílu napětí na úsekových děličích. Všechny počítané děliče leží ve stanicích mezi sudou a lichou kolejí. Je proto dobré si uvědomit, že děliče leží mezi úseky, které jsou napájeny ze stejných napájecích stanic (jiné jsou rychlovypínače). Taktéž si je nutné uvědomit, že v kolejišti ve stanici, není příliš mnoho místa. Tyto aspekty je nutné zohlednit při možnostech řešení problematiky daných úsekových děličů

4.1.1. Zesilovací vedení

Jednou z možností jak řešit problematiky úsekových děličů je použití zesilovacího vedení. Jedná se o vedení, které je paralelně zapojené s trolejovým drátem. Díky tomu se zvětší celkový vodivý průřez trakčního vedení. To spolu s paralelním zapojením má za následek snížení odporu trakčního vedení, což vede k zmenšení úbytku napětí na děliči.

Zesilovací vedení se věší na stožár, z toho vyplývá, že počet zesilovacích vedení je omezen prostorem a hmotností. V praxi se používají 1, 2 až 3 zesilovací vedení. Často je jedná o průřezy 120 mm^2 nebo 150 mm^2 Cu. Zesilovací vedení se používá v praxi běžně. Jeho výhodou je, že není nutný výrazný zásah do infrastruktury. Není nutné stavět novou napájecí stanici, ani měnit průřez trolejové vedení za silnější průměr. Pouze se přidá do soustavy vodič navíc.

Používá se na úsecích, kde jsou napájecí stanice daleko od sebe a na úsecích, které jsou velice dopravně zatížené. Taktéž ho lze vidět na úsecích, které jsou napájeny jen jednostranně.

obr 23 - Zesilovací vedení (na stožáru) [23]

Zesilovací vedení má výrazný vliv na úbytky napětí na vedení. Když zachováme rozdíl napětí na děliči 500V, tak každé další zesilovací vedení umožní přenést vyšší výkon (propustí více proudu). Nejlépe lze toto ilustrovat na výsledcích stanice Polom (tab 38) Uvažujeme standartní parametry vedení (nosné lano 150mm^2 a ostatní 120mm^2). Když bude infrastruktura bez zesilovacích vedení, tak po připojení jednoho zesilovacího vedení vzroste proud z dané napájecí stanice o bezmála 33% (aniž by za běžné provozní situace došlo k překročení napětí na analyzovaných děličích přes 500V). V případě, že k jednomu zesilovacímu vedení přidáme další, vzroste proud o dalších 20% (vůči situaci se žádným zesilovacím vedením o 60%). Kdybychom ke dvěma zesilovacím vedením přidali ještě třetí, tak nárůst proudů bude o 15% (dále by to bylo již pouze 11%). Z tohoto vyplývá, že každé další zesilovací vedení má menší a menší přínos. Je tedy třeba, uvědomit si mez, kdy má ještě zesilovací vedení, jak z pohledu techniky, tak z pohledu ekonomických nákladů, ještě smysl. Například ke stanici Čerčany (tab 34), vede v současném stavu dvojice zesilovacích vedení. Proti ní lze postavit Dobřichovice (tab 36), kde je zesilovací vedení pouze jedno. Rozdíl v přenesených výkonech je větší než 800kW. Stanice Dobřichovice není přitom o tolik dále napájecím stanicím než stanice Čerčany. V Čerčanech se tedy dvojice zesilovacích vedení zajisté vyplatí. V případě použití 3 nebo dokonce 4 zesilovacích vedení by již byl přínos diskutabilní. Problém by mohl být zvláště s nedostačujícím volným prostorem či celkovým, příliš vysokým, hmotnostním zatížením pro soustavu. Naopak tekoucí proudy a přenesený výkon by již o tolik nenarostly (cca o výše zmíněných 15%). V případě Dobřichovic by přidáním druhého zesilovacího vedení nastal výraznější nárůst tekoucího proudu (výše zmíněných 20%). V případě Dobřichovic má přidání jednoho zesilovacího vedení navíc smysl. Přenesenými výkony se již výrazně přiblíží Čerčanům, jediný rozdíl bude představovat větší vzdálenost k napájecím stanicím (v případě Dobřichovic).

4.1.2. Silnější průřezy vedení

Dalším způsobem jak snížit úbytky napětí na vedení a tím docílit menšího rozdílu napětí na děliči je použití silnějších průřezů vedení. Silnější průřezy mají zkrátka menší odpor. Výhodou tohoto řešení jsou menší počet vodičů. Pracovat s průřezy vedení se nicméně dá často pouze při projektování nové trati nebo rozsáhlé rekonstrukci trati. Měnit trolejový drát za silnější je zkrátka nepraktické a spíše se volí řešení zesilovacího vedení. Nejčastější průřezy jsou 150 mm^2 pro nosný drát a 120 mm^2 pro trolejový drát. Nicméně na starších regionálních tratích lze narazit i na slabší průřezy vodičů (100 mm^2) a tam je pak praktické při rekonstrukci nahradit starší vedení silnějším průřezem. Silnější průřezy (větší než 150 mm^2) se příliš nepoužívají neb samotný vodič je potom těžší, což způsobuje problémy spojené s nosností.

Jako příklad si lze uvést stanici Huštěnovice (tab 44). Parametry vedení jsou 150mm^2 nosné lano a 120mm^2 trolejové lano a dvojice zesilovacích vedení (výchozí stav). Když nahradíme všechny vodiče průřezem 150mm^2, tak tekoucí proudy se zvýší (při zachování stejného úbytku napětí) o více než 11%. Při použití nových průřezů vedení, kdy nosné lano by mělo průřez 200mm^2 a trolejové se zesilovacími 150mm^2, vzrostou proudy o 17%. Kdybychom naopak si představili starší vedení o průřezech 100mm^2 nosné lano a zbytek 70mm^2, tak proudy poklesnou o 30%.

Z výpočtů je tedy patrné, že samotná náhrada standartního průřezu zesilovacích vedení 120mm^2 na 150mm^2 příliš velký nárůst proudu nepřinese. To samé platí pro zesílení vodičů na 200mm^2 a 150mm^2. Použití zesilovacích vedení přinese větší přínos a ekonomické náklady spojené s instalací budou nižší. O silnějších průřezech na úkor jednoho zesilovacího vedení lze uvažovat jen při výrazné rekonstrukci trati. Zvlášť v případě modernizace úseků, kde se používají průřezy do 100mm^2 se aplikace silnějších průřezů vyplatí.

4.1.3. Zákaz rekuperace

Další z možností, jak snížit rozdíl napětí na děliči je zakázat pro dané sekce rekuperaci. V českých podmínkách, je možné rekuperací zvýšit napětí na 3600 V. Při zakázání se rozdíl napětí mezi stopami v místě děliče sníží minimálně o 300 V, což už může snížit rozdíl napětí na děliči do přijatelných hladin. Je důležité si uvědomit, zda rekuperace má v daném místě význam. Neboli zda bude kam rekuperovat. Tím, že je povolena maximální hladina napětí jen 3600 V (a ne 3900 V jako v zahraničí) nemusí mít rekuperace pokaždé dostatečný přínos. Je-

li kam rekuperovat, pak se samozřejmě jedná o velice přínosnou technologii, která by se neměla v daném úseku zakazovat.

obr 24 - Návěst zákaz rekuperace [20]

Zohlednění rekuperace ve výpočtech si lze ukázat na stanici Moravičany (tab 40). Při uvažování nejhoršího možného případu se zohledněním rekuperace klesne tekoucí proud o 60%. To je logické, neb standardně se uvažuje pokles napětí 500V (2800V v počítaném úseku 3300V v sousedním úseku). Nyní ale v nejhorší situaci může v sousedním úseku být 3600V a poté úbytek v našem úseku může být maximálně 200V (pokles o 60% oproti 500V). Nejhorší případ při zakázané rekuperaci je tedy stále ještě provozně možný (může splňovat maximální rozdíl na děliči 500V). Když se ale zohlední rekuperace, tak na počítaných tratích není provozně možné deklarovat maximální rozdíl na děliči 500V. Nastavení rychlovypínačů by muselo být příliš nízké a nepřenášel by se tak dostatečný výkon.

4.1.4. Podmíněný děličník

Děličníky mají význam trvalých návěstí stáhni trakční sběrač. V dnešní době již existují podmíněné světelné návěsti stáhni sběrač. Na stejném principu by se dal vytvořit tzv. Podmíněný děličník. Při rozdílu napětí na děliči větším než 500V by se rozsvítil. Uvedené řešení by vyžadovalo další studie, přesahující rozsah této práce. Ovšem za běžné bezporuchové situace by odstranilo nutnost stahovat sběrač na děličích mezi jednotlivými kolejemi alespoň v době malé hustoty dopravy a tedy i malých rozdílů napětí mezi stopami.

4.1.5. Spínací stanice

Spínací stanice jsou další z možností jak snížit rozdíl napětí na děliči na přijatelnou úroveň. Fungují vlastně tak, že propojí sudou a lichou kolej, což výrazně sníží odpor vedení. Navíc v našem případě, kdy dělič leží mezi sudou a lichou kolejí by to prakticky vyřešilo problém s rozdíly napětí. Zvlášť kdyby spínací stanice byla ve stejné stanici jako počítané úsekové děliče. Toto řešení nicméně není příliš časté, neboť je ekonomicky nákladné.

Použití spínací stanice přibližně uprostřed počítaných úseků by vyřešilo problém s možným vznikem příliš velkého napětí na úsekových děličích. Jediná stanice, kdy by toto řešení

nemuselo stačit, jsou Moravičany, které neleží uprostřed úseku, ale přibližně ve čtvrtině od jedné z napájecích stanic. Zde by záleželo na výkonovém zatížení úseku.

4.1.6. Propojky

Na principu spínacích stanic by mohli fungovat i o dost levnější propojky mezi stopami. Při použití propojek by taktéž v tomto místě mezi sudou lichou nebyl děličník potřeba. Nevýhodou by mohlo být, že při výpadku napájení, by se vypadl větší úsek (obě sousední koleje). Nicméně propojky mají odpojovač (ideálně dálkově řízený). Při nestandardních konfiguracích napájení nutnosti (například z důvodu údržby) vypnutí jedné stopy, by tedy odpojovač bylo možné rozpojit a napájet stopy zvlášť jakou v současném stavu. Tímto by se zachovala segmentace úseku a zároveň mohli sundat děličníky mezi stopami. Problém by v tomto stavu neznamenala ani povolená rekuperace.

4.1.7. Substanice

Další z možností, jak snížit úbytky napětí na vedení a tím docílit menšího rozdílu napětí na děliči můžou být substanice. Principem se jedná o napájecí stanice, které ale již budou napájeny stejnosměrným proudem z nadřazené standartní napájecí stanice. Spojení mezi napájecími stanice musí být tvořeno takovým vedením, aby ztráty na něm byli minimální (silný průřez, paralelní cesty). Potom tato substanice může napájet dané místo mezi původními napájecími stanice, čímž výrazně klesnou úbytky na vedení a tím i rozdíly na úsekovém děliči mezi jednotlivými kolejemi. Konstrukčně takováto substanice může být velice jednoduchá a může se v podstatě jednat i o jakýsi napájecí bod (ale s rychlovypínačema, takže je to taková spínací stanice, do které je přiveden vodič s napětím 3300V). Toto řešení by opět pravděpodobně vyřešilo vznik příliš velkého napětí na úsekovém děliči.

4.1.8. Akumulační uložiště energie

Do místa na trati, zhruba uprostřed úseku, by bylo možné vložit akumulační jednotku energie (2.3.4). Jednalo by se o baterie nebo velký kapacitor. Ten by krátkodobě ukládal energii vlaků, které v úseku rekuperují, tak aby případně nepřišla vniveč a mohla být využita dále. V podstatě by se tak jednalo o substanici bez přívodního vedení 3300V. Toto řešení by výrazně kompenzovalo poklesy napětí při zatěžování. Nicméně nevýhodou bude zajisté cena a možná i ekonomická návratnost.

4.1.9. Materiál drátu

Na celkový odporu vedení má svůj podíl i vodivost materiálu. Standardně se používá měď (Cu). Má výbornou vodivost, ale už horší pevnost. Proto se do mědi dávají různé příměsi hořčíku, cínu a kadmia, které zvyšují pevnost vodiče. Čistě měděná trolej má minimální pevnost až 355 MPa, kdežto například s hořčíkem až 520 MPa. Zvýšení pevnosti má často za následek o trochu horší vodivost než v případě čistší mědi. Pro naopak zvyšování vodivosti se do mědi přidává stříbro. Kvůli snížení nákladů byla snaha používat jako materiál i kombinace hliníku a oceli, ale tato cesta se neosvědčila. Zkrátka pro snížení odporu vedení je třeba použít materiál s co nejlepší vodivostí, ale je nutné brát ohledy na mechanickou pevnost a ekonomické náklady.

V našich výpočtech byla použita měď s příměsemi pro větší pevnost s měrným odporem 0,018 $\Omega.mm^2.m^{-1}$. Při použití čisté mědi s měrným odporem 0,0172 proudy z napájecích stanic vzrostou o 3%. To není příliš, když za tento „nárůst“ zaplatíme horší pevností vedení. V tomto případě se vyplatí přidávat do mědi příměsi, které výsledný měrný odpor sice zhorší, ale zvýší pevnost a dovolí tím například použít silnější průřezy vedení.

Závěr

Diplomová práce se zabývala tématem úsekových děličů na napájecí soustavě 3kV DC. V první části jsme se zabývali jevy způsobující vznik napětí na úsekovém děliči. A poté jak se daná situace řeší v Čechách i zahraničí. Ze zjištěných informací vyplynulo, že struktura napájecích soustav v různých zemích si je velice podobná. S tím jde i ruku v ruce problematika řešení úsekových děličů. Nedá se říci, že by jedna ze zemí disponovala jednoduchým inovativním řešením, které by tuto problematiku, jednou pro vždy, vyřešilo. Místo toho se jedná o soubor nákladných opatření, která mají za úkol převážně eliminovat poklesy napětí na vedení, tak aby na úsekovém děliči vznikalo co nejmenší napětí.

Nejpokročilejší napájecí soustavu, v tomto ohledu, mají země, které používají 3 kV DC na vysokorychlostních tratích. Jedná se hlavně o Itálii, která disponuje specifickou strukturou hlavních napájecích stanic a substanic. Nicméně se stále hledají nová inovativní řešení, které zmenší úbytky napětí na vedení. Poslední dobou se například velice experimentuje s ukládáním energie.

Další část se již zaobírala praktickými výpočty daných úseků. Celkem se jednalo o 5 úseků: Benešov – Čerčany – Stráncice, Hoštejn – Moravičany – Červenka, Suchdol nad Odrou – Polom – Hranice na Moravě, Chuchle – Dobřichovice – Karlštejn a Otrokovice – Huštěnovice – Nedakonice.

Algoritmus byl postaven tak, že byl počítán nejhorší možný v bezporuchovém provozu přijatelný případ, který může nastat. V našem případě se jednalo o maximální možný rozdíl na děliči 500V, v případě že na jedné straně úseku je maximální zátěž a v druhé není zátěž žádná nebo se dokonce rekuperuje. Výpočtem bylo poté zjištěno, jakou maximální možnou zátěž (proudy přes rychlovypínače) je možné povolit, aby nevznikl rozdíl napětí větší než 500V. Analýza úseků probíhala tak, že pro případy stanic Čerčany a Dobřichovice proběhly výpočty, dle aktuálních parametrů vedení. A na ostatních stanicích se demonstrovaly vlivy jednotlivých parametrů vedení na úbytky napětí, tak aby poté bylo možno navrhnout ideální řešení pro danou stanici.

Z výsledků nám vychází, že když se vezme nejhorší možný případ a ještě se bude uvažovat rekuperace, tak ve stanicích Čerčany a Dobřichovice dle skutečných parametrů vedení nelze garantovat rozdíl napětí na úsekovém děliči do 500V. Když se zakáže rekuperace a proběhne dostatečná analýza hustoty provozu, tak v případě Čerčan by se již 500V rozdílu překročit

nemělo. Dobřichovice jsou na tom hůře, neboť mají o zesilovací vedení méně a vzdálenost od napájecích stanic je větší. Řešením by, za určitých podmínek, mohlo být přidání druhého zesilovacího vedení.

Na dalších stanicích se ilustrovaly změny jednotlivých parametrů vedení, ale zároveň byla snaha o maximální přiblížení skutečnosti těmito parametry. Z pohledu rozdílu napětí na děliči se z následujících stanic nejlépe profiluje stanice Polom. Při použití standartních průřezů vedení se už při použití jednoho zesilovacího vedení dostáváme na lepší hodnoty (4,8MW při zachování 500V rozdílu na děliči) než v případě Čerčan (4,5MW při zachování 500V rozdílu na děliči). Při použití dvou zesilovacích vedení se situace ještě zlepší (5,8MW při zachování 500V rozdílu na děliči). Důležité je si ale uvědomit, že tato stanice leží na koridoru. Je tedy třeba provést analýzu hustoty dopravy, zda postačí použít jedno nebo dvě zesilovací vedení. Problém je taktéž znovu s rekuperací, kde by teoreticky mohl nastat i zde větší úbytek napětí než 500V. I při použití dvojice zesilovacích vedení tekoucí proudy výrazně poklesnou (na cca 400A) a přenesený výkon nebude ani poloviční oproti stavu bez rekuperace. Zde by opět bylo nutné provést analýzu v reálném provozu, zda může daná situace nastat a jak často. Teoreticky se tato stanice jeví z ohledu rozdílů napětí nejlépe z pěti analyzovaných. Podobně příhodně by na tom byly i Huštěnovice. Zde ale je třeba použít o jedno zesilovací vedení vice než v případě Polomu (aby přenesený výkon byl dostatečný). Nakonec zbývají ještě Moravičany. Ty za použití stejných parametrů vedení jako v případě Čerčan mají i podobné výkonové možnosti. Rozdíl je pouze v tom, že Moravičany leží blíže jedné z napájecích stanic, takže proudy tekoucí z daných směrů jsou velice rozdílné. Polohu jednotlivých stanic v úseku je třeba brát v potaz při nastavení rychlovypínačů.

Z výpočtů tedy vyplývá, že při předpokladu nejhoršího možného případu a zohlednění rekuperace nelze na těchto 5 stanicích garantovat rozdíl napětí do 500V (děličník zde má význam). Bez rekuperace by se již do daného rozdílu napětí v určitých případech vejít dalo. Nejvhodněji se při zachování 500V rozdílu na úsekovém děliči jeví stanice Polom s jedním (4,8MW) či dvěma (5,8MW) zesilovacími vedeními. Další stanice (Dobřichovice, Huštěnovice) by potřebovaly o zesilovací vedení více, aby se mohlo uvažovat u sundání děličníku. Zakázat rekuperaci je tedy první možné řešení, které lze v daném úseku použít, aby bylo možné projíždět úsekový dělič bez omezení (a tedy sundat děličník). Další z obvyklých řešení je již zmíněné zesilovací vedení. Zde má význam použít maximálně 3 zesilovací vedení, poté již to ztrácí význam (každé zesilovací vedení má menší přínos než první). Použití jednoho zesilovacího vedení má naopak výrazný pozitivní dopad (zvýšení přeneseného

výkonu o 33%). Silnější průřezy vedení mají význam spíše menší a jejich nevýhody (nosnost soustavy) mohou převažovat nad výhodami. Možným přijatelným řešení by mohlo být propojit stopy v daných úsecích (počítané děliče jsou mezi stopami). Použít k tomu lze spínací stanice nebo propojky. V případě propojek by úsek sice nebyl tolik segmentovaný (při náhlém výpadku by se přestaly napájet opět stopy), ale problém s rozdíly napětí by byl vyřešen. Problém s vypnutím obou stop dokáže vyřešit dálkově řízený odpojovač, který pří výpadku stopy rozpojí a lze tak znovu začít napájet stopu na které nevznikl problém. Z inovativních řešení lze uvažovat o vytvoření podmíněného (světelného) děličníku. Ten by analyzoval napětí na děliči a rozsvítil by se při rozdílu napětí na děliči 500V. Dále by se dalo uvažovat i o substanicích nebo akumulačních uložištích energie, ale jednalo by se o výrazné zásahy do infrastruktury. Nicméně do budoucna by se na principu substanic (více napájecích bodů v úseku) dalo uvažovat nejen v souvislosti s úbytky napětí na děličích mezi jednotlivými stopami.

Seznam obrázků

obr 1 - Trakční napájecí soustavy v Evropě [2] 12
obr 2 - Obecné schéma napájení trati na 3 kV DC [19] 12
obr 3 - Transformátor 110 kV/22 kV [4] 13
obr 4 - 12-pulsní usměrňovač, napravo tlumivka 4 mH [4] 14
obr 5 - Rychlovypínač MEP Postřelmov Un = 3000 V [5] 14
obr 6 - Úsekový dělič [6] 16
obr 7- Homogenní vedení [8] 17
obr 8 - Návěst vypněte proud [9] 19
obr 9 - Návěst zapněte proud [9] 19
obr 10 - Návěst přípravy ke stažení sběrače [9] 19
obr 11 - Návěst stáhněte sběrač [9] 20
obr 12 - Návěst zdvihněte sběrač [9] 20
obr 13 - Návěst stáhněte sběrač se světelnou indikací [11] 20
obr 14 - Návěst vypněte trakční proud [20] 21
obr 15 – Děličník [13] 21
obr 16 - Schéma napájecí stanice v Itálii [15] 23
obr 17 - Dvojvodičové vedení v Itálii [14] 24
obr 18 - Schéma zapojení napájecích stanic (proškrtnuté) a substanic (SSE) v Itálii [15] 25
obr 19 - Schéma typu napájení 3 kV DC v Polsku [17] 26
obr 20 - Návěsti vypněte a zapněte odběr trakčního proud ve Španělsku [18] 27
obr 21 - Schéma ukládání energie [16] 28
obr 22 - Modelové schéma výpočtu 31
obr 23 - Zesilovací vedení (na stožáru) [23] 57
obr 24 - Návěst zákaz rekuperace [20] 59

Seznam tabulek

tab 1 - Parametry rychlovypínače na 3 kV DC [5] 14
tab 2 – Parametry sloužící k výpočtům stanice Čerčany (dělič směr Benešov) 35
tab 3 - Vstupní parametry stanice Čerčany 38
tab 4 - Výpočet stanice Čerčany, dělič směr Benešov 38
tab 5 - Výpočet stanice Čerčany, dělič směr Strančice 38
tab 6 – Vstupní parametry stanice Stráncice 39
tab 7 - Výpočet stanice Stráncice (blízko napájecí stanice) 39
tab 8 - Vstupní parametry stanice Dobřichovice 39
tab 9 - Výpočet stanice Dobřichovice, dělič směr Karlštejn 40
tab 10 - Výpočet stanice Dobřichovice, dělič směr Chuchle 40
tab 11 - Vstupní parametry stanice Polom se zakázanou rekuperací 40
tab 12 – Vstupní parametry stanice Polom s povolenou rekuperací 41
tab 13 – Výpočet stanice Polom dělič směr Hranice, 3 zesilovací vedení, s rekuperací 41
tab 14 – Výpočet stanice Polom dělič směr Hranice, 2 zesilovací vedení bez rekuperace 41
tab 15 - Výpočet stanice Polom dělič směr Hranice, 2 zesilovací vedení, s rekuperací 42
tab 16 - Výpočet stanice Polom dělič směr Hranice na Moravě 1 zesilovací vedení 42
tab 17 - Výpočet stanice Polom směr Hranice na Moravě bez zesilovacího vedení 42
tab 18 Vstupní parametry stanice Moravičany se zakázanou rekuperací 43
tab 19 - Vstupní parametry stanice Moravičany s povolenou rekuperací 43
tab 20 – Výpočet stanice Moravičany, 3 zesilovací vedení s povolenou rekuperací 43
tab 21 - Výpočet stanice Moravičany, 2 zesilovací vedení se zakázanou rekuperací 44
tab 22 - Výpočet stanice Moravičany, 2 zesilovací vedení s povolenou rekuperací 44
tab 23 – Výpočet stanice Moravičany, 1 zesilovací vedení se zakázanou rekuperací 44
tab 24 - Výpočet stanice Moravičany, bez zesilovacího vedení se zakázanou rekuperací 45
tab 25 - Vstupní parametry stanice Huštěnovice bez rekuperace 45
tab 26 - Vstupní parametry stanice Huštěnovice s povolenou rekuperací 45
tab 27 - Výpočet stanice Huštěnovice, 3 zesilovací vedení s rekuperací 46
tab 28 - Výpočet stanice Huštěnovice, 2 zesilovací vedení bez rekuperace 46
tab 29 - Výpočet stanice Huštěnovice, 2 zesilovací vedení bez rekuperace, vše 150 mm^2 46
tab 30 - Výpočet stanice Huštěnovice, 2 zesilovací vedení s rekuperací 47
tab 31 - Výpočet stanice Huštěnovice, 1 zesilovací vedení a bez rekuperace 47
tab 32 - Výpočet stanice Huštěnovice, bez zesilovacího vedení a bez rekuperace 47

tab 33 - Sumarizace výsledků stanice Čerčany, dělič na zhlaví směr Benešov.....48
tab 34 - Sumarizace výsledků stanice Čerčany, dělič na zhlaví směr Stráncice.....48
tab 35 - Sumarizace výsledků stanice Stráncice.....49
tab 36 – Sumarizace výsledků stanice Dobřichovice, dělič směr Chuchle.....50
tab 37 - Sumarizace výsledků stanice Dobřichovice, dělič směr Karlštejn.....50
tab 38 - Sumarizace stanice Polom, bez rekuperace.....51
tab 39 - Sumarizace stanice Polom, s rekuperací.....51
tab 40 – Sumarizace stanice Moravičany bez rekuperace.....53
tab 41 - Sumarizace stanice Moravičany s rekuperací.....53
tab 42 - Sumarizace stanice Huštěnovice bez rekuperace.....54
tab 43 - Sumarizace stanice Huštěnovice s rekuperací.....55
tab 44 - Sumarizace stanice Huštěnovice, rozdílný průřez.....55

Zdroje

[1] DOLEČEK, Radovan a Ondřej ČERNÝ. *Trakční napájecí soustavy*. Univerzita Pardubice, 2015. ISBN 978-80-7395-879-4.

[2] Elektrifikace českých železnic. *OENERGETICE* [online]. [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: http://oenergetice.cz/elektrina/elektrifikace-ceskych-zeleznic/

[3] Infrastructure: Electric traction power. *The Railway Technical Website* [online]. [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: http://www.railway-technical.com/infrastructure/electric-traction-power.html

[4] Foto Kolář Daniel 14.11.2017 Týniště nad Orlicí

[5] *Slovácké strojírny, a. s.: MEP Postřelmov* [online]. [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: http://www.sub.cz/mep-postrelmov/prehled-rychlovypinacu/3000-v-dc.aspx

[6] Úsekový dělič trolejového drátu. *Firove* [online]. [cit. 2017-12-16]. Dostupné z: http://firove.blog.cz/galerie/technika/obrazek/43563520

[7] Úsekový dělič. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-12-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/%C3%9Asekov%C3%BD_d%C4%9Bli%C4%8D

[8] Homogenní vedení. *Fyzikální sekce Matematicko-fyzikální fakulty UK: Katedry fyziky povrchů a plazmatu*[online]. Praha [cit. 2017-12-18]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/vf-elektronika/10_1.html

[9] Návěsti: návěsti speciálního určení. *Lokomotivy* [online]. [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: http://lokomotivy.euweb.cz/n_navesti06.php

[10] HLAVA, Karel. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) drážních zařízení*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004. ISBN 55-708-04.

[11] *Návěstidla pro elektrický provoz ČD: Základní návěsti pro úkony na elektrických hnacích vozidlech a pro práci u elektrických souprav* [online]. [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: http://mujweb.cz/asokol/cd/predpisy/navcd-3.htm

[12] KUPCZYN, Jiří. Návěst pro elektrický provoz "Stáhni sběrač" se světelnou indikací. In: *Railway Builder*[online]. [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: http://www.railvolution.net/czechraildays/2006/seminare/i_8.pdf

[13] Co je to děličník? *Plzeňští strojvůdci: Popisy, rady, návody, pomůcky, zajímavosti* [online]. 2012 [cit. 2017-12-19]. Dostupné z: http://www.strojvedouciplzen.cz/index.php?page=menu&id=76

[14] OURA, Yasu, Yoshifumi MOCHINAGA a Hiroki NAGASAWA. Railway Electric Power Feeding Systems. *Railway Technology Today* [online]. 1998, (3), 11 [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: http://www.jrtr.net/jrtr16/pdf/f48_technology.pdf

[15] MINOIA, Alberto. *Parte II: Impianti fissi di trazione elettrica* [online]. Universita degli Studi di Pavia [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: http://www-3.unipv.it/electric/cad/slide_TE/TE_Lezione_3.pdf

[16] Application of Battery Auxiliary Substations in 3kV Railway Systems. *AEIT* [online]. [cit. 2017-12-25]. Dostupné z: http://www.aeit.it/man/CA2015/atti/sessione_C1/C1_05.pdf

[17] SZELAG, Adam a Leszek MIERZEJEWSKI. Systemy zasilania linii kolejowych duzych predkosci jazdy. *Tts: Technika* [online]. 2005, 5.6., , 80-90 [cit. 2017-12-26].

[18] Senales e instalaciones de seguridad. *Adif* [online]. [cit. 2017-12-26]. Dostupné z: http://www.adif.es/es_ES/conoceradif/doc/TITULO_II.pdf

[19] DOLEČEK, Radovan a Karel HLAVA. *Napájení elektrických drah*. 2012. Studijní opora. Univerzita Pardubice.

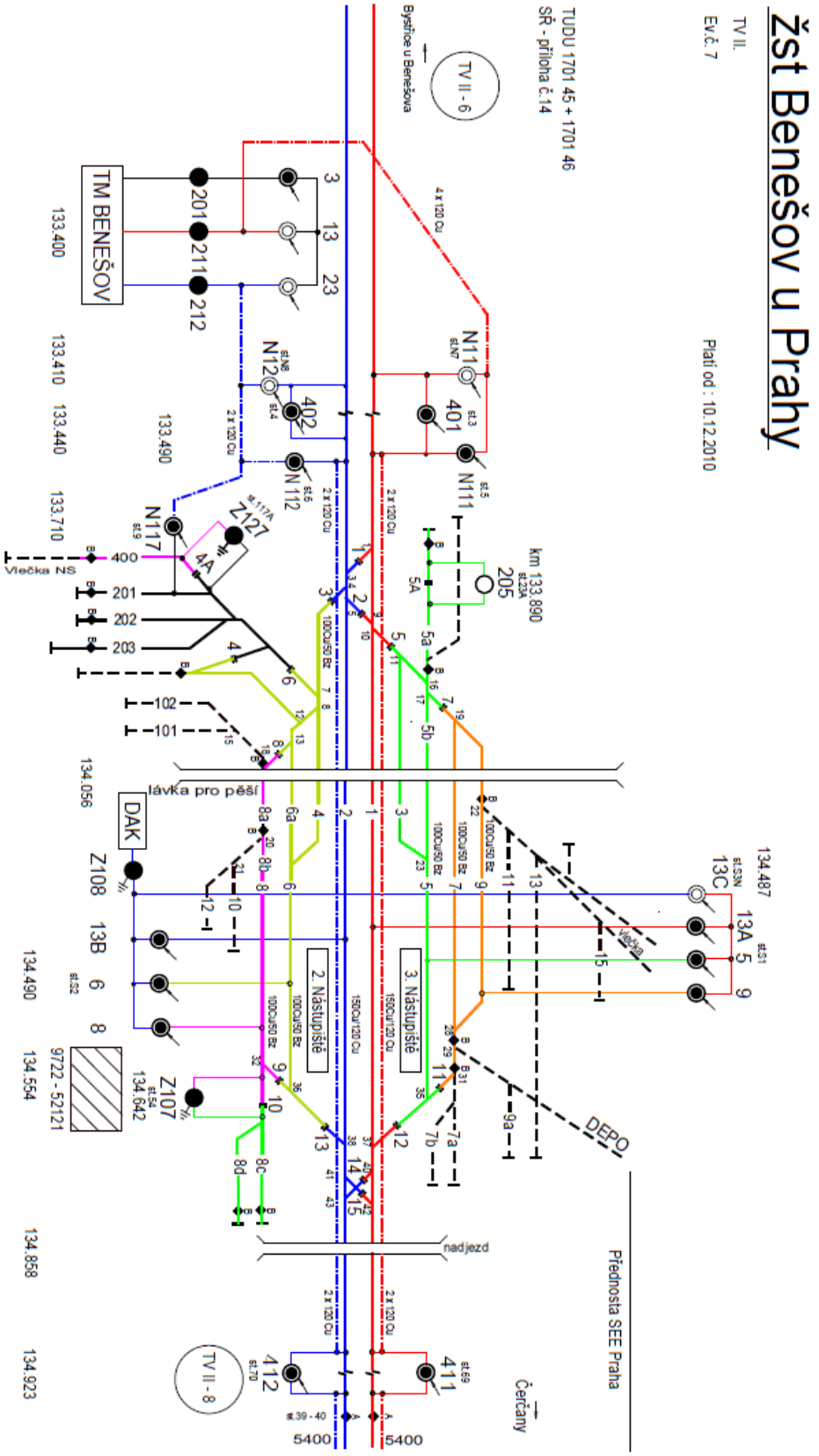
[20] *Testové otázky: Část osmá, devátá (čl. 3340 - 3600): Nápověda ot. 427* [online]. [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: http://adpcz.org/testove-otazky/d1/test_d1_7.html

[21] *Metodika umísťování návěsti Úsekový dělič na trakční napájecí soustavě 3 kV DC*. Dlážděná 1003/7 Praha 1: SŽDC.

[22] *Interní data SŽDC*. Praha.

[23] Trocha teorie o trakčním vedení. *MojeTT* [online]. 2008, 09/2016 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: http://www.mojett.cz/38608

Příloha A


žst Benešov u Prahy
TV II.
Ev.č. 7
Platí od : 10.12.2010
TUDU 1701 45 + 1701 46
SŘ - příloha č.14
Bystřice u Benešova
TV II - 6
TM BENEŠOV
Vlečka NS
lávka pro pěší
DAK
2. Nástupiště
3. Nástupiště
DEPO
nadjezd
Přednosta SEE Praha
Čerčany
TV II - 8
km 133.890
133.400
133.410
133.440
133.490
133.710
134.056
134.490
134.554
134.858
134.923
134.487
9722 - 52121

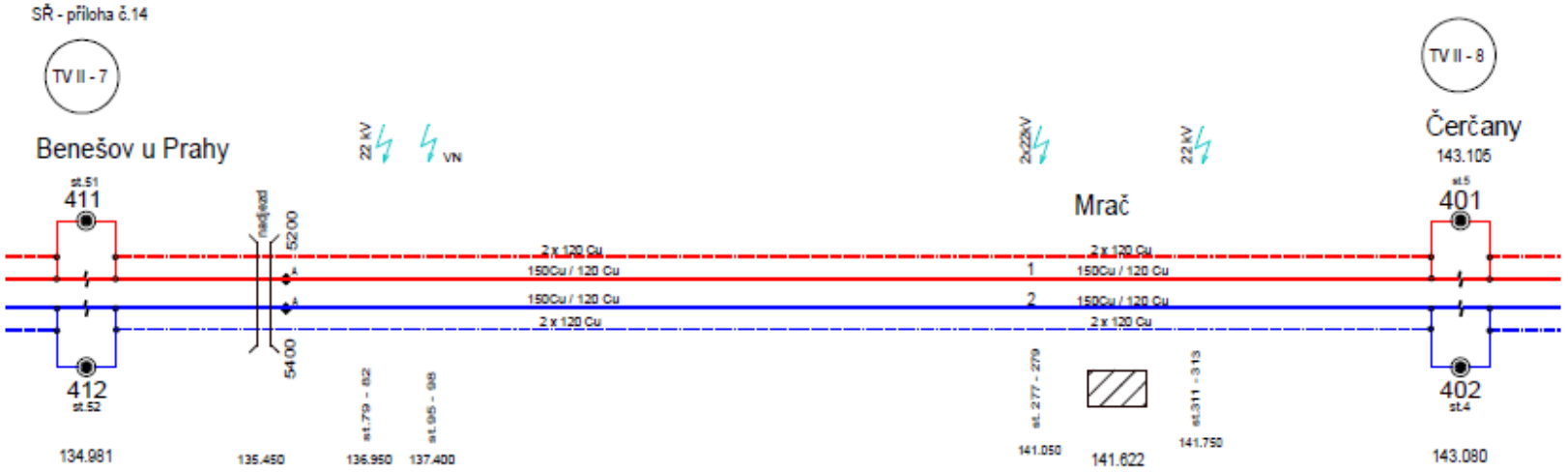
trať Benešov - Čerčany

TV II.
Ev.č.7A

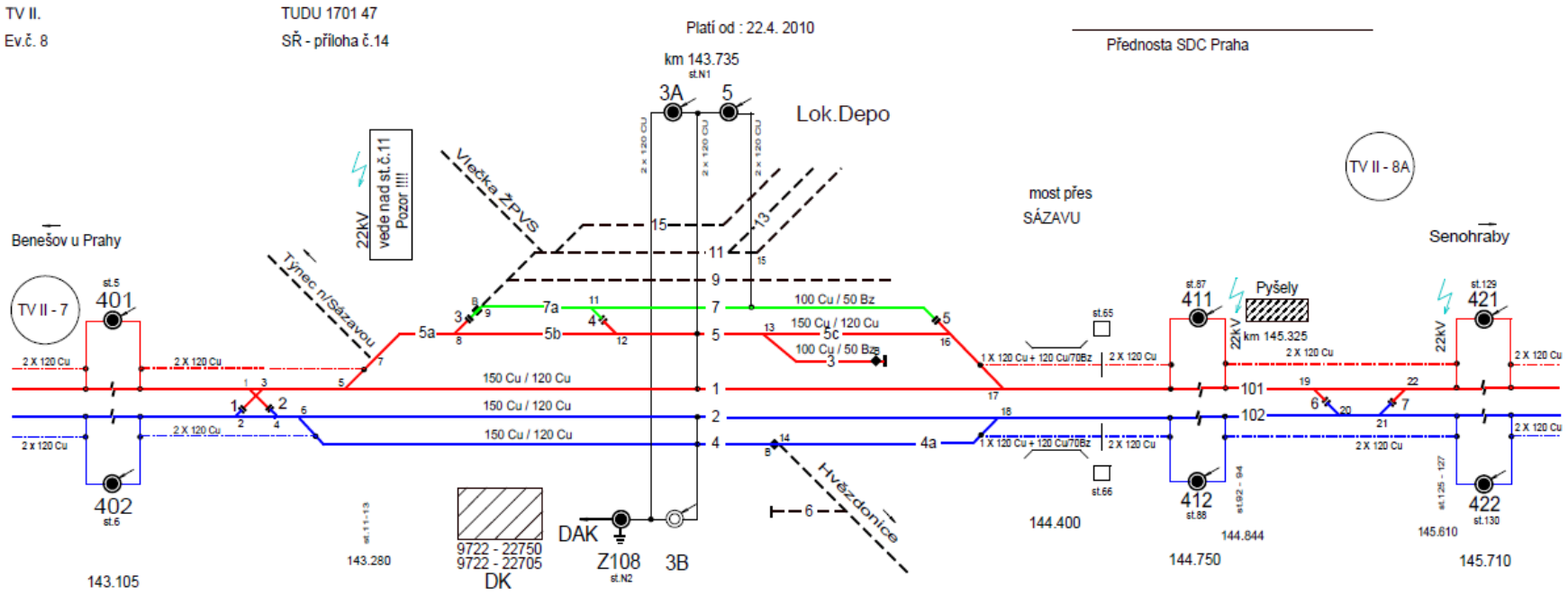
Platí od : 12.8. 2008

Přednosta SEE Praha

TUDU 1701 46
SŘ - příloha č.14



žst Čerčany


TV II.
Ev.č. 8
TUDU 1701 47
SŘ - příloha č.14
Platí od : 22.4. 2010
Přednosta SDC Praha
km 143.735
st.N1
3A
5
Lok.Depo
most přes SÁZAVU
TV II - 8A
Benešov u Prahy
Týnec n/Sázavou
Senohraby
22kV vede nad st.č.11 Pozor !!!!
Vlečka ZPVS
TV II - 7
st.5
401
402
st.6
2 X 120 Cu
2 x 120 Cu
150 Cu / 120 Cu
100 Cu / 50 Bz
1 X 120 Cu + 120 Cu/70Bz
st.65
st.66
st.67
411
412
st.88
Pyšely
km 145.325
st.129
421
422
st.130
DAK
Z108
st.N2
3B
DK
9722 - 22750
9722 - 22705
Hvězdonice
143.105
143.280
144.400
144.750
144.844
145.610
145.710

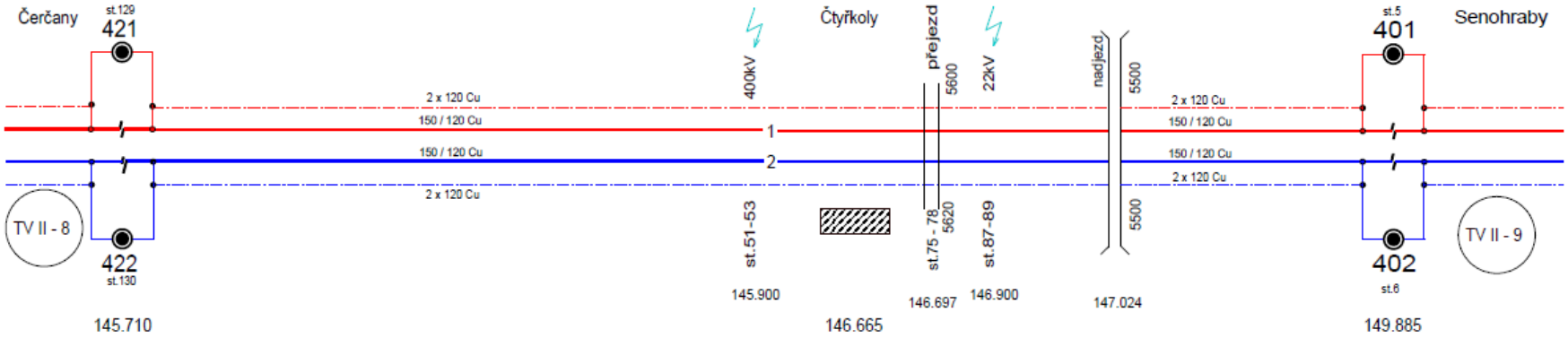
Čerčany-Senohraby

TV II.
Ev.č. 8A

TUDU 1701 48
SŘ - příloha č.14

Platí od : 4.5.2010

Přednosta SDC SEE PrahaPraha



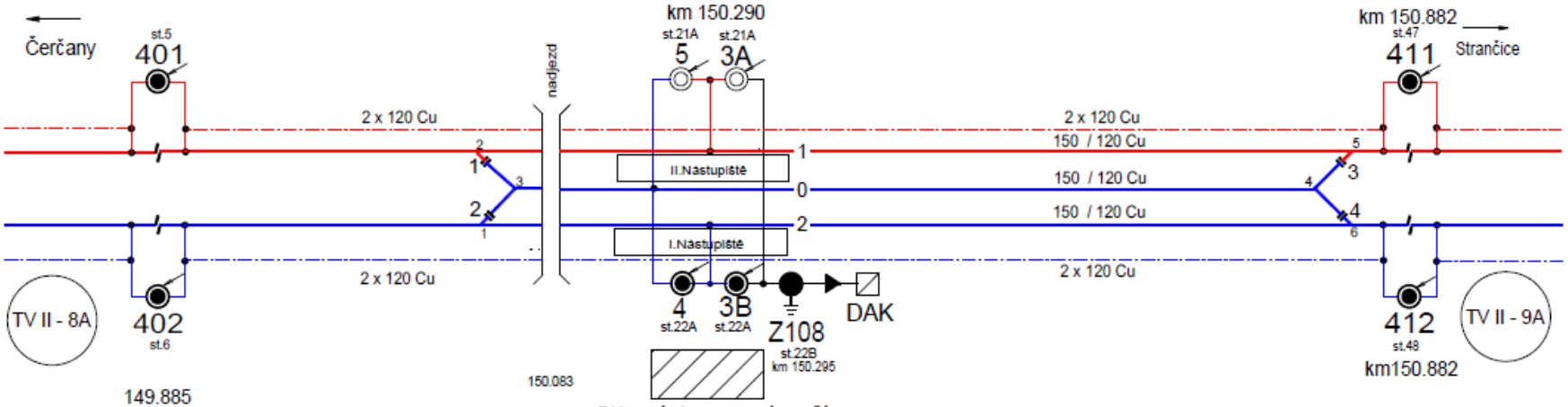
žst Senohraby

TV II.
Ev.č. 9

TUDU 1701 49 + 1701 50
SŘ - příloha č.14

Platí od : 4.6.2012

Přednosta SEE Praha



DK není obsazena výpravčím
obsluhuje výpravčí žst.Čerčany
9722 - 22750,22705

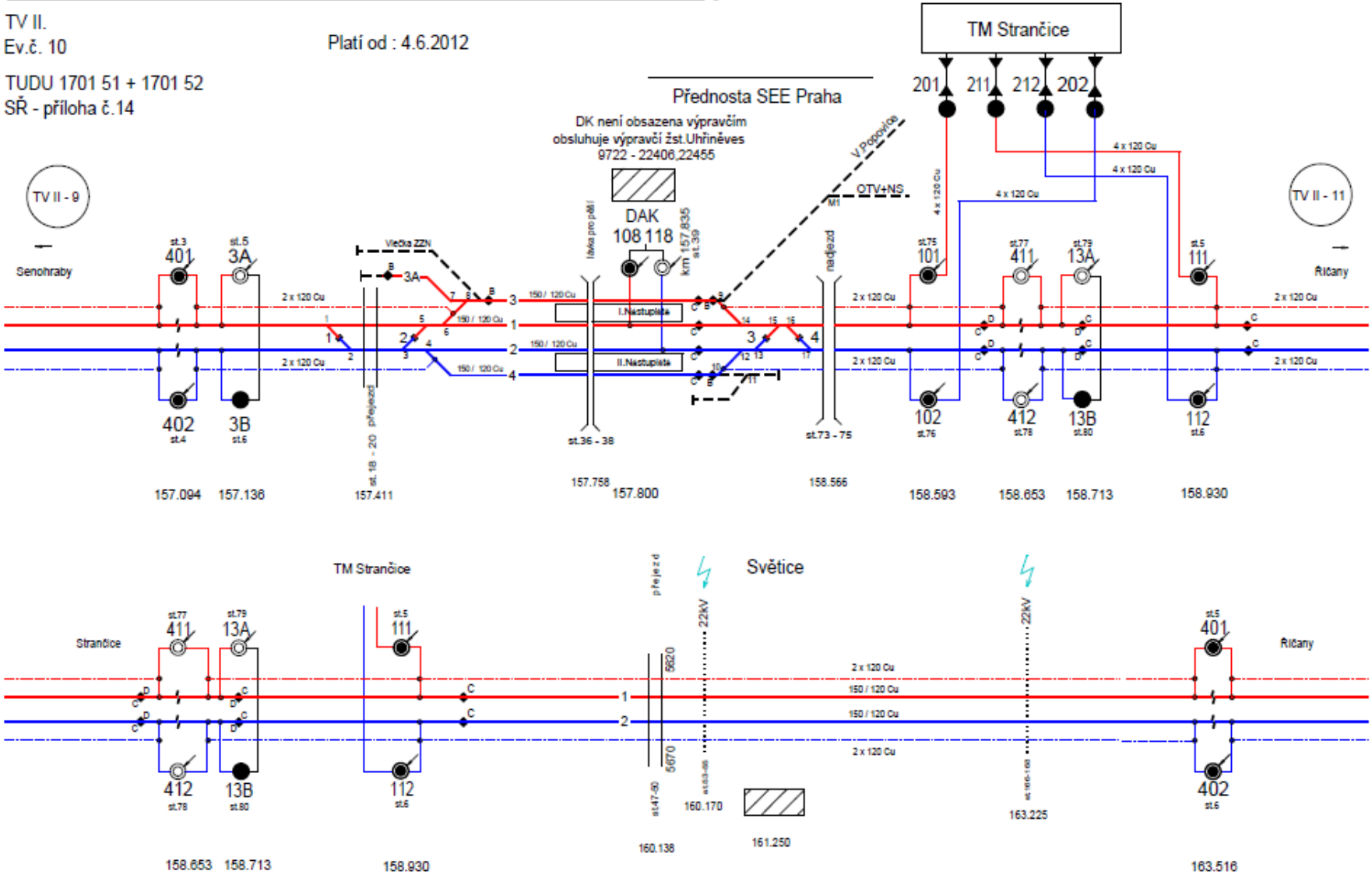
150.252

žst Strančice + trať Strančice - Říčany

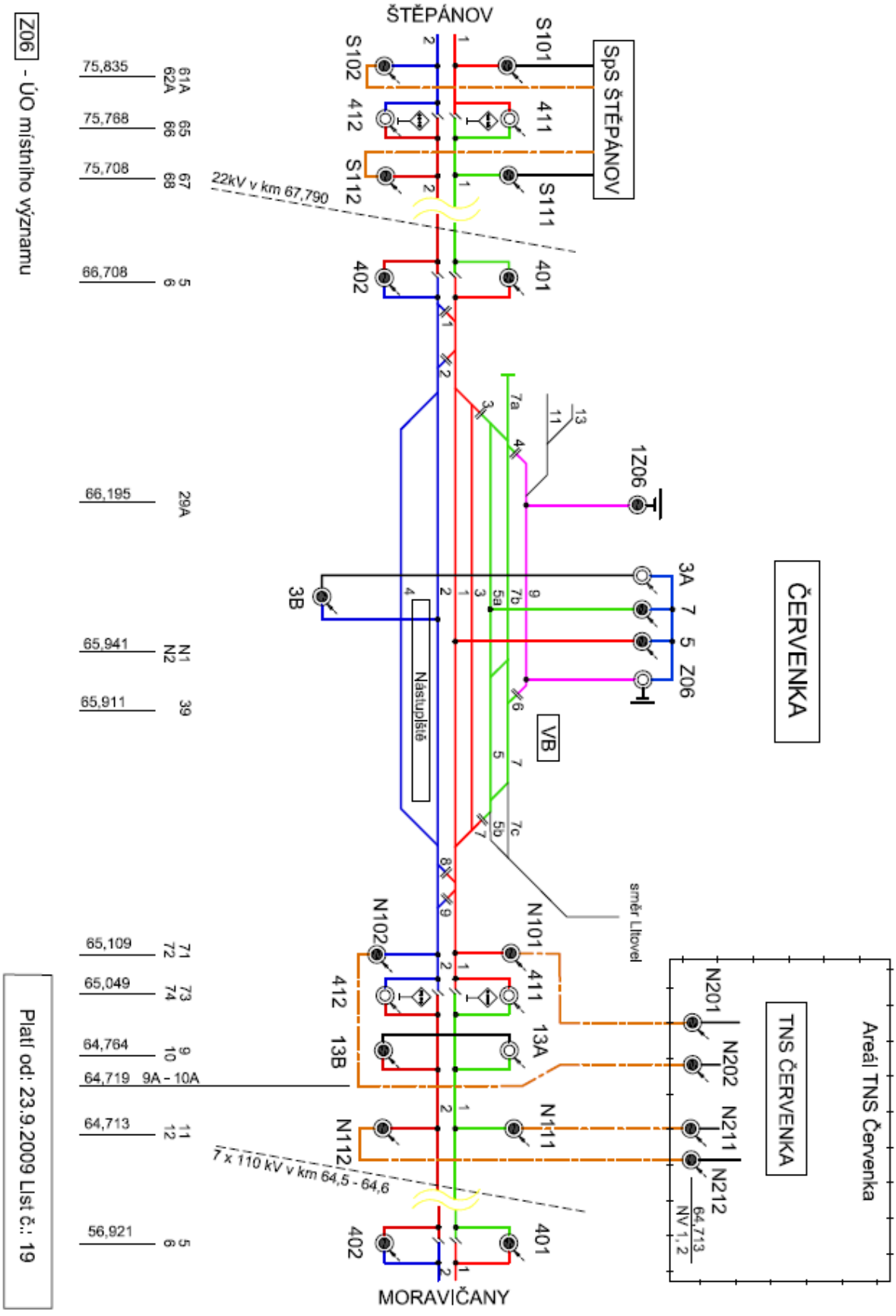
TV II.
Ev.č. 10

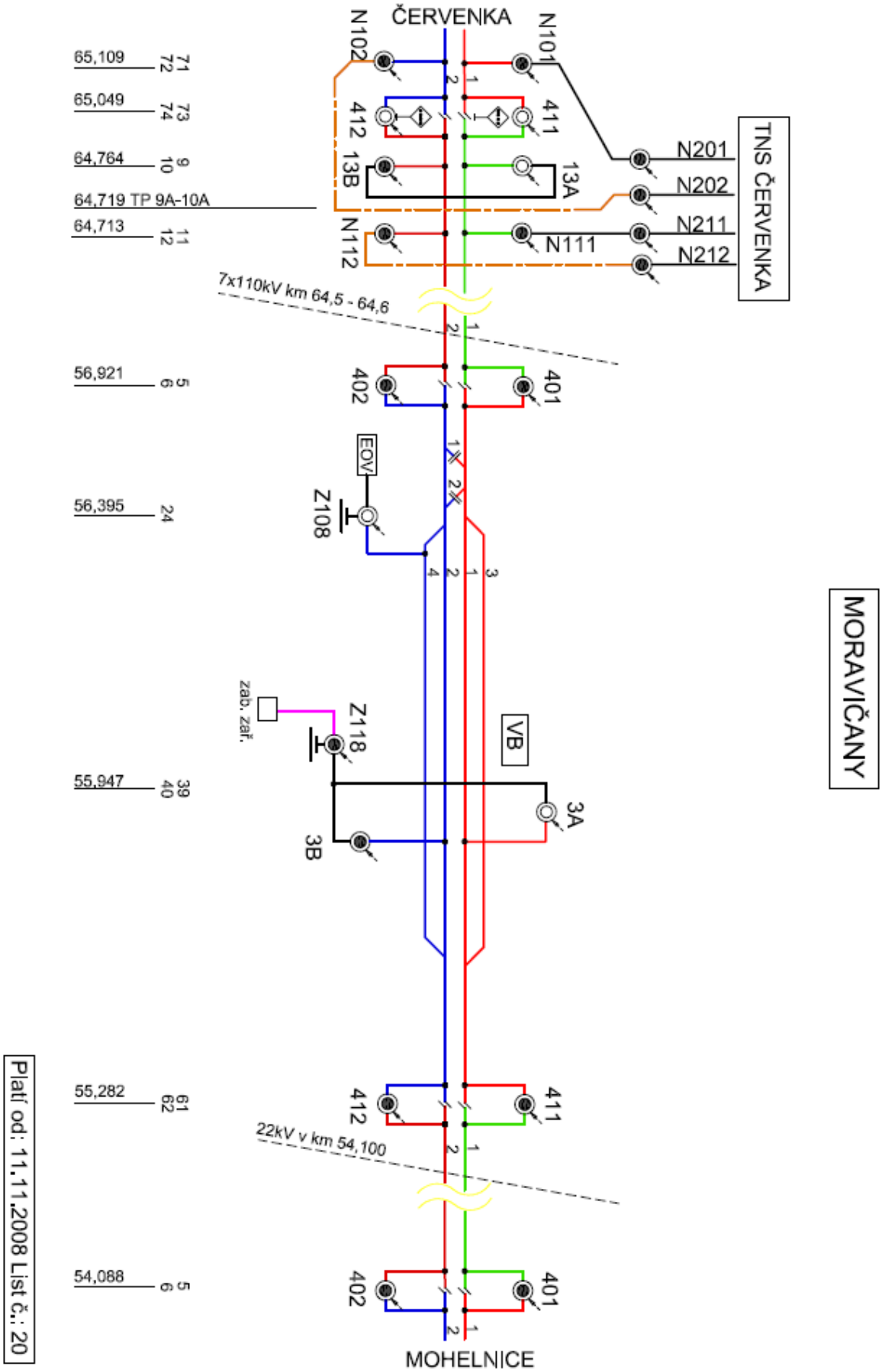
Platí od : 4.6.2012

TUDU 1701 51 + 1701 52
SŘ - příloha č.14

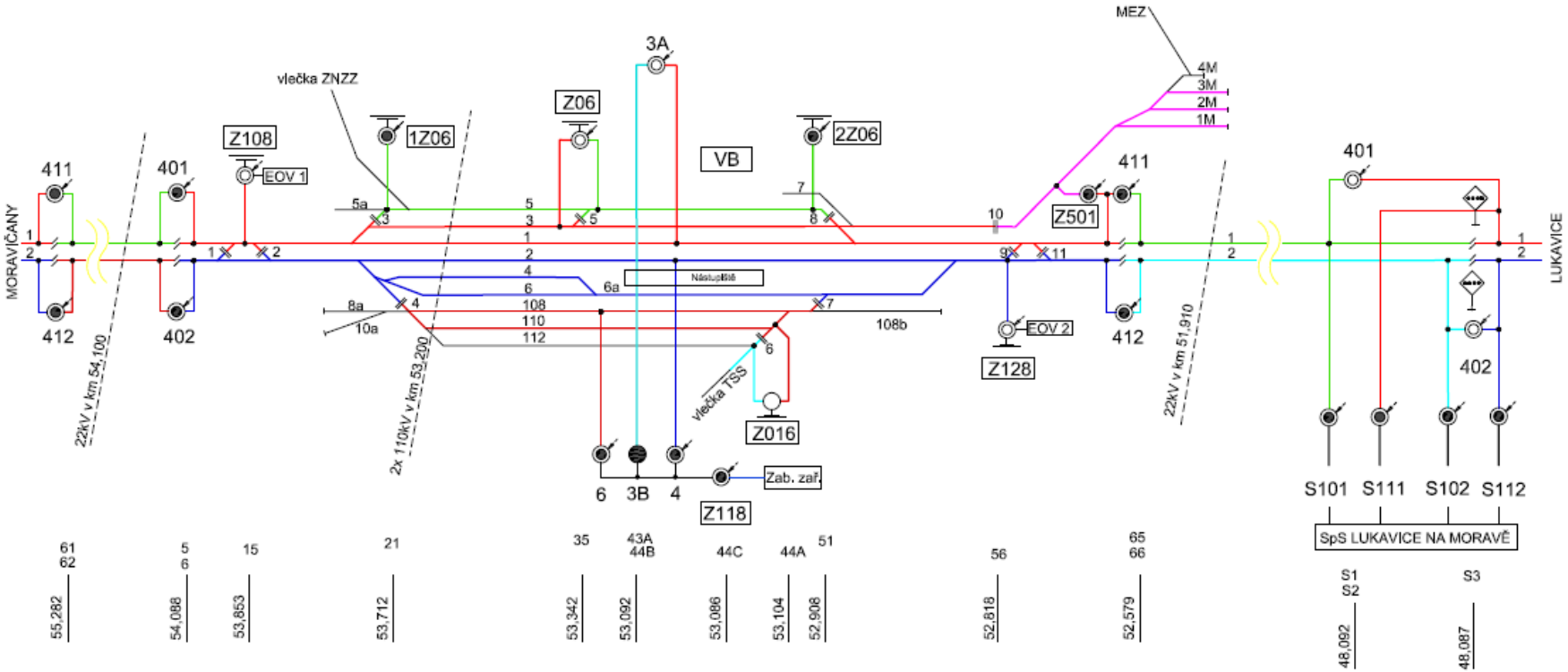


Příloha B


Z06 - ÚO místního významu
ŠTĚPÁNOV
SpS ŠTĚPÁNOV
S101
S102
S111
S112
411
412
401
402
22kV v km 67,790
1Z06
3A
3B
Z06
VB
Nástupiště
ČERVENKA
směr Litovel
N101
N102
N111
N112
13A
13B
TNS ČERVENKA
Areál TNS Červenka
N201
N202
N211
N212
64,713 NV 1,2
7 x 110 kV v km 64,5 - 64,6
MORAVIČANY
75,835
75,768
75,708
66,708
66,195
65,941
65,911
65,109
65,049
64,764
64,719 9A - 10A
64,713
56,921
Platí od: 23.9.2009 List č.: 19


ČERVENKA
N102
N101
65,109
71
72
65,049
73
74
412
411
64,764
9
10
13B
13A
64,719 TP 9A-10A
64,713
11
12
N112
N111
N201
N202
N211
N212
TNS ČERVENKA
7x110kV km 64,5 - 64,6
56,921
5
6
402
401
EOV
56,395
24
Z108
zab. zař.
Z118
VB
55,947
39
40
3A
3B
MORAVIČANY
55,282
61
62
412
411
22kV v km 54,100
54,088
5
6
402
401
MOHELNICE
Platí od: 11.11.2008 List č.: 20

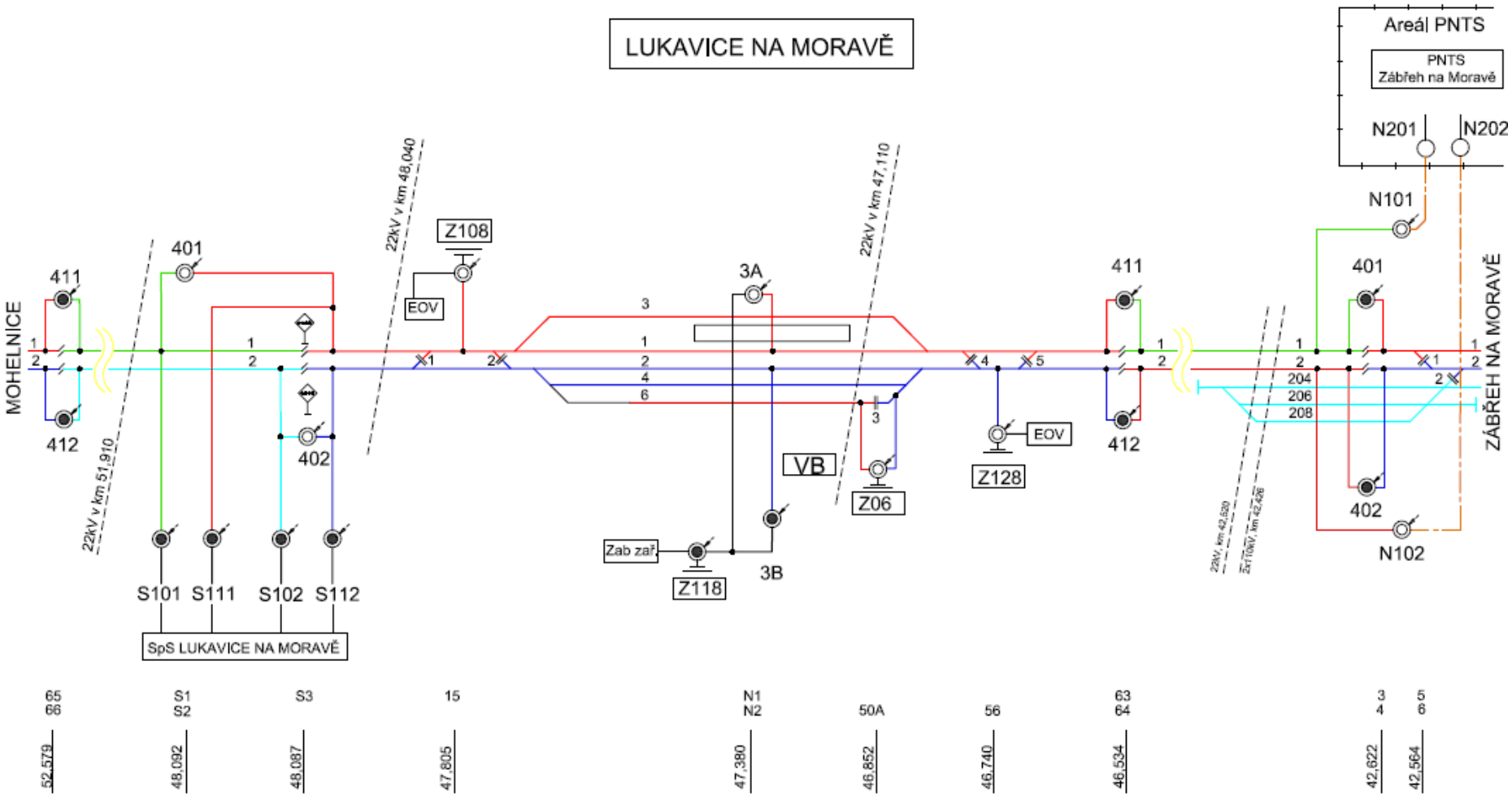
MOHELNICE



Z06 1Z06 2Z06 Z016

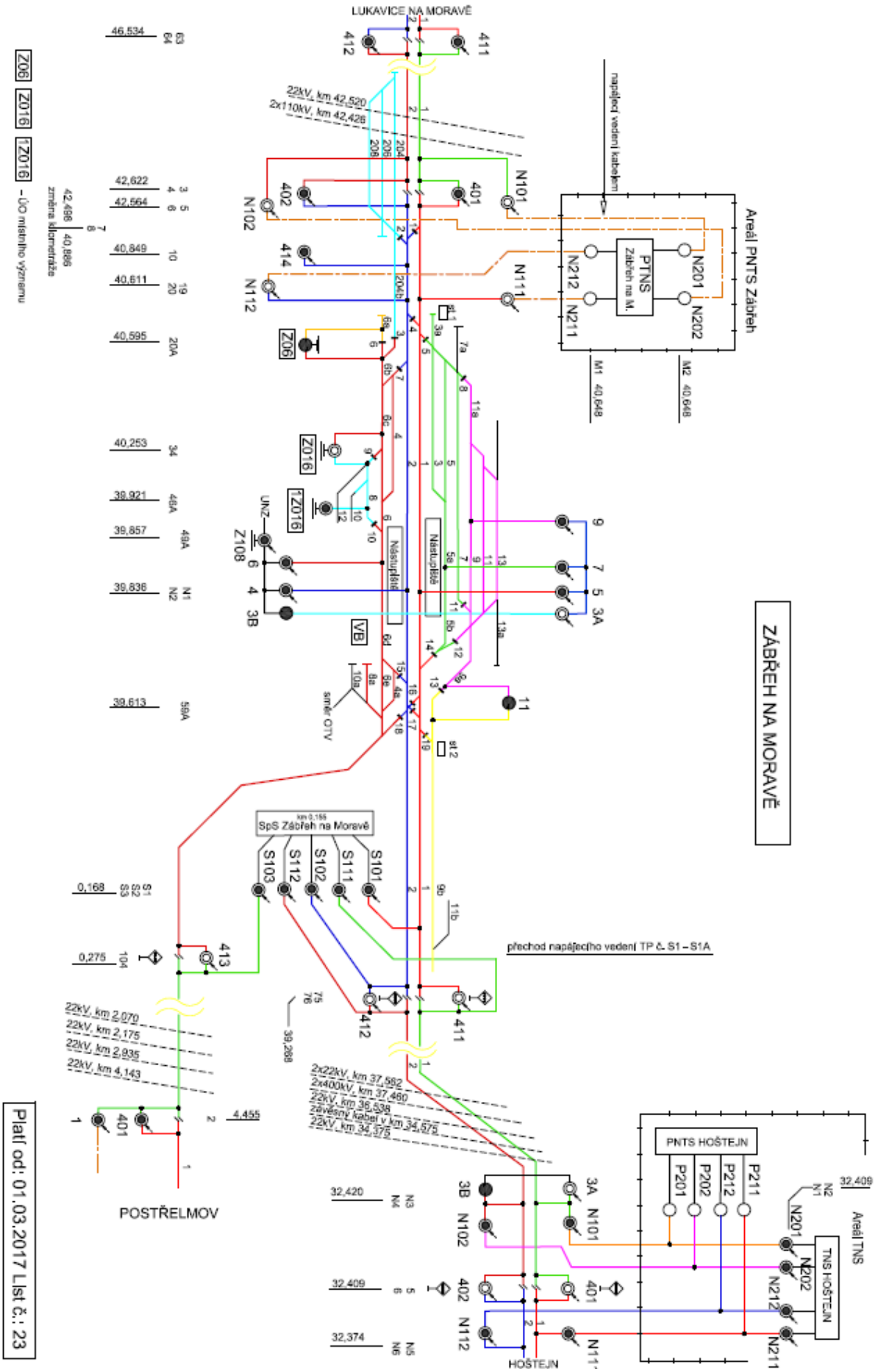
ÚO místního významu

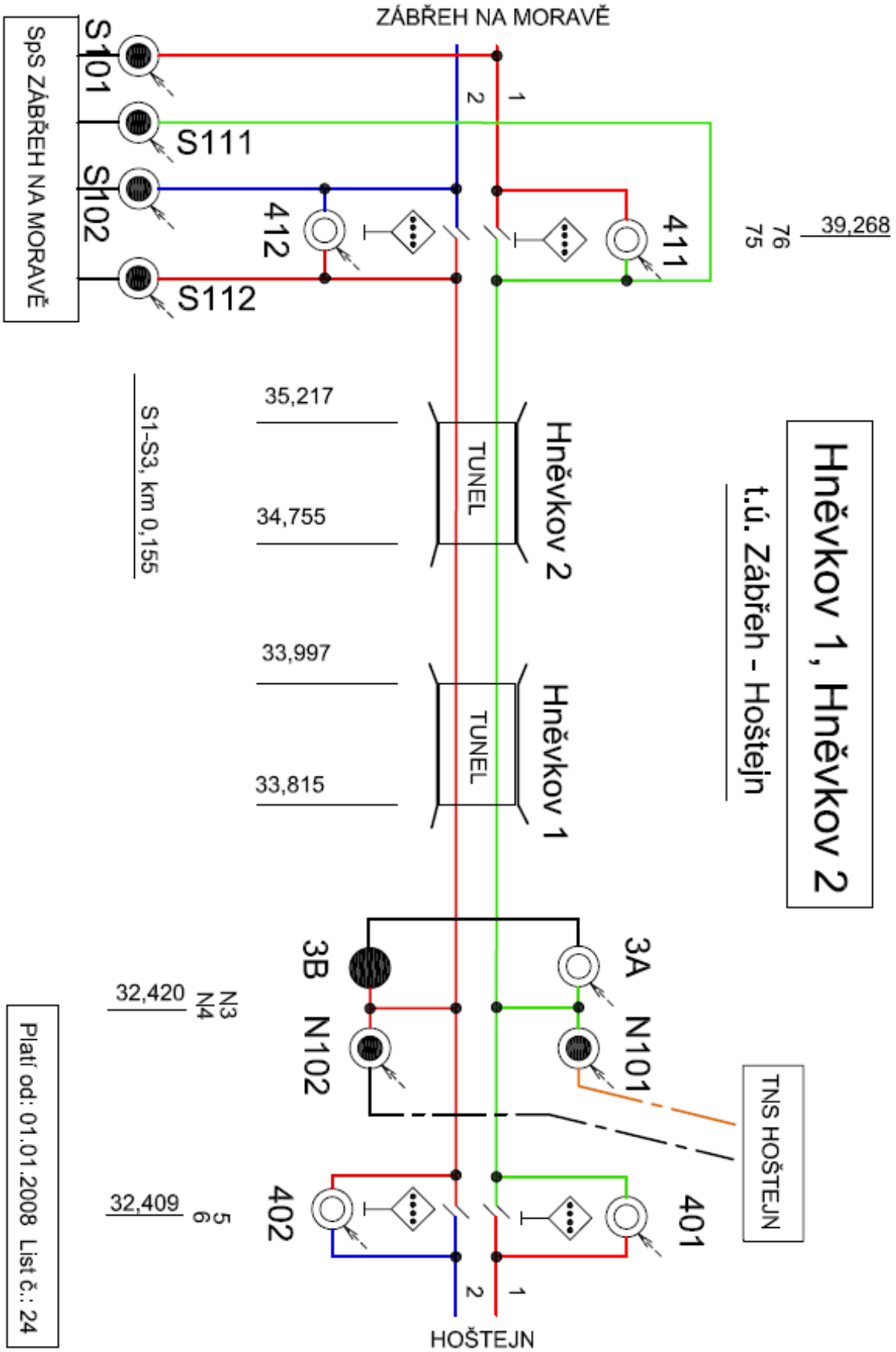
Platí od: 25.03.2013 List č.: 21

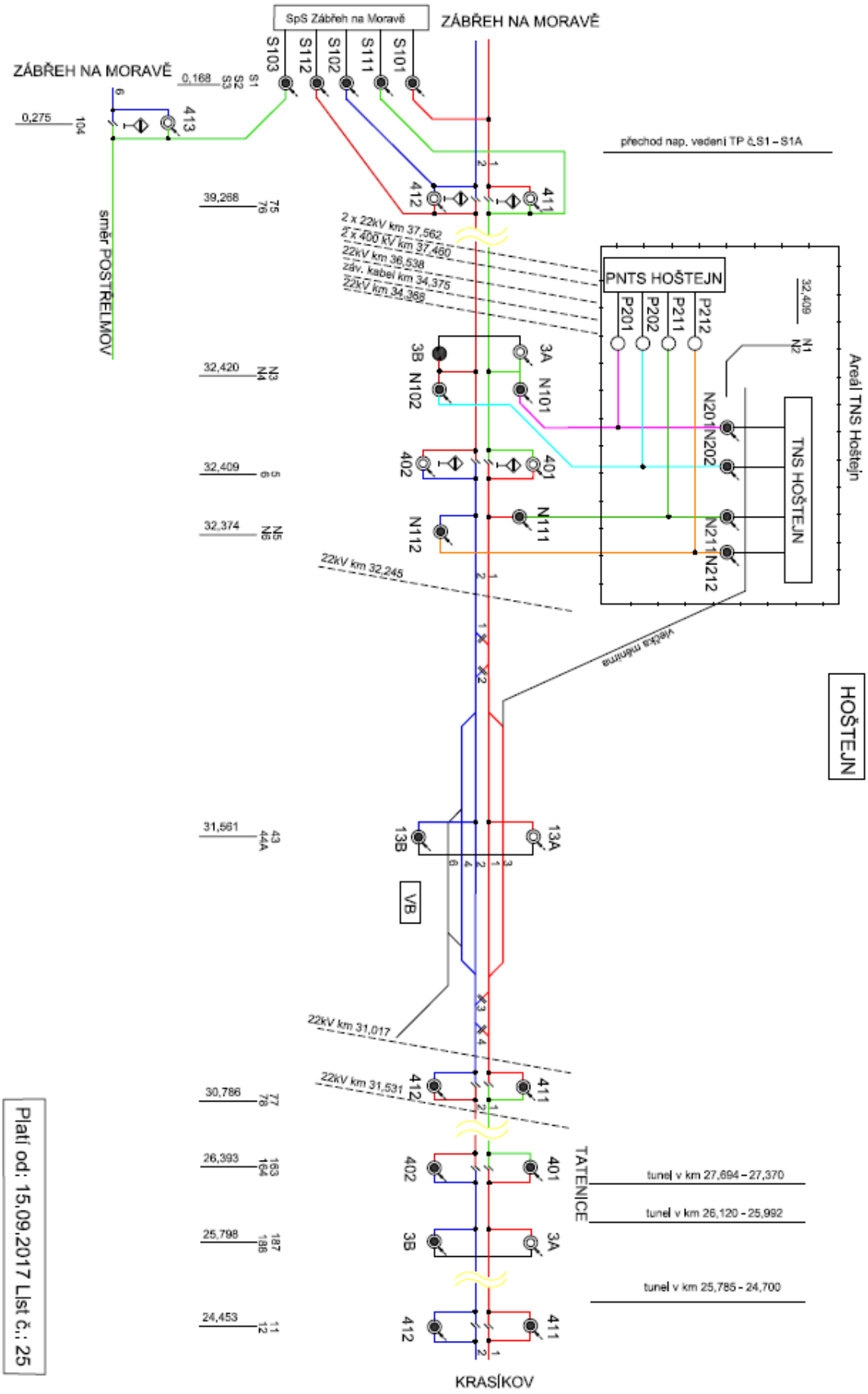


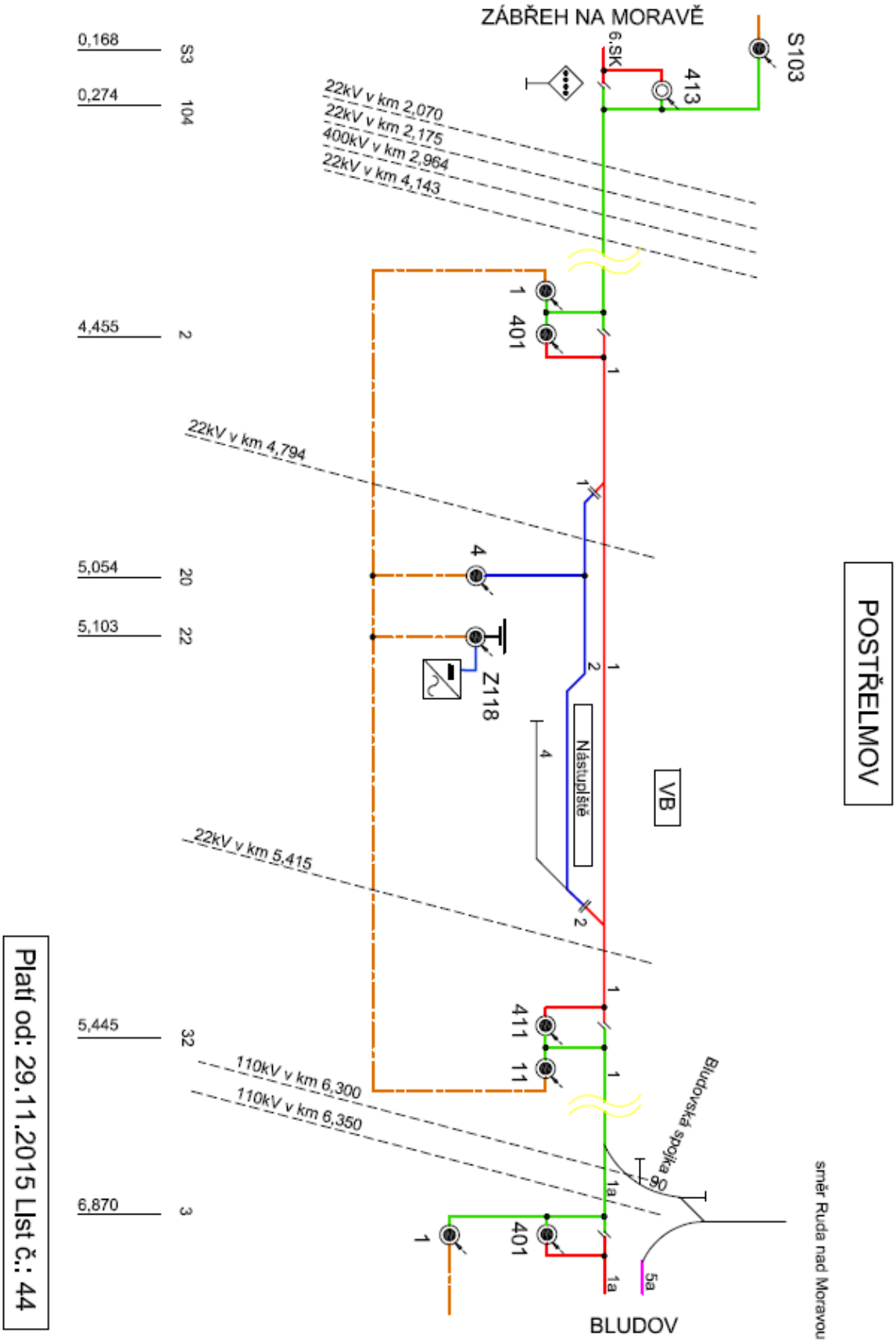
Z06 – ÚO místního významu

Platí od: 01.03.2017 List č.: 22

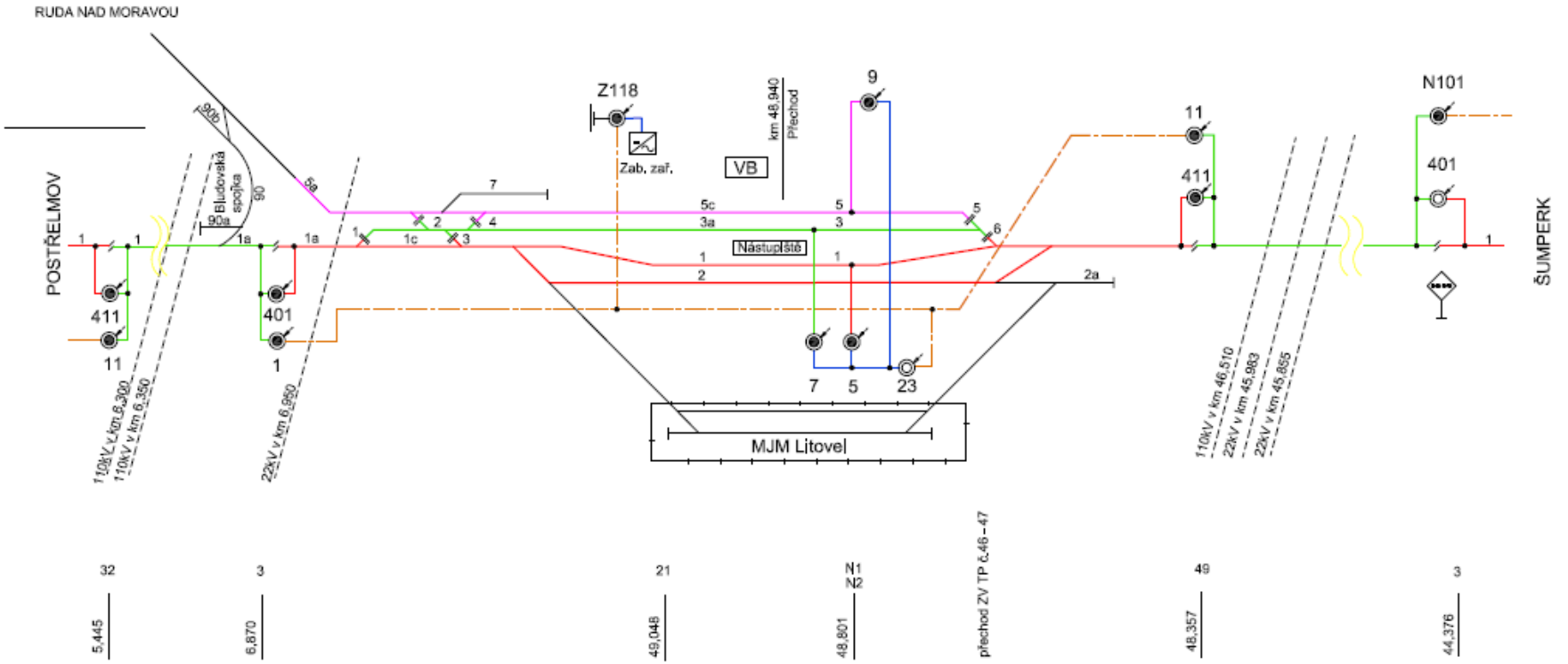

ZÁBŘEH NA MORAVĚ
LUKAVICE NA MORAVĚ
Areál PNTS Zábřeh
PTNS Zábřeh na M.
napájecí vedení kabelem
SpS Zábřeh na Moravě
přechod napájecího vedení TP č. S1 – S1A
POSTŘELMOV
HOŠTEJN
PNTS HOŠTEJN
TNS HOŠTEJN
Areál TNS
Nástupiště
směr OTV
Z06
Z016
1Z016
– ÚO místního významu
Platí od: 01.03.2017 List č.: 23


Hněvkov 1, Hněvkov 2
t.ú. Zábřeh - Hoštejn
ZÁBŘEH NA MORAVĚ
SpS ZÁBŘEH NA MORAVĚ
S101
S111
S102
S112
412
411
76
75
39,268
35,217
34,755
TUNEL
Hněvkov 2
33,997
33,815
TUNEL
Hněvkov 1
S1–S3, km 0,155
3B N102
3A N101
32,420
N3
N4
TNS HOŠTEJN
32,409
5
6
402
401
HOŠTEJN
Platí od: 01.01.2008 List č.: 24


SpS Zábřeh na Moravě
ZÁBŘEH NA MORAVĚ
ZÁBŘEH NA MORAVĚ
S103
S112
S102
S111
S101
S1
S2
S3
0,168
0,275
104
413
směr POSTŘELMOV
přechod nap. vedení TP č.S1 – S1A
39,268
75
76
412
411
2 x 22kV km 37,562
2 x 400 kV km 37,460
22kV km 36,538
záv. kabel km 34,375
22kV km 34,368
PNTS HOŠTEJN
P201
P202
P211
P212
32,409
N1
N2
Areál TNS Hoštejn
TNS HOŠTEJN
N201
N202
N211
N212
32,420
N3
N4
3B
N102
3A
N101
32,409
5
6
402
401
32,374
N5
N6
N112
N111
22kV km 32,245
Velká nádrž
HOŠTEJN
X2
31,561
43
44A
13B
13A
VB
X3
X4
22kV km 31,017
22kV km 31,531
30,786
77
78
412
411
26,393
163
164
402
401
TATENICE
tunel v km 27,694 – 27,370
tunel v km 26,120 – 25,992
25,798
187
186
3B
3A
tunel v km 25,785 – 24,700
24,453
11
12
412
411
KRASÍKOV
Platí od: 15.09.2017 List č.: 25

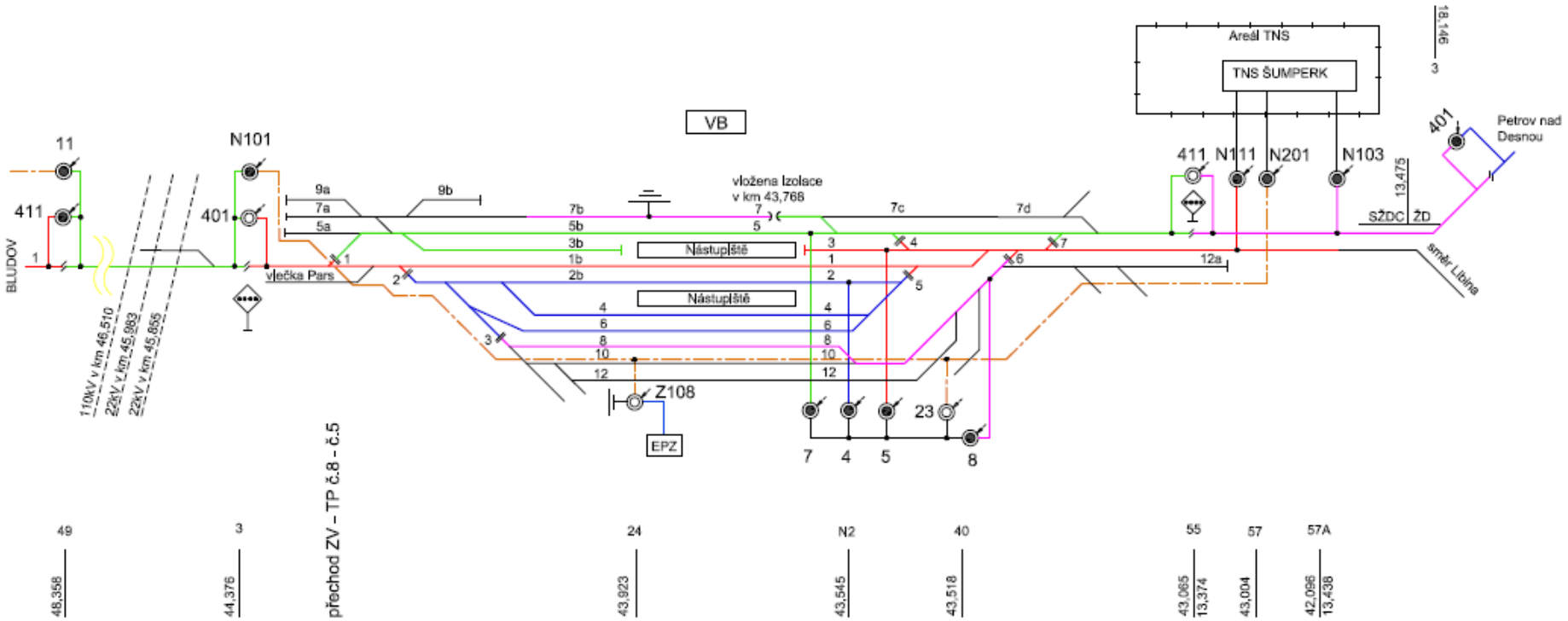

POSTŘELMOV
ZÁBŘEH NA MORAVĚ
S103
6.SK
413
22kV v km 2,070
22kV v km 2,175
400kV v km 2,964
22kV v km 4,143
0,168
S3
0,274
104
4,455
2
401
22kV v km 4,794
5,054
20
5,103
22
Z118
Nástupiště
VB
22kV v km 5,415
5,445
32
411
11
110kV v km 6,300
110kV v km 6,350
Blučinská spojka
90
6,870
3
401
5a
směr Ruda nad Moravou
BLUDOV
Platí od: 29.11.2015 List č.: 44

BLUDOV



Platí od: 29.11.2015 List č.: 45

ŠUMPERK



Platí od: 29.11.2015 List č. 46

Příloha C

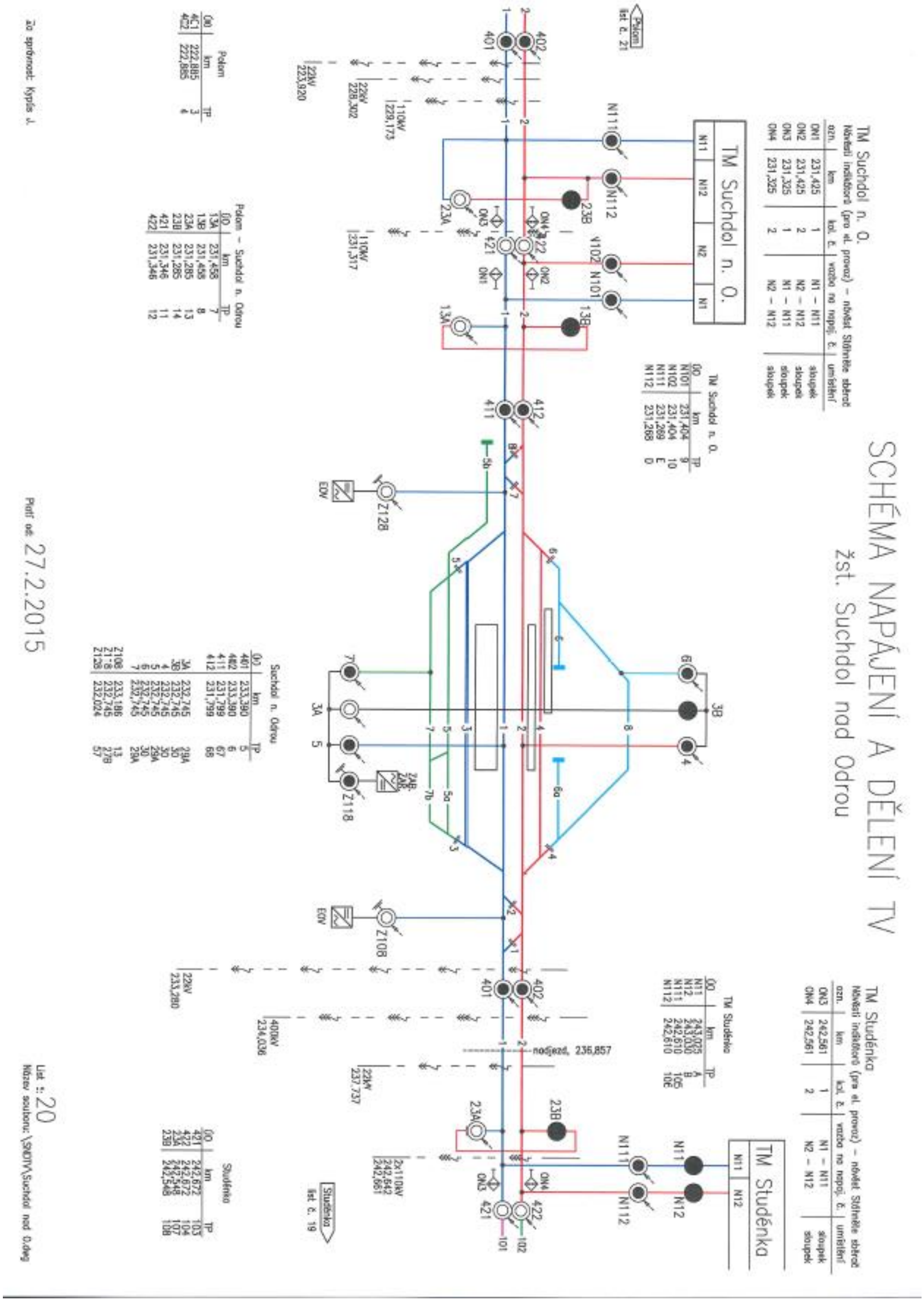
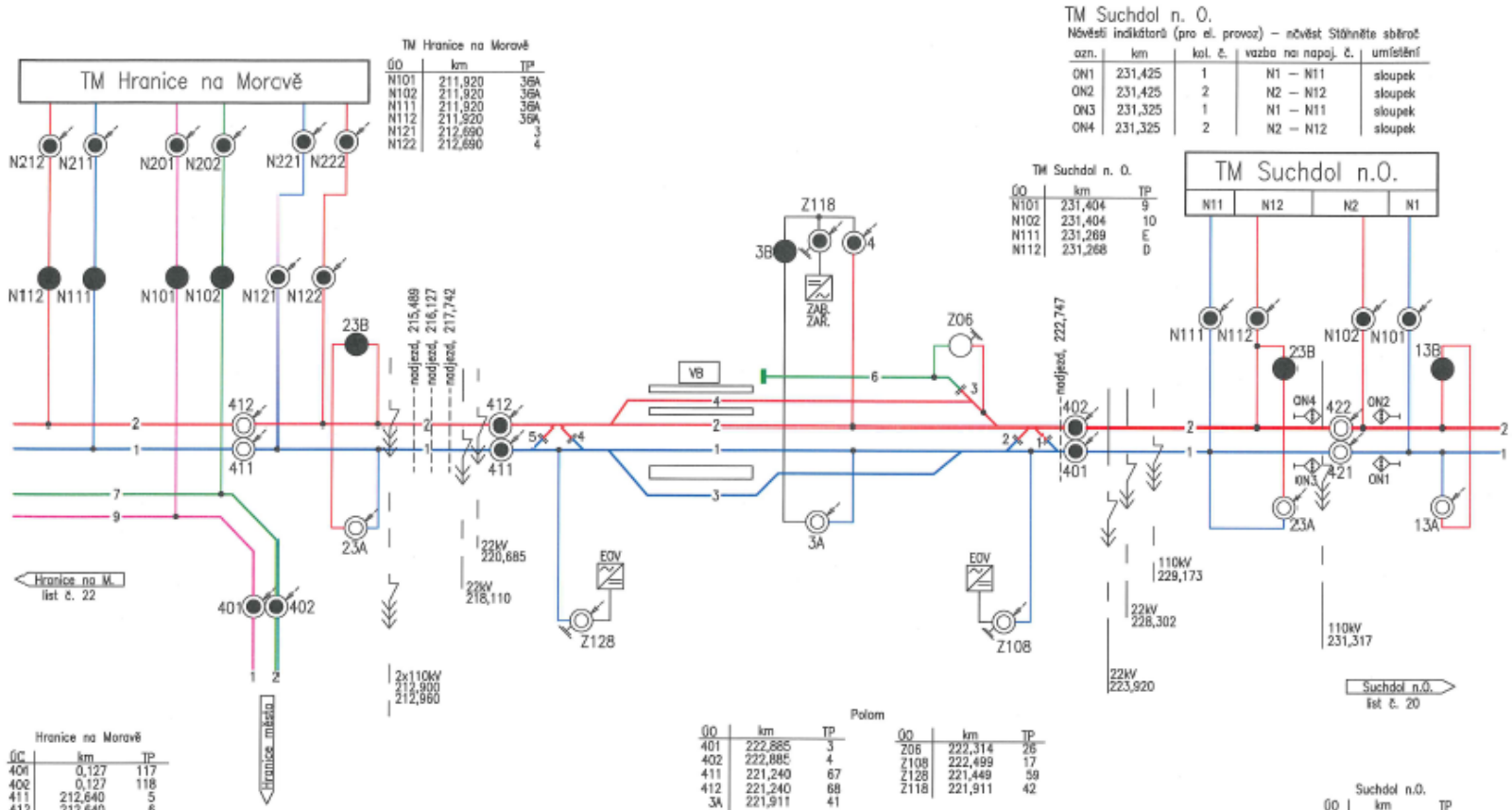


SCHÉMA NAPÁJENÍ A DĚLENÍ TV
žst. Suchdol nad Odrou
TM Suchdol n. O.
TM Studénka
Platí od: 27.2.2015
List č: 20

SCHÉMA NAPÁJENÍ A DĚLENÍ TV
žst. Polom



TM Hranice na Moravě

ÚO	km	TP
N101	211,920	36A
N102	211,920	36A
N111	211,920	36A
N112	211,920	36A
N121	212,690	3
N122	212,690	4

TM Suchdol n. O.

Návěstí indikátorů (pro el. provoz) – nčvěst Stáhněte sběrač

ozn.	km	kol. č.	vazba na napoj. č.	umístění
ON1	231,425	1	N1 – N11	sloupek
ON2	231,425	2	N2 – N12	sloupek
ON3	231,325	1	N1 – N11	sloupek
ON4	231,325	2	N2 – N12	sloupek

TM Suchdol n. O.

ÚO	km	TP
N101	231,404	9
N102	231,404	10
N111	231,269	E
N112	231,268	D

Hranice na Moravě

ÚO	km	TP
401	0,127	117
402	0,127	118
411	212,640	5
412	212,640	6
23A	212,745	1
23B	212,745	2

Polom

ÚO	km	TP
401	222,885	3
402	222,885	4
411	221,240	67
412	221,240	68
3A	221,911	41
3B	221,91[illegible]	42
4	221,91[illegible]	42

ÚO	km	TP
Z06	222,314	26
Z108	222,499	17
Z128	221,449	59
Z118	221,911	42

Suchdol n.O.

ÚO	km	TP
421	231,346	11
422	231,346	12
13A	231,458	7
13B	231,458	8
23A	231,285	13
23B	231,285	14

Za správnost: Kypús J.

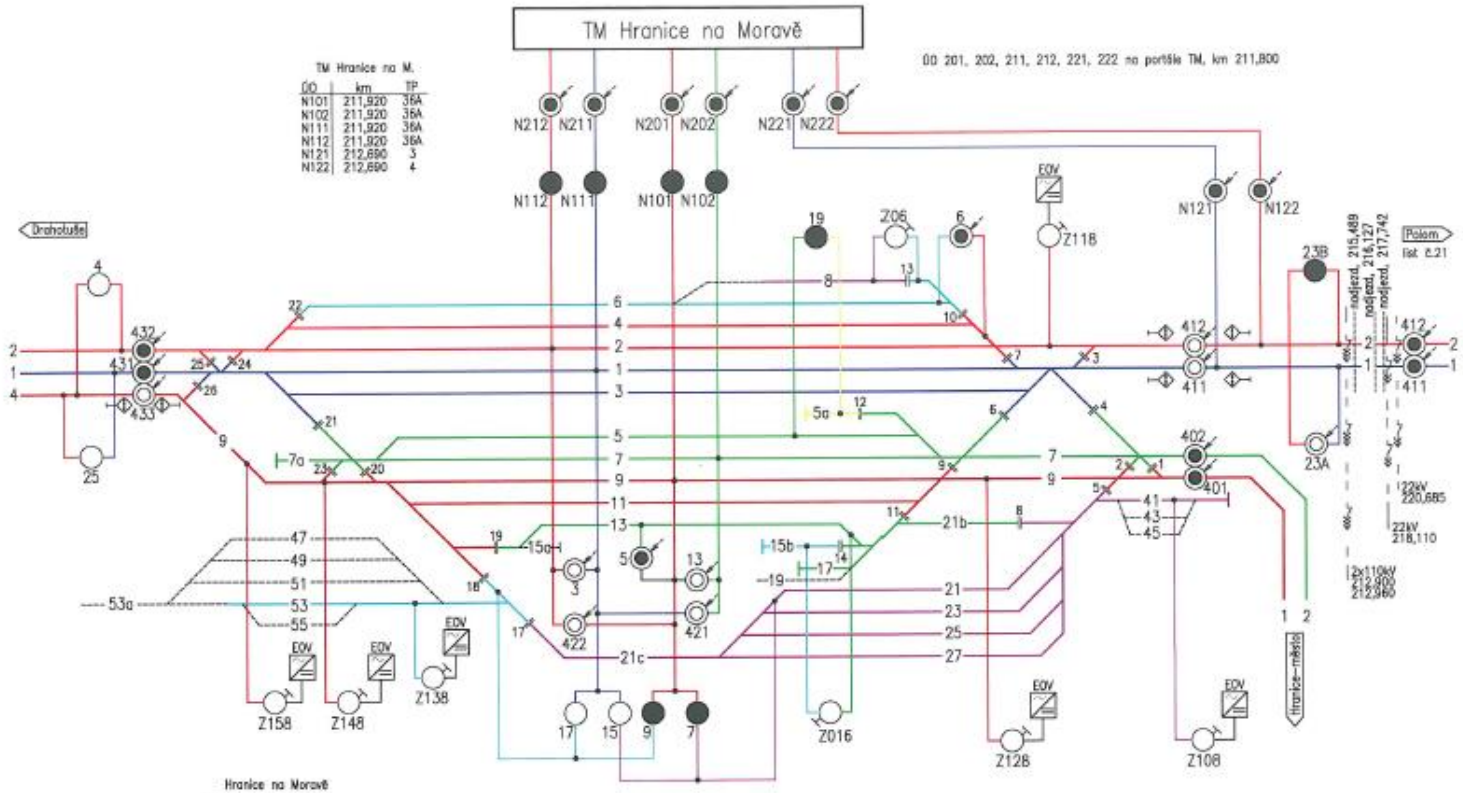
Platí od: 27.2.2015

List č: 21

Název souboru: \SNDTV\Polom.dwg

SCHÉMA NAPÁJENÍ A DĚLENÍ TV

žst. Hranice na Moravě



TM Hranice na M.

OD	km	TP
N101	211,920	36A
N102	211,920	36A
N111	211,920	36A
N112	211,920	36A
N121	212,690	3
N122	212,690	4

Hranice na Moravě

OD	km	TP
401	0,127	117
402	0,127	118
411	212,640	5
412	212,640	6
421	211,920	35D–35E
422	211,920	35D–35E
431	211,200	63
432	211,240	62
433	211,145	184
3	221,920	35D–35E
13	221,920	35D–35E
23A	212,745	1
23B	212,745	2

Hranice na Moravě

OD	km	TP
4	211,150	66
5	211,920	35D–35E
6	212,315	22
7	211,920	148A
9	211,920	148A
15	211,920	148A
17	211,920	148A
19	212,012	31E
25	211,150	65

OD	km	TP
Z06	212,154	28
Z016	212,022	33B
Z108	212,540	9
Z118	212,425	16
Z128	211,345	19
Z138	211,545	165
Z148	211,319	55
Z158	211,310	59

Polom

OD	km	TP
411	221,240	67
412	221,240	68

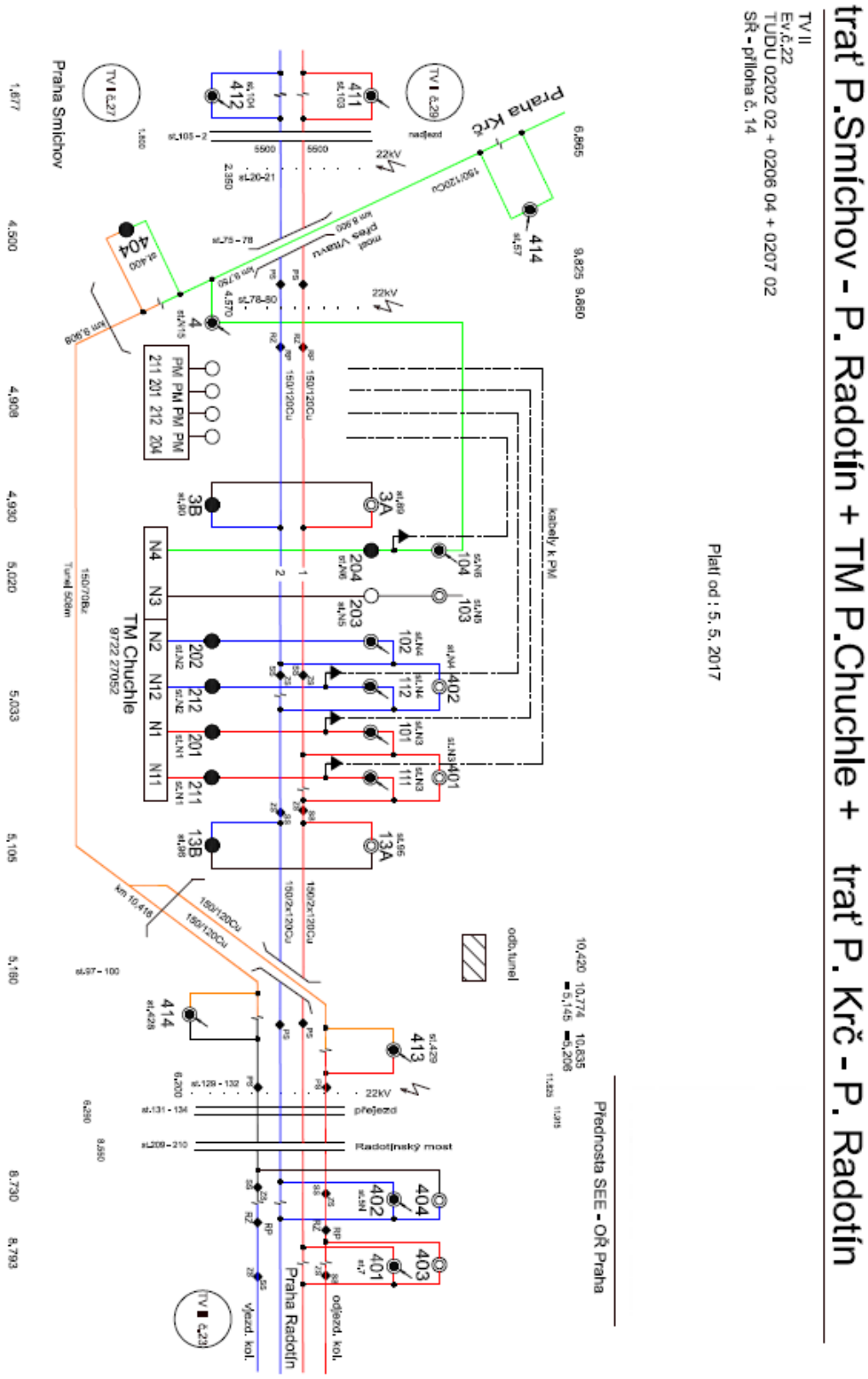
Za správnost: Kypús J.

Platí od: 30.11.2012

List č: 22

Název souboru: \SNDTV\Hranice na M.dwg

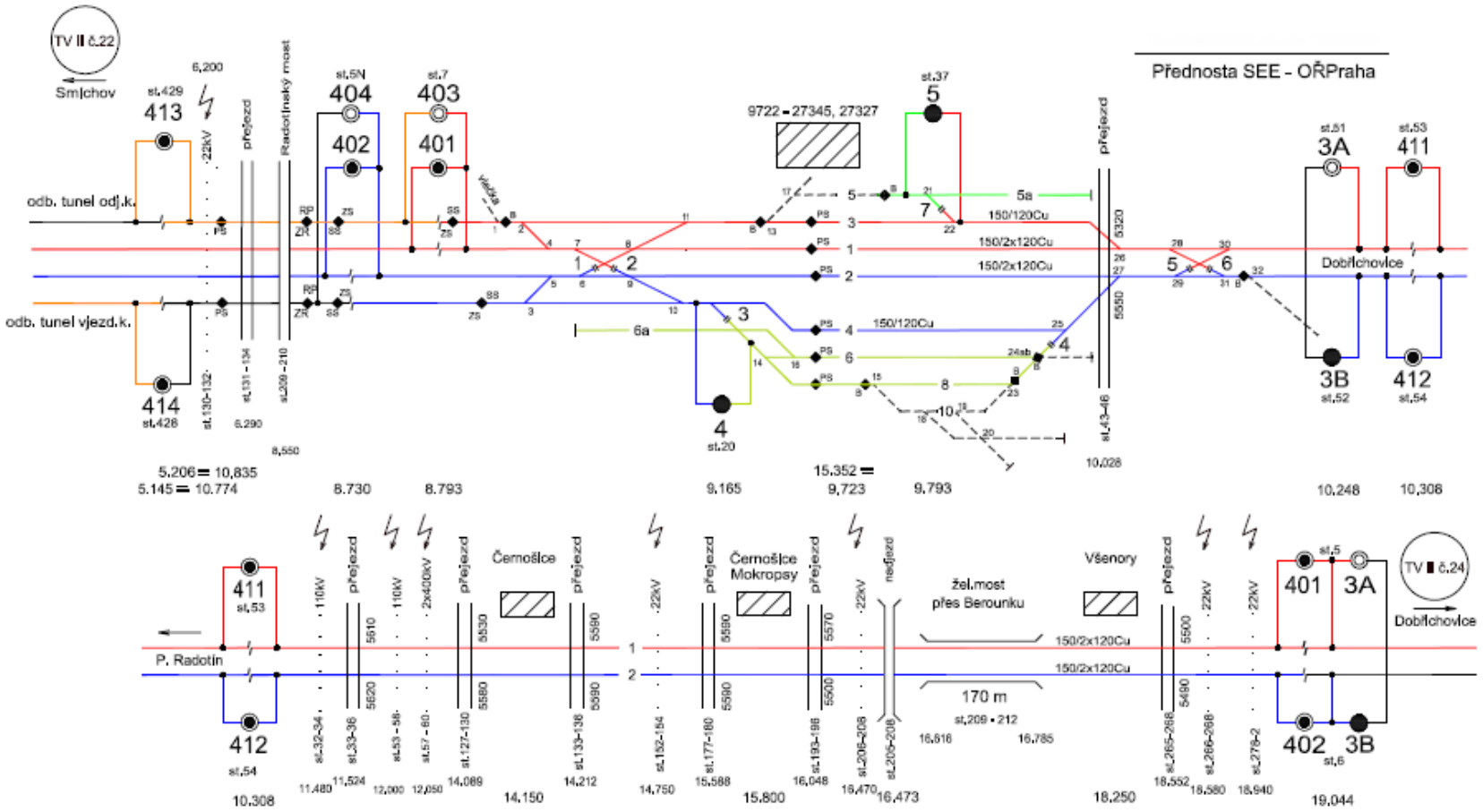
Příloha D


trať P.Smíchov - P. Radotín + TM P.Chuchle + trať P. Krč - P. Radotín
TV II
Ev.č.22
TUDU 0202 02 + 0206 04 + 0207 02
SŘ - příloha č. 14
Platí od : 5. 5. 2017
Přednosta SEE - OŘ Praha
Praha Smíchov
Praha Krč
Praha Radotín
TM Chuchle
9722 27052
kabely k PM
odb.tunel
přejezd
Radotínský most
vjezd. kol.
odjezd. kol.
22kV
150/120Cu
150/70Bz
Tunel 508m

žst Praha Radotín + trať P.Radotín - Dobřichovice

TV II.
Ev.č.23
TUDU 0202 03 + 0202 04
SŘ - příloha č.14

Platí od : 10. 5. 2017



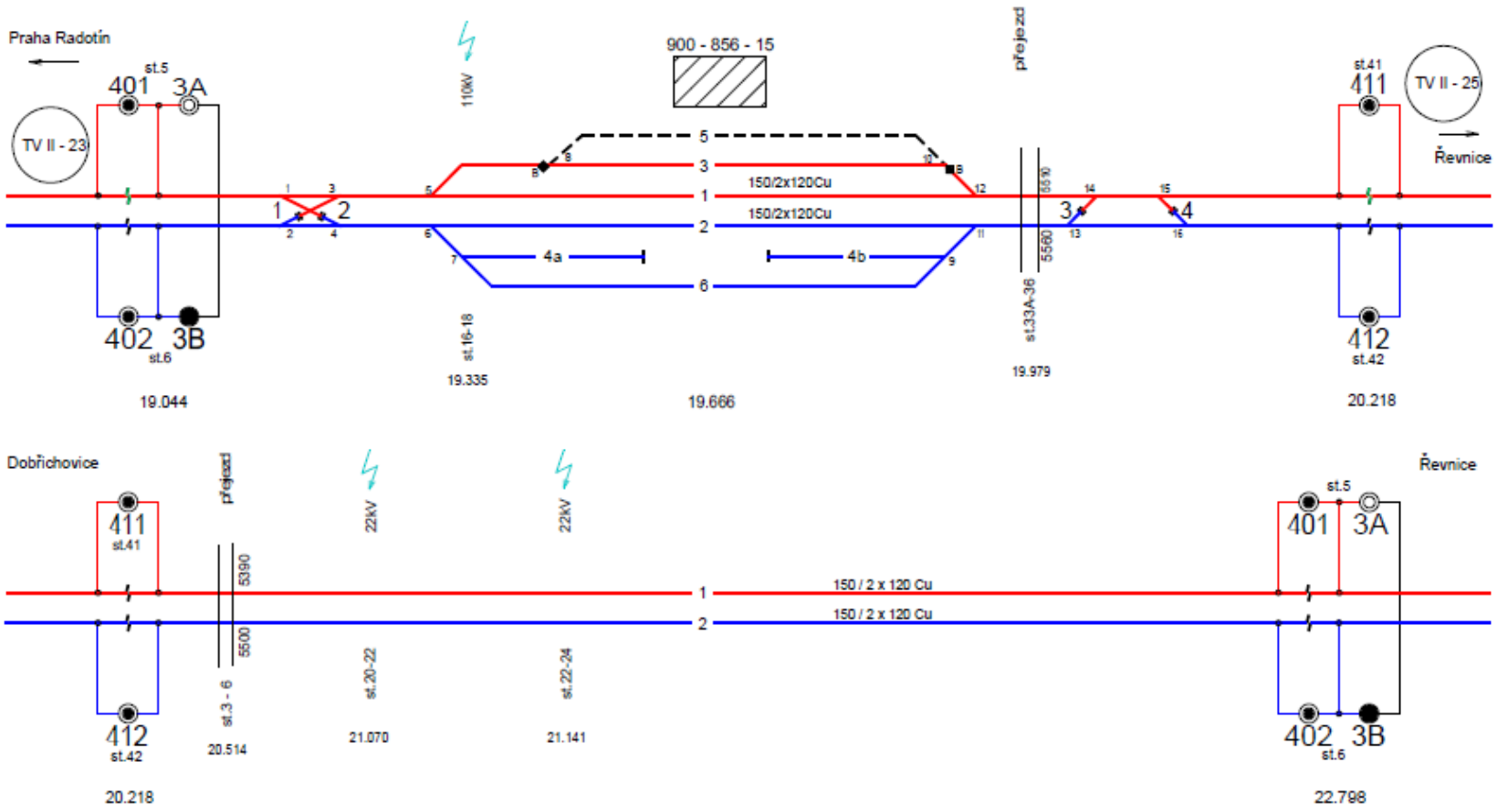
žst Dobřichovice + trať Dobřichovice - Řevnice

TV II.
Ev.č.24

Platí od : 1. 2. 2003

TUDU 0202 05 + 0202 06
SŘ - příloha č. 14

Přednosta SEE Praha



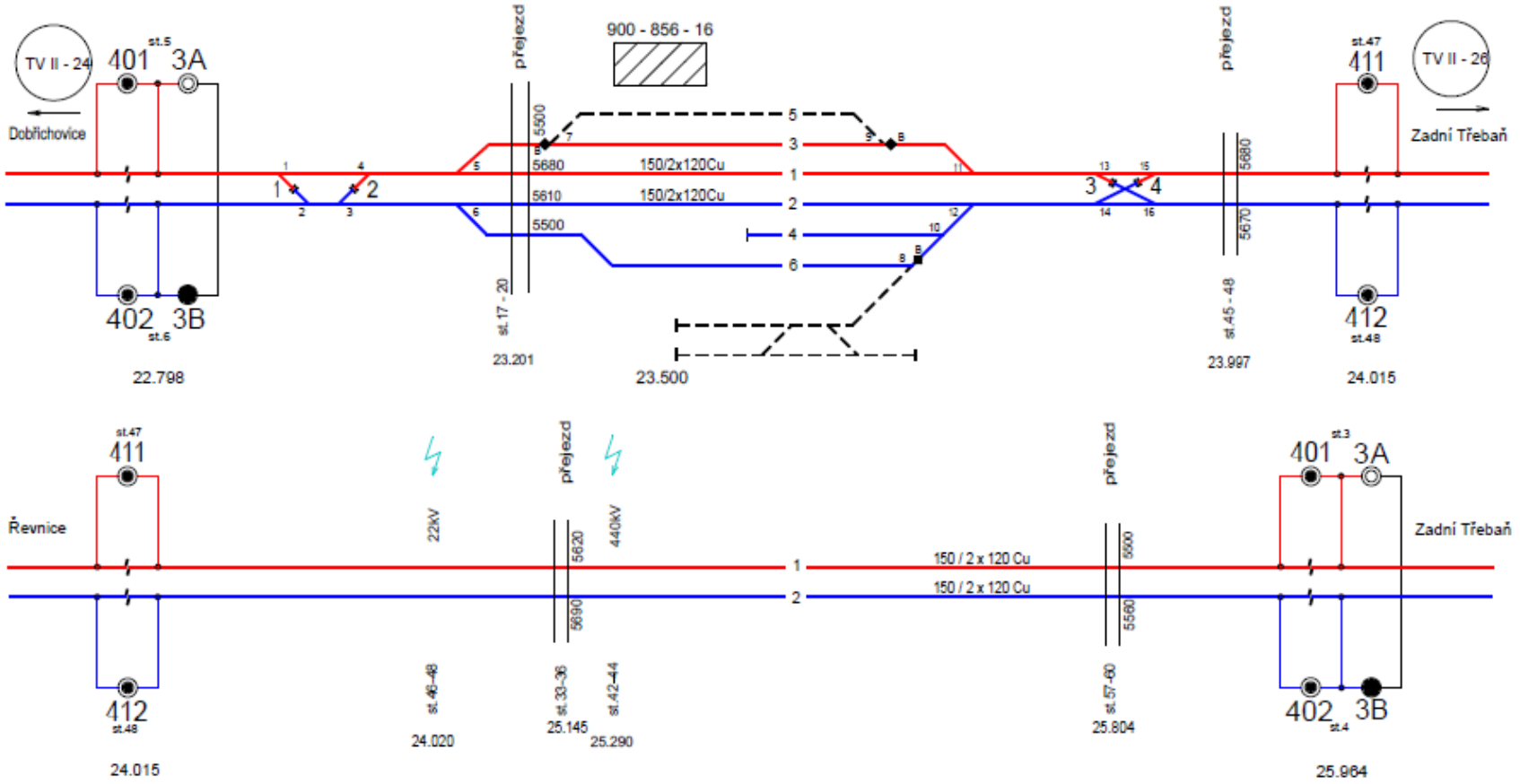
žst Řevnice + trať Řevnice - Zadní Třebaň

TV II.
Ev.č.25

Platí od : 1. 2. 2003

TUDU 0202 07 + 0202 08
SŘ - příloha č.14

Přednosta SEE Praha

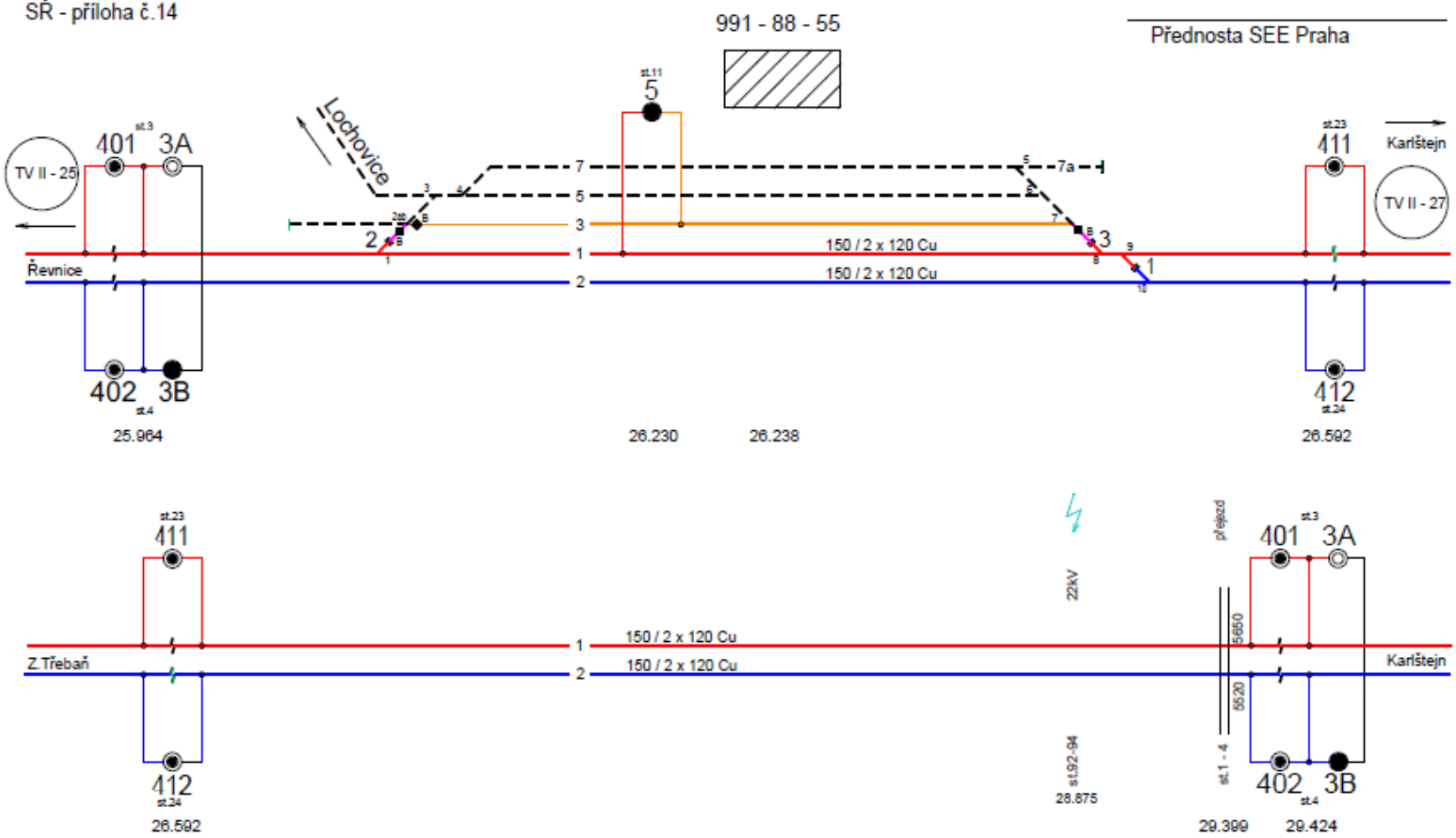


žst Zadní Třebaň + trať Zadní Třebaň - Karlštejn

TV II.
Ev.č.26

TUDU 0202 09 + 0202 10
SŘ - příloha č.14

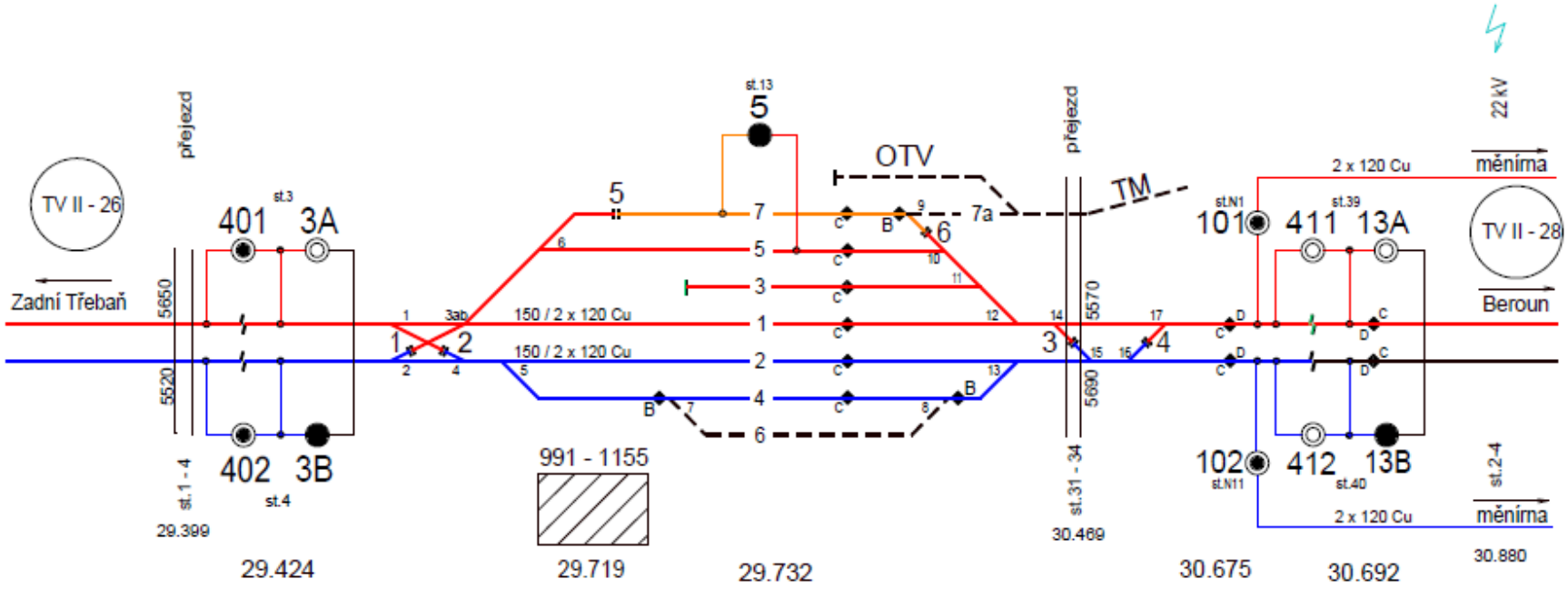
Platí od : 1. 2. 2003



žst Karlštejn + trať Karlštejn - Beroun

TV II. TUDU 0202 11
Ev.č.27 SŘ - příloha č.14 Platí od : 1. 2. 2003

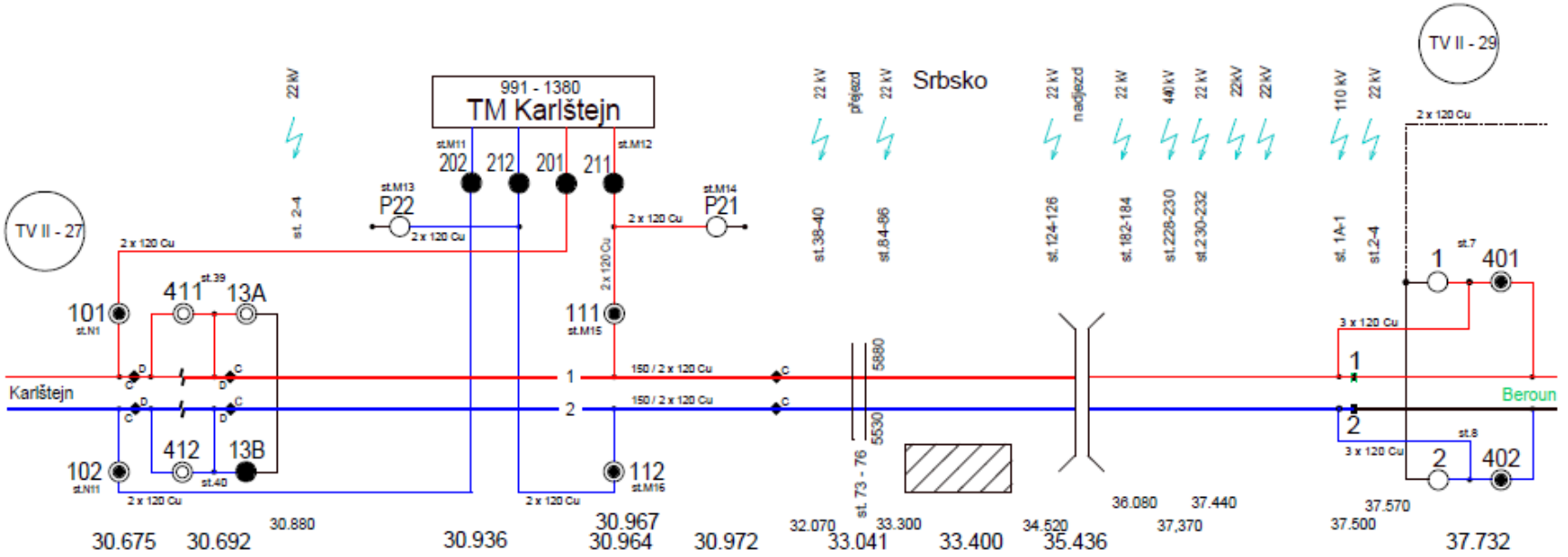
Přednosta SEE Praha



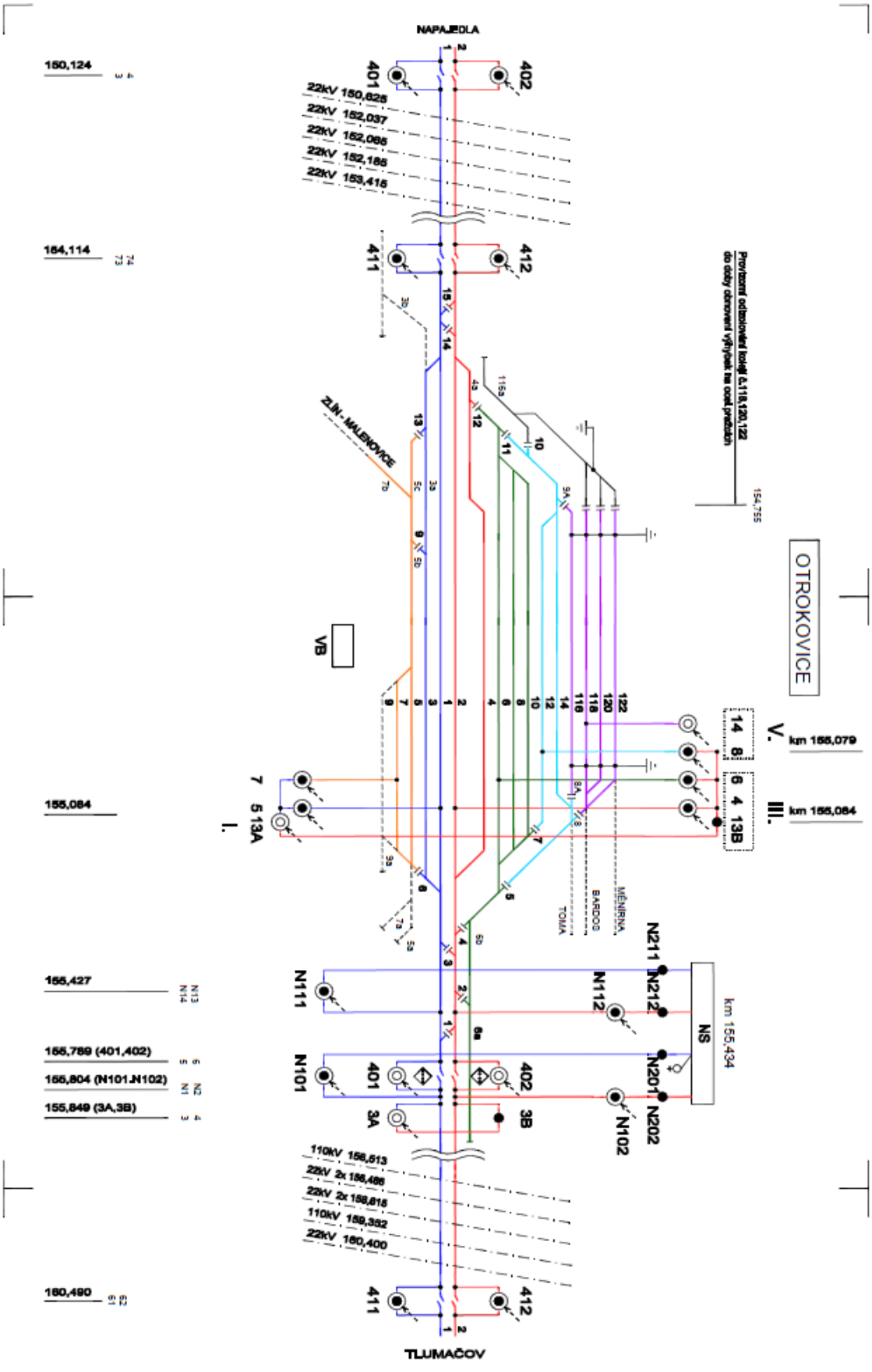
trať Karlštejn - Beroun

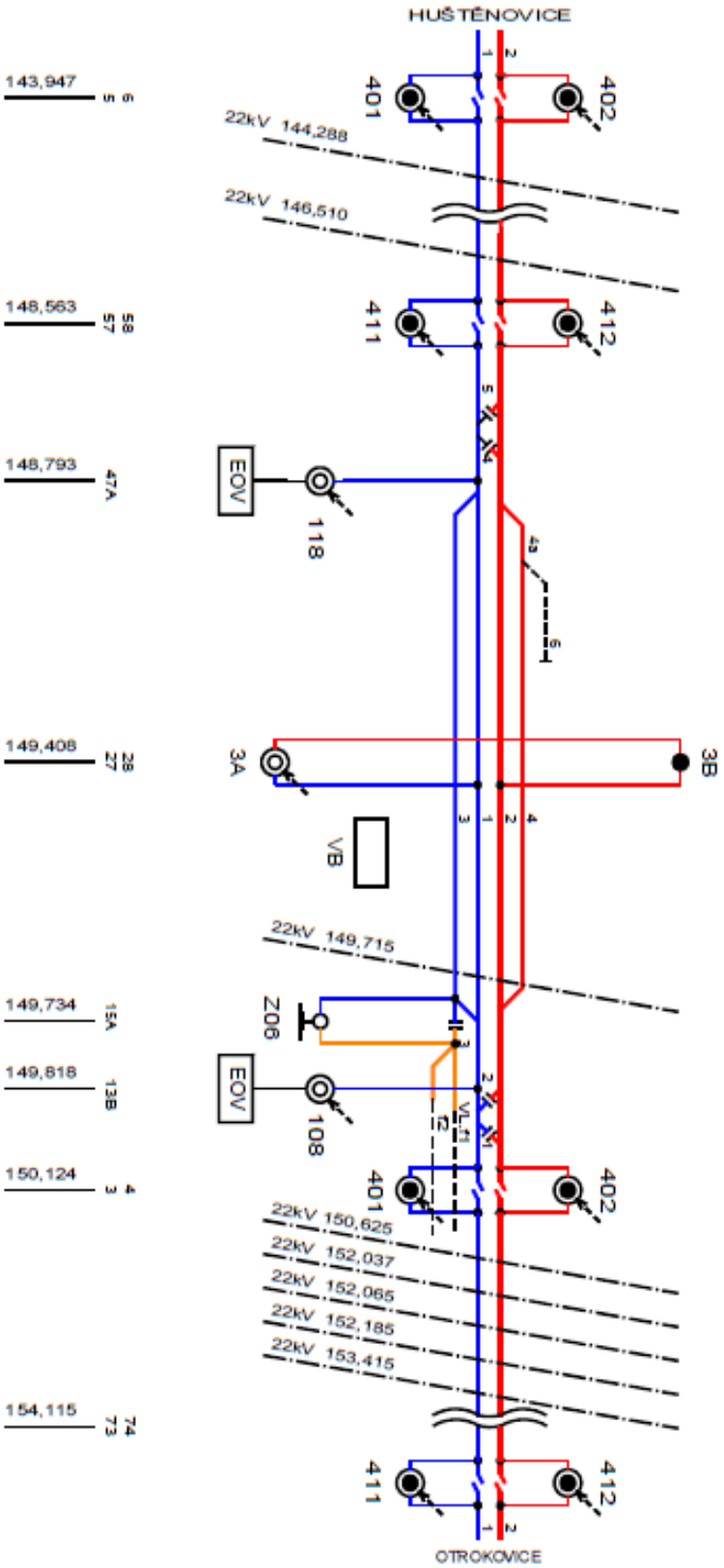
TV II. TUDU 0202 12
Ev.č.28 SŘ - příloha č.14 Platí od : 1. 2. 2003

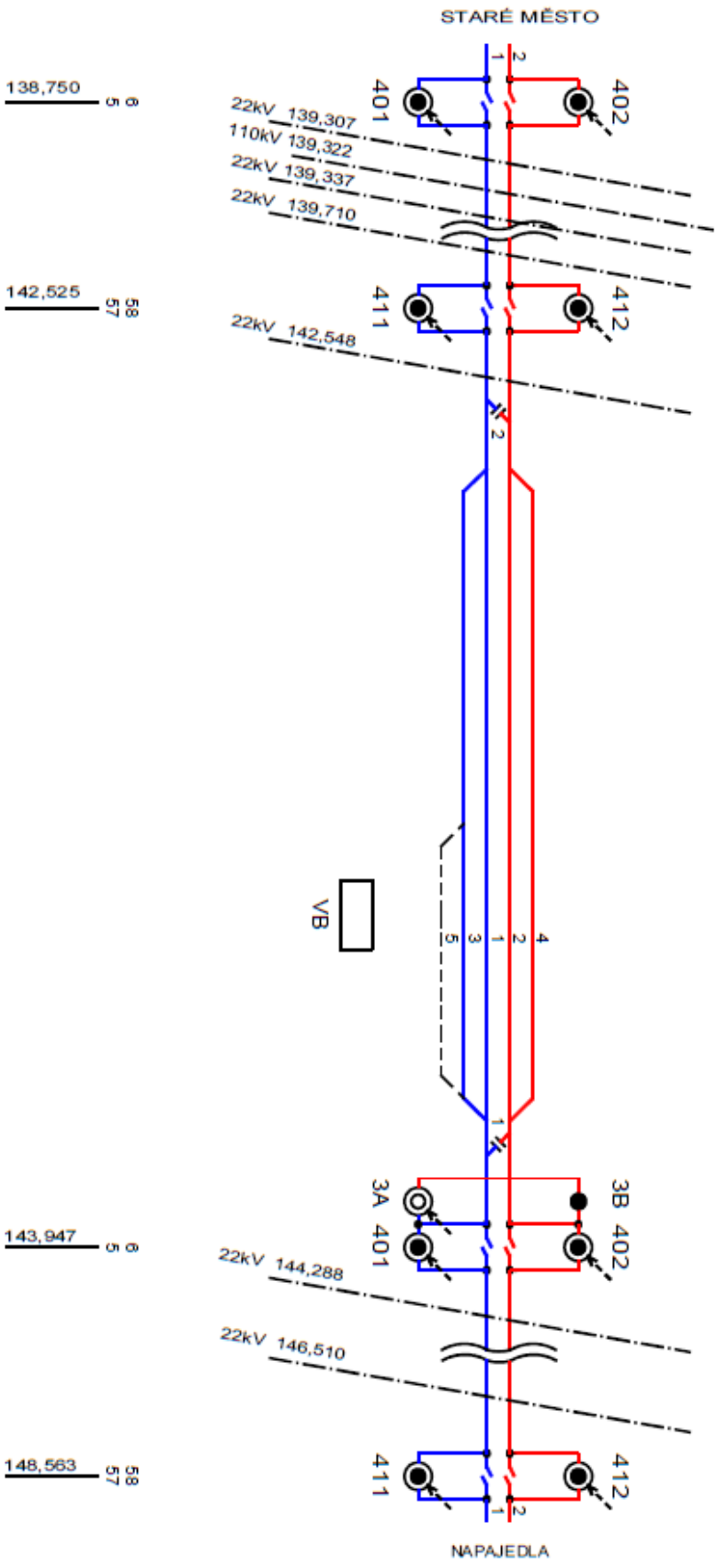
Přednosta SEE Praha



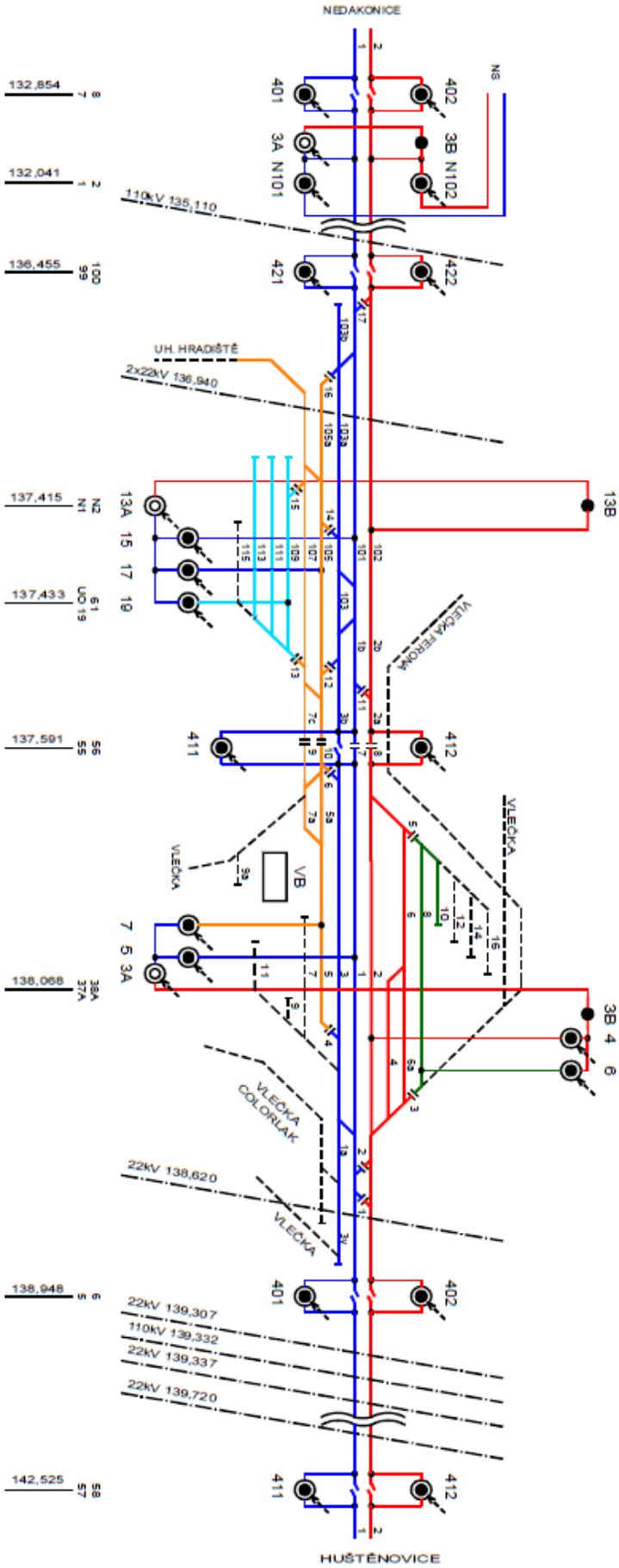
Příloha E

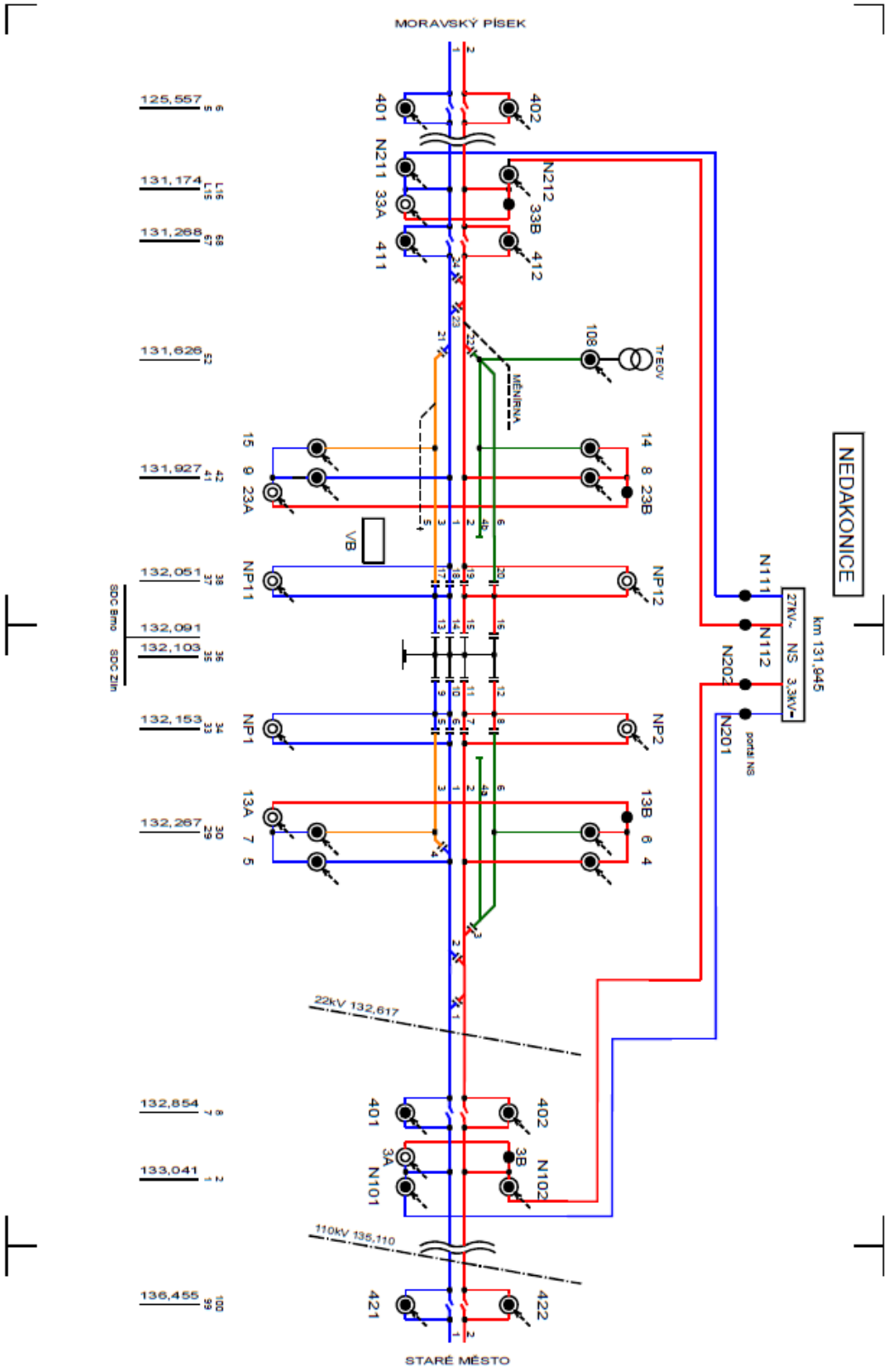

NAPAJEDLA
150,124
164,114
155,084
155,427
155,789 (401,402)
155,804 (N101,N102)
155,849 (3A,3B)
160,490
22kV 150,625
22kV 152,037
22kV 152,065
22kV 152,185
22kV 153,415
ZLÍN - MALENOVICE
VB
OTROKOVICE
km 155,079
km 155,084
km 155,434
TOMA
BARDOS
MĚNÍRNA
NS
110kV 156,513
22kV 2x 156,486
22kV 2x 158,615
110kV 159,352
22kV 160,400
TLUMAČOV


HUŠTĚNOVICE
OTROKOVICE
401
402
411
412
EOV
118
108
3A
3B
VB
Z06
22kV 144,288
22kV 146,510
22kV 149,715
22kV 150,625
22kV 152,037
22kV 152,065
22kV 152,185
22kV 153,415
143,947
148,563
148,793
149,408
149,734
149,818
150,124
154,115
NAPAJEDLA



HUŠTĚNOVICE


NEDAKONICE
HUŠTĚNOVICE
STARÉ MĚSTO
PŘEDNÁDRAŽÍ
OS. NÁDRAŽÍ
UH. HRADIŠTĚ
2x22kV 136,940
110kV 135,110
22kV 138,620
22kV 139,307
110kV 139,332
22kV 139,337
22kV 139,720
VLEČKA FERONA
VLEČKA
VLEČKA COLORLAK
VB
NS
132,854
132,041
136,455
137,415
137,433
137,591
138,068
138,948
142,525


MORAVSKÝ PÍSEK
NEDAKONICE
km 131,945
27kV~ NS 3,3kV~
N111
N112
N202
N201
portál NS
125,557
131,174
131,268
131,626
131,927
132,051
132,091
132,103
132,153
132,267
132,854
133,041
136,455
401
N211
33A
411
402
N212
33B
412
108
Tr.EOV
MĚNÍRNA
15
9
23A
14
8
23B
VB
NP11
NP12
SDC Brno
SDC Zlín
NP1
NP2
13A
7
5
13B
6
4
22kV 132,617
110kV 135,110
3A
3B
N101
N102
421
422
STARÉ MĚSTO

Příloha F

Výpočty stanice Čerčany (zhlaví směr Stráncice)

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Benešov	Dělič (Čerčany)		Strana Strančice
Úseky L [km]	133,49	145,1	145,1	158,593
x = Počet vodičů Cu 120 mm2	3		3	
y = Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300			
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3300			
Maximální přípustný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500			
Průžezy vodičů S [mm^2]	120		150	
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18			

$$R_{kkm} = \frac{1}{60} = 0{,}0167 \quad (1)$$

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

60 … typ koleje UIC 60

Výpočet odporu vodiče:

$$R_{vx} = \frac{\rho * l}{S} = \frac{18 * 1}{120} = 0{,}15 \quad (2)$$

R_{vx} … odpor vedení daného průřezu S [Ω/km]

ρ … rezistivita materiálu [nΩ/m]

l … délka vedení (pro náš případ 1) [km]

S … průřez vodiče [mm^2]

$$R_{vy} = \frac{\rho * l}{S} = \frac{18 * 1}{150} = 0{,}12 \quad (3)$$

R_{vy} … odpor vedení daného průřezu S [Ω/km]

ρ … rezistivita materiálu [nΩ/m]

l … délka vedení (pro náš případ 1) [km]

S … průřez vodiče [mm^2]

$$l_a = |L_1 - L_0| = 145{,}1 - 133{,}49 = 11{,}61 \quad (4)$$

l_a … délka vedení ze směru a [km]

L_1 … cílový bod měření kilometrovníku [km]

L_0 … počáteční bod měření kilometrovníku [km]

$$l_b = |L_1 - L_0| = 158{,}59 - 145{,}1 = 13{,}49 \quad (5)$$

l_b … délka vedení ze směru a [km]

L_1 … cílový bod měření kilometrovníku [km]

L_0 … počáteční bod měření kilometrovníku [km]

$$R_{va} = \left(\frac{x}{R_{vx} * l_a} + \frac{y}{R_{vy} * l_a}\right)^{-1} = \left(\frac{3}{0{,}15 * 11{,}6} + \frac{1}{0{,}12 * 11{,}6}\right)^{-1} = 0{,}41 \quad (6)$$

R_{va} … odpor vedení ze směru a [Ω]

R_{vx} … odpor vedení 1 km průřezu x mm^2 [Ω]

R_{vy} … odpor vedení 1 km průřezu y mm^2 [Ω]

l_a … délka vedení ze směru a [km]

x … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

y … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

$$R_{vb} = \left(\frac{x}{R_{vx} * l_b} + \frac{y}{R_{vy} * l_b}\right)^{-1} = \left(\frac{3}{0{,}15 * 13{,}49} + \frac{1}{0{,}12 * 13{,}49}\right)^{-1} = 0{,}486 \quad (7)$$

R_{vb} … odpor vedení ze směru b [Ω]

R_{vx} … odpor vedení 1 km průřezu x mm^2 [Ω]

R_{vy} … odpor vedení 1 km průřezu y mm^2 [Ω]

l_b … délka vedení ze směru b [km]

x … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

y … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

$$R_{ka} = R_{kkm} * l_a = 0{,}0167 * 11{,}6 = 0{,}194 \quad (8)$$

R_{ka} … odpor koleje ze směru a [Ω]

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

l_a … délka vedení ze směru a [km]

$$R_{kb} = R_{kkm} * l_b = 0{,}0167 * 13{,}49 = 0{,}225 \quad (9)$$

R_{kb} … odpor koleje ze směru b [Ω]

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

l_b … délka vedení ze směru b [km]

$$R_{cv} = \left(\frac{1}{R_{va}} + \frac{1}{R_{vb}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{0{,}41} + \frac{1}{0{,}476}\right)^{-1} = 0{,}22 \quad (10)$$

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

R_{va} … Odpor vedení z jedné strany a [Ω]

R_{vb} … Odpor vedení z druhé strany b [Ω]

$$R_{ck} = \left(\frac{1}{R_{ka}} + \frac{1}{R_{kb}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{0{,}194} + \frac{1}{0{,}225}\right)^{-1} = 0{,}104 \quad (11)$$

R_{ck} … Celkový odpor kolejí [Ω]

R_{ka} … Odpor kolejí z jedné strany a [Ω]

R_{kb} … Odpor kolejí z druhé strany b [Ω]

$$R_c = R_{cv} + R_{ck} = 0{,}22 + 0{,}104 = 0{,}324 \quad (12)$$

R_c … Celkový odpor [Ω]

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

R_{ck} … Celkový odpor kolejí [Ω]

$$U_{min} = U_{ex} - \Delta U = 3300 - 500 = 2800 \quad (13)$$

U_{min} … Hladina napětí v daném místě [V]

ΔU … Rozdíl napětí na děliči [V]

U_{ex} … Hladina napětí v sousedním úseku za děličem [V]

Celkový tekoucí proud:

$$I_c = \frac{U_{in} - U_{min}}{R_c} = \frac{3300 - 2800}{0{,}324} = 1542 \quad (14)$$

I_c … Celkový proud [A]

U_{min} … Hladina napětí v daném místě [V]

U_{in} … Napětí vystupující z napájecí stanice [V]

R_c … Celkový odpor [Ω]

$$U_{mu} = R_{cv} * I_c = 0{,}22 * 1542 = 340 \quad (15)$$

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

I_c … Celkový proud [A]

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

$$I_1 = \frac{U_{mu}}{R_{va}} = \frac{340}{0{,}41} = 829 \quad (16)$$

I_1 … Proud tekoucí z jedné strany a [A]

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

R_{va} … Odpor vedení z jedné strany a [Ω]

$$I_2 = \frac{U_{mu}}{R_{vb}} = \frac{340}{0{,}476} = 713 \quad (17)$$

I_2 … Proud tekoucí z druhé strany b [A]

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

R_{vb} … Odpor vedení z druhé strany b [Ω]

Příloha G

Výpočty stanice Dobřichovice (zhlaví směr Chuchle)

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Chuchle	Dělič (Dobřichovice)		Strana Karlštejn
Úseky L [km]	5,09	19,11	19,11	30,68
x = Počet vodičů Cu 120 mm2	2		2	
y = Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300			
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3300			
Maximální přípustný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500			
Průžezy vodičů S [mm^2]	120		150	
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18			

$$R_{kkm} = \frac{1}{60} = 0{,}0167 \quad (1)$$

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

60 … typ koleje UIC 60

Výpočet odporu vodiče:

$$R_{vx} = \frac{\rho * l}{S} = \frac{18 * 1}{120} = 0{,}15 \quad (2)$$

R_{vx} … odpor vedení daného průřezu S [Ω/km]

ρ … rezistivita materiálu [nΩ/m]

l … délka vedení (pro náš případ 1) [km]

S … průřez vodiče [mm^2]

$$R_{vy} = \frac{\rho * l}{S} = \frac{18 * 1}{150} = 0{,}12 \quad (3)$$

R_{vy} … odpor vedení daného průřezu S [Ω/km]

ρ … rezistivita materiálu [nΩ/m]

l … délka vedení (pro náš případ 1) [km]

S … průřez vodiče [mm^2]

$$l_a = |L_1 - L_0| = 19{,}11 - 5{,}09 = 14{,}02 \quad (4)$$

l_a … délka vedení ze směru a [km]

L_1 … cílový bod měření kilometrovníku [km]

L_0 … počáteční bod měření kilometrovníku [km]

$$l_b = |L_1 - L_0| = 30{,}68 - 19{,}11 = 11{,}57 \quad (5)$$

l_b … délka vedení ze směru a [km]

L_1 … cílový bod měření kilometrovníku [km]

L_0 … počáteční bod měření kilometrovníku [km]

$$R_{va} = \left(\frac{x}{R_{vx} * l_a} + \frac{y}{R_{vy} * l_a}\right)^{-1} = \left(\frac{2}{0{,}15 * 14{,}02} + \frac{1}{0{,}12 * 14{,}02}\right)^{-1} = 0{,}647 \quad (6)$$

R_{va} … odpor vedení ze směru a [Ω]

R_{vx} … odpor vedení 1 km průřezu x mm^2 [Ω]

R_{vy} … odpor vedení 1 km průřezu y mm^2 [Ω]

l_a … délka vedení ze směru a [km]

x … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

y … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

$$R_{vb} = \left(\frac{x}{R_{vx} * l_b} + \frac{y}{R_{vy} * l_b}\right)^{-1} = \left(\frac{3}{0{,}15 * 11{,}57} + \frac{1}{0{,}12 * 11{,}57}\right)^{-1} = 0{,}534 \quad (7)$$

R_{vb} … odpor vedení ze směru b [Ω]

R_{vx} … odpor vedení 1 km průřezu x mm^2 [Ω]

R_{vy} … odpor vedení 1 km průřezu y mm^2 [Ω]

l_b … délka vedení ze směru b [km]

x … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

y … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

$$R_{ka} = R_{kkm} * l_a = 0{,}0167 * 14{,}02 = 0{,}234 \quad (8)$$

R_{ka} … odpor koleje ze směru a [Ω]

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

l_a … délka vedení ze směru a [km]

$$R_{kb} = R_{kkm} * l_b = 0{,}0167 * 11{,}57 = 0{,}193 \quad (9)$$

R_{kb} … odpor koleje ze směru b [Ω]

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

l_b … délka vedení ze směru b [km]

$$R_{cv} = \left(\frac{1}{R_{va}} + \frac{1}{R_{vb}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{0{,}647} + \frac{1}{0{,}534}\right)^{-1} = 0{,}293 \quad (10)$$

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

R_{va} … Odpor vedení z jedné strany a [Ω]

R_{vb} … Odpor vedení z druhé strany b [Ω]

$$R_{ck} = \left(\frac{1}{R_{ka}} + \frac{1}{R_{kb}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{0{,}234} + \frac{1}{0{,}193}\right)^{-1} = 0{,}106 \quad (11)$$

R_{ck} … Celkový odpor kolejí [Ω]

R_{ka} … Odpor kolejí z jedné strany a [Ω]

R_{kb} … Odpor kolejí z druhé strany b [Ω]

$$R_c = R_{cv} + R_{ck} = 0{,}293 + 0{,}106 = 0{,}398 \quad (12)$$

R_c … Celkový odpor [Ω]

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

R_{ck} … Celkový odpor kolejí [Ω]

$$U_{min} = U_{ex} - \Delta U = 3300 - 500 = 2800 \quad (13)$$

U_{min} … Hladina napětí v daném místě [V]

ΔU … Rozdíl napětí na děliči [V]

U_{ex} … Hladina napětí v sousedním úseku za děličem [V]

Celkový tekoucí proud:

$$I_c = \frac{U_{in} - U_{min}}{R_c} = \frac{3300 - 2800}{0{,}398} = 1256 \quad (14)$$

I_c … Celkový proud [A]

U_{min} … Hladina napětí v daném místě [V]

U_{in} … Napětí vystupující z napájecí stanice [V]

R_c … Celkový odpor [Ω]

$$U_{mu} = R_{cv} * I_c = 0{,}293 * 1256 = 367 \quad (15)$$

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

I_c … Celkový proud [A]

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

$$I_1 = \frac{U_{mu}}{R_{va}} = \frac{367}{0{,}647} = 568 \quad (16)$$

I_1 … Proud tekoucí z jedné strany a [A]

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

R_{va} … Odpor vedení z jedné strany a [Ω]

$$I_2 = \frac{U_{mu}}{R_{vb}} = \frac{367}{0{,}534} = 688 \quad (17)$$

I_2 … Proud tekoucí z druhé strany b [A]

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

R_{vb} … Odpor vedení z druhé strany b [Ω]

Příloha H

Výpočty stanice Polom (zhlaví směr Hranice na Moravě)

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hranice	Dělič (Polom)		Strana Suchdol
Úseky L [km]	133,49	143,2	143,2	158,593
x = Počet vodičů Cu 120 mm2	3		3	
y = Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300			
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3300			
Maximální přípustný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500			
Průžezy vodičů S [mm^2]	120		150	
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18			

$$R_{kkm} = \frac{1}{60} = 0{,}0167 \quad (1)$$

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

60 … typ koleje UIC 60

Výpočet odporu vodiče:

$$R_{vx} = \frac{\rho * l}{S} = \frac{18 * 1}{120} = 0{,}15 \quad (2)$$

R_{vx} … odpor vedení daného průřezu S [Ω/km]

ρ … rezistivita materiálu [nΩ/m]

l … délka vedení (pro náš případ 1) [km]

S … průřez vodiče [mm^2]

$$R_{vy} = \frac{\rho * l}{S} = \frac{18 * 1}{150} = 0{,}12 \quad (3)$$

R_{vy} … odpor vedení daného průřezu S [Ω/km]

ρ … rezistivita materiálu [nΩ/m]

l … délka vedení (pro náš případ 1) [km]

S … průřez vodiče [mm^2]

$$l_a = |L_1 - L_0| = 221{,}35 - 212{,}69 = 8{,}66 \quad (4)$$

l_a … délka vedení ze směru a [km]

L_1 … cílový bod měření kilometrovníku [km]

L_0 … počáteční bod měření kilometrovníku [km]

$$l_b = |L_1 - L_0| = 231{,}27 - 221{,}35 = 9{,}92 \quad (5)$$

l_b … délka vedení ze směru a [km]

L_1 … cílový bod měření kilometrovníku [km]

L_0 … počáteční bod měření kilometrovníku [km]

$$R_{va} = \left(\frac{x}{R_{vx} * l_a} + \frac{y}{R_{vy} * l_a}\right)^{-1} = \left(\frac{3}{0{,}15 * 8{,}66} + \frac{1}{0{,}12 * 8{,}66}\right)^{-1} = 0{,}306 \quad (6)$$

R_{va} … odpor vedení ze směru a [Ω]

R_{vx} … odpor vedení 1 km průřezu x mm^2 [Ω]

R_{vy} … odpor vedení 1 km průřezu y mm^2 [Ω]

l_a … délka vedení ze směru a [km]

x … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

y … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

$$R_{vb} = \left(\frac{x}{R_{vx} * l_b} + \frac{y}{R_{vy} * l_b}\right)^{-1} = \left(\frac{3}{0{,}15 * 9{,}92} + \frac{1}{0{,}12 * 9{,}92}\right)^{-1} = 0{,}35 \quad (7)$$

R_{vb} … odpor vedení ze směru b [Ω]

R_{vx} … odpor vedení 1 km průřezu x mm^2 [Ω]

R_{vy} … odpor vedení 1 km průřezu y mm^2 [Ω]

l_b … délka vedení ze směru b [km]

x … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

y … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

$$R_{ka} = R_{kkm} * l_a = 0{,}0167 * 8{,}66 = 0{,}144 \quad (8)$$

R_{ka} … odpor koleje ze směru a [Ω]

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

l_a … délka vedení ze směru a [km]

$$R_{kb} = R_{kkm} * l_b = 0{,}0167 * 9{,}92 = 0{,}165 \quad (9)$$

R_{kb} … odpor koleje ze směru b [Ω]

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

l_b … délka vedení ze směru b [km]

$$R_{cv} = \left(\frac{1}{R_{va}} + \frac{1}{R_{vb}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{0{,}306} + \frac{1}{0{,}35}\right)^{-1} = 0{,}163 \quad (10)$$

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

R_{va} … Odpor vedení z jedné strany a [Ω]

R_{vb} … Odpor vedení z druhé strany b [Ω]

$$R_{ck} = \left(\frac{1}{R_{ka}} + \frac{1}{R_{kb}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{0{,}144} + \frac{1}{0{,}165}\right)^{-1} = 0{,}077 \quad (11)$$

R_{ck} … Celkový odpor kolejí [Ω]

R_{ka} … Odpor kolejí z jedné strany a [Ω]

R_{kb} … Odpor kolejí z druhé strany b [Ω]

$$R_c = R_{cv} + R_{ck} = 0{,}163 + 0{,}077 = 0{,}24 \quad (12)$$

R_c … Celkový odpor [Ω]

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

R_{ck} … Celkový odpor kolejí [Ω]

$$U_{min} = U_{ex} - \Delta U = 3300 - 500 = 2800 \quad (13)$$

U_{min} … Hladina napětí v daném místě [V]

ΔU … Rozdíl napětí na děliči [V]

U_{ex} … Hladina napětí v sousedním úseku za děličem [V]

Celkový tekoucí proud:

$$I_c = \frac{U_{in} - U_{min}}{R_c} = \frac{3300 - 2800}{0{,}24} = 2081 \quad (14)$$

I_c … Celkový proud [A]

U_{min} … Hladina napětí v daném místě [V]

U_{in} … Napětí vystupující z napájecí stanice [V]

R_c … Celkový odpor [Ω]

$$U_{mu} = R_{cv} * I_c = 0{,}163 * 2081 = 340 \quad (15)$$

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

I_c … Celkový proud [A]

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

$$I_1 = \frac{U_{mu}}{R_{va}} = \frac{340}{0{,}306} = 1111 \quad (16)$$

I_1 … Proud tekoucí z jedné strany a [A]

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

R_{va} … Odpor vedení z jedné strany a [Ω]

$$I_2 = \frac{U_{mu}}{R_{vb}} = \frac{340}{0{,}35} = 970 \quad (17)$$

I_2 … Proud tekoucí z druhé strany b [A]

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

R_{vb} … Odpor vedení z druhé strany b [Ω]

Příloha I

Výpočty stanice Moravičany

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Hoštejn	Dělič (Moravičany)		Strana Červenka
Úseky L [km]	32,42	56,39	56,39	64,71
x = Počet vodičů Cu 120 mm2	3		3	
y = Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300			
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3300			
Maximální přípustný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500			
Průžezy vodičů S [mm^2]	120		150	
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18			

$$R_{kkm} = \frac{1}{60} = 0{,}0167 \quad (1)$$

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

60 … typ koleje UIC 60

Výpočet odporu vodiče:

$$R_{vx} = \frac{\rho * l}{S} = \frac{18 * 1}{120} = 0{,}15 \quad (2)$$

R_{vx} … odpor vedení daného průřezu S [Ω/km]

ρ … rezistivita materiálu [nΩ/m]

l … délka vedení (pro náš případ 1) [km]

S … průřez vodiče [mm^2]

$$R_{vy} = \frac{\rho * l}{S} = \frac{18 * 1}{150} = 0{,}12 \quad (3)$$

R_{vy} … odpor vedení daného průřezu S [Ω/km]

ρ … rezistivita materiálu [nΩ/m]

l … délka vedení (pro náš případ 1) [km]

S … průřez vodiče [mm^2]

$$l_a = |L_1 - L_0| = 56{,}39 - 32{,}42 = 23{,}97 \quad (4)$$

l_a … délka vedení ze směru a [km]

L_1 … cílový bod měření kilometrovníku [km]

L_0 … počáteční bod měření kilometrovníku [km]

$$l_b = |L_1 - L_0| = 64{,}71 - 56{,}39 = 8{,}32 \quad (5)$$

l_b … délka vedení ze směru a [km]

L_1 … cílový bod měření kilometrovníku [km]

L_0 … počáteční bod měření kilometrovníku [km]

$$R_{va} = \left(\frac{x}{R_{vx} * l_a} + \frac{y}{R_{vy} * l_a}\right)^{-1} = \left(\frac{3}{0{,}15 * 23{,}97} + \frac{1}{0{,}12 * 23{,}97}\right)^{-1} = 0{,}846 \quad (6)$$

R_{va} … odpor vedení ze směru a [Ω]

R_{vx} … odpor vedení 1 km průřezu x mm^2 [Ω]

R_{vy} … odpor vedení 1 km průřezu y mm^2 [Ω]

l_a … délka vedení ze směru a [km]

x … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

y … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

$$R_{vb} = \left(\frac{x}{R_{vx} * l_b} + \frac{y}{R_{vy} * l_b}\right)^{-1} = \left(\frac{3}{0{,}15 * 8{,}32} + \frac{1}{0{,}12 * 8{,}32}\right)^{-1} = 0{,}294 \quad (7)$$

R_{vb} … odpor vedení ze směru b [Ω]

R_{vx} … odpor vedení 1 km průřezu x mm^2 [Ω]

R_{vy} … odpor vedení 1 km průřezu y mm^2 [Ω]

l_b … délka vedení ze směru b [km]

x … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

y … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

$$R_{ka} = R_{kkm} * l_a = 0{,}0167 * 23{,}97 = 0{,}4 \quad (8)$$

R_{ka} … odpor koleje ze směru a [Ω]

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

l_a … délka vedení ze směru a [km]

$$R_{kb} = R_{kkm} * l_b = 0{,}0167 * 8{,}32 = 0{,}139 \quad (9)$$

R_{kb} … odpor koleje ze směru b [Ω]

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

l_b … délka vedení ze směru b [km]

$$R_{cv} = \left(\frac{1}{R_{va}} + \frac{1}{R_{vb}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{0{,}846} + \frac{1}{0{,}294}\right)^{-1} = 0{,}218 \quad (10)$$

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

R_{va} … Odpor vedení z jedné strany a [Ω]

R_{vb} … Odpor vedení z druhé strany b [Ω]

$$R_{ck} = \left(\frac{1}{R_{ka}} + \frac{1}{R_{kb}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{0{,}4} + \frac{1}{0{,}139}\right)^{-1} = 0{,}103 \quad (11)$$

R_{ck} … Celkový odpor kolejí [Ω]

R_{ka} … Odpor kolejí z jedné strany a [Ω]

R_{kb} … Odpor kolejí z druhé strany b [Ω]

$$R_c = R_{cv} + R_{ck} = 0{,}218 + 0{,}103 = 0{,}321 \quad (12)$$

R_c … Celkový odpor [Ω]

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

R_{ck} … Celkový odpor kolejí [Ω]

$$U_{min} = U_{ex} - \Delta U = 3300 - 500 = 2800 \quad (13)$$

U_{min} … Hladina napětí v daném místě [V]

ΔU … Rozdíl napětí na děliči [V]

U_{ex} … Hladina napětí v sousedním úseku za děličem [V]

Celkový tekoucí proud:

$$I_c = \frac{U_{in} - U_{min}}{R_c} = \frac{3300 - 2800}{0{,}321} = 1558 \quad (14)$$

I_c … Celkový proud [A]

U_{min} … Hladina napětí v daném místě [V]

U_{in} … Napětí vystupující z napájecí stanice [V]

R_c … Celkový odpor [Ω]

$$U_{mu} = R_{cv} * I_c = 0{,}218 * 1558 = 340 \quad (15)$$

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

I_c … Celkový proud [A]

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

$$I_1 = \frac{U_{mu}}{R_{va}} = \frac{340}{0{,}846} = 401 \quad (16)$$

I_1 … Proud tekoucí z jedné strany a [A]

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

R_{va} … Odpor vedení z jedné strany a [Ω]

$$I_2 = \frac{U_{mu}}{R_{vb}} = \frac{340}{0{,}294} = 1157 \quad (17)$$

I_2 … Proud tekoucí z druhé strany b [A]

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

R_{vb} … Odpor vedení z druhé strany b [Ω]

Příloha J

Výpočty stanice Huštěnovice (zhlaví směr Otrokovice)

Možný stav na jedné straně děliče	Strana Nedakonice	Dělič (Otrokovice)		Strana Otrokovice
Úseky L [km]	133,49	143,2	143,2	158,593
x = Počet vodičů Cu 120 mm2	3		3	
y = Počet vodičů Cu 150 mm3	1		1	
Napětí na výstupu z napájecí stanice U_{in} [V]	3300			
Napětí v sousedním úseku za děličem U_{ex} [V]	3300			
Maximální přípustný rozdíl napětí na na děliči ΔU [V]	500			
Průžezy vodičů S [mm^2]	120		150	
Rezistivita mědi Cu ρ [nΩ/m]	18			

$$R_{kkm} = \frac{1}{60} = 0{,}0167 \quad (1)$$

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

60 … typ koleje UIC 60

Výpočet odporu vodiče:

$$R_{vx} = \frac{\rho * l}{S} = \frac{18 * 1}{120} = 0{,}15 \quad (2)$$

R_{vx} … odpor vedení daného průřezu S [Ω/km]

ρ … rezistivita materiálu [nΩ/m]

l … délka vedení (pro náš případ 1) [km]

S … průřez vodiče [mm^2]

$$R_{vy} = \frac{\rho * l}{S} = \frac{18 * 1}{150} = 0{,}12 \quad (3)$$

R_{vy} … odpor vedení daného průřezu S [Ω/km]

ρ … rezistivita materiálu [nΩ/m]

l … délka vedení (pro náš případ 1) [km]

S … průřez vodiče [mm^2]

$$l_a = |L_1 - L_0| = 143{,}94 - 133{,}04 = 10{,}9 \quad (4)$$

l_a … délka vedení ze směru a [km]

L_1 … cílový bod měření kilometrovníku [km]

L_0 … počáteční bod měření kilometrovníku [km]

$$l_b = |L_1 - L_0| = 155{,}43 - 143{,}94 = 11{,}49 \quad (5)$$

l_b … délka vedení ze směru a [km]

L_1 … cílový bod měření kilometrovníku [km]

L_0 … počáteční bod měření kilometrovníku [km]

$$R_{va} = \left(\frac{x}{R_{vx} * l_a} + \frac{y}{R_{vy} * l_a}\right)^{-1} = \left(\frac{3}{0{,}15 * 10{,}9} + \frac{1}{0{,}12 * 10{,}9}\right)^{-1} = 0{,}385 \quad (6)$$

R_{va} … odpor vedení ze směru a [Ω]

R_{vx} … odpor vedení 1 km průřezu x mm^2 [Ω]

R_{vy} … odpor vedení 1 km průřezu y mm^2 [Ω]

l_a … délka vedení ze směru a [km]

x … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

y … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

$$R_{vb} = \left(\frac{x}{R_{vx} * l_b} + \frac{y}{R_{vy} * l_b}\right)^{-1} = \left(\frac{3}{0{,}15 * 11{,}49} + \frac{1}{0{,}12 * 11{,}49}\right)^{-1} = 0{,}406 \quad (7)$$

R_{vb} … odpor vedení ze směru b [Ω]

R_{vx} … odpor vedení 1 km průřezu x mm^2 [Ω]

R_{vy} … odpor vedení 1 km průřezu y mm^2 [Ω]

l_b … délka vedení ze směru b [km]

x … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

y … počet vodičů daného průřezu v mm^2 [1]

$$R_{ka} = R_{kkm} * l_a = 0{,}0167 * 10{,}9 = 0{,}182 \quad (8)$$

R_{ka} … odpor koleje ze směru a [Ω]

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

l_a … délka vedení ze směru a [km]

$$R_{kb} = R_{kkm} * l_b = 0{,}0167 * 11{,}49 = 0{,}192 \quad (9)$$

R_{kb} … odpor koleje ze směru b [Ω]

R_{kkm} … odpor koleje [Ω/km]

l_b … délka vedení ze směru b [km]

$$R_{cv} = \left(\frac{1}{R_{va}} + \frac{1}{R_{vb}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{0{,}385} + \frac{1}{0{,}406}\right)^{-1} = 0{,}197 \quad (10)$$

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

R_{va} … Odpor vedení z jedné strany a [Ω]

R_{vb} … Odpor vedení z druhé strany b [Ω]

$$R_{ck} = \left(\frac{1}{R_{ka}} + \frac{1}{R_{kb}}\right)^{-1} = \left(\frac{1}{0{,}182} + \frac{1}{0{,}192}\right)^{-1} = 0{,}093 \quad (11)$$

R_{ck} … Celkový odpor kolejí [Ω]

R_{ka} … Odpor kolejí z jedné strany a [Ω]

R_{kb} … Odpor kolejí z druhé strany b [Ω]

$$R_c = R_{cv} + R_{ck} = 0{,}197 + 0{,}093 = 0{,}291 \quad (12)$$

R_c … Celkový odpor [Ω]

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

R_{ck} … Celkový odpor kolejí [Ω]

$$U_{min} = U_{ex} - \Delta U = 3300 - 500 = 2800 \quad (13)$$

U_{min} … Hladina napětí v daném místě [V]

ΔU … Rozdíl napětí na děliči [V]

U_{ex} … Hladina napětí v sousedním úseku za děličem [V]

Celkový tekoucí proud:

$$I_c = \frac{U_{in} - U_{min}}{R_c} = \frac{3300 - 2800}{0{,}291} = 1720 \quad (14)$$

I_c … Celkový proud [A]

U_{min} … Hladina napětí v daném místě [V]

U_{in} … Napětí vystupující z napájecí stanice [V]

R_c … Celkový odpor [Ω]

$$U_{mu} = R_{cv} * I_c = 0{,}197 * 1720 = 339 \quad (15)$$

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

I_c … Celkový proud [A]

R_{cv} … Celkový odpor vedení [Ω]

$$I_1 = \frac{U_{mu}}{R_{va}} = \frac{339}{0{,}385} = 883 \quad (16)$$

I_1 … Proud tekoucí z jedné strany a [A]

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

R_{va} … Odpor vedení z jedné strany a [Ω]

$$I_2 = \frac{U_{mu}}{R_{vb}} = \frac{339}{0{,}406} = 837 \quad (17)$$

I_2 … Proud tekoucí z druhé strany b [A]

U_{mu} … Úbytek napětí na vedení [V]

R_{vb} … Odpor vedení z druhé strany b [Ω]