




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

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

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

Středisko: ELEKTROTECHNIKY, TRAKCE, SDĚLOVACÍ A ZABEZPEČOVACÍ TECHNIKY			
Vedoucí střediska:  ING. MARTIN RAIBR	Odpovědný projektant SO, IO, PS:  ING. JAROSLAV PEROUTKA	Vypracoval: -	Kontroloval:  ING. MARTIN RAIBR

Název akce:	Číslo smlouvy:
Koncepce přechodu na jednotnou napájecí soustavu ve vazbě na priority programového období 2014-2020 a naplnění požadavků TSI ENE	15 523 208
	Projektový stupeň: Studie
Část:	Datum:
ZÁVĚR	07/2016
	Číslo částí: 8.

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

## **8. ZÁVĚR**

<i>Objednatel</i>	<b>Česká republika – Ministerstvo dopravy</b>
<i>Zpracovatel</i>	<b>SUDOP Praha a. s.</b>
	<b>SUDOP Brno, spol.sr.o.</b>

**Objednatel:**

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

**Zhotovitel:**

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

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

## Obsah

8.1 Závěry studie.....	3
8.1.1 Efekty změny systému 3 kV na 25 kV.....	3
8.1.2. Úspory elektrické energie .....	4
8.1.3. Úspory odstraněním škod způsobovaných bludnými proudy.....	5
8.1.4. Úspora nákladů na údržbu vozidel odstraněním stejnosměrných podélných proudů ...	7
8.1.5. Úspora inv. a provozních nákladů při dokončování elektrizace sítě železnic SŽDC .....	7
8.1.6. Úspory přechodem na uzemněné kolejnice .....	8
8.1.7. Úspory při budování vysokorychlostního železničního systému .....	10
8.1.8. Úspory vyšší odolností při ledovce.....	11
8.1.9. Úspory vyšší trvanlivostí trolejového drátu .....	12
8.1.10. Úspory odstraněním stykových míst.....	12
8.1.11. Zajištění (zvýšení) kvality napájení.....	13
8.1.12. Zvýšení výkonnosti subsystému ENE .....	14
8.1.13. Zajištění bezpečného dotykového napětí.....	15
8.1.14. Návaznost na ETCS .....	16
8.1.15. Souběžná sdělovací a zabezpečovací kabelová vedení.....	17
8.1.16 Průběžná obnova pevných trakčních zařízení.....	18
8.1.17. Problematika připojení na energetiku .....	18
8.1.18. Výsledky CBA analýzy .....	19
8.2 Doporučení pro provozovatele a zadavatele .....	20
8.2.1 Doporučení k sdělovacímu zařízení vzhledem k přechodu na 25kV .....	20
8.2.2 Doporučení k zabezpečovacímu zařízení vzhledem k přechodu na 25kV.....	21
8.2.3 Doporučení k trakčnímu vedení vzhledem k přechodu na 25kV .....	22
8.2.4 Doporučení k silnoproudému zařízení vzhledem k přechodu na 25kV.....	22

## 8.1 Závěry studie

Výsledky řešení studie vedou k jednoznačnému závěru:

- sjednotit napájení železnic v ČR na jednotný systém 25 kV,
- hlavními důvody jsou zajištění potřebné výkonnosti subsystému ENE (aby nelimitoval výkonnost subsystémů INS, CCS a RST) a tím i celého železničního systému, snížení ztrát energie a zjištění bezpečnosti,
- velmi podstatným přínosem konverze je i zásadní snížení nákladů na elektrizaci dosud neelektrizovaných tratí v severní části ČR,
- uskutečnění záměru konverze neodkládat, neboť každé další prodlení vede k ekonomickým ztrátám,
- není na místě se obávat negativní reakce dopravců, avšak je potřené program sjednocení napájecích systémů veřejně vyhlásit (obdobu NIP ERTMS), neklepe společně s programem elektrizace dosud neelektrizovaných tratí,
- s ohledem naález Evropského účetního dvora, že existence dvou různých systémů napájení v ČR a chybějící elektrizace je vážnou překážkou k rozvoji nákladní dopravy a s ohledem na skutečnost, že CBA analýza potvrdila nadlimitní hodnotu EIRR projektu konverze systému 3 kV na 25 kV, lze předpokládat významný podíl EU fondů na jeho financování,
- díky orientaci na moderní technologie (symetrizace odběru pomocí aktivních balancérů) bude možno konverzi provést prakticky bez výstavby nových elektrických distribučních vedení,
- konverzi systému napájení koordinovat s implementací ETCS,
- v rámci konverze systému napájení přejít z bezpečnostních důvodů na princip uzemněných kolejnic.

### 8.1.1 Efekty změny systému 3 kV na 25 kV

V roce 2015 bylo v ČR v síti SŽDC 1 774 km železničních tratí napájených systémem 3 kV. Byla na nich vykonána dopravní práce cca 40 miliard tkm a k tomu bylo při měrné spotřebě cca 22 Wh/tkm spotřebováno 884 milionů kWh elektrické energie na vstupu celkem 63 trakčních napájecích stanic.

Je předpoklad, že přepnutí na první části začne od roku 2025 a bude probíhat do roku 2037.

Podle dopravní sektorové strategie MD ČR mělo v rozmezí let 2015 až 2035 dojít na železnici:

- nárůstu přepravních výkonů osobní železniční dopravy na 1,434 násobek,
- nárůstu přepravních výkonů nákladní železniční dopravy na 1,193 násobek.

Již současný vývoj je následující:

- v oblasti osobní dopravy došlo v průběhu let 2010 až 2015 k výrazně vyššímu nárůstu skutečných přepravních výkonů, než předpokládala DSS. Ta uváděla růst 6 % (tedy 1,2 % meziročně), ale ve skutečnosti byl dosažen růst více než čtyřnásobně vyšší (26 %, tedy 5,2 % meziročně) s tendencí progresu (rok 2015 vůči roku 2014 o 7 %, první čtvrtletí roku 2016 vůči prvnímu čtvrtletí roku 2015 o 9 %),
- v oblasti nákladní došlo k významným rozhodnutím jak ze strany EU (zřízení RFC koridorů s preferencí nákladní dopravy, opatření ke zvýšení délky nákladních vlaků na 740 m) tak ze strany ČR (Usnesení vlády ČR č. 978/2015 které požaduje převedení 30 % silniční nákladní dopravy na železnice již do roku 2030). Konkrétní kroky MD ČR a SŽDC v oblasti rozvoje železniční dopravní cesty (modernizace Labské pravobřežní tratě, stavba druhé traťové koleje Velký Osek – Choceň, stavba nové paralelní trati Choceň – Ústí nad Orlicí, ...) směřují k jejich naplnění.

Dále nelze zapomínat, že tratě elektrizované systémem 3 kV patří z velké většiny do sítě TEN-T, tedy do té části sítě, která je nejvíce zatížena (27 % délky tratí vykonává 77 % přepravních výkonů osobní železniční dopravy a 90 % přepravních výkonů nákladní železniční dopravy) a nejvíce na ni roste přepravní poptávka, zatím co DSS uvádí hodnoty celosíťové.

Proto je velmi umírněné předpokládat v rozmezí dvaceti let 2015 až 2035 na tratích SŽDC dosud elektrifikovaných systémem 3 kV:

- růst přepravních výkonů osobní železniční dopravy na 1,56 násobek (součin nárůstu počtu vlaků o 20 % a nárůstu počtu osob ve vlaku o 30 %), což odpovídá ročnímu nárůstu přepravních výkonů o 2,8 % (roční 1 % nárůst počtu vlaků a roční 1,5 % nárůst počtu osob ve vlaku),
- růst přepravních výkonů nákladní železniční dopravy na 1,68 násobek (součin nárůstu počtu vlaků o 20 % a nárůstu hmotnosti zboží ve vlaku o 40 %), což odpovídá ročnímu nárůstu přepravních výkonů o 3,4 % (roční 1 % nárůst počtu vlaků a roční 2 % nárůst hmotnosti zboží ve vlaku).

S ohledem na vývoj v letech 2010 až 2015 i s ohledem na další trendy jde o velmi konzervativní odhad. Avšak u dimenzování pevných trakčních zařízení je nutnou uvažovat i dynamičtější vývoj a napájení elektrických drah dimenzovat tak, aby neomezovalo možnosti, které trať, způsob řízení a zabezpečení vlakové dopravy i vozidla umožňují.

### 8.1.2. Úspory elektrické energie

Nevýhodou systému 3 kV je nízká účinnost trakčního vedení, která navíc klesá s rostoucím výkonem:

$$\eta = (P - \Delta P) / P = 1 - \Delta P / P = 1 - R \cdot I^2 / (U \cdot I) = 1 - r \cdot L \cdot P / U^2$$

Typická hodnota účinnosti pro tratě SŽDC napájené systémem 3 kV je v současné době cca 80 %. To je výrazně méně, než u systému 25 kV, který díky násobně vyššímu napětí pracuje (navzdory větší vzdálenosti napájecích stanic, jednostrannému napájení a menším průřezům vodičů) s účinností kolem 96 %. Při konverzi systému 3 kV na 25 kV bude s ohledem na zachování nevelké vzdálenosti napájecích stanic, dvoustranného napájení a velkých průřezů na úrovni DC systému účinnost trakčního vedení cca 99 %. Tak značný rozdíl ve ztrátách (20 % versus 1 %) se projevuje při obou směrech toku proudu – při odběru, i při rekuperačním brzdění.

Další energetickou nevýhodou systému 3 kV ve srovnání se systémem 25 kV je nižší úspěšnost rekuperace. Ta vyplývá jak z nízké přenosové schopnosti vedení (malý napěťový spád omezuje vzdálenost, na kterou jsou si vozidla schopna předat energii) a z neschopnosti tradičních měníren (s diodovými usměrňovači) vracet proud distribuční sítě.

Úspory energie při náhradě systému 3 kV systémem 25 kV tedy mají tři příčiny (nižší ztráty při přenosu energie z napájecí stanice k vozidlu, nižší ztráty při zpětném přenosu rekuperované energie a vyšší úspěšnost rekuperačního brzdění) a proto jsou značné - činí cca 30 %.

Pokud by došlo k posílení stejnosměrného napájení doplněním dalších měníren (typicky uprostřed mezi dvojicí současných sousedních měníren), tak na jedné straně dojde k nárůstu účinnosti (který bude z části zhoršen vyšším výkonovým zatížením při nárůstu intenzivnější dopravy). Avšak zároveň dojde vlivem zkrácení meziměřírenských úseků k poklesu úspěšnosti rekuperace.

V konkrétním případě lze mezi variantami bez projektu (posílený DC systém) a variantou s projektem (AC systém) předpokládat úsporu energie:

- 245 mil. kWh/rok (588 mil. Kč/rok) při provozu v úrovni roku 2015,
- 424 mil. kWh/rok (1 017 mil. Kč/rok) při provozu v úrovni roku 2035.

Mezi variantami bez úprav (současný DC systém) a variantou s projektem (AC systém) lze předpokládat ještě vyšší úsporu energie:

- 297 mil. kWh/rok (713 mil. Kč/rok) při provozu v úrovni roku 2015,
- 588 mil. kWh/rok (1 411 mil. Kč/rok) při provozu v úrovni roku 2035.

### 8.1.3. Úspory odstraněním škod způsobovaných bludnými proudy

Při průchodu stejnosměrného proudu vlhkou zemí dochází k elektrolytickému úbytku kovů a to jak při výstupu proudu z tratě, tedy na majetku dráhy (kolejnice a další kovové části železničního svršku a s nimi spojené předměty), tak při výstupu proudu z kovových konstrukcí v zemi uložených podél tratě či v jejím okolí (respektive země se dotýkajících), kterými proud náhodně prochází.

Podle Faradayova zákona je proud o intenzitě 1 A za 1 rok (náboj 1 A rok) schopen vyloučit 9,15 kg železa a to dvakrát – jednou při výstupu z tratě (paty kolejnic, s kolejnicí spojené ocelové výztuže v základech betonových základů, ...) a podruhé při výstupu z kovových konstrukcí podél tratě či v jejím okolí (mosty, tunely, ploty, zábradlí, kostry fabionů, potrubí, pláště kabelů, ...).

V roce 2015 spotřebovala železnice napájená systémem 3 kV v ČR 884 milionů kWh elektrické energie, což odpovídá střednímu proudu 30 587 A. Pokud by veškerý tento proud procházel zemí a přitom navštívil kovové konstrukce, dokázal by spotřebovat:

- 280 t železa na výstupu z tratě,
- 280 t železa na výstupu z konstrukcí

Tedy dohromady 560 t železa. Proto jsou činěna ochranná opatření, aby zpětný proud tekli kolejnicemi, nikoliv zemí. Ta však nejsou dokonalá a již pouhé do země unikající 1 % proudu dokáže vytvořit značné škody – dokáže strávit  $2,8 + 2,8 = 5,6$  tun železa za rok.

Náklady spojené s bludnými proudy lze rozdělit do tří skupin:

- náklady na preventivní opatření proti zhoubným účinkům bludných proudů (izolace, drenáže, ...),
- přímé náklady na obnovu poškozených předmětů bludnými proudy (jejich opravy a výměny),
- nepřímé náklady spojené s poškozením předmětů bludnými proudy (následné způsobené selháním funkcí poškozených předmětů, škody způsobené únikem látek z potrubí a jinými haváriemi).

Železnice škody na majetku jiných vlastníků neeviduje, proto nejsou známy. Zjistit je není snadné, a to mimo jiné z právních důvodů.

K dispozici je však analytický materiál „Korozní vlivy elektrických trakčních proudových soustav na kovová zařízení“ (SUDOP Hradec Králové, 4/1987, ing. Hisira). Na základě dotazů u 130 externích organizací z oblasti průmyslu a provozovatelů sítí byly zjištěny v tehdejší Československu náklady spojené s bludnými proudy ve výši 250 až 315 mil. Kč/rok (střed 283 mil. Kč/rok).

V přepočtu na současnou síť stejnosměrných 3 kV železnic a na současný provoz železnic na území ČR (spotřeba elektrické energie 1 883 mil. kWh ročně versus 884 mil. kWh ročně) a na současnou hodnotu peněz (inflace mezi roky 1986 a 2015: 552 %) byly přepočteny současné externí náklady spojené s bludnými proudy, a to 733 mil. Kč ročně v úrovni roku 2015 (měrné náklady: 0,83 Kč/kWh).

V úrovni předpokládaného rozsahu provozu roku 2035 činí přepočtené náklady 1 274 mil. Kč/rok při stávajícím řešení systému 3 kV a 1 138 mil. Kč/rok při posíleném řešení systému 3 kV (varianta bez projektu). U systému 25 kV tyto náklady odpadají.



#### 8.1.4. Úspora nákladů na údržbu vozidel odstraněním stejnosměrných podélných proudů

Obdobou zemí tekoucích bludných proudů jsou podélné proudy, které protékají vozidly. Vozidla vytvářejí ke kolejnici paralelní cestu, a tak se zpětný proud tekoucí kolejnici (od místa odběru k trakční napájecí stanici) dělí v poměru impedancí mezi kolejnice a vlak, který nesou. Vlakem tak mohou na tratích elektrizovaných systémem 3 kV protékat proudy řádu stovek ampér (přes dvojkolí a podvozky do skříně prvního vozu, postupně přes tažné a nárazecí ústrojí do skříní dalších vozů a přes podvozky a dvojkolí posledního vozu zpět do kolejnice). Zejména u nákladních vozů, které nemají chráněná ložiska, může docházet k jejich nekontrolovanému poškození. Tento jev je poměrně málo známý a málo probádaný (průchod proudu způsobuje pomalou degradaci oběžných ploch ložisek), ale jeho dopad na zkrácení životnosti ložisek je významný. Byť zpravidla není zhoršení technického stavu či porucha ložisek dávana do souvislosti s provozem vozidel na tratích elektrizovaných stejnosměrným systémem.

#### 8.1.5. Úspora inv. a provozních nákladů při dokončování elektrizace sítě železnic SŽDC

Při pohledu na mapu ČR je nápadný rozdíl mezi relativně velkým počtem elektrifikovaných tratí na jihu od osy bývalého hlavního tahu Ústí nad Labem Praha / Nymburk – Kolín – Olomouc – Vsetín (tedy v prostoru systému 25 kV) a velmi malým počtem elektrifikovaných tratí na sever od této osy (tedy v prostoru systému 3 kV). Nepochybně jednou z příčin této skutečnosti je nízká přenosová schopnost trakčního vedení 3 kV, která vede k velkému počtu trakčních napájecích stanic (k jejich malé vzdálenosti).

Zejména na jednokolejných tratích, na kterých je jízdní řád podmíněn křižováním vlaků v určitých stanicích, vychází velmi velký poměr mezi jmenovitým výkonem, na který musí být napájecí stanice dimenzovány (což určuje investiční náklady) a jejich středním výkonem, na který jsou zatěžovány (který určuje přínosy). Napájecí stanice totiž musí být instalovány blízko sebe, s ohledem na hmotnost vlaků a četnost jejich provozu zde na vzdálenost cca 20 km (princip „korálků na nití“). V oblasti jejich dosahu se proto zpravidla nachází jen málo vlaků, proto jsou zatěžovány velmi proměnlivým výkonem. Poměr maximálního a středního výkonu bývá 10 a více. Typickým jevem je krátká velká špička odběru (současný rozjezd dvou vzájemně se křižujících vlaků) a následně pauza až do jejího opakování po uplynutí časového taktu vlakové dopravy (například jedna hodina či půl hodiny). Je proto logické, že při uvažování systému 3 kV vychází elektrizace těchto tratí nerentabilně.

Zcela jiné řešení umožňuje střídavý napájecí systém 25 kV. Jeho vyšší přenosová schopnost vytváří, zejména při použití systému jednotné fáze (dvoustranné napájení) se vzdáleností napájecích stanic do cca 100 km, předpoklady pro mnohem hospodárnější řešení. A to zejména při situování napájecích stanic do míst železničních uzlů (princip „sluníček“, praktikovaný v energetických sítích).

Tyto možnosti vedou k pozoruhodným možnostem. Pro další elektrizaci železnic v území na sever od bývalého hlavního tahu (dosud určeným pro stejnosměrný provoz) v rozsahu, který nyní SŽDC a MD ČR sledují jako tratě vhodné pro případnou elektrizaci, a to v rozsahu zhruba 1600 km převážně jednokolejných tratí, lze dojít ke dvěma výsledkům:

- při zachování napájení bývalého hlavního tahu systémem 3 kV a při použití systému 3 kV i pro elektrizaci dalších cca 1 600 km převážně jednokolejných tratí bude nutno i při použití těžkého trakčního vedení vybudovat celkem cca 67 nových napájecích stanic (zhruba 1 napájecí stanice na 24 km nově elektrifikovaných tratí, což odpovídá vzdálenosti sousedních napájecích stanic cca 20 km a situování některých napájecích stanic do železničních uzlů s cílem, aby posloužily více tratím). Řadu z nich bude nutno vybudovat v místech bez přítomnosti náležitě výkonné distribuční energetické elektrické sítě 110 kV nebo 22 kV, což si vyžádá velké náklady na rozšíření energetických sítí. Navíc je vážné riziko, že stavbu distribučních vedení 22 kV či 110 kV se v silně urbanizovaných či přírodně chráněných oblastech realizovat nepodaří,
- při změně napájení bývalého hlavního tahu ze systému 3 kV na systém 25 kV a při použití systému 25 kV i pro elektrizaci dalších cca 1 600 km převážně jednokolejných tratí bude i při použití lehkého trakčního vedení pro jejich napájení z velké části postačovat využít současné již existující napájecí stanice na již elektrifikovaných tratích, přebudované ze systému 3 kV na systém 25. Postačí vybudovat cca 4 nové napájecí stanice (zhruba 1 napájecí stanice na 400 km nově elektrifikovaných tratí). Nové napájecí stanice (Česká Lípa, Liberec, Trutnov, Náchod) budou vesměs budovány ve velkých průmyslových centrech s přítomností náležitě výkonné distribuční energetické elektrické sítě 110 kV.

Při směrné hodnotě nákladů 25 kV a 3 kV vychází úspora investičních nákladů dokončení elektrizace železnic v severní části státu 15 000 mil. Kč. K té je ještě možno přičíst úsporu nákladů spojených s bludnými proudy a pokles provozních nákladů (například: nižší ztráty energie).

#### 8.1.6. Úspory přechodem na uzemněné kolejnice

Z obavy před vznikem bludných proudů nejsou systémy stejnosměrně napájených drah strojeným způsobem uzemněny – chovají se jako trolejbus, kterému spadl jeden drát na zem. Kolejnice jsou se zemí spojeny jen náhodně přes svodové impedance, které mohou být dosti vysoké, zejména při dobrém technickém stavu železničního svršku. Na elektrifikované železnici tak existují technická zařízení s domněle stejným potenciálem (zem), mezi kterými však mohou být napětí značných hodnot a mezi kterými mohou protékat (při jejich vzájemném propojení) proudy řádu až stovek Ampér:

- kolejnice (protékaná proudem stovek až tisíců ampér, avšak s nezaručenými elektrickými vlastnostmi a s dosti velkým elektrickým odporem, na které vzniká podélný úbytek napětí v řádu desítek až stovek Voltů,

- země a s ní spojené předměty (například: stožáry s železobetonovými základy, mostní konstrukce, elektrické předměty s ochranou před dotykem neživých částí zemněním,...),
- uzemňovací soustavy bleskosvodů,
- uzemněný ochranný vodič distribuční sítě 3 x 400 V / 230 V 50 Hz a veškeré s ním spojené neživé vodivé části jakýchkoliv elektrických předmětů (ochrana nulováním).

Náhodné vzájemní propojení těchto jednotlivých systémů (kolejnice / náhodně či záměrně uzemněná kovová konstrukce, kolejnice / ochranný vodič distribuční elektrické sítě nn a s ním spojené neživé vodivé části elektrických zařízení, kolejnice / bleskosvod) může vyvolat proudy s destruktivními důsledky. Ty jsou nebezpečné jednak tím, že mohou vyvolat požár vlivem vysokých teplot přetížených vodičů a jednak tím, že mohou přerušit (přepálit) dotyčné vodiče s důsledkem nekontrolované nefunkčnosti uzemnění v systému ochrany neživých vodivých částí před nebezpečným elektrickým dotykem či v systému ochrany proti zásahu blesku. V důsledku toho pak je ochrana před nebezpečným dotykem neživých částí, či ochrana před zásahem blesku dlouhodobě neúčinná, aniž by to bylo signalizováno. Samostatným tématem je vypalování izolovaných styků mezi kolejnicemi s různým potenciálem (například: kosé propojky) a s tím spojené poškozování oběžné plochy kol vozidel elektrickým výbojem. Velmi znepokojivé je i skutečnost, že kolejnice nejsou uzemněné a tedy se chovají jako neuzemněný bleskosvod – důsledkem například mohou být poruchy zabezpečovacích zařízení v důsledku bouřek.

Je potřebné vnímat, že situace v této oblasti se postupně zhoršuje:

- s rostoucí rychlostí jízdy vlaků rostou i výkony vozidel a tedy i proudy protékající kolejnicemi,
- v současnosti používané legované kolejnice mají vyšší odpor (negarantovaný parametr), než dříve používané kolejnice,
- v současnosti k připojení stykových tlumivek kolejových obvodů železničních zabezpečovacích zařízení používaná ocelová lana mají násobně vyšší odpor, než dříve používaná měděná lana. Odpor těchto lan a jimi připojených tlumivek, kterými je izolovaný styk překlenut, bývá ekvivalentem 100 a více metrů dvojice homogenních kolejnic, což zásadním způsobem zhoršuje vodivost zpětné cesty,
- lepší stav železničního svršku, moderní konstrukce nástupišť a úrovnových přejezdů způsobují větší odpor mezi kolejnicemi a zemí.

V návaznosti na odklon železniční zabezpečovací techniky od potřeby používat izolované styky (náhrada kolejových obvodů počítači náprav), která bude završena zavedením vlakového zabezpečovače ETCS a zrušením kódování pro starší systém LS vzniknou na tratích SŽDC podmínky pro přechod na uzemnění kolejnic, na zavedení jednotné „železniční země“, která spočívá v důsledném propojování kolejnic se všemi okolními náhodně či záměrně uzemněnými předměty (včetně použití zemního lana zavěšeného na stožárech trakčního vedení).

Nutnou podmínkou zavedení jednotné „železniční země“ i v ČR je přechod od DC na AC napájení, neboť z důvodu obav před podporou vzniku bludných proudů nelze u DC systémů kolejnice ani napájecí stanice spojovat se zemí.

Po sjednocení napájecích systémů na 25 kV, kterému bude prakticky na všech v úvahu přicházejících tratích předcházet náhrada národního vlakového zabezpečovače třídy B (systém LS) jednotným evropským vlakovým zabezpečovačem třídy A (systém ETCS), bude možno zrušit kolejové obvody. To přinese významné snížení poruch, v současnosti primárně (systémově) způsobovaných chybějícím (respektive neproveditelným) řádným uzemněním kolejnic. Přínosem bude jak spolehlivější provoz železnic v důsledku snížení četnosti výskytu poruch (méně výpadků v důsledku zásahu blesku či náhodné spojení nulového či ochranného vodiče s kolejnicí), z tak i nákladů na likvidaci s nimi spojených havárií.

Samostatným tématem jsou stykovými tlumivkami nepřeklenuté kosé propojky. Tedy místa, kde se v izolovaném styku setkávají dvě kolejnice o různém potenciálu, což je dáno různými úbytky napětí na zpětné cestě (na dvojici kolejí protékaných různými proudy). Ty jsou problematické jak na stejnosměrném systému (vypalují se shora, a to obloukem po zkratování kolem jedoucího vlaku), tak i na střídavém systému (prorážejí se napětím zdola - přes prach na horních plochách paty kolejnic. Jediným řešením je přestat používat kolejové obvody a s nimi související izolované styky.

Odhad úspor nákladů spojených s odstraněním potíží spojených s a poruchami plynoucími z nedokonalého uzemnění, které ustanou při přechodu na systém jednotné železniční země, není snadno učinit. Poruchy této povahy nejsou centrálně evidovány, ale odhadem jde o desítky až stovky milionů Kč ročně.

#### 8.1.7. Úspory při budování vysokorychlostního železničního systému

Další zásadní investiční a provozní úspora sjednocení napájení železnic v ČR na hodnotu 25 kV se týká vysokorychlostního železničního systému. Podle Nařízení Evropského parlamentu a rady č. 1315/2013 mají tratě vysokorychlostního železničního systému v ČR spojovat mimo jiné i města Ústí nad Labem, Praha, Přerov a Ostrava. Ta se nacházejí v zóně, která je dosud napájena napětím 3 kV. Vysokorychlostní železnice je však nutno napájet napětím 25 kV (respektive 15 kV), neboť jízda vysokou rychlostí (kolem 300 km/h) vyžaduje vysoké výkony (pro vlaky o délce 400 m až 20 MW, které již nejsou stejnosměrné systémy schopny zajistit. Vedlo by to k extrémně vysokým proudům a tím i ke sběračům proudu s velmi hmotnými hlavicemi. Ty by při jízdě vysokými rychlostmi vlivem dynamických sil obtížně zajišťovaly kontakt s trolejovým drátem.

Zaústění vysokorychlostní trati napájené napětím 25 kV do železničního uzlu napájeného napětím 3 kV je velmi nešťastným řešením:

- v průběhu rozjezdu, kdy vlak potřebuje co nejradikálněji akcelarovat aby co nejdříve získal traťovou rychlost (a v případě výjezdu z Pražské kotliny i nadmořskou výšku, analogie se startem letadla je plně na místě), musí při změně systému 3 kV na 25 kV přerušit tažnou sílu a rekonfigurovat

trakční obvod. Tím dochází k nepříjemné ztrátě času, kterou je možno kompenzovat jedinečně následnou jízdou vyšší rychlostí, tedy s vyšší spotřebou energie,

- v průběhu brzdění před zastavením, kdy vlak potřebuje co nejradikálněji deakcelarovat, s cílem aby snížil svoji rychlost (a v případě dojezdu do Pražské kotliny i nadmořskou výšku, analogie s přistáváním letadla je plně na místě) musí vlak z důvodu změny napájení ze 25 kV na 3 kV přerušit brzdou sílu a rekonfigurovat trakční obvod. Tím dochází k další nepříjemné ztrátě času, kterou by bylo možno kompenzovat jedinečně předchozí jízdou vyšší rychlostí, tedy s vyšší spotřebou energie. Při nahrazení rekuperační elektrodynamické brzdy třecí brzdou, nebo elektrodynamickou odporovou brzdou, dochází ke zbytečným ztrátám energie (kinetická a případně potenciální energie vlaku se nepřemění v elektřinu, ale v odpadní teplo).

- velkou komplikací je přejíždění mezi konvenční tratí a tratí VRT. Těchto přechodových míst je vždy několik na každé větvi VRT. Na těchto přechodech musí být nainstalováno klasické mezisystémové dělení. To bude přinášet velké problémy při nájezdu z konvenční tratě na trať VRT. Vlaky při pomalém najíždění na vysokorychlostní trať budou blokovat provoz na této hlavní trati.

Proto je přeměna napájení železničních uzlů Ústí nad Labem, Praha, Přerov a Ostrava ze 3 kV na 25 kV velmi racionálním přípravným krokem (vkladem) pro integraci ČR do evropské sítě vysokorychlostních železnic. Výstavbu a provoz vysokorychlostních železnic nebude nutno komplikovat dvousystémovým řešením.

#### 8.1.8. Úspory vyšší odolnosti při ledovce

Zkušenost z řady zemí ukazuje, že střídavé napájecí systémy 15 kV a 25 kV jsou mnohem odolnější vůči působení ledovky (mrznoucího deště), než systém 3 kV. Napětí 25 kV je schopno vrstvu ledu mezi trakčním vedením a sběračem prorazit a zajistit přenos proudu. Při běžném železničním provozu lze jízdou vlaků trakční vedení udržet sjízdné, nedochází k plošnému kolapsu železnice.

Napětí 3 kV není schopno vrstvu ledu mezi trakčním vedením a sběračem prorazit a zajistit přenos proudu. Při běžném železničním provozu nelze jízdou vlaků trakční vedení udržet sjízdné, dochází k plošnému kolapsu železnice. Zastavení provozu vyvolává intenzivní nárůst vrstvy ledu, provoz není snadné obnovit.

Události v ČR dne 1. 12. 2014 tuto zkušenost potvrdily – zatím co elektrický provoz na tratích napájených napětím 3 kV celoplošně ustal, tak tratě napájené napětím 25 kV plnily svojí funkci (pokud nebyly jiným způsobem poškozeny - pád stromu a podobně), k jejich plošnému selhání nedošlo.

Při ročních výnosech osobní železniční dopravy v úrovni cca 37 miliard Kč (osobní doprava 21 mld. Kč/rok, nákladní doprava cca 16 miliard Kč /rok) má dvoudenní výpadek systému, který zajišťuje cca 60 % přepravních výkonů železniční osobní dopravy v ČR přímou hodnotu cca 122 milionů Kč. Při pravděpodobnosti výskytu tohoto meteorologického jevu 5 % / rok je střední roční přímá škoda

ledovkou cca 6 mil.Kč. Nepřímé škody odřeknutím vlaků lze odhadnout na cca dvojnásobek, tedy celková škoda činí u DC systému cca 18 mil Kč/rok.

#### 8.1.9. Úspory vyšší trvanlivostí trolejového drátu

Významnou nákladovou položkou provozních nákladů pevných trakčních zařízení je výměna trolejového drátu, pokud se jeho opotřebení otěrem (zmenšení průřezu) blíží dovolené mezi.

Ve snaze opotřebení trolejového drátu a tím i náklady na jeho výměnu minimalizovat, a to použitím lehkých sběračů proudu s nízkým statickým přítlakem (60 až 90 N) a s uhlíkovou lištou s dobrými kluznými vlastnostmi (čistý uhlík). Toto provedení, které je úspěšně aplikováno na v řadě zemí (mimo jiné v Německu a v Rakousku), dovoluje cca 1,0 až 1,5 milionu přejetí trolejového drátu sběračem do výměny trolejového drátu z důvodu dosažení jeho mezního opotřebení (zeslabení) jeho průřezu otěrem (intenzita opotřebení trolejového drátu je menší než  $10 \text{ mm}^2$  na milion přejetí sběračem). Lehké sběrače proudu s nízkým přítlakem a s uhlíkovou lištou jsou však použitelné jen u systémů 15 a 25 kV, nikoliv u systému 3 kV. Vozidla napájená napětím 3 kV odebírají totiž při stejném výkonu ve srovnání se systémem 25 kV zhruba 8 krát větší proud. Proto vyžadují těžší sběrače s vyšším statickým přítlakem (100 až 120 N) a s mohutnější hlavicí. Obložení jeho lišty nelze zhotovit z uhlíku, neboť ten má nízkou elektrickou vodivost a přehříval by se. Proto je používán mědnografit.

Střídavá a moderní vícesystémová vozidla používaná na tratích SŽDC mají samostatné sběrače pro AC provoz (lehčí, menší přítlak, grafitová lišta) a pro DC provoz (těžší, větší přítlak, mědnografitová lišta), avšak stejnosměrná a starší vícesystémová vozidla jsou vybavena sběrači s mědnografitovými lištami, potřebnými pro DC provoz. Při náhradě systému 3 kV systémem 25 kV bude možno i v ČR přejít na výhradní použití sběračů s nízkým přítlakem a s čistým grafitem. Ve srovnání s výchozím stavem (DC systém) lze očekávat zhruba jeden a půl násobné snížení otěru trolejového drátu a tím i zvýšení jeho životnosti.

#### 8.1.10. Úspory odstraněním stykových míst

V síti železnic SŽDC existuje 7 míst styku soustav 3 kV a 25 kV (Kadaň, Králův Dvůr, Benešov, Kutná Hora, Svitavy, Nezamyslice a Nedakonice). Ta pochopitelně komplikují provoz. Vypnutí elektrického napájení opouštěného systému a následné zapnutí nového představuje po určitou dobu výpadek napájení trakčních i pomocných zařízení, který komplikuje provoz:

- prodloužení rozjezdu v důsledku přerušení tažné síly,
- znemožnění rekuperačního brzdění,
- přerušení práce pomocných zařízení,
- přerušení dodávky stlačeného vzduchu pro pneumatická zařízení,



- přerušení napájení palubních AC elektrických sítí,
- přerušení nabíjení akumulátorů palubní DC sítě,
- přerušení vytápění a chlazení (klimatizace) vnitřních prostor vlaku,
- přerušení činnosti kuchyňských zařízení.

Sjednocením napájecích systémů na úroveň 25 kV styková místa perspektivně vymizí. Byť budou v přechodném období vznikat a zanikat nová styková místa, respektive se budou posouvat tradiční místa styku.

#### 8.1.11. Zajištění (zvýšení) kvality napájení

Nízká přenosová schopnost napájecího systému 3 kV, která se vlivem zvyšování rychlosti jízdy vlaků a trakčních výkonnosti vozidel projevuje stále výrazněji, omezuje dosažitelný trakční výkon vozidel. U starších vozidel je pokles výkonu úměrný poklesu napětí a může probíhat do úrovně 67 % nominálního výkonu při poklesu napětí k hodnotě 2 000V. U novějších vozidel řešených v souladu s TSI LOC&PAS dochází záměrně k radikálnímu omezování výkonu již při poklesu napětí pod 90 % nominální hodnoty, tedy pod 2 700 V, a při poklesu napětí na 2 000 V klesá trakční výkon na nulu. Tento princip chrání systém elektrického napájení železnic před výpadky (odstavování vozidel zásahem podpěťové ochrany, přeneseně i zamezení vypínání napájecích stanic v důsledku proudového přetížení), což je jeho posláním. Avšak za cenu významného snižování disponibilního trakčního výkonu vozidel, což má vážné dopady na neplnění jízdních dob stanovených jízdním řádem a tím i na plynulost a pravidelnost železničního provozu.

Přechod ze systému 3 kV na systém 25 kV, který má výrazně vyšší přenosovou schopnost, tyto nedostatky odstraňuje a vytváří podmínky k tomu, aby vozidla disponovala neomezenými trakčními vlastnostmi a dodržovala jízdním řádem stanovené jízdní doby. To má zásadní dopad na plné využití trakčních vlastností vozidel (neomezených poklesem napětí) a tím i plnění jízdních dob stanovených jízdním řádem. Neméně důležité je umožnění jízdy vlaků v těsném sledu, tedy využití plné propustné kapacity tratí tak, jak dovolují železniční zabezpečovací zařízení bez prodlužování intervalů mezi vlaky elektrickým následným mezidobím. Tato skutečnost má velký význam zejména v souvislosti se zaváděním vlakového zabezpečovače ETCS, který posouvá meze zabezpečovací techniky (subsystému CCS) směrem k co nejvyššímu využívání kapacity tratí. Podobně je náležitá výkonnost pevných trakčních zařízení nutnou podmínkou k zajištění vozby nákladních vlaků délky 740 m podle Nařízení evropského parlamentu a rady č. 1316/2013.

Změna (sjednocení) napájecího systému na českých železnicích na 25 kV je nástrojem ke zvýšení výkonnosti a plynulosti železniční dopravy. Splnění kvality napájení podle EN 50 380 (napětí na sběrači vozidla nemá klesat pod 90 % nominální hodnoty) je uvažováno jako vstupní požadavek, který musí být splněn i ve variantě bez projektu, tedy při ponechání systému 3 kV. To však vyžaduje zásadním způsobem zvýšit přenosovou schopnost systému 3 kV. Toho lze reálně dosáhnout jedině zmenšením vzdálenosti měření – vložením dalších měření (jedné až dvou) mezi měřicí současně.

To je například řešení použité u systému 3 kV v Itálii na jižních alpských rampách. Vzdálenost měníren tam dosahuje 7 km, což je méně než třetina obvyklé vzdálenosti měníren na systému 3 kV v ČR.

Schopnost systému 25 kV poskytnout vlakům výrazně vyšší kvalitu napájení, než umožňuje současný stav systému 3 kV, je přirozeným nástrojem pro splnění požadavků ČSN EN 50 388 na kvalitu napájení vlaků.

#### 8.1.12. Zvýšení výkonnosti subsystému ENE

Nízká přenosová schopnost napájecího systému 3 kV, má vliv nejen na dodržování jízdního řádu, ale i na jeho konstrukci. Jde o elektrická následná mezidobí. Pro dopravu vlaku daným traťovým úsekem je potřebné určité množství energie. Nemá-li být překročen instalovaný výkon pevných trakčních zařízení, nesmí vlaky jezdit intervalu kratším, než elektrické následné mezidobí.

Toto tradiční pravidlo však nové naráží na nové mantinely:

- cílem mohutných investic do rozvoje zabezpečovací techniky, reprezentované například hromadnou instalací ETCS na tratích a vozidlech je nejen zvýšení bezpečnosti, ale i jízdu vlaků v těsnějším sledu. Z provozních i ekonomických důvodů je nutností, aby využití možnosti jízdy vlaků v těsnějším sledu, a tedy i zvýšení dopravní výkonnosti tratě, nebyla limitována nízkou výkonností pevných trakčních zařízení a tedy dlouhými elektrickými následnými mezidobími určenými stavem pevných trakčních zařízení,
- v předchozí odrážce uvedenou skutečnost naplňují vozidla, která svým výkonem umožňují dopravovat těžší vlaky, respektive plně využívat traťovou rychlost, případně též plně využívat investicemi do rozvoje železniční dopravní cesty zvýšenou traťovou rychlost,
- nezanedbatelný vliv na požadavek jízdy vlaků s velkým odběrem výkonu a tedy na růst výkonnosti pevných trakčních zařízení má i taktový jízdní řád. Pevná a periodicky se opakující časová poloha dálkových i regionálních vlaků osobní přepravy vede k nutnosti dopravovat nákladní vlaky rychle (co nejvíce využívat traťovou rychlost) a ve svazcích za sebou,
- významným iniciátorem růstu výkonnosti pevných trakčních zařízení jsou i RFC koridory. A to nejen nutností zajistit dostatek tras pro nákladní vlaky, ale i předepsanou schopností zajistit dopravu vlaků délky 740 m. Splnění této podmínky je dáno nejen odpovídající délkou předjízdňových kolejí ve vybraných stanicích, ale především náležitou výkonností pevných trakčních zařízení schopných takto dlouhé a patřičně těžké nákladní vlaky napájet,
- důvodem k tomu, aby elektrické následné mezidobím nelimitovalo sled jízdy vlaků, je i existující způsob řízení dopravy. Ten je založen na optimálním využití možností železniční dopravní cesty, zejména její zabezpečovací techniky. Systémově nebere v úvahu limity dané výkonností pevných trakčních zařízení. Proto je nutností, aby tyto limity nebyly více omezující, než možnosti dané zabezpečovací technikou,



- využití shora uvedených možností ke zvýšení intenzity dopravy nejsou teoretickou možností, ale realitou. Vyplývá to z růstu přepravních výkonů železnice v ČR všeobecně a na elektrifikovaných tratích zvlášť.

Přechod ze systému 3 kV na systém 25 kV, který disponuje výrazně vyšší přenosovou schopností, vytváří podmínky k tomu, aby pevná trakční zařízení zajistila napájení těžkých rychlých vlaků jedoucích v těsném sledu.

Změna (sjednocení) napájecího systému na českých železnicích na 25 kV je nástrojem ke zvýšení výkonnosti a plynulosti železniční dopravy. Zajistit napájení těžkých rychlých vlaků jedoucích v těsném sledu je uvažováno jako vstupní požadavek, který musí být splněn i ve variantě bez projektu, tedy při ponechání systému 3 kV. Současný stav pevných trakčních zařízení na tratích napájených systémem 3 kV však tento požadavek nesplňuje. Jeho naplnění vyžaduje zásadním způsobem zvýšit výkonnost systému 3 kV. Toho lze reálně dosáhnout jedině zmenšením vzdálenosti měníren – vložením dalších měníren (jedné až dvou) mezi měnírny současně.

Schopnost systému 25 kV umožnit jízdu vlaků v těsnějším sledu, než dovoluje současný stav systému 3 kV, je účinným nástrojem k tomu, jak splnit požadavky zadavatele na sled jízdy vlaků.

#### 8.1.13. Zajištění bezpečného dotykového napětí

Úbytek napětí na kolejnicích je podle Ohmova zákona určen součinem jejich odporu a proudu, který jimi protéká. Růst rychlosti a intenzity dopravy vedou ke zvýšení velikosti zpětných trakčních proudů. Zvyšování úrovně mechanických parametrů železniční dopravní cesty je však spojeno s růstem elektrického odporu zpětné cesty. Použití legované oceli vede ke zlepšení mechanických vlastností kolejnic, proto je používáno. Zároveň však nepříznivě působí na zvýšení měrného elektrického odporu kolejnic. Čisté železo má při referenční teplotě 20 °C měrný elektrický odpor cca 0,10 ohm mm<sup>2</sup>/m, uhlíková ocel používaná k výrobě kolejnic v době elektrizace železnic měla měrný elektrický odpor cca 0,168 ohm mm<sup>2</sup>/m a nyní v ČR v kolejnicích používaná legovaná ocel má měrný elektrický odpor cca 0,246 ohm mm<sup>2</sup>/m. Jen přechod z uhlíkové na legovanou ocel znamená při stejném průřezu kolejnic zvýšení jejich elektrického odporu o 47 %. Skutečné hodnoty elektrického odporu zpětné cesty jsou oproti minulosti ještě vyšší, a to paradoxně vlivem kvalitnějšího železničního svršku a jeho kvalitnější údržby – má nízkou vodivost vůči zemi. Odpor zpětné cesty trakčního proudu již není tak snižován paralelním odporem země, jako v minulosti. Na zvýšení odporu zpětné cesty negativně působí izolované styky (řetězec odporů: svorka – ocelové lano – vinutí stykové tlumivky – ocelové lano – svorka) instalované v kolejišti pro zajištění funkčnosti kolejových obvodů železničních zabezpečovacích zařízení. Přídavný odpor způsobený jedním izolovaným stykem odpovídá ekvivalentu délky koleje cca 100 m (zhoršený stav).

Zvýšený odpor zpětné cesty ( vyšší odpor legovaných kolejnic, stykových transformátorů, propojek, izolace železničního spodku,..) v kombinaci s vyššími hodnotami odebíraného trakčního proudu vede ke skutečnosti, že při současném uplatnění všech výše uvedených stavů mohou hodnoty dotykového napětí na kolejnicích překračovat povolené hodnoty. Zajištění povolených hodnot dotykového napětí

uzemněním kolejnic je sice možné, ale u systému 3 kV by to vedlo ke zvýšené aktivitě bludných proudů. Proto je navrženo tento problém řešit u stejnosměrného napájení zmenšením vzdálenosti trakčních napájecích stanic (měníren). To je součástí varianty bez projektu (stejnosměrný systém).

Velikost dotykového napětí na kolejnicích je nutné sledovat i u systému 25 kV. Hodnoty proudu jsou sice u systému 25 kV nižší, než u systému 3 kV, ale impedance kolejnic je při průtoku střídavého proudu vyšší, než při průtoku stejnosměrným proudem (vliv indukční reaktance i vliv skin efektu – feromagnetický materiál). Kolejnice však lze u systému 25 kV uzemňovat. Obava před účinky bludných proudů tomu na rozdíl od systému 3 kV nebrání. Je však potřebné přijmout takové řešení spojení se zemí, které nenarušuje činnost kolejových obvodů železničních zabezpečovacích zařízení. Ideálním řešením je úplné vyloučení izolovaných styků a průběžné uzemňování obou kolejnicových pásů, což bude při aplikaci ETCS (po vypnutí stacionární části systému staršího již nepotřebného vlakového zabezpečovače typu LS) v kombinaci s kontrolou volnosti koleje metodou počítačů náprav reálně proveditelné. Tím též odpadnou těžkosti a náklady spojené s poškozováním izolovaných styků (opaly proudem, průrazy napětím).

Splnění požadavků ČSN EN 50 122-1 je nutnou podmínkou provozování dráhy, neboť jde o normu bezpečnostně relevantní. Proto jsou technická řešení nezbytná k naplnění požadavků ČSN EN 50 122 -1 u tratí SŽDC elektrifikovaných systémem 3 kV z hlediska ekonomického hodnocení zahrnuta do varianty bez projektu (upgrade stejnosměrného systému 3 kV). Tím se rozumí jak úpravy ve zpětné cestě (měděné vložky ve styčných lan s kolejnicemi, náhrada svými parametry nevyhovujících stykových tlumivek novými tlumivkami s vyšší proudovou zatížitelností a tedy i s nižším odporem vinutí) tak i zkrácené délky napájených úseků vložení dalších měníren.

Po přechodu na 25kV budou splněny parametry napájení podle TSI ENE, ale ostatní parametry trakčního vedení (např. odvanutí troleje, správná součinnost se sběračem délky 1600 mm, ..) budou splněny pouze tam, kde přepnutí na 25kV bude v rámci modernizace (případně proběhne po ní). Stávající tratě, které nesplňují ostatní parametry TSI ENE je nebudou splňovat ani po přepnutí na 25kV. Tyto požadavky budou splněny až při kompletní rekonstrukci všech tratí, které toto zatím nesplňují. Proto je účelné sladit přípravu na přepnutí trakční soustavy s plánovanou modernizací trati.

#### 8.1.14. Návaznost na ETCS

Je realitou, že změna systému 3 kV na 25 kV bude probíhat v těsném sledu s akcí vybavování tratí a vozidel systémem ETCS. V souladu s Implementačním plánem ETTMS nebude po skončení migračního období připuštěn v zónách ETCS provoz vozidel bez náležitého vybavení palubní částí ETCS. To bude dalším významným krokem ke zvýšení bezpečnosti a výkonnosti železnice, výhody ETCS bude možno plnohodnotně využít. Pro zamezení nejednoznačnosti (vlakový zabezpečovač ETCS umožňuje vlaku jet rychleji, než mu přikazují hlavní návěstidla) budou v rámci zvýšení bezpečnosti

dopravy hlavní návěstidla odstraněna, spolu s tím ztratí i význam kódování pro systém LS a bude též zrušeno. (Viz též Dopravní řád drah ve vyhlášce č. 173/1995, § 9, odstavec 5.)

Prakticky na všech tratích, na kterých přichází v úvahu změna systému napájení ze 3 kV na 25 kV bude v krátké době zaváděno ETCS. Obě tyto činnosti je potřebné společně plánovat a koordinovat:

- zvýšení propustnosti tratí, umožněné systémem ETCS by nemělo být limitováno nízkou výkonností pevných trakčních zařízení (aby nebyla elektrická následná mezidobí delší, než možnosti dané nově investicemi do tratí i vozidel vybudovanou zabezpečovací technikou), což změna systému napájení ze 3 kV na 25 kV dokáže zajistit,
- zrušení hlavních návěstidel, která již nebudou strojvedoucí sledovat a zrušení kódování pro systém LS, které již nebudou vozidla přijímat, umožní minimalizovat rozsah úprav prováděných při změně systému napájení 3 kV na 25 kV.

#### 8.1.15. Souběžná sdělovací a zabezpečovací kabelová vedení

Napájení elektrických drah systémem 25 kV 50 Hz se vyznačuje induktivními účinky na souběžná sdělovací a zabezpečovací kabelová vedení. Trakční obvod tvořený řetězcem napájecí stanice – vrchní vedení – vozidlo – zpětné vedení – napájecí stanice představuje ve svislé rovině závit. Ten produkuje magnetické pole, které indukuje rušivá napětí do ostatních vedení. Jejich míra závisí nejen na velikosti proudu v trakčním vedení v provozních i poruchových stavech, ale i délce souběhu, vzájemné vzdálenosti a úhlu, který spolu vedení svírají. Induktivní účinky snižuje redukční činitel vlastního kabelu, kabelů v souběhu a v neposlední řadě i redukční činitel kolejí a vlastního trakčního vedení. Induktivní účinky snižuje i zemní lano.

Zejména dlouhá blízká souběžná vedená je nutno před indukcí rušivých vlivů chránit a to polohou (vzdáleností dle možností) od elektrifikované tratě a nízkým redukčním činitelem kabelu. Kabely s nízkým rk zvyšují náklady na změnu systému napájení drah ze 3 kV na 25 kV. Avšak při ekonomickém hodnocení je nutno mít na zřeteli některá fakta:

- je silný trend nahrazovat metalická vedení optickými, která jsou vůči rušení imunní,
- velká část zabezpečovacích a sdělovacích spojení je již dnes umístěna v blízkosti jiných zdrojů rušení a je již realizována jako stíněná,
- ETCS level 2 vede k minimalizaci prvků (návěstidel) v kolejišti,
- podle Věstníku dopravy 11/2013 je životnost kabelových vedení 18 let, tedy i ve variantě bez projektu musí být v hodnoceném období vyměněna. Rozdíl je pouze v tom, že ve variantě s projektem jsou měněna koordinovaně se změnami trakčního napájení.

### 8.1.16 Průběžná obnova pevných trakčních zařízení

Změna systému napájení ze 3 kV na 25 kV předpokládá postupnou přeměnu dosavadních 63 stejnosměrných trakčních napájecích stanic na střídavé. Náklady s tím spojené jsou v ekonomickém hodnocení uvedeny k tíži varianty s projektem.

Avšak v průběhu času též souběžně s tím dochází ke stárnutí současných stejnosměrných napájecích stanic. Jejich životnost je podle Věstníku dopravy 11/2013 uvažována 30 let, u silnoproudých rozvodů a zařízení jen 16 let. To při rovnoměrném investování praxi znamená zásadní obnovu  $63 / 30 = 2,1$  měnirny ročně. V období 30 let ekonomického hodnocení tedy bude muset být:

- ve variantě bez projektu (ponechání systému 3 kV) bude všech 63 DC napájecích stanic (3 kV měniren) jen z titulu vyčerpání životnosti obnoveno. Plus k tomu by bylo ve variantě bez projektu potřebné vybudovat další (vložené) stejnosměrné napájecí stanice k naplnění požadavků TSI ENE a LOC&PAS, ČSN EN 50 388 (napájení) a požadavků dle ČSN EN 50122-1, tedy systém napájení celkově výkonově posílit pro zvládnutí vyšších dopravních výkonů (viz Nařízení Evropského parlamentu a rady č. 1316/2013 a další programové dokumenty),
- ve variantě s projektem (změna systému 3 kV na 25 kV) bude část ze současných 63 DC napájecích stanic (měniren) přebudována na střídavé napájecí stanice a část zrušena. S ohledem na vyšší přenosovou schopnost systému 25 kV ve srovnání se systémem 3 kV by bylo možno zhruba polovinu současných 3 kV napájecích stanic zrušit. Avšak k nim vybudované přívody z distribučních sítí 110 kV respektive 22 kV a odpovídající rezervované výkony představují v současnosti obtížně dostupnou hodnotu. Proto bude rozhodnutí o jejich zachování a přebudování na systém 25 kV řešeno podle konkrétních místních podmínek. Důležitým hlediskem bude kromě zajištění provozu na trati, pro kterou byly zřízeny (včetně uvažování předpokládaných nárůstů prvních výkonů a včetně potřebné míry redundance) též předpoklad jejich využití pro napájení odbočných tratí. Právě vyžití napájecích stanic pro zásobování více tratí dostává s uvažovaným přechodem na systém 25 kV jednotné fáze zcela jinou dimenzi.

Výsledkem je ekonomického (ale i finančního) posouzení je proto fakt, že varianta bez projektu (ponechání systému 3 kV) je investičně téměř stejně náročná, jako varianta s projektem (náhrada systému 3 kV systémem 25 kV) v celé délce sítě.

### 8.1.17. Problematika připojení na energetiku

Přechod na jednotné napájení 25kV minimalizuje dopad na výstavbu a provoz distribučních elektrických sítí. Kvalita odběru elektřiny vyhoví podmínkám distributorů a budou zcela minimalizovány požadavky na výstavbu nových linek. A to jak podél již elektrifikovaných tratí převáděných ze systému 3 kV na 25 kV, tak i na dalším území dosud neelektrifikovaných tratí, kde bude systém 25 kV nově aplikován (sever ČR).

Bude nutné věnovat náležitou pozornost podmínkám propojení sousedních napájecích stanic dvoustranně napájeným trakčním vedením a případ od případu je individuálně posoudit a řešit. Zejména je nutné se soustředit na hledisko vzájemného ovlivňování trakčního vedení SŽDC a nadřazených přenosových sítí distributorů el. energii. Toto téma je řešeno ve spolupráci se všemi třemi distribučními společnostmi (E.ON, ČEZ a PRE) s cílem dosáhnout optimálního napájení železnice i optimálního využití a zatížení distribuční soustavy. A to jak z technického, tak i z ekonomického hlediska. V rámci této studie byly stanoveny základní zásady připojení napájecích stanic s technikou aktivních balancérů k distribuční síti a zásady řešení paralelního chodu (propojování sousedních napájecích bodů přes trakční vedení). Dále byla provedena inventarizace a kategorizace rozhraní mezi sousedními napájecími stanicemi. Konkrétní řešení jednotlivých lokalit bude zahrnuto do příslušných projektů.

#### 8.1.18. Výsledky CBA analýzy

Ekonomické hodnocení je zpracováno pomocí nákladovo-výnosové analýzy (Cost Benefit Analysis – CBA).

Z pohledu finanční analýzy jsou hodnoty FRR a FNPV pod hranicí ekonomické efektivnosti (konkrétně ve výši  $FRR = 0,03\%$ , resp.  $FNPV = -5\,956\,502$  tis. Kč). Je to logické, vzhledem k zaměření projektu na modernizaci infrastruktury, která z hlediska investora obvykle nepřináší podstatné finanční efekty. Projekt sice přinese efekty i v oblasti provozu investora (především úspora provozních nákladů infrastruktury oproti variantě Bez projektu), výše úspor však nebude tak velká, aby jimi byly pokryty celé investiční náklady.

Z hlediska ekonomické analýzy (celospolečenské prospěšnosti) vykazuje projekt dobré výsledky a jeho výsledné ekonomické ukazatele se pohybují nad hranicí efektivity (konkrétně ve výši  $ERR = 6,88\%$ , resp.  $ENPV = 2\,735\,476$  tis. Kč). Ukazatel poměru přínosů a nákladů vykazuje hodnotu  $BCR = 1,078$ .

## 8.2 Doporučení pro provozovatele a zadavatele

S ohledem na zkušenosti zjištěné v rámci aktivit spojených s řešením této studie (vyšší než uváděný odpor kolejnic, vyšší než uváděný odpor ocelových lan používaných k připojení stykových tlumivek) je doporučeno aktualizovat:

- předpis SR 34, neboť v něm uváděné hodnoty odporu zpětné cesty neodpovídají současné skutečnosti,
- předpis D 24, neboť již je zastaralý - některé v něm uváděné hodnoty neodpovídají současné skutečnosti,
- normu ČSN 33 3505 ed.2. Ta pojednává mimo jiné o vnitřní redundanci a neuvažuje se v ní o vzájemné zastupitelnosti napájecích stanic,
- normy 34 2613 a 34 2614. Zde je nutné opravit řešení zpětné cesty trakčního proudu.

### 8.2.1 Doporučení k sdělovacímu zařízení vzhledem k přechodu na 25kV

Na základě provedených průzkumů, rozborů a odhadu nákladů na nutné úpravy sdělovacího zařízení v souvislosti s přechodem na střídavou trakci, doporučuje zpracovatel následující řešení a postup.

#### Z hlediska technického:

Jako technicky perspektivní a lepší řešení je odklon od metalických kabelů v dálkovém a mezistaniční kabelové síti a částečně i v místní staniční kabelové síti. Řešení pomocí optických kabelů má velkou přednost v zamezení všech nebezpečných a rušivých vlivů nejen od železniční trakce, ale následně i ode všech jiných zdrojů těchto vlivů – VN a VVN energetické linky. V současné době je toto řešení výhodné i z hlediska připojovaného zařízení, kdy většina výrobců podporuje vývoj a výrobu zařízení na bázi IP protokolu, který je v dálkovém i místním styku přenášený přes datové uzly po optické kabelové síti, případně v místním styku po rozvodech strukturované kabeláže.

#### Z hlediska nákladového:

Vzhledem k tomu, že v případě setrvání na metalických kabelech by se musela převážná část těchto kabelů vyměnit za doprovodných zemních prací, došlo by k výraznému nárůstu nákladů. V případě přechodu na optické kabely je možné z velké části využít stávající optické kabelové sítě a rezervní HDPE trubky a množství zemních prací by znatelně pokleslo. Z tohoto důvodu je vhodnější a perspektivnější řešení s využitím optických kabelů.

#### Z hlediska legislativního:

Stávající směrnice a předpisy jsou poplatné technologii, která byla určující v době vzniku těchto dokumentů. Z tohoto důvodu není možné bez změny těchto předpisů realizovat úpravy pouze na bázi optických kabelových sítí, ale je nutné i nadále používat metalické kabely. Zpracovatel studie doporučuje zadavateli studie požádat příslušný odbor SŽDC o revizi příslušných předpisů a zpracování návrhu na jejich změnu. Na základě provedených úkonů pak rozhodnout o změně koncepce řešení na úpravu sdělovacího zařízení v souvislosti s přechodem na střídavou trakci. Do té doby je nutné vycházet z koncepce, která řeší ochranu výměnou metalických kabelů.

**Je nutné, aby do doby změny předpisů u probíhajících staveb modernizací, optimalizací a úprav stávajících tratí v oblastech kde dojde v budoucnosti ke změně trakční soustavy, byly pokládány pouze sdělovací a zabezpečovací kabely s nízkým redukčním činitelem (-ZE,-ZY plášť kabelů).**

#### 8.2.2 Doporučení k zabezpečovacímu zařízení vzhledem k přechodu na 25kV

Pokud bude v následujících letech docházet k výstavbě nových zabezpečovacích zařízení na tratích se stejnosměrnou trakční proudovou soustavou, bude výhodné mít v maximální míře tato zařízení již připravena pro přechod na jednotnou střídavou trakční soustavu 25 kV / 50 Hz. V současnosti nově budovaná zabezpečovací zařízení vyhovují pro obě trakční soustavy v oblasti elektrických zapojení a vnitřní logiky a dále v oblasti prostředků pro zjišťování volnosti úseků. Nevyhovují v oblastech kabelizace, vstupních napájecích rozvaděčů a rozvodů napětí ve stavědlových ústřednách.

Proto by v následujících letech při výstavbě nových zabezpečovacích zařízení na tratích se stejnosměrnou trakční proudovou soustavou mělo být postupováno následovně:

- Veškerá zabezpečovací kabelizace by měla být navrhována podle ČSN 34 2040, to znamená, že hlavní kabely, páteřní kabely a kabely delší než 500 metrů by měly být zřizovány s ochranným kovovým obalem, tj. typu TCEKPFLEZE. Uzemnění kovových obalů těchto kabelů bude dočasně řešeno v provedení pro stejnosměrnou trakční soustavu (jednostranné uzemnění, uzemnění přes kondenzátor apod.).
- Rozvod napětí pro prvky do kolejiště (např. pro návěstidla, výhybky, vazební obvody) bude nutné rozdělovat do více oblastí, které budou navzájem galvanicky oddělovány s využitím oddělovacích transformátorů. To znamená, že po stavědlové ústředně nebo v reléovém domku bude nutné zřizovat více příslušných napájecích sběrnic, tak jak je to u střídavé trakční soustavy 25 kV / 50 Hz běžné.
- Některé ze vstupních napájecích rozvaděčů zabezpečovacího zařízení jsou napájeny z trakčního vedení. Tyto vstupní rozvaděče jsou pevně nastaveny na připojení na danou trakční soustavu a nelze je upravovat nebo přepínat. U nových zařízení bude nutné, aby takový rozvaděč nejdříve pracoval se stejnosměrnou trakční soustavou a následně se střídavou trakční soustavou 25 kV / 50 Hz. Z těchto důvodů by bylo vhodné požadovat u výrobců a zhotovitelů zabezpečovacích zařízení vývoj vstupního napájecího rozvaděče, u kterého elektrické obvody základní přípojky z trakčního vedení budou umožňovat univerzální připojení napájení zabezpečovacího zařízení na stejnosměrnou nebo střídavou trakční soustavu a to



s tím, že při přepínání se budou provádět pouze minimální a rychlé úpravy, které nenaruší napájení zabezpečovacího zařízení, respektive které neomezí vlakovou dopravu.

- Nově navrhovaná zabezpečovací zařízení by měla počítat v souladu s touto studií se zřizováním provizorních dočasných styků trakčních soustav na dobu přepínání těchto soustav. V případě, že v místě dočasného styku trakčních soustav bude nově navrhováno použití kolejových obvodů, musí být tyto kolejové obvody konfigurovány tak, aby zřízení stykového místa umožnily. To znamená, že je nutné počítat v takových místech vždy s rozdělováním jednoho delšího kolejového obvodu na více kratších kolejových obvodů, které budou respektovat dočasné neutrální pole.

### 8.2.3 Doporučení k trakčnímu vedení vzhledem k přechodu na 25kV

Pro budoucí přechod trakční soustavy DC 3kV na jednofázovou střídavou soustavu 25kV 50Hz je nutné, aby zadání projektové dokumentace staveb na tratích SŽDC zahrnovalo následující podmínky:

- Trolejová vedení soustavy DC řešit na izolační stav 25kV.
- Průběhy trolejových vedení pod objekty (nadjezdy, lávky a tunely) řešit s ohledem na budoucí trakční soustavu 25kV50Hz.
- Nové přístroje:

-Odpojovače nového typu pro proud 2kA- 3kA splňující izolační parametry odpojovače pro trakční soustavy AC 25kV 50Hz.

- Konstrukce nových děličů musí vyhovovat pro napětí trakční soustavy 25kV a současně i odolnost děliče pro proudy stávající DC soustavy. V současnosti nejsou k dispozici úsekové děliče, které jsou izolačně na 25 kV a splňují požadavky na stejnosměrné trakční proudy. Tuto problematiku bude nutné případně řešit přechodným obdobím, kdy v krátkém čase před přepnutím budou úsekové děliče vyměněny, a do doby přepnutí bude přijato opatření pro jízdu se staženým sběračem.

- Bleskojistky růžkové pro trolejová vedení navrhovat s izolátorem pro AC soustavu 25kV a s růžky nastavenými pro stávající DC soustavu 3kV. Při výluce pro přepojení na trakční soustavu AC 25kV 50Hz růžky přenastavit na novou vzdálenost nebo v případě větší časové prodlevy mezi rekonstrukcí TV a vlastní konverzí se doporučuje provádět výměnu bleskojistek.

### 8.2.4 Doporučení k silnoproudému zařízení vzhledem k přechodu na 25kV

V návaznosti návaznost na budoucí přechod napájecího systému 25kV AC je vhodné sledovat následující typy souvisejících staveb ve fázi záměru projektu / přípravy:

V krátkodobém horizontu



- příprava staveb (rekonstrukce, zvýšení trakčního výkonu, novostavby) TNS systému 3kV DC s předpokladem zahrnutí do prvních etap přechodu napájecího systému (OŘ Ústí nad Labem, OŘ Praha, OŘ Ostrava)
- příprava staveb elektrizace systému 3kV DC/25kV AC s předpokladem zahrnutí do prvních etap přechodu napájecího systému (OŘ Ústí nad Labem, OŘ Praha, OŘ Ostrava)
- příprava staveb se zahrnutím magistralním rozvodem 22kV (koncepční problematiku řeší aktuálně SŽDC GŘ O14)

V návrhu řešení (stupeň PD) posoudit prostorové rezervy, upozornit na případnou nedostatečnost, zvážit nasazení mobilních řešení technologie a využitelnost technologie v případě přechodu na systém 25kV v horizontu kratším než 30 let (hodnotící období v EH)

V dlouhodobém horizontu

- příprava staveb (rekonstrukce, zvýšení trakčního výkonu, novostavby) TNS systému 3kV DC v železničních uzlech, I. TŽK v úseku Praha – Česká Třebová, II. a III. TŽK Česká Třebová – Olomouc – Ostrava
- příprava staveb elektrizace, modernizace, optimalizace v systému 3kV DC/25kV AC

V návrhu řešení (stupeň PD) posoudit prostorové rezervy, upozornit na případnou nedostatečnost v případě přechodu na systém 25kV v horizontu delším než 30 let (hodnotící období v EH)

V rámci koncepce technického řešení ve fázi přípravy stavby (přípravná dokumentace, projekt) doporučujeme:

#### U nových, případně rekonstruovaných TM napájených ze 110kV:

Posoudit možnost instalace transformátorů s převodem 110//27/23kV, zapojení YN//d1/yn0, s předpokládanou přetížitelností pro trakční systém 25kV AC o výkonech v uvažované řadě 12,5MVA, 16MVA, 25MVA - jako substituci standardních instalovaných transformátorů  $110 \pm 8 \times 2\%/23\text{kV}$ , YNyn0(d1). Terciální vinutí transformátoru vvn/vn lze pak s výhodou využít po přechodu na napájecí systém 25kV AC i pro koncepčně připravovaný magistralní napájecí rozvod 22kV. Provéřit parametry a možnosti instalace třípólového rozvaděče 35kV, jako typového výrobku provozovaného s fázovým napětím proti zemi 25kV (obvyklé jsou však výrobky pro hladinu 52kV). Z třípólového rozvaděče pak budou napájeny standardní usměrňovačové transformátory 23/2x2,5kV. Stejnoseměrná část 3kV DC bude instalována standardně, se stavební připraveností pro instalaci rozvaděč 25kV po demontáži DC technologie. V rámci areálu stávajících trakčních měníren bude nutné alokovat prostor pro budoucí instalaci technologie symetrizace zátěže. Pro jeden funkční celek technologie symetrizace o výkonu 50MVA<sub>r</sub> je potřeba prostor cca 30 x 20 m.

#### U nových, případně rekonstruovaných TM napájených z 22kV:

Instalovat rozvaděč 22kV, ze kterého budou napájeny usměrňovačové transformátory 23/2x2,5kV a dále transformátory 22/0,4kV pro napájení vlastní spotřeby. V rozvaděči 22kV budou rezervní vývody pro napojení zvyšovacích transformátorů 22/27kV při přechodu na střídavou trakci. Pro dočasné napájení trakce 3kV DC bude instalován rozvaděč 3kV, ze kterého budou napájeny jednotlivé vývody do trakce. Při přechodu na střídavou trakci 25kV budou demontována usměrňovací soustrojí (transformátor 23/2x2,5kV a usměrňovač) a rozvaděč 3kV. V takto uvolněném prostoru budou

umístěny zvyšovací transformátory 22/27kV, které budou připojeny do třípólového rozvaděče 35kV. Z tohoto rozvaděče bude napojen nový jednopólový rozvaděč 25kV osazený vývody do trakce. V rámci areálu stávajících trakčních měníren bude nutné alokovat prostor pro budoucí instalaci technologie symetrizace zátěže. Pro jeden funkční celek technologie symetrizace o výkonu 50MVar je potřeba prostor cca 30 x 20 m.