

Martin Boháč¹

Historie napájecího jednofázového systému 50 Hz v Československu a ve světě ve čtyřicátých až padesátých letech pohledem dobových odborných textů

(první díl)

Klíčová slova: elektrizace železnic, vývoj proudových systémů, jednofázový proud průmyslového kmitočtu, Kálmán Kandó, Höllentalbahn (Schwarzwald), lokomotivy V 40 MÁV, E 244 DR a OP 22 SŽD, František Jansa, Oerlikon, SNCF

Keywords: electrification of railways, development of current systems, single-phase current of industrial frequency, Kálmán Kandó, Höllentalbahn (Schwarzwald), V 40 MÁV, E 244 DR and OP 22 SŽD locomotives, František Jansa, Oerlikon, SNCF

Anotace

Dnes je jednofázový systém 50 Hz, připojený na veřejné energetické sítě všeobecně pokládán za zřejmě nejvhodnější (ačkoli i tento má svá omezení) k napájení pohonu železniční dopravy. Teoreticky byl tento fakt znám již nejpozději na přelomu dvacátých a třicátých let 20. století, a to v souvislosti s prudkým rozvojem veřejné elektroenergetiky v meziválečné době. Praktická realizace této zdánlivě jednoduché úlohy ale tak snadná nebyla a její úspěšné zvládnutí je datováno do zhruba poloviny padesátých let, do doby počátků existence prvních křemíkových usměrňovačů, vhodných pro použití v kolejových vozidlech.

Abstract

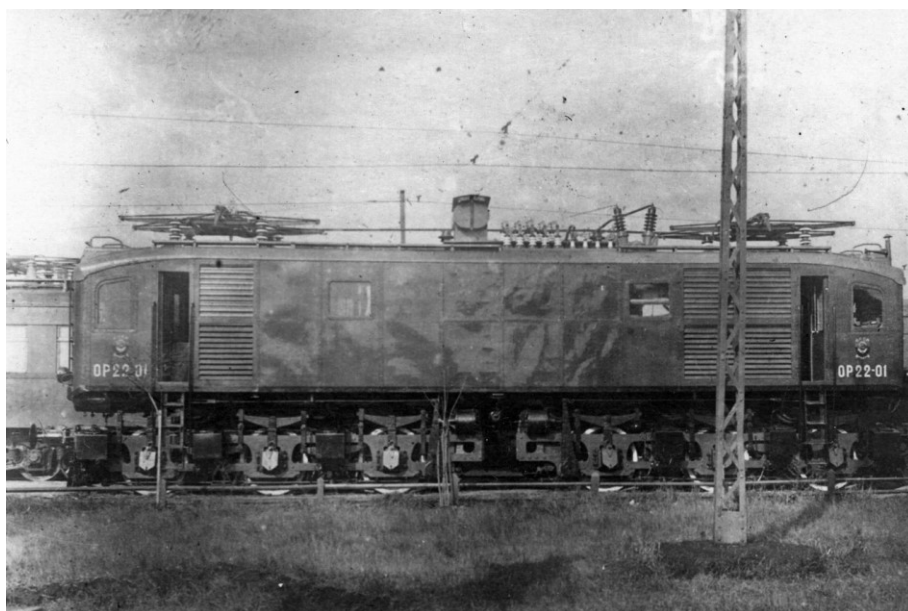
Today, the single-phase 50 Hz system, connected to public power networks, is generally considered to be the most suitable (although this too has its limitations) for powering the drive of railway transport. Theoretically, this fact was already known at the latest at the turn of the 20th and 30th years of the 20th century, in connection with the rapid development of the public electric power industry in the interwar period. However, the practical implementation of this seemingly simple task was not so easy, and its successful management dates back to roughly the mid-1950s, to the beginning of the existence of the first silicon rectifiers, suitable for use in rolling stock.

¹ Martin Boháč. Absolvent Střední průmyslové školy dopravní v Praze, obor elektrická trakce. Po praxi v různých dopravních a logistických firmách (HOPI, DHL a další) pracuje od roku 2005 v Odboru podpory prodeje ČD Cargo. Ve volném čase se věnuje historii elektrické trakce na železnici v Československu

Úvod

Již od počátku soustavné elektrizace průmyslu i domácností nejpозději v prvních letech po skončení první světové války se v Evropě objevila otázka, jak připojit i pohon železnice na rychle se rozvíjející všeobecné elektrizační sítě o frekvenci 50 Hz a odstranit tak největší slabinu rozvoje elektrizace železniční dopravy, tedy nutnost budovat vlastní drážní energetickou infrastrukturu, schopnou dodávat železnicím potřebný výkon k pohonu jejich vozidel. Tato úloha měla několik úskalí, která v první polovině 20. století bránila jejímu vyřešení, čímž v důsledku došlo k tomu, že v Evropě i ve 21. století provozujeme na železnici čtyři odlišné a nekompatibilní napájecí systémy, a to 1,5 a 3 kV stejnosměrné a 15 kV/16,7 Hz a 25 kV/50 Hz střídavé. Hlavní problémy, bránící širšímu využití systému 50 Hz pro napájení železnice byly v těch dobách dva: přeměna třífázového proudu, používaného v distribučních soustavách, na proud jednofázový, jedině vhodný pro napájení a pohon vozidel, a samotný pohon vozidel jednofázovým proudem o frekvenci 50 Hz.

V meziválečné Evropě došlo ke dvěma, resp. do jisté míry třem, různě úspěšným pokusům o zavedení systému 50 Hz. Prvním byl systém Kandó v Maďarsku², následovaný elektrizací Höllentalbahn³ v jihozápadním Německu, a s těmito německými experimenty svázané pokusy v Sovětském svazu té doby⁴; tyto systémy jsou dostatečně popsány v literatuře i na internetu. Méně známý je ale další vývoj, vedoucí až k rozšíření systému 25 kV/50 Hz na celém světě.



Obrázek č. 1:
Sovětská lokomotiva OP22-01 („P“ je azbukou „R“), neboli однофазный с ртутным выпрямителем a tedy jedno-fázová lokomotiva s rtuťovým usměřovačem, „22“ by v tom-to případě mělo udávat nápravový tlak, tedy 22 tun (!). Více viz poznámka č. 4

² K elektrizaci trati Budapešť – Hegyeshalom např. <http://home.tiscali.cz/cz399521/kando/50hzumav.htm>, vyhledáno 5.7.2023. Jednalo se o první praktické využití systému 50 Hz na světové železnici, jehož popis by ale výrazně přesáhl rámec tohoto článku

³ K elektrizace Höllentalbahn viz např. <http://wehrtalbahn.de/Suedbadenbahn/50Hz/50HzText.htm>, vyhledáno 5.7.2023

⁴ Experimenty s 50 Hz ve třicátých letech na sovětské železnici viz např.

<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%A022>, vyhledáno 5.7.2023. Použité technologie i načasování celkem jednoznačně prokazují propojení s Německem. Spolupráce (i před-) hitlerovského Německa a SSSR té doby byla skutečně rozsáhlá a týkala se v první řadě zbrojních technologií, ale i dalších více či méně civilních oborů. Tato harmonie mezi tehdejšími světovými nejzrůdnějšími totalitními režimy, nacistickým Německem a komunisticko-bolševickým SSSR, skončila až vypuknutím války mezi oběma státy 22. června 1941

Zdroj: Wikipedia

V následující stati, resp. jejích dvou dílech, se podíváme na vývoj tohoto systému zhruba v letech 1940 – 1960 pohledem dobových textů, a to především článků v odborných časopisech, příspěvků konferencí a také interních dokumentů z prostředí československého ministerstva dopravy.

Válka, Německo 1943 – 1945

Během války začala v Německu probíhat odborná diskuze jakým systémem elektrizovat německou železnici po válce,⁵ a v letech 1943 – 1945 vyšlo na toto téma v Německu několik odborných článků, celkem jednoznačně prosazujících cestu 50 Hz. Zřejmě prvním z nich byl text ***Entwicklung und Wege zur Großräumigen Elektrizitätswirtschaft*** (česky zhruba *Vývoj a cesty k síťovému systému výroby a zásobování elektrickou energií*), jehož autorem byl jistý Richard Fischer a který vyšel v říjnovém čísle ročníku 1943 časopisu *Der Vierjahresplan*.⁶ Pro jeho historickou důležitost si ho zde uveďme celý: „v Evropě stoupá význam elektrické energie, což dokládá vyčíslení evropské roční spotřeby elektrické energie při vypuknutí 2. světové války, které dosáhlo výše 233 miliard kWh.⁷ Čtyřletý válečný hospodářský plán (Vierjahresplan), zohledňující potřeby zbrojního průmyslu, vyžaduje k pokrytí velké spotřeby elektrické energie využití nových zdrojů energie. Zvláště odvětví průmyslu, zabývající se zpracováním surovin k získávání kovů (hliník, hořčík a různé slitiny s podílem těchto kovů) a taktéž chemický průmysl (např. výroba umělého kaučuku) vyžadují obrovské množství elektrické energie. Průmysl však není jediným velkým odběratelem el. energie – je třeba brát na zřetel také dopravu, průmyslové podniky, zemědělství a samozřejmě i zajištění el. energie pro domácnosti. V současnosti je na elektrickou energii napojeno přibližně 20 miliónů domácností a počítá se s tím, že po skončení války bude následovat rychlý pokrok v napojování dalších domácností elektrickou energií. To povede také k nárůstu pracovních příležitostí u instalačních podniků. Novodobý vývoj v elektrotechnice povede k dalším možnostem využití elektrické energie v odvětví obchodu, dopravy a průmyslu. Výrobci a distributorům elektrické energie připadá tedy klíčové postavení, které jim i po skončení války zůstane ve všech odvětvích života a pracovních činnostech.

Stále silněji se projevující klíčová pozice německého systému zásobování elektrickou energií vedla k uzákonění dohledu státu (zákon ze dne 13. 12. 1935) nad výrobci a distributory elektrické energie s cílem zajistit co nejjistější a co nejlevnější zásobování německého průmyslu elektrickou energií.

K historii vývoje zásobování elektrickou energií v Německu: V principu se jedná o tři stupně vývoje. První období – od vzniku prvních výrobců a distributorů elektrickou energií až do vypuknutí 1. světové války – bylo ke konci poznamenáno výstavbou velkých elektráren, nejprve na černé, později na hnědé uhlí a výstavbou četných dálkových linek pro přenos vyráběné elektrické energie (třífázového proudu). V druhém období dochází vlivem 1. světové

⁵ Velmi zajímavé je, že němečtí odborníci pracovali ve svých úvahách a textech s Německem v předválečných hranicích a vůbec nebrali v potaz žádnou blížící se německou světovládu. A ještě zajímavější je, že v dobových německých odborných časopisech té doby se vůbec nevyskytuje žádná politická propaganda a jsou zde uveřejňovány výhradně a jen odborné texty

⁶ Richard Fischer, *Entwicklung und Wege zur Großräumigen Elektrizitätswirtschaft*, in: *Der Vierjahresplan*, ročník 7, číslo 10, říjen 1943, strany 342 – 345

⁷ Což je 233 TWh. Pro srovnání roční spotřeba elektrické energie jen v ČR se v posledních letech pohybuje kolem 70 TWh

války k silnému nárůstu spotřeby elektrické energie. Dále dochází ke koncentraci výroby elektřiny ve velkých tepelných a vodních elektrárnách, propojených mezi sebou a se spotřebiteli vysokonapěťovými linkami. Po skončení 1. světové války dochází ke vzniku četných zemských zásobovacích společností, neexistuje však žádná říšská ústřední správa, která by koordinovala provoz těchto společností a další výstavbu sdružené zásobovací sítě.

Teprve ve třetím období, charakterizovaném vznikem řízení a koordinace zmíněných provozů nadřazenými říšskými složkami (zákon z r. 1935) – ale bez zásahu do práv vlastníků jednotlivých podniků – přebírají říšské orgány ekonomický podíl na zásobování země elektrickou energií. Pod vlivem válečných událostí pak říšské orgány určují také rozdělení odběru el. energie z jednotlivých elektráren a z rozvodné sítě.

Zajištění stability zásobování el. energií ve válečných podmínkách: Ohledně důležitosti elektrické energie pro potřeby války vyšlo již 3. září 1939 nařízení ohledně zabezpečení zásobování elektrickou energií, které umožňovalo za určitých podmínek omezení nebo úplné přerušování dodávek elektrické energie různým spotřebitelům a naopak zajištění dodávek elektrické energie spotřebitelům, důležitým pro chod válečné mašinerie. 'Říšská centrála pro organizaci zatížení sítě' byla zodpovědná za zajištění dodávek el. energie v celém Německu.

Účelné využívání zdrojů energie: Německo má k dispozici různé zdroje energie, které je třeba dle svědomitého uvážení intenzivně využívat přímo v místě jejich výskytu – např. vodní toky, uhlí s nízkou výhřevností nebo takové, které se nehodí ke zpracování v chemickém průmyslu. 'Říšské centrále pro organizaci zatížení sítě' se podařilo propojením různých rozvodných sítí odstranit nedostatečnou koordinaci ohledně provozu skupin elektráren, vyrábějících elektřinu z různých zdrojů energie a zefektivnit tak využívání různých zdrojů energie. Dalším přínosem je pak větší využívání (novějších) elektráren pracujících s menší spotřebou zdrojů energie a staršími elektrárnami lze pak pokrývat pouze zvýšenou spotřebu el. energie v odběrových špičkách.

Vyrovňování odběru elektrické energie: Systém sjednoceného řízení provozu elektráren a rozvodných sítí, zavedený teprve pod diktátem válečných poměrů zajistil, aby východní a severní oblasti Německa, neoplývající příliš zdroji energie, mohly být v dostatečné míře zásobovány ze západní a střední části Německa a z Horního Slezska (tepelné elektrárny) a také z jižních oblastí Německa⁸ (vodní elektrárny). Právě využívání vodních elektráren šetří zásoby kvalitního uhlí, potřebného jako suroviny pro chemický průmysl. Další pozitivní efekt přináší výše jmenovaný systém sjednoceného řízení v případech, kdy některá z oblastí není z důvodů válečných událostí schopna si sama zajistit zásobování elektrickou energií.

Zajištění provozu elektráren a rozvodných sítí: Zajištění provozuschopnosti elektráren a rozvodných sítí patřilo vždy k nejdůležitějším úkolům výrobců a distributorů elektrické energie. Šlo také o zajištění dostatečných rezerv, což platí dvojnásob ve válce. Potíže při zajišťování těchto požadavků vznikají ale tím, že ve válečných poměrech panuje nedostatek patřičně vyškoleného personálu pro údržbu veškerých zařízení. To pak ve válečných poměrech vede k častějším výpadkům trvale silně zatížených strojů a k jejich častějším opravám a to samozřejmě zanechává určité stopy na stabilitě provozu. I zde však pomáhá 'Říšská centrála pro organizaci zatížení sítě' zajišťováním jak personálu pro údržbu, tak náhradních dílů nebo provozních hmot nebo při zajišťování přísunu uhlí pro tepelné elektrárny.

⁸ Těmito „jižními oblastmi Německa“ je pochopitelně myšleno území Rakouska

Zvláště těžké úkoly představují nepřátelské nálety na elektrárny. Kromě ochrany objektů (maskování, zamlžení) bylo třeba zajistit širokou síťovou bázi pro subjekty, jejichž úkolem je rychlé obnovení dodávek elektrické energie po bojových akcích nebo katastrofách. Ve svém projevu dne 5. června 1943 poukázal říšský ministr Speer na skutečnost, že ani poškození dvou přehrad⁹ nezpůsobilo žádnou energetickou krizi a zbrojní podniky obdržely ještě týž den náhradu za výpadky v dodávkách elektrické energie.

Regulování spotřeby el. energie: Pokud byla přesto vydána opatření k úspoře elektrické energie, mělo to všeobecně jiné důvody. Zavádění a využívání nových elektrochemických a elektrotermických procesů, které jsou podstatnou součástí čtyřletého plánu, vede k velkému nárůstu spotřeby el. energie. Výstavba nových elektráren ale naráží ve válečných poměrech na těžkosti, takže je nutno přijímat jiná opatření. Nařízení ze 3. září 1939 umožňuje pak vydávat velkospotřebitelům elektrické energie příkazy ke snížení odběru, což ovšem zatím bylo potřeba uskutečňovat jen v malé míře. 'Říšská centrála pro organizaci zatížení sítě' se zde setkala s novými problémy, získala však v prvních letech války cenné zkušenosti v případech nutného omezování při zajišťování zásobování elektrickou energií v případě větších výkyvů v síti nebo v případech zajištění zvláštních propojení v síti v případě katastrof. V roce 1942 se dobrovolné omezení v zásobování elektrickou energií a plynem začalo týkat také domácností. Těžiště možných úspor se však bude týkat spíše velkospotřebitelů.

*Němečtí výrobci a distributoři elektrické energie jako jednotná organizace: Přejít k 'totální válce' a stále větší rozšiřování zbrojní výroby bude vyžadovat těsné sevření všech výrobních subjektů a aktivaci veškerých vedlejších pramenů výroby el. energie. 'Říšská centrála pro organizaci zatížení sítě' má snahu rozšířit systém propojení mezi veřejnou všeužitečnou sítí a velkými průmyslovými podniky, zásobujícími se el. energií z vlastních zdrojů. Cílem je, aby chemické závody, doly a ocelářský průmysl dodávaly přebytečnou el. energii do veřejné sítě. **V této souvislosti je třeba se zmínit i o spolupráci s Říšskými drahami v oblasti výroby el. energie. I zde se v současnosti nevýhodně projevuje nežádoucí separace ve výrobě el. energie, v zájmu jednotného hospodaření s elektrickou energií by bylo výhodnější, kdyby napájecí sítě železnice přešly z kmitočtu 16²/₃ Hz na 50 Hz.***¹⁰

Ke splnění svých úkolů má 'Říšská centrála pro organizaci zatížení sítě' k dispozici malý, ale vysoce efektivní řídicí aparát, doplněný dvanácti 'Oblastními centrály pro organizaci zatížení sítě'. Tato decentralizace v řízení provozu a těsné spojení s praktickým provozem elektráren a rozvodných sítí se osvědčily a zaručuje i do budoucna velkou flexibilitu, zvláště za předpokladu, kdy 'Říšská centrála pro organizaci zatížení sítě' do řídicího procesu zasahuje pouze v případech, ve kterých je zapotřebí vyrovnávat zatížení celostátní rozvodné sítě mezi jednotlivými oblastmi."

Druhým textem, a z hlediska námi sledovaného tématu asi nejvýznamnějším, je pojednání **Zur Systemfrage für elektrische Fernbahnen**, jehož autorem je berlínský Dr. Ing. Erich Krohne a který vyšel 5. ledna 1944 v prvním čísle 43. ročníku listu *Elektrizitätswirtschaft*.¹¹ Jedná se o naprosto zásadní text k tehdejší debatě o volbě napájecího

⁹ Nepochybně se jedná o reakci na známou Operaci Chastise, viz např. https://cs.wikipedia.org/wiki/Operace_Chastise, vyhledáno 21.2.2020

¹⁰ Zvýrazněno MB

¹¹ Dr. Ing. Erich Krohne, Zur Systemfrage für elektrische Fernbahnen, in: *Elektrizitätswirtschaft*, ročník 43, číslo 1, leden 1944, strany 3 – 9

systému na elektrizované železnici, psaný pohledem energetika (a nikoli železničáře, ať už si pod tímto pojmem představíme cokoli). Pro jeho mimořádnou důležitost ho zde opět uvedeme v překladu celý:

„K otázce systémů pro elektrifikované železniční magistrály¹²“

V poslední době jsou v odborných časopisech často zveřejňována pojednání o nejvhodnější proudové soustavě pro elektrifikaci tratí s dálkovou dopravou. Tyto články, které mají být zřejmě chápány jako směrnice pro očekávaný poválečný rozvoj elektrifikace hlavních tratí, obsahují především názory železničních odborníků k otázce, kterou si klade také odvětví hospodářství zabývající se výrobou a distribucí elektrické energie. Zveřejňované názory přitom vyjadřují víceméně stanovisko železničních odborníků, nezohledňují však vztahy, které je třeba zachovat v zájmu nadřazeného hospodaření s elektrickou energií. Následující úvahy vyjadřují stanovisko, které zaujímá odvětví výroby a distribuce elektrické energie k diskusi, týkající se objasnění kladených otázek.

Dnešní rozsah elektrického provozu na železnici

Přesto že se již více než 100 let ve vozbě vlaků osvědčuje parní trakce, vybuodovala si v posledních třiceti letech také elektrická trakce téměř u všech větších železničních správ značný podíl na dopravě vlaků. Větší výkon elektrických hnacích vozidel umožňuje značné zvýšení cestovních rychlostí v osobní a přepravních rychlostí v nákladní dopravě i na tratích s většími sklony, čímž lze dosáhnout úspor v sektoru lokomotivním a personálním a dosáhnout zkrácení cestovních a přepravních dob. Centralizovaná výroba elektrické energie umožňuje daleko racionálnější využití uhlí. Místo vysoce kvalitního uhlí pro lokomotivní provoz – většinou černého uhlí s výhřevnou hodnotou kolem 7000 WE¹³ – lze při výrobě proudu pro provoz elektrické trakce použít v elektrárnách méně hodnotná paliva či dokonce odpadová paliva. V elektrárnách je přitom možné energii obsaženou v palivu využít daleko efektivněji nežli při spalování v lokomotivním kotli. V mnoha případech lze pak elektřinu vyrábět zcela bez použití tepelné energie uhlí, např. ve vodních elektrárnách. V neposlední řadě umožňuje elektrický provoz také snížení nákladů na údržbu a provoz samotných hnacích vozidel.

Tyto argumenty, zde uvedeny jako základní výhody elektrického provozu, hovoří jasně ve prospěch elektrické vozby vlaků jako nejvhodnějšího systému, obzvláště pak na provozně vysoce zatížených tratích. Výhody oproti parní trakci se budou v provozu a v ekonomických výsledcích o to více projevovat, čím větší provozní zatížení budou tratě vykazovat, protože se tím budou relativně snižovat náklady na výstavbu dalších elektráren a příslušných rozvodných a napájecích zařízení.

Určit jednoznačně hodnotu, sloužící jako základ pro rozhodnutí, zda je ta která trať vhodná pro převedení provozu do elektrické trakce – touto hodnotou je roční odběr energie v kWh na 1 km délky tratě – není s dostatečnou jistotou možné. V literatuře uváděné hodnoty od 220.000 do 250.000 kWh/km mohou sloužit jako určitý podklad, nelze je však považovat za s jistotou definované referenční hodnoty pro posouzení hranice ekonomiky mezi elektrickým a parním provozem; je totiž třeba posoudit otázky provozu a dopravy v každém konkrétním případě – traťové poměry, ceny elektřiny a další faktory, hrající v tom kterém regionu podstatnou roli. Z hlediska specifické spotřeby energie vykazují některé německé tratě,

¹² Snad nejvýstižnější překlad německého výrazu „Fernbahnen“

¹³ WE = tepelných jednotek, pravděpodobně W/kg; pozn. překladatele

obzvláště ale tratě v Norsku a ve Švédsku, výrazně nižší hodnoty, přesto se ale elektrický provoz na těchto tratích projevil jako v zásadě hospodárny.

Přednosti elektrické vozby přijdou vhod při zvýšených nárocích na dopravu v poválečné době. Lze počítat s tím, že dojde k enormnímu nárůstu délky elektricky provozovaných železničních magistrál jak v Německu, tak v ostatních evropských zemích.¹⁴ V Německu je v elektrickém provozu více než 3000 km železničních tratí – povětšinou hlavních – které jsou elektrifikovány jednofázovou soustavou 15 kV 16 2/3 Hz. O zavedení elektrického provozu na dalších, většinou jihoněmeckých tratích je již rozhodnuto a na základě tzv. Okamžitě realizovatelného programu Říšských drah¹⁵ má být s elektrifikačními pracemi započato, jakmile to dobové poměry dovolí. V návaznosti na 'Okamžitě realizovatelný program' mají být v rámci pětiletého plánu elektrifikovány ještě další tratě, takže by Říšské dráhy mohly v dohledné době uvést do provozu v elektrické trakci 9000 km hlavních tratí. V dlouhodobém výhledu ovšem dojde v Německu pravděpodobně k zásadnímu zvětšení počtu tratí, určených k elektrifikaci. Podobné rozšíření sítě elektricky provozovaných drah lze očekávat i v ostatních zemích Evropy. V současnosti je v Evropě v provozu – kromě jiných napájecích systémů – 11 000 km tratí elektrifikovaných jednofázovým systémem s kmitočtem 16 2/3 Hz, dalších 11 000 km se nachází ve fázi přechodu na elektrický provoz nebo ve fázi reálného plánování.¹⁶

Uvážíme-li tedy značný počet tratí, na kterých se po válce očekává převedení provozu z parní na elektrickou trakci, vyvstává otázka, který systém elektrifikace by měl být pro tyto tratě zvolen jako nejúčelnější. Tuto významnou otázku je třeba posoudit z následujících hledisek:

1. Má být i u tratí, které budou elektrifikovány později, s ohledem na stávající rozsah a vybavení elektrifikovaných železničních magistrál použita v každém případě již v minulosti zvolená trakční proudová soustava, nebo je možný přechod na jiný systém, pokud by jeho použití přineslo větší výhody?
2. Která trakční proudová soustava zaručuje v podmínkách železničního provozu bezpodmínečně požadovanou nejvyšší míru spolehlivosti, a je možné tuto proudovou soustavu včlenit zcela bezproblémově do energetického hospodářství země?
3. Která trakční proudová soustava přináší vzhledem k nákladům na pevná zařízení a provoz největší výhody ohledně nákladů na stavební materiály?

Vliv stávajících elektrifikovaných dálkových tratí na budoucí elektrifikaci

Z předchozích tezí vyplývá, že již jen v Německu samotném dojde v blízké budoucnosti s jistotou ke ztrojnásobení délky elektricky provozovaných železničních magistrál. Dlouhodobě lze pak počítat s ještě větším rozsahem elektrifikace tratí, takže je nutno očekávat čtyř- nebo pětinasobek, ne-li ještě větší rozsah sítě elektrifikovaných tratí, než na kterých je dnes provozována dálková doprava v elektrické trakci. Při pohledu na tyto ukazatele ztrácí dnes provozované, soustavou 15 kV 16 2/3 Hz elektrifikované tratě, s celkovou délkou cca 3000 km na významu. Docházíme tedy k poznání, že – pokud by přechod na jinou trakční proudovou

¹⁴ Toto je mimořádně zajímavé – skoro se zdá, že v roce 1944 autor článku nepodlehł žádným velkoněmeckým a světovládným představám a uvažoval návrat k předválečným poměrům

¹⁵ V originále *Sofortprogramm der Deutscher Reichsbahn*, bohužel detailnější informace o tomto programu postrádáme

¹⁶ Škoda, že nevíme o jaké trati se jednalo/mělo jednat. Snad jen s výjimkou 165 km dlouhé tratě Žilina – Spišská Nová Ves

soustavu mohl přinést důležité a výrazné přednosti – dnes stále ještě existuje neomezená možnost volby trakční proudové soustavy pro tratě, které mají být v budoucnu elektrifikovány. Protože přechod na jinou trakční proudovou soustavu nenaráží na nepřekonatelné těžkosti, o čemž bude ještě pojednáno, nebude třeba brát příliš mnoho ohledů na dnes již existující síť elektrifikovaných tratí.

Úvahy ohledně trakční proudové soustavy, která má být definitivně použita, lze jen těžko činit z pohledu jedné jediné země. Čím více se Evropa po válce přikloní k jednotnému hospodářskému systému¹⁷, tím větší význam bude mít mezistátní¹⁸ železniční doprava. To ovšem nevyžaduje pouze nutnost jednotného rozchodu kolejí (dnes již sjednoceného), stejně důležitý význam zde má i jednotná trakční proudová soustava, neboť na mezistátních železničních magistralách se do budoucna počítá převážně s elektrickým provozem.¹⁹ Že tato je d n o t n o s t d n e s n e e x i s t u j e, lze odvodit z následujícího seznamu, který uvádí, že v roce 1942 bylo v Evropě provozováno v elektrické trakci 24.000 traťových kilometrů klasických železnic.

Z toho připadalo na tratě elektrifikované stejnosměrnou trakční soustavou, převážně ve Francii a v Itálii,²⁰

cca	11.000 km
tratě elektrifikované jednofázovou trakční soustavou s kmitočtem 16 ² / ₃ Hz, převážně v Německu, ve Skandinávii a ve Švýcarsku, cca	11.000 km
jednofázovou soustavou s kmitočtem 50 Hz, v Maďarsku a v Německu, cca ...	250 km
tratě elektrifikované třífázovou trakční soustavou, převážně v Itálii ..	<u>2000 km</u> ²¹
úhrnem	24 250 km

Tato různorodost existujících trakčních soustav se ještě dále zvětší, když zvážíme, že do výše uvedených kategorií trakčních soustav jsou pojaty železniční tratě s rozdílnými výškami trakčního napětí. Nelze tedy hovořit o převaze některé z trakčních proudových soustav, což se samozřejmě týká i jednofázového systému s kmitočtem 16 ²/₃ Hz, rozšířeného v Německu a ve Skandinávii. Cesty, vedoucí v budoucnu k elektrifikaci železničních tratí – jejichž délka dosáhne nejen v Německu, ale pravděpodobně v celé Evropě mnohonásobek dnešní délky – nejsou tedy existencí stávajících elektrifikovaných tratí jednoznačně a nevyhnutelně předurčeny. Nicméně lze říci, že se v současnosti naskytá zřejmě poslední možnost k zásadním úvahám a rozhodnutím, protože každý další pokrok při elektrifikaci tratí bude později ztěžovat přechod a orientaci na jednotný systém.²²

Trakční proudové systémy pro budoucí elektrifikaci železničních magistral

Ohledně otázky budoucích trakčních proudových systémů pro železniční magistraly lze již předem vyloučit použití stejnosměrné trakční soustavy a třífázové trakční soustavy. Stejnosměrné soustavy s trolejovým napětím 1500 V nebo 3000 V vyžadují, s ohledem na

¹⁷ Toto je opět v roce 1944 z pera německého autora mimořádně zajímavá myšlenka

¹⁸ Ne tedy žádná vnitrostátní velkoněmecká nebo něco takového, ale mezistátní...

¹⁹ Neboli to, co dnes známe pod pojmem *interoperabilita* a co se po ani osmdesáti letech nedaří naplňovat

²⁰ Z nějakého důvodu zde není zmíněna Belgie, Nizozemí, Polsko (Generální gouvernement) a Československo (Protektorát Čechy a Morava, Praha). Zřejmě se – především ve dvou posledních případech – jednalo o délkově a provozně nevýznamné příklady

²¹ Tedy skoro 10 % celkové délky elektrizovaných tratí v tehdejší Evropě. Dnes těžko představitelné

²² Prorocká slova. Viz dnešní obrovské potíže při sjednocení napájecích systémů na jednotných 25 kV 50 Hz v České republice i na Slovensku

úbytek napětí v troleji, krátké vzdálenosti mezi trakčními napájecími stanicemi²³ a tím velký počet nedostatečně využitých trakčních napájecích stanic. Stejnosemnné lokomotivy s malým počtem jízdních stupňů, daným částečně přepínáním ze sériového na paralelní zapojení trakčních motorů a částečně zeslabováním statorového pole trakčních motorů²⁴, nejsou vhodné pro provoz na hlavních tratích, kde vzhledem k traťovým poměrům vyvstávají požadavky na změnu rychlosti ve velkém rozsahu, čemuž pak lépe vyhovuje charakteristika lokomotivy na střídavé napětí, vybavené mnoha jízdními stupni. Stejnosemnný trakční motor vyvíjí při vysokých otáčkách jen nevelkou tažnou sílu a neumožňuje tak přepravu těžkých vlaků na dlouhých, rovinnatých traťových úsecích vysokými rychlostmi. Škodlivé účinky koroze na plynovém a vodovodním potrubí a na kabelech, ba dokonce i na základech venkovních elektrických vedení a na stavebních objektech představují potom vážné nebezpečí.²⁵

Třífázová trakční soustava se vzhledem k těžkostem spojených s dvoupólovým přívodem napětí a konstrukcí troleje nad výhybkami a křižovatkami rozšířila jen v omezené míře a pro rozsáhlou budoucí elektrifikaci železničních tratí nepřichází v úvahu.

Úspěchy lze očekávat pouze při elektrifikaci jednofázovým trakčním systémem, který splňuje všechny požadavky, kladené na provozně výkonný systém klasické železnice. Jeho předností před ostatními uvedenými systémy spočívají v jednoduchosti konstrukcí zařízení, velkých vzdálenostech mezi trakčními napájecími stanicemi a v možnosti regulace výkonu trakčních motorů dle veškerých požadavků provozu, a též v absenci bludných zemních proudů. Diskutabilní zůstává však otázka, jaký kmitočet při provozu jednofázové trakční soustavy použít – zda od průmyslového kmitočtu odlišný d r á ž n í k m i t o č e t $16\frac{2}{3}$ Hz, tak jak tomu je v současnosti v železničním provozu v Německu, ve Skandinávii nebo ve Švýcarsku, nebo použít p r ů m y s l o v ý k m i t o č e t 50 Hz. Další sporná otázka se týká způsobu dodávky potřebné energie, zda mají k zásobování trakční sítě sloužit speciální d r á ž n í e l e k t r á r n y, pracující se zvláštními generátory s kmitočtem $16\frac{2}{3}$ Hz nezávisle na sdruženém systému všeobecné energetické sítě, nebo zda má být trakční síť zásobována ze v š e o b e c n é e n e r g e t i c k é s í t ě.

K těmto otázkám zaujala Říšská dráha stanovisko v posudku, vypracovaném několika odborníky Německé říšské dráhy v roce 1941; jeho výsledky byly z části publikovány v odborné literatuře. Na základě porovnávacího posudku mezi jednofázovou trakční soustavou $16\frac{2}{3}$ Hz, převážně napájenou z drážních elektráren, stejnosemnnou trakční soustavou, pojatou Říšskou dráhou do procesu porovnání, a jednofázovou trakční soustavou 50 Hz, napájenou ze všeobecné energetické sítě, dochází výše jmenovaný posudek k závěru, že jednofázový systém $16\frac{2}{3}$ Hz je provozně a ekonomicky nejvýhodnější a proto přichází jako jediný, coby jednotný systém pro budoucí elektrifikaci tratí v úvahu. Tím je dána odpověď na z á s a d n í otázku elektrifikace železničních tratí způsobem, se kterým němečtí výrobci a distributoři elektrické energie nemohou souhlasit. Ohledně probíhajících výzkumů, prováděných předními odborníky Říšské dráhy, je proto na místě zveřejnit také úvahy, které na pokyn generálního inspektora pro vodní toky a energii zpracovali odborníci z kruhů německých výrobců a distributorů elektrické energie, a ve kterých přicházejí k výsledku, lišícímu se od výsledku posudku Říšských drah.

V rámci výše zmíněných úvah byly mezi sebou kriticky porovnávány následující tři systémy napájení:

²³ resp. měnícími; pozn. překl.

²⁴ Zeslabování buzení, šuntování

²⁵ Neboli dodnes nevyřešený a zřejmě nevyřešitelný problém tzv. bludných proudů

Alternativa a) – Provoz na trati elektrifikované jednofázovým systémem $16\frac{2}{3}$ Hz, napájeným převážně trakční energií z drážních elektráren, zásobujících trakční síť napětím o kmitočtu $16\frac{2}{3}$ Hz a pouze dílčím napájením ze všeobecné energetické sítě

Alternativa b) – Provoz na trati elektrifikované jednofázovým systémem $16\frac{2}{3}$ Hz při napájení trakčním proudem výhradně ze všeobecné energetické sítě

Alternativa c) – Provoz na trati elektrifikované jednofázovým systémem 50 Hz při napájení trakčním proudem výhradně ze všeobecné energetické sítě

U alternativy a) odpovídá napájení trakční sítě způsobu obvyklému v současné době v Německu, ve skandinávských zemích a ve Švýcarsku. Odlišný kmitočet – $16\frac{2}{3}$ Hz – byl v těchto zemích na počátku elektrického provozu zvolen z důvodů, které tehdy nedovolovaly zkonstruovat a vyrobit elektromotor pracující s kmitočtem 50 Hz, který by bylo možné dobře regulovat a který by dokázal odolat náročným podmínkám železničního provozu.

Rozhodující roli pro napájení elektrickou energií z elektráren ve vlastnictví železnice hrála spolehlivost dodávek energie. Stav, v jakém se všeobecná energetická síť nacházela před třiceti lety²⁶, kdy ještě neexistovala uzlová propojení vysokonapěťových sítí a tím méně dnešní provozní spolehlivost, považovaly železniční správy za nezbytné, stavět na vlastní náklady elektrárny a provozovat je ve vlastní režii, protože pouze tak šlo zajistit zásobování elektrickou energií, potřebné k udržení provozu za každých podmínek a také zajistit dostatek elektrické energie pro potřeby budoucího provozu.

Malý počet drážních elektráren, přicházejících v úvahu pro napájení trakční sítě, vyžadoval výstavbu zvláštních jednofázových dálkových linek o napětí 110 kV²⁷ $16\frac{2}{3}$ Hz podél železničních tratí – zčásti k trakčním transformovněm, odkud byla napájena trolej napětím 15.000 V, a zčásti k propojení drážních elektráren mezi sebou za účelem zvýšení spolehlivosti při zásobování elektrickou energií, a též k vyrovnání výkyvů v odběru energie.

Odběr energie z všeobecných energetických sítí (přes trakční transformovny) hraje v případě zásobování elektrickou energií podle způsobu uvedeného pod a) pouze podřadnou roli. Zvolený poměr rozdělení odběru na 88 % z drážních elektráren a na 12 % ze zemských sítí odpovídá způsobu, jakým dnes Říšská dráha pokrývá svoji potřebu trakční energie.

Důsledné setrvání na výše popsáném způsobu zásobování elektrickou energií by vedlo ke stavu, kdy kromě systému zásobování elektrickou energií ze všeobecné energetické sítě by existoval zcela oddělený, paralelní systém zásobování železnice trakční energií z vlastních elektráren a s vlastními rozvodnými zařízeními, pouze nezávisle propojený se všeobecnou energetickou sítí. Taková existence dvou velkých energetických sítí s rozdílnou frekvencí by bezpochyby vedla k neopodstatněným a vcelku zamezitelným ekonomickým ztrátám jak v oblasti materiálu tak i personálu, potřebného pro výstavbu a provoz uvedených zařízení.

U alternativy b) je proto znázorněno předpokládané zásobování elektrickou energií pouze ze všeobecných energetických sítí.

²⁶ Tedy v době před první světovou válkou, pozn. MB

²⁷ Známý jsou ale i jiné hodnoty pod 100 kV, pozn. MB

Při velkém počtu napájecích stanic, napojených na veřejnou zemskou síť, odpadá výstavba zvláštního drážního rozvodného systému, ať již z důvodů napájení traťových úseků nebo zajištění funkční spolehlivosti systému či ohledně vyrovnání zatížení elektráren. Vzhledem k rozšiřování všeobecných energetických sítí vzniknou jejich křížení nebo styčná místa s hlavními železničními tratěmi, případně se vedení všeobecných energetických sítí přiblíží k těmto tratím natolik, že napojení měníren bude vyžadovat pouze minimální rozšíření těchto sítí.

Aby bylo možné regulovat výkon měníren nezávisle na kolísání frekvence v drážních nebo ve veřejných zemských sítích, byly rotační měniče dosud konstrukčně koncipovány jako elastické měniče. Tím je dána možnost bezproblémového napájení železniční magistrály z několika mezi sebou nesynchronních všeobecných energetických sítí. V případě dnes již ohledně kmitočtu velmi stabilních a mezi sebou povětšinou synchronně provozovaných sítí lze pomýšlet na to, používat kmitočtově pevně pracující synchronní měniče bez přídavných regulačních strojů. Možnost odběru elektrické energie výlučně ze všeobecných energetických sítí přes rotační měniče je poněkud omezena jejich v současnosti vysokou pořizovací cenou – zvláště pak v případě elastických měničů, a dále jejich nepříznivým součinitelem účinnosti při přeměně energie. Vysoké výdaje na pevná zařízení lze částečně vyrovnat tím, že trakční vedení bude v celé délce trati provozováno v propojeném stavu, čímž bude umožněno vyrovnávat zatížení při odběru trakčního proudu. Pak nebude zapotřebí dimenzovat jednotlivé měniče pro vznikající krátkodobé špičky odběru trakčního proudu v určitém traťovém úseku, ale bude postačovat dimenzování výkonu všech instalovaných měničů v souladu s ustáleným odběrem v celé napájené trati. V tomto případě vznikají pak daleko menší špičky odběru nežli v případě samostatného napájení jednotlivých traťových úseků. Detailními výpočty bylo zjištěno, že pro delší železniční magistrály bude postačovat instalace měničů o výkonu 70 až 75 % oproti potřebnému výkonu transformoven podle varianty a).

Provozní výsledky, zvláště při dílčím odběru trakční energie, lze ohledně účinnosti zlepšit také tím, budou-li místo rotačních měničů používány měniče statické. Takové měniče jsou sice již v několika různých provedeních v provozu, jejich technický vývoj však není v současnosti do takové míry dokončen, aby mohly celkově nahradit rotační měniče. I když statické měniče budou ještě potřebovat určitý čas vývoje, lze je pro budoucnost bezpochyby považovat za vhodné zařízení ke konverzi kmitočtu. Při porovnání jednotlivých systémů z ekonomického hlediska byly však brány v úvahu rotační měniče s přídavnými regulačními stroji, které slouží k libovolnému řízení přenášeného výkonu.

Dnes ještě existující problémy spojené s konverzí kmitočtu bude možné zcela odstranit, bude-li realizován maximálně zjednodušený energetický rozvodný systém, výše uvedený jako alternativa c). V tomto případě je trakční vedení napájeno bezprostředně elektřinou o kmitočtu 50 Hz ze všeobecné energetické sítě přes vícero podél trati rozmístěných jednofázových transformoven, pracujících s kmitočtem 50 Hz. V tomto případě odpadá, stejně jako v případě označeném jako varianta b), výstavba samostatného drážního rozvodného systému o napětí 110 kV. Místo toho bude pouze zapotřebí rozšířit v minimální míře všeobecné energetické sítě. Transformátory jednofázových trakčních transformoven mohou být střídavě zapojeny vždy na dvě fáze vysokonapěťové napájecí soustavy, což má pak za následek jednotlivé, vzájemně od sebe oddělené úseky trakčního vedení. Možné je ale také jednofázové napojení vždy stejné fáze třífázové sítě, v tomto případě pak nevzniká nutnost rozdělení trakčního vedení na samostatné úseky. Zpětné účinky odběru elektrické energie pro trakční účely z jedné fáze jsou bezvýznamné – a to vzhledem k daleko výkonnějším veřejným zemským sítím; to platí i v případě maximální expanze železničního

provozu, a to i při výskytu náhlých odběrových špiček nebo zkratů v trakčním vedení. Tyto zpětné účinky lze akceptovat, protože nemají rušivé účinky na provoz veřejných zemských sítí. Experimenty s trakčním proudem o kmitočtu 50 Hz, které Říšská dráha prováděla na tratích Höllentalbahn (Freiburg im Breisgau – Donaueschingen)²⁸ a Drei-Seen-Bahn²⁹ (Titisee – Seebrugg) prokázaly, že v transformovných realizované zapojení transformátorů do tzv. Scottova zapojení není nutné.

Vyšší impedance kolejí a trakčního vedení při kmitočtu 50 Hz vedou k většímu úbytku napětí. K vyrovnání tohoto úbytku bylo napětí v trakčním vedení zvýšeno na 20.000 V, takže bylo možno vystačit s transformovnými, rozmístěnými od sebe ve stejných vzdálenostech jako při provozu trakční proudové soustavy 16 ²/₃ Hz.

Zavedení systému o kmitočtu 50 Hz však stojí dnes ještě v cestě určité potíže. Jde především o výrobu trakčních motorů, které by mohly pracovat s kmitočtem 50 Hz; tyto problémy však nejsou takového rázu, aby kvůli tomu bylo třeba zavedení systému 50 Hz již předem považovat za beznadějnou záležitost. O t á z k o u s t a v b y m o t o r ů se ještě budeme v tomto pojednání zabývat později.

Zástupci odvětví výroby a rozvodu el. energie použili v rámci svých výzkumů pro všechny tři varianty jako příklad železniční magistrálu o délce 750 km, která překonává průměrné topografické poměry, jaké panují v Evropě. Jako velikost zatížení tratě odběrem energie bylo uvažováno rozmezí 200.000 až 1,800.000 kWh/km ročně. Na základě předchozích tézí tohoto pojednání odpovídá první jmenovaná hodnota spodní hranici hospodárnosti provozu na elektrifikovaných hlavních tratích. Jmenovaná hodnota 1,800.000 kWh/km ročně pak postatně překračuje hodnotu dnešního středního odběru energie ve výši asi 300.000 kWh/km ročně a překračuje v případě železničních magistrál s provozem expresních vlaků i očekávaný odběr ve výši 1,300.000 kWh/km ročně.

Provozní vlastnosti trakčních soustav

V případě železničního provozu jako odvětví pro stát existenčně důležitého, je vyžadován nejvyšší stupeň funkční spolehlivosti. Toho je možné dosáhnout pouze tehdy, pokud značný počet na sobě nezávisle pracujících výrobců elektrické energie zásobuje trakční vedení pomocí rozsáhlého systému napájecích linek a mnoha napájecích stanic. Požadavek na maximální funkční spolehlivost nemůže být považován za splněný, pokud – jako v případě uvažované výroby a rozvodu elektrické energie podle varianty a) – elektrickou energii dodává pouze několik drážních elektráren. Taktéž stavba drahé vysokonapěťové napájecí linky podél železniční tratě nemůže vést k podstatnému zlepšení provozní spolehlivosti.

V zemích s vysokým stupněm elektrizace a s hustou, návaznou a na mnoha místech vzájemně propojenou sítí vysokonapěťových linek, do kterých dodávají elektrickou energii četné elektrárny, lze oproti tomu požadavky na spolehlivost napájení železničních tratí splnit velmi snadno. V případě výroby a rozvodu elektrické energie podle variant b) a c) je možné zvolit napájení železniční tratě na mnoha místech a zajistit tak funkční spolehlivost, kterou nemůže žádný jiný systém výroby a rozvodu elektrické energie zaručit.

Pro železniční provoz typické jsou časté, náhle se vyskytující strmé odběrové špičky nebo propady v odběru trakční energie, které se významně liší od střední výše odběru. Tyto

²⁸ Elektrizována ale nebyla celá trať Freiburg im Breisgau – Donaueschingen, ale jen úsek Freiburg im Breisgau – Neustadt (Schwarzwald)

²⁹ Dnes obvykle psáno *Dreiseenbahn*

špičky nebo propady kladou, zejména v systémech, kde je elektrická energie dodávána pouze speciálními drážními elektrárnami středního výkonu a přenášena zvláštními energetickými linkami, na tyto elektrárny vysoké nároky, které nelze v provozu vždy snadno zajistit. Generátory musí být v takových elektrárnách dimenzovány na možnost výskytu náhlých odběrových špiček a tomu musí být velmi dobře přizpůsobena i regulace turbín. V tepelných elektrárnách je nutné při konstrukci topných zařízení kotlů brát taktéž na zřetel nárazově se měnící zatížení. V případě odběru trakční energie z elektráren, zásobujících všeobecnou energetickou síť, není z velké části potřeba brát na tyto problémy ohled, což vede k podstatnému zmenšení provozních obtíží. Ve velkých všeobecných energetických sítích, do kterých dodává elektrickou energii velký počet výkonných elektráren, budou mít tyto náhle vznikající špičkové odběry daleko slabší účinky a budou se procentuálně daleko méně projevovat; všeobecně je tedy možné tyto těžkosti zvládat bez nadměrného dimenzování generátorů a bez provozních problémů v síti.

Ohledně spolehlivosti zajištění dodávek elektrické energie a spolehlivosti provozu vykazují proto varianty b) a c), zohledňující odběr elektřiny ze všeobecné energetické sítě, podstatné výhody oproti variantě a), která počítá pouze s dodávkami elektrické energie ze speciálních drážních elektráren. Na tomto místě je třeba obzvlášť poukázat na variantu c) s napájením troleje napětím o kmitočtu 50 Hz, která umožňuje zjednodušenou výstavbu rozvodných a napájecích zařízení.

Ve smyslu jednotného sdruženého (energetického) hospodářství³⁰ je třeba mít snahu o celkově příznivé rozdělení zatížení elektráren, tedy využívat elektrárny tak, aby byl dosažen co možná nejlepší celkový ekonomický výsledek. V závislosti na hospodárnosti provozu – v případě vodních elektráren pak s ohledem na využitelné zásoby vody – je třeba jednotlivé typy elektráren (tepelné nebo vodní) používat přednostně jako výrobce energie buď pro základní nebo pro špičkový odběr. Takto řízené využívání elektráren je ale možné pouze v případě, že všechny elektrárny mohou být propojeny jednotnou sítí vysokonapěťových linek. Jednotný provoz je však vyloučen, pokud jednotlivé elektrárny pracují samostatně, to znamená, že jsou jako speciální drážní elektrárny určeny k výrobě elektřiny s kmitočtem, který se liší od výše všeobecného průmyslového kmitočtu a zásobují elektrickou energií síť, která je zcela oddělena od všeobecné energetické sítě nebo je na ní jen volně napojena. Ve speciálních drážních elektrárnách je navíc zapotřebí z důvodů nemožnosti vyrovnání výše odběru elektrické energie mezi drážními a průmyslovými spotřebiteli, instalovat pro potřeby trakční energie výkonnější zařízení k výrobě elektřiny. Speciální tepelné drážní elektrárny vykazují jednak vzhledem k jejich pouze omezenému instalovanému výkonu a dále z důvodů již zmíněného silně kolísajícího odběru elektrické energie, vždy větší spotřebu paliva než na vysoké procento využití velkoelektrárny všeobecných energetických sítí. Racionální využívání uhlí jako paliva je proto možné pouze v případě, že odběr proudu pro trakční účely bude prováděn podle variant b) a c) ze všeobecné energetické sítě.

Zvláště závažné a ekonomicky neakceptovatelné ztráty mohou nastat, pokud měřítkem pro výstavbu a provoz drážních vodních elektráren je – jak se již někdy stalo – pouze odběr elektrické energie pro trakční účely. Pokud je při výstavbě vodní elektrárny přihlíženo pouze k potřebám energie pro trakční účely, vyvstává nebezpečí, že dostupné vodní zásoby nebudou od počátku náležitě využity, dodatečné rozšíření vodní elektrárny na plnou kapacitu bude znemožněno, případně, že existující možnosti nashromáždění zásob vody nebudou využity. Při provozu samostatných drážních vodních elektráren nelze vždy splnit požadavek nadřazeného všeobecného ergoekonomického stanoviska, který zní, využívat

³⁰ V originále *einheitlichen Verbundwirtschaft*

nashromážděné zásoby vody pouze k pokrytí odběrových špiček a nikoliv k zásobování nočním proudem.

Všechna tato hlediska zdůrazňují požadavek německých výrobců a dodavatelů elektrické energie, aby veškeré elektrárny sloužily sdruženému provozu a byly využívány v souladu s nadřazenými hledisky Říšského rozdělovníku³¹ tak, aby – jak již bylo zdůrazněno – mohlo být dosaženo nejvyššího možného ekonomického efektu. V budoucnu by proto mělo být upuštěno od výstavby samostatných drážních vodních elektráren, pracujících s kmitočtem $16 \frac{2}{3}$ Hz.

V této souvislosti je též třeba obrátit pohled na otázku trakčního motoru pro kmitočet 50 Hz. Přestože v případě motoru, pracujícího s kmitočtem 50 Hz dnes existují slibná a od roku 1936 ve zkušebním provozu osvědčená konstrukční řešení, nelze tyto motory – vzhledem ke třicetiletému vývoji nyní již vyvrálých motorů pro kmitočet $16 \frac{2}{3}$ Hz – považovat v každém směru za zcela srovnatelné. Zavedení trakčního systému s kmitočtem 50 Hz stojí proto vzdor všem pro tento systém hovořícím výhodám v cestě ještě různé překážky. Možnosti, skýtající se při stavbě motorů pro kmitočet 50 Hz dávají však naději na úspěch, takže lze s jistotou očekávat zdokonalení dnes existujících prvotních provedení těchto motorů a tím i rozptýlení nejistot a rozpaků, kterými je systém 50 Hz opředen. V roce 1911, kdy Německá říšská dráha³² poprvé použila jednofázový systém o kmitočtu $16 \frac{2}{3}$ Hz, nebyl vývoj trakčního motoru pro tento proudový systém ještě zdaleka ukončen a proto musí být tehdejší rozhodnutí právem označeno jako odvážné. Riziko, které by mohlo být spojeno s přechodem na kmitočet 50 Hz, lze bezpochyby hodnotit jako daleko menší. Lokomotivy různých konstrukcí, nasazené do zkušebního provozu na tratích Höllentalbahn a Drei-Seen-Bahn, kde byla vyžadována zcela nová konstrukční řešení, splnily do nich vložená očekávání a prokázaly plnou provozní způsobilost. To je třeba ocenit zvláště s přihlédnutím k trasování zkušebních tratí vykazujících četné oblouky a neobvyklé sklony až 55 promile, což na elektrický provoz kladlo zvláště vysoké nároky.

Během zkušebního provozu se u některých konstrukčních provedení sice projevil nedostatky, které si lze u prototypových provedení vysvětlit, které však bylo možné odstranit dodatečným zdokonalením konstrukce a kterých se bude možné v budoucnu hned z počátku na základě získaných poznatků vyvarovat. Trakčnímu motoru pro kmitočet $16 \frac{2}{3}$ Hz odpovídá konstrukčně i funkčně nejlépe komutátorový motor pro kmitočet 50 Hz, který je motoru pracujícím s kmitočtem $16 \frac{2}{3}$ Hz vcelku rovnocenný a který se v některých aspektech dokonce prokázal jako dokonalejší. I když motor, pracující s kmitočtem 50 Hz nedosahuje specifickou hmotnost motoru pracujícího s kmitočtem $16 \frac{2}{3}$ Hz a pravděpodobně ji ani v budoucnu nedosáhne a z tohoto důvodu bude zapotřebí většího množství materiálu na jeho výrobu, a bude tedy v porovnání s motorem pro $16 \frac{2}{3}$ Hz vycházet dražší, bude tyto vyšší náklady snadno možné více než kompenzovat potřebou menšího transformátoru pro lokomotivy na 50 Hz, a zvláště pak výhodnější strukturou nákladů na pevná zařízení v oblasti výroby a přenosu elektrické energie.

Porovnání ekonomických parametrů proudových soustav

³¹ V originále *übergeordneten Gesichtspunkte des Reichslastverteilers*

³² v roce 1911 ještě Německá říšská dráha pochopitelně jako podnik vůbec neexistovala, železnice spadaly v tu dobu pod správu jednotlivých německých zemí, např. Pruska, Saska, Bavorska atd.

Budou-li k napájení železniční trati budovány pouze speciální drážní elektrárny, pokrývající výhradně energetické potřeby železnice, bude se vždy jednat o elektrárny střední velikosti a středního výkonu. Příliš dalekosáhlá centralizace výroby elektrické energie nepřichází pak v úvahu z důvodů zajištění spolehlivosti a hospodárnosti přenosu elektrické energie. Náklady na výstavbu, potřeba stavebního materiálu, náklady na provoz a potřeba provozního personálu budou proto vždy značně vyšší nežli zaručují optimální výsledky dosažitelné v elektrárnách všeobecné energetické sítě. Rovněž již bylo poukázáno na vyšší spotřebu paliva v drážních tepelných elektrárnách.

Vyšší náklady, podmíněné výkonem zařízení, které je v elektrárně instalováno, charakterem odběru elektrické energie, se ale ještě dále zvýší, protože je potřeba udržovat zvláštní rezervy pro odběrové špičky a protože neexistuje možnost vyrovnání odběru mezi trakční energií a odběrem ostatních spotřebitelů. Při odběru energie ze všeobecných energetických sítí je neustále k dispozici rezerva, umožněná sdruženým provozem všech elektráren do jedné sítě, není tedy zapotřebí udržovat zvláštní rezervu z důvodů odběru trakční energie pro provoz železnice, protože tento odběr je vzhledem k odběru energie ostatních spotřebitelů téměř bezvýznamný. Podle výzkumu, provedeném v jihoněmeckých sítích, lze při společném pokrytí odběru energie realizovat v nezanedbatelné míře vyrovnávky mezi drážním a všeobecným odběrem. Faktor paralelního odběru, který vyjadřuje poměr mezi odběrem trakční energie pro železnici v době největšího odběru ve všeobecné síti a nejvyšším ročním odběrem energie železnicí, obnáší přibližně 0,6 až 0,8. Dimenzování výkonu elektráren v případě všech třech zde prošetřovaných variant je uvedeno v tabulce 1.

Všechny tyto okolnosti vedou v případě variant b) a c) k podstatnému zlevnění v oblasti elektráren, což má za následek nižší cenu, kterou si elektrárny za dodávanou elektrickou energii účtují. Podle variant b) a c) obnáší cena dodávané elektrické energie pouze 80 % ceny požadované v případě a).

Tabulka 1 Dimenzování výkonu elektráren

Odběr trakční energie na trati . . . 10 ³ kWh/km	218	436	872	1308	1744
Elektrárny					
varianta a) %	100	100	100	100	100
varianta b) %	63	67	74	70	72
varianta c) %	63	67	74	70	72
Trakční transformovny					
varianta a*) %	100	100	100	100	100
varianta b) %	78	64	66	69	69,5
varianta c) %	91	97,6	97,5	92,5	92

*) včetně trakčních transformoven s přeměnou kmitočtu energie, odebírané ze všeobecné sítě

Varianty b) a c) vykazují také ohledně vysokonapěťových linek výhody oproti variantě a). Zatímco v případě varianty a) je zapotřebí paralelně k železniční trati vést linku drážního rozvodného systému, postačuje u variant b) a c) pouhé rozšíření všeobecných sítí. Rozsah rozšíření všeobecné sítě závisí pak na počtu napojených trakčních transformoven a na místních poměrech ohledně existence a průběhu linek všeobecné energetické sítě. V rámci porovnání jednotlivých systémů byla varianta a) v případě vysokého odběru trakční energie posouzena spíše trochu příznivěji. V případě všech uvedených odběrů byla vzata v úvahu pouze zdvojená

napájecí linka, vedená podél železniční trati. Zdá se však být sporné, zda bude jediná zdvojená linka při velkých odběrech postačovat.

Pevná zařízení trakčních transformoven a jejich provoz vycházejí při napájení podle varianty b) dráže než v případě varianty a). Na úspory ohledně výkonu elektráren při kolísání odběru v případě možnosti vyrovnávek přes propojené úseky trolejového vedení bylo již poukázáno (viz též tabulku 1). Jedna z možností zlevnění se naskytá, pokud by v rámci dalšího vývoje byly místo plánovaných elastických rotačních měničů nejprve použity rotační měniče s pevnou charakteristikou nebo statické měniče. Vyšší ztráty, vznikající při použití rotačních měničů, lze v případě dodávek energie z tepelných elektráren všeobecné energetické sítě kompenzovat nižšími nákupními náklady na jednu kWh a menší spotřebou paliva. Podle varianty c) se v některých případech zatížení trakční sítě z důvodů vyrovnání většího poklesu napětí při 50 Hz počítá oproti variantě a) s poněkud větším počtem trakčních transformoven, ve většině případů ale s počtem stejným. Při zavedení kmitočtu 50 Hz vychází jednotlivé trakční transformovny ohledně pevných zařízení levněji, přičemž vzniká možnost úspory stavebních materiálů.

Konstrukce trakčního vedení zůstává ve všech zkoumaných případech v podstatě stejná. Pouze u varianty b) se předpokládá přídavné zesilovací vedení, instalované na upevňovacích elementech trakčního vedení. Toto přídavné zesilovací vedení by zaručovalo vyrovnání odběru trakční energie v případě přerušení spojení mezi propojenými úseky trakčního vedení.

Počet potřebných trakčních vozidel stoupá se vzestupem dopravního toku, nejsou tedy rozdíly mezi zde projednávanými variantami. Odlišnosti vznikají pouze ohledně použitého kmitočtu. U hnacích vozidel pro kmitočet 50 Hz je dnes ještě potřeba počítat s vyššími pořizovacími výdaji a vyššími výdaji na údržbu, a také s většími náklady na materiál. Při dalším zdokonalování hnacích vozidel pro kmitočet 50 Hz lze ale očekávat pokles nákladů na úroveň hnacích vozidel pro kmitočet $16\frac{2}{3}$ Hz.

Tabulka 2 Náklady na pevná zařízení, na jednu kWh elektrické energie odebíranou sběračem hnacího vozidla, a celkové roční náklady

Odběr trakční energie na trati . . . 10^3 kWh/km	218	436	872	1308	1744
Náklady na pevná zařízení					
varianta a) %	100	100	100	100	100
varianta b) %	103	80	88	87	87,5
varianta c) %	80	66	70,5	68	66
Náklady na pevná zařízení a na hnací vozidla					
varianta a) %	100	100	100	100	100
varianta b) %	102	87	90,5	93	93,5
varianta c) %	91,5	83,5	88	89,5	90
Výdaje za 1 kWh odebíranou sběračem hnacího vozidla					
varianta a) %	100	100	100	100	100
varianta b) %	98	96	99	100	102,5
varianta c) %	76	78	78,5	78,5	78,5
Roční náklady na pevná zařízení a na hnací vozidla					
varianta a) %	100	100	100	100	100

varianta b) %	99	98	99,5	100	101
varianta c) %	92	95,5	97	98	98

Tabulky 2 a 3 obsahují porovnání všech tří zkoumaných variant napájení elektrickou energií při různě vysokém odběru trakční energie na trati. Veškeré hodnoty, vztahující se na variantu a) jsou uvedeny jako srovnávací hodnota 100. Z uvedených údajů je zřejmé, že varianta b) vyžaduje v případě nižších odběrů trakční energie poněkud vyšší náklady na pevná zařízení, přesto však všeobecně umožňuje úspory. U varianty c) vznikají v případě všech uvedených odběrů trakční energie nejnižší náklady na pevná zařízení. Tyto podstatné úspory na nákladech pro pevná zařízení jsou ovšem v s o u č a s n o s t i ještě znehodnocovány náklady na drahá hnací vozidla pro kmitočet 50 Hz. Avšak stále ještě zůstávají v ý z n a m n é m o ž n o s t i ú s p o r, které se projevují zvláště tehdy, přejdeme-li od procentuálních porovnávacích hodnot k absolutním sumám.

Tabulka 3 Náklady na materiál

Odběr trakční energie na trati . . . 10 ³ kWh/km	218	436	872	1308	1744
Železo					
varianta a) %	100	100	100	100	100
varianta b) %	92	86,5	95,5	97,5	98
varianta c) %	87	84	93,5	95	95
Měď					
varianta a) %	100	100	100	100	100
varianta b) %	108,5	104,5	105	107	107,5
varianta c) %	106,5	110,5	112	115	116
Hliník					
varianta a) %	100	100	100	100	100
varianta b) %	89	88	95	102	102
varianta c) %	61	66,5	78,5	88,5	90,5

Ohledně výdajů za trakční energii, odebíranou sběračem hnacího vozidla, ve kterých jsou již zohledněny náklady na výrobu a přenos elektrické energie přes pevná zařízení rozvodné sítě, jsou si varianty a) a b) přibližně rovnocenné, varianta c) však opět nabízí významné přednosti. Úspory, které umožňuje varianta c) poslouží k pokrytí vyšších nákladů na údržbu a na provoz lokomotiv pracujících s kmitočtem 50 Hz, takže roční náklady na pevná zařízení a na lokomotivy jsou přibližně vyrovnané. Průběh srovnávacích číselných údajů není zcela kontinuální, což je v jednotlivých případech podmíněno tím, že při dimenzování provozních prostředků bylo třeba použít určitá zaokrouhlení, takže například ohledně rezerv v elektrárnách a v trakčních trafostanicích, ohledně úbytku napětí v trolejovém vedení atd. nelze ve všech případech počítat se stejnými výsledky.

Při porovnání všech tří variant na bázi potřeby kovů jako železo, měď a hliník (viz tabulku č. 3) vznikají v první řadě v případě železa, ale také hliníku možnosti úspor při realizaci variant b) a c). U mědi vznikají však vyšší náklady, zde je však třeba vzít v úvahu, že potřebné množství mědi hraje vzhledem k potřebě železa pouze podřadnou roli. V rámci potřeby materiálu mohou vzniknout určité přesuny, bude-li možno na základě pokroku v dalším plánovaném vývoji tzv. domácích surovin na tyto v plné míře přejít a použít je například u trakčního vedení a na lokomotivách. Avšak se zásadními změnami při posuzování zde zkoumaných variant nelze počítat.

Při porovnání tabulek 2 a 3 zjistíme, že soustavu 16 2/3 Hz, kterou Říšská dráha dosud používá – tedy soustavu, která je v převážné míře zásobována drážními elektrárnami (varianta a), nelze z ekonomického hlediska v žádném případě považovat za nejpříznivější. Soustavy, které jsou napájeny výlučně ze všeobecných energetických sítí a používají trolejové napětí o kmitočtu buď 16 2/3 Hz (varianta b)) nebo 50 Hz (varianta c)) jsou variantě a) v každém případě rovnocenné, v některých případech mají oproti ní dokonce značné výhody. Přitom tyto soustavy skýtají v případě dalšího vývoje ještě různé možnosti zlepšení, které budou vést k úsporám, zatímco trakční proudová soustava 16 2/3 Hz byla v některých bodech posuzována spíše příznivěji než by odpovídalo realitě. Soustavy popsané jako varianty b) a c) by tedy při budoucích elektrifikacích měly být upřednostňovány – a to o to více, když ještě zohledníme jejich provozní výhody. A že zavedení soustavy 50 Hz ohledně trakčních motorů nestojí v cestě žádné vážné překážky, bylo již doloženo výše popsanými argumenty.

Vyvozené závěry pro budoucí elektrifikace železničních tratí

Provozní a ekonomické výhody trakční soustavy, která odebírá elektrickou energii se zvláštním kmitočtem nebo s průmyslovým kmitočtem ze všeobecné energetické sítě, jsou dostatečně důležité a významné, takže dnes již neexistuje nutnost nebo důvod k setrvání na doposud uplatňovaném systému výroby elektrické energie ve speciálních drážních elektrárnách a jejím přenosem zvláštními drážními vysokonapěťovými linkami. V budoucnu je třeba zamezit existenci paralelních všeobecných energetických sítí a drážních rozvodných sítí trakční energie – k tomuto stavu by totiž nutně vedl vývoj, podporovaný složkami Říšské dráhy. Víceméně je třeba důrazně vznést požadavek, aby i v případě trakční energie byly její výroba a přenos převedeny bez ztrát pro železniční správy do elektráren a rozvodných sítí všeobecné energetického systému. Pouze tak lze zajistit úsporné a všem požadavkům odpovídající využití energetické suroviny uhlí.

Nehledě na nutnost jednotné výroby a přenosu elektrické energie zadávají zde popsané teze silný podnět k úvaze, nahradit v budoucnu existující trakční soustavu 16 2/3 Hz soustavou 50 Hz. Samozřejmě že nelze nepřehlédnout, že se taková změna trakční soustavy neobejde bez různých těžkostí, tyto těžkosti ovšem nejsou tak závažného charakteru, aby nutně zadávaly důvod k setrvání na nynější trakční soustavě. Jít z cesty těžkostem, spojeným s každým zásadním pokrokem ve vývoji techniky by znamenalo, zřít se již od počátku jakéhokoliv technického pokroku.

Problémy tkví především v nutnosti investovat ještě další vývojové úsilí do detailní konstrukční práce a do vcelku úspěchy slibujícího vylepšení hnacích vozidel pro kmitočet 50 Hz. Těžkosti způsobuje také současný stav, kdy v Evropě je již 11.000 km – z toho jen v Německu 3.000 km klasických železničních tratí – provozováno v trakční soustavě 16 2/3 Hz. Uvědomíme-li si ale, že dnes provozovaná železniční síť trakční soustavy 16 2/3 Hz představuje pouze zlomek v budoucnu očekávaného rozsahu elektrického provozu na železnici, nelze označit převedení v současnosti elektrifikovaných tratí na trakční soustavu 50 Hz a priori jako beznadějně a nehospodárné. Zisky, docílené při elektrifikaci nových železničních magistralí mohou být z části použity k financování přechodu tratí provozovaných trakční proudovou soustavou 16 2/3 Hz na soustavu 50 Hz. Kromě toho není nutné tento přechod realizovat během krátkého časového období

Při odpovídajícím způsobu plánování lze najít řešení, která umožní bez podstatného ztížení provozních podmínek současnou existenci obou trakčních systémů až do odpisu dnešních zařízení a staveb. Konstrukce e l e k t r o m o t o r u p r a c u j í h o j a k s k m i t

o čte m 50 Hz, tak i s kmito čte m $16\frac{2}{3}$ Hz, přispěje k odstranění problémů především u dálkových vlaků vedených elektrickými motorovými vozy.

Za účelem vytvoření jednotné trakční proudové soustavy, kterou by bylo možné optimálně včlenit do všeobecného energetického systému země, by mělo být při budoucí elektrifikaci železničních magistrál postupováno následovně:

a) Již hotové plány na uvažovanou elektrifikaci železničních tratí po skončení války je třeba přehodnotit. Do popředí musí být postaven cíl, při další elektrifikaci železničních magistrál vytvořit podmínky pro odběr trakční energie ze všeobecné sítě a navíc nahradit trakční proudovou soustavu $16\frac{2}{3}$ Hz soustavou 50 Hz.

b) **Experimentální elektrický provoz na tratích Höllentalbahn a Drei-Seen-Bahn by měl být rozšířen ve stylu dalšího velkého zkušebního provozu na některé z vysoce zatížených železničních magistrál, která splňuje z hlediska délky tratě všechny podmínky vysoce zatížené moderní železniční tratě, protože zkušební provoz na trati Höllentalbahn při tamních traťových podmínkách, malém zatížení tratě a velmi omezeném počtu lokomotiv pro provoz pod kmitočtem 50 Hz vykazoval jen omezeně platné výsledky, které nemohou být zevšeobecnovány.**³³

c) Až do ukončení rozšířeného zkušebního provozu a konečného rozhodnutí o realizaci budoucí trakční proudové soustavy by měly být všechny zamýšlené projekty elektrifikace plánovány a řešeny v jednáních mezi správou Říšské dráhy a odvětvím hospodářství, zabývajícím se výrobou a rozvodem elektrické energie. Pro tyto plány by pak měly platit následující směrnice:

1. Způsob, který Říšská dráha dosud preferovala při elektrifikaci tratí – tedy se zcela samostatně pracujícími drážními elektrárnami, vyrábějícími elektřinu o kmitočtu $16\frac{2}{3}$ Hz a se speciální rozvodnou vysokonapětovou sítí, je třeba obecně zavrhnout a jeho další výstavbu připouštět pouze ve výjimečných případech, pokud nejsou k dispozici jiná řešení.

2. Řešení, které se od způsobu popsaným pod bodem 1 odlišuje tím, že drážní elektrárny a elektrárny zásobující všeobecnou energetickou síť užívají stejnou bázi výroby páry, vodních zásob, nebo užívají společné strojovny, může být považováno za dočasné řešení do doby, než bude možné provozovat železnice trakčním napětovým systémem 50 Hz. To platí zejména pro regiony Německa, ve kterých všeobecné energetické rozvodné sítě nevykazují dostatečnou hustotu a přenosovou výkonnost.

3. Řešení, při kterém jsou železniční tratě napájeny ze všeobecných sítí o kmitočtu 50 Hz přes velký počet měniren kmitočtu, kdy tedy odpadá výstavba speciálních drážních elektráren a tím odpadají i speciální vysokonapětové rozvodné sítě, by se mělo praktikovat pouze po dobu, dokud na něm bude muset železnice trvat z důvodů provozu parku hnacích vozidel pro soustavu $16\frac{2}{3}$ Hz. Avšak i toto řešení by mělo být aplikováno pouze v omezené míře, aby nedocházelo k dalšímu, dnešní míru přesahujícímu narušování snah o elektrifikaci železnic trakční proudovou soustavou 50 Hz.

³³ Zvýrazněno MB

4. Normální řešení, a to především z hlediska jednoduchosti a ekonomiky napájení nově elektrifikovaných magistral určených pro rychlou osobní dopravu a k přepravě hromadného zboží, by měl představovat stav, při kterém budou elektrifikované železniční tratě provozovány trakční proudovou soustavou 50 Hz, napájenou ze všeobecné energetické sítě přes četné trakční transformovny, přičemž odpadne potřeba speciální vysokonapěťové drážní rozvodné sítě.

Nelze než doufat, že tyto myšlenky budou zohledněny při rozhodování o konečném způsobu elektrifikace evropské železniční sítě.“

Do třetice vyšel na jaře 1944 v čísle 3/4 časopisu *Elektrische Bahnen*³⁴ článek ***Ergebnisse des 50 Hertz-Betriebes auf der Höllentalbahn*** autorů Dipl. Ing. Rudolfa Fritsche a Dr. Ing. Ernsta Kilba.³⁵ V tomto textu jsou velice podrobně analyzovány výsledky za osm let provozu systému 20 kV 50 Hz na *Höllentalbahn* a porovnávány se zkušenostmi na jiných německých tratích, elektrizovaných systémem 15 kV 16 2/3 Hz. Systém 50 Hz ze srovnání nevychází příliš příznivě, čehož hlavním důvodem bylo ale to, že *Höllentalbahn* zřejmě nebyla pro zkušební provoz vybrána úplně šťastně (viz i výše citovaný článek Dr. Ing. Krohneho), neboť se charakterem provozu jednalo spíše o vedlejší trať – i když s náročnými sklonovými a směrovými poměry – a zde získané výsledky a zkušenosti nebylo možno zobecnit na většinu tehdejší německé sítě, a přenést na parametry provozu na hlavních a zatížených dálkových tratích. Kromě toho je ale i zajímavé zde publikované zhodnocení provozu čtyř zkušebních lokomotiv řady E 244 různých konstrukcí.³⁶ Doslova se na toto téma v článku píše, že „*experimentální lokomotivy z převážné části splňovaly obvyklé nároky ohledně možnosti regulace výkonu, výkonnosti a možnosti přetížení, s výjimkou konstrukčního provedení stroje firmy Krupp*³⁷, který není z důvodů malého počtu jízdnicích stupňů a nemožnosti nasazení jako postrkové lokomotivy univerzálně použitelný. Dále nelze přehlédnout významně vyšší potřebu pracovních hodin.³⁸ Přestože lokomotiva výrobce SSW (Siemens-Schuckert Werke)³⁹ vykazuje z důvodů její konstrukční jednoduchosti přednosti oproti ostatním konstrukcím, nelze ani v případě této lokomotivy atestovat zcela uspokojující provozní spolehlivost a bezpodmínečnou provozní pohotovost. Zde je však třeba brát ohledy na těžké podmínky provozu na trati s velkými sklony. Lokomotivy vybavené usměrňovači⁴⁰ jsou z důvodů velké citlivosti na udržení podtlaku a částečně také z důvodů velké složitosti jejich

³⁴ Jedno z nejvýznamnějších evropských odborných periodik, vycházející s malými přestávkami již od roku 1903. Viz např. Wikipedie, [https://de.wikipedia.org/wiki/Elektrische_Bahnen_\(Zeitschrift\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Elektrische_Bahnen_(Zeitschrift)), vyhledáno 27.7.2018

³⁵ Dipl. Ing. Rudolf Fritsch a Dr. Ing. Ernst Kilb, *Ergebnisse des 50 Hertz-Betriebes auf der Höllentalbahn*, in: *Elektrische Bahnen*, ročník 20, číslo 3/4, březen-duden 1944, strany 31 – 50

³⁶ Stroj E 244.01 byl dodán firmou AEG, E 244.11 konsorciem BBC (elektrická část) a *Krauss-Maffei* (mechanická část), E 244.21 konsorciem *Siemens-Schuckert-Werke* (elektrická část) a *Krauss-Maffei* (mechanická část) a E 244.31 konsorciem *Garbe-Lahmeyer* (elektrická část) a *Krupp* (mechanická část). Popis jejich technických řešení viz např. zde (německy) <http://wehrtalbahn.de/Suedbadenbahn/50Hz/50HzText.htm>, vyhledáno 22.2.2020

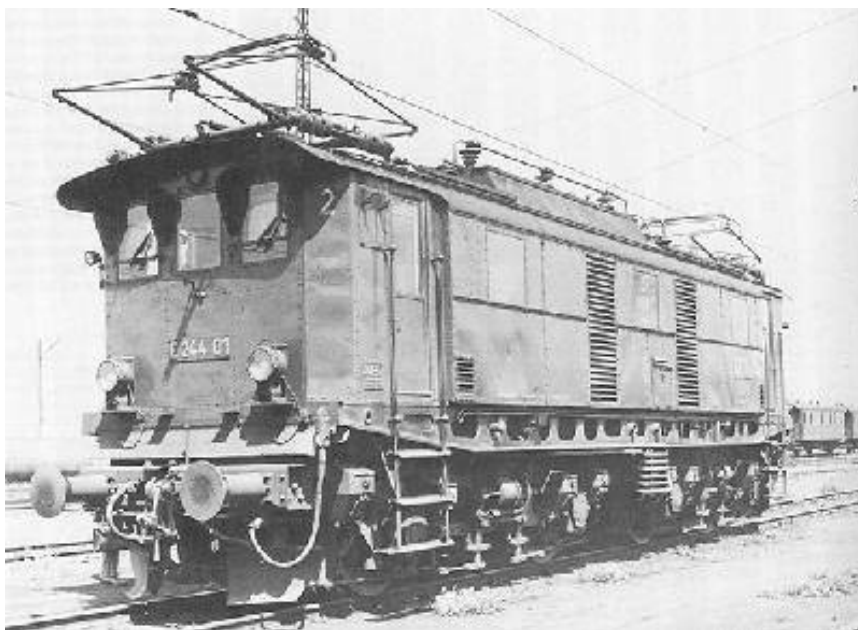
³⁷ E 244.31

³⁸ Zřejmě myšleno při údržbě tohoto stroje

³⁹ E 244.21

⁴⁰ E 244.01 a 11

konstrukce nevhodné pro železniční provoz, který vyžaduje jednoduché, robustní a provozně spolehlivé konstrukce.⁴¹



Obrázek č. 2:

usměrňovačová lokomotiva E 244.01 Höllentalbahn firmy AEG. Tato lokomotiva byla konstruována principu rtuťového usměrňovače a čtyř stejnosměrných sériových motorů, podobně jako E 244.11 BBC

Zdroj:

<http://wehrtalbahn.de>

A konečně někdy v roce 1944 vyšlo zvláštní neprodejné číslo časopisu *Elektrische Bahnen* s podtitulem **Gutachten über die Wahl des Stromsystems für die Elektrisierung von Fernbahnen** (česky zhruba *Odborný posudek výběru napájecího systému pro elektrizaci hlavních tratí*).⁴² V tomto textu jsou velice podrobně porovnávány tři systémy, 3000 V stejnosměrný, 15 kV 16 ²/₃ Hz a 50 Hz. Stejnosměrný systém je zde uváděn spíše jen do počtu a je diskvalifikován hned v několika parametrech, kterými tehdy byly především vysoké náklady na stavbu trakční infrastruktury⁴³ a také nevyřešený a zřejmě nevyřešitelný problém bludných proudů a škod, které tento prakticky neodstranitelný jev způsobuje.

Oba střídavé systémy zde vycházejí prakticky shodně s o něco nižšími pořizovacími a provozními náklady na systém 16 ²/₃ Hz, přičemž v textu ale **nejsou zohledněny** náklady na budování a provoz vlastních drážních energetických sítí 16 ²/₃ Hz. Velmi zajímavé je, že v tomto textu jsou popisovány tři uvažované kategorie lokomotiv pro systém 50 Hz, a to lokomotiva pro rychlíky, označená jako E 218, lokomotiva pro osobní a lehčí nákladní vlaky E 244 a lokomotiva pro těžké nákladní vlaky E 294, a dále rychlíkový elektrický vůz ET 211 a elektrický vůz pro osobní vlaky ET 225.⁴⁴ Toto dělení vychází ze škály obdobných typů lokomotiv DR pro systém 16 ²/₃ Hz, tedy lokomotiv E 18, E 44 a E 94 a vozů ET 11 a ET 25. Ze tří uvedených typů lokomotiv pro systém 50 Hz v té době existovaly jen zkušební lokomotivy E 244, provozované na *Höllentalbahn*, a z elektrických vozů žádný. Lokomotivy E 218 a E 294 jsou zde popsány jako varianty lokomotiv E 18 a E 94, vystrojené sériovými komutátorovými motory schopnými pracovat i při frekvenci 50 Hz. Motor lokomotivy E 218 o hodinovém výkonu 750 kW a

⁴¹ Tento kritický výrok na adresu usměrňovačových lokomotiv je v kontextu toho, že další poválečný vývoj šel právě cestou lokomotiv s usměrňovači (nejprve rtuťovými, a posléze křemíkovými), a ne cestou různých elektromechanických konstrukcí (Kandó, Krupp apod.), opravdu zajímavý. Každopádně ukazuje, že v této době byl právě neexistující lokomotivní usměrňovač největší slabinou možného rozvoje systému 50 Hz

⁴² Vydáno vydavatelstvím *Verlag für Sozialpolitik, Wirtschaft und Statistik, Paul Schmidt, Berlin* a tato publikace byla neprodejná

⁴³ Velké průřezy vodičů, vysoký počet měření, (komplikovaná) ochrana proti bludným proudům...

⁴⁴ Číslice „2“ na prvním místě řadového označení znamená elektrická vozidla pro soustavu 50 Hz

maximálním napětí 550 V měl mít 24 pólů a komutátor se měl otáčet maximální rychlostí 48 m/s. Motor lokomotivy E 294 o hodinovém výkonu 525 kW a maximálním napětí 500 V měl mít 16 pólů s maximální rychlostí otáčení komutátoru taktěž 48 m/s.

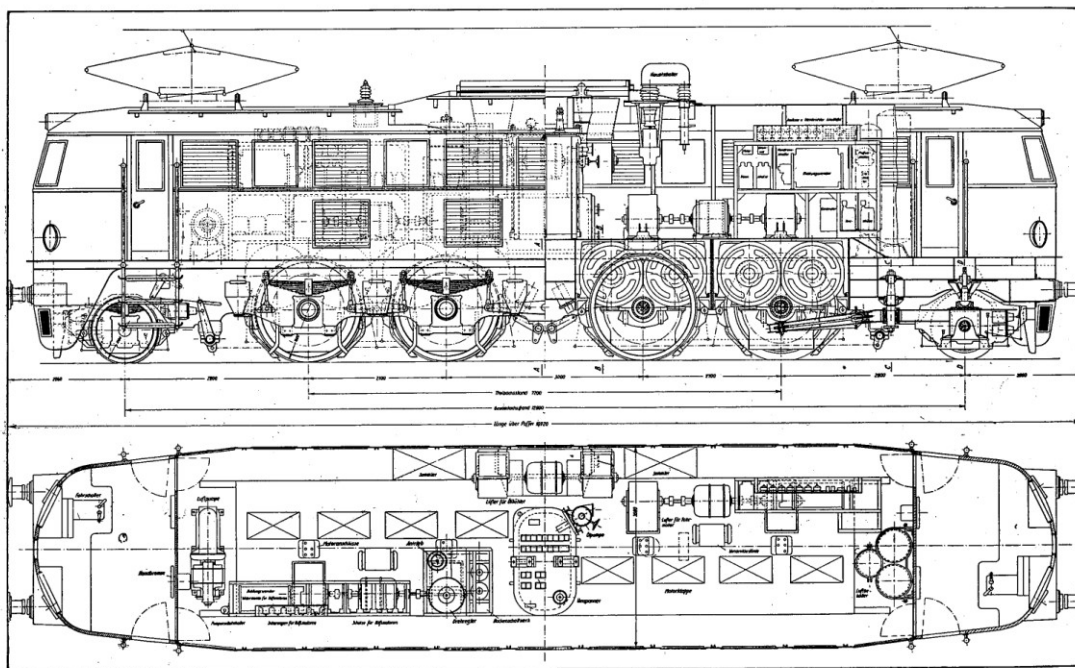


Bild 23. Schnellzuglokomotive für Einphasen-Wechselstrom 50 Hz mit Stromwendermotoren der Reihe E 218 (Entwurf).

26

Obrázek č. 3: *schematický náčrt rychlíkové jednofázové lokomotivy E 218. uveřejněný v roce 1944*

Zdroj: Elektrische Bahnen/Gutachten über die Wahl des Stromsystems für die Elektrisierung von Fernbahnen, 1944

Ze všech čtyřech článků, **uveřejněných před rokem 1945**, plyne tento jednoznačný závěr: po válce bude nutno elektrizovat železnici střídavým systémem, napájeným z veřejné energetické sítě 50 Hz. Optimálně – při dostatečném zdokonalení vozidel – frekvencí 50 Hz i v trakční síti, aby byly eliminovány ztráty vyvolané změnou frekvence z 50 Hz na $16 \frac{2}{3}$ Hz.⁴⁵

Situace na území někdejšího Československa ve stejné době

I v obou tehdejších částech někdejšího Československa, tedy tzv. *Slovenské republiky* a tzv. *Protektorátu Čechy a Morava*, byl vývoj na poli napájení železnice proudovým systémem 50 Hz sledován a vyhodnocován, jak potvrzují dochované prameny.

Slovensko

⁴⁵ Systém $16 \frac{2}{3}$ Hz, napájený z veřejné sítě 50 Hz, byl po válce použit v NDR při znovuelektrizaci sítě DR

Minimálně první dva výše uvedené texty byly již v době svého uveřejnění známy i na Slovensku.⁴⁶ Podle dochovaných informací měly na příslušné slovenské činitele velký dopad, a někteří z nich se ještě před koncem války začali zavedeném systému 50 Hz na trati Žilina – Spišská Nová Ves vážně zabývat.⁴⁷ Mezi ně patřil například ředitel *Západoslovenských elektrární* Ing. Fridrich Beránek⁴⁸, nebo ředitel *Ústředné kancelárie všeužitkových elektrárenských spoločnosti v Bratislave (ÚKVES)* Ing. Ladislav Krčméry. Doložen je například výrok Ing. Beránka z 2. března 1944, kdy vyslovil názor, že po skončení války budou říšskoněmecké železnice zavádět systém 50 Hz, který jim umožní rychlou a levnou elektrizaci železniční dopravy. A to z důvodu, že použitím systému 50 Hz získá železnice jako zdroj napájení všechny německé elektrárny bez nutnosti provozovat vlastní energetický systém 16 2/3 Hz.⁴⁹ Systém 50 Hz považoval za moderní s dalekou perspektivou.⁵⁰

František Jansa 1942 a 1946

A v i českých zemích, resp. *Protectorátu*, byl vývoj v oblasti systému 50 Hz sledován, o čemž svědčí například text Ing. Františka Jansy⁵¹, nazvaný ***Elektrizace železnic z hlediska technického a hospodářského*** a uveřejněn byl v roce 1942 v číslech 8 a 9 časopisu *Strojnický obzor*, resp. navíc ještě vydaný v jeho *Zvláštním otisku* téhož roku.⁵² Text zcela jasně navazuje na známou studii *Milion tun uhlí*, uveřejněnou v roce 1938, na které se kromě Ing. Jansy podíleli ještě Dr. Jan Bílek a Ing. Jaroslav Hanyk, novinkou oproti tomuto textu je ale právě popis i systému 50 Hz, který v roce 1938 ještě nebyl uvažován. Ing. Jansa o něm **v roce 1942** píše, že „*míněna je jednofázová soustava napájená buď přímo nebo přes vhodnou transformaci napětí a fáze ze všeobecné elektrizační sítě. Tato soustava je z hlediska napájení energií nejpřímější a tudíž levná, má však celou řadu technických problémů, o nichž budiž jen stručná zmínka.*

1. *rovnoměrné zatížení fází vyžaduje rozdělení elektrizované železniční sítě na úseky přibližně stejně zatížené. Je známo z praxe, že kolísání výkonu dráhového napaječe je tím menší, čím větší oblast, t.j. tkm/h, zásobuje. Při 100 000 tkm/h blíží se koeficient špičkového zatížení podle Forwalda hodnotě 2,5, která dalším zvyšováním výkonu již neklesá. Napaječe jednotlivých fází nutno proto rozdělit na oblasti s dopravním výkonem asi 100 000 tkm/h. Poměry se zjednoduší použitím 2 transformátorů ve Scottově zapojení, čímž lze převést zatížení ze dvou napaječů dráhových na 3 fáze primární.*

⁴⁶ Železničné múzeum – Múzejno-dokumentačné centrum ŽSR, nezpracovaný archivní fond elektrizace slovenských železnic 1941 – 1955

⁴⁷ Miroslav Sabol, *Elektrifikácia v hospodárskom a spoločenskom živote Slovenska*, strana 95, Historický ústav SAV, Bratislava 2010

⁴⁸ Tento muž působil ve své funkci i po skončení války, minimálně do roku 1948 a i v tomto období byl jedním z hlavních „motorů“ elektrizace slovenské železnice. Po válce již ale „samozřejmě“ zastával československou cestu stejnosměrného proudu 3000 V

⁴⁹ Neboli je zde zopakován výše zmíněný hlavní závěr všech čtyř německých textů

⁵⁰ Miroslav Sabol, *Elektrifikácia v hospodárskom a spoločenskom živote Slovenska*, strany 95 a 96, Historický ústav SAV, Bratislava 2010

⁵¹ Ing. František Jansa, 7.6.1903 – 3.6.1998, více viz např.

<http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/100-let-od-narozeni-mimoradne-osobnosti--14411>, vyhledáno 31.8.2019

⁵² František Jansa, *Elektrizace železnic z hlediska technického a hospodářského*, in *Strojnický obzor* 1942, čísla 8 a 9 resp. jeho *Zvláštní otisk*

2. Vyšší induktivní úbytek ve vrchním vedení v důsledku vyššího kmitočtu lze vyrovnati volbou vyššího dráhového napětí. Při napětí 23,5 kV 50 H⁵³ jsou ztráty ve vrchním vedení při stejných průřezech mědi stejné jako u 15 kV 16^{2/3} H.
3. Rušení slaboproudých vedení je u vrchního vedení napájeného 50 H silnější než u 16^{2/3} H. Lze jej omeziti kabelisací slaboproudých vedení, což je nejnákladnější, nebo trojvodičovým napájením vrchního vedení se ssacími tlumivkami, čímž se zpětný proud z kolejnice převádí do zvláštního zpětného kabelu.
4. Konstrukce vozidel na 50 H. Přímé použití proudu 50 H pro napájení kolektorových motorů je nevýhodné, ač i takové bylo na zkoušku provedeno.⁵⁴ Jiné možnosti jsou v přeměně jednofázového proudu na třífázový buď v synchronním měniči (Ganz-Kandó), nebo v motoru s rotující klecí (Krupp-Garbe-Lahmeyer). Tímto způsobem lze kompenzovati přebuzením induktivní účinník, ale lokomotivy mají jako třífázové jen určité pevné rychlosti, dané spojováním počtu pólů. Další vývoj slibují rtuťové usměrňovače, kterými lze spojití výhody stejnosměrné soustavy použitím sériových motorů a jednofázové bezztrátovou regulací napětí.

Úspory v pevných zařízeních a nižších ztrátách při jednofázové soustavě 50 H ospravedlňují z hlediska hospodářského i vyšší ceny vozidel u této soustavy, se kterými nutno počítati. Motorové vozy pro 50 H dosud stavěny nebyly.“

Obdobný text uveřejnil stejný autor ještě krátce po válce, v roce 1945 ve sborníku *Elektrotechnika ve výstavbě Československa*, vydaným *Elektrotechnickým svazem československým*. Text nese název **K elektrisaci železnic v ČSR**⁵⁵ a pasáž věnovaná jednofázové soustavě 50 c/s je taktéž podobná textu z roku 1942: „Pro úplnost budiž zde uvedena jednofázová soustava napájená buď přímo neb přes vhodnou transformaci napětí a fáze ze všeobecné elektrizační sítě 50-periodové trojfázové, neboť v posledních letech předválečných se o ní hodně uvažovalo a byly prováděny rozsáhlé pokusy (Maďarsko, Německo, SSSR⁵⁶). Tato soustava je v napájení energií nejpřímější a tím i levná, má však celou řadu technických problémů, o nichž budiž jen stručná zmínka:

Rovnoměrné zatížení fází napájecí trojfázové sítě vyžaduje rozdělení elektrisované železniční sítě na úseky přibližně stejně zatížené. Je známo z praxe, že kolísání výkonu dráhového napaječe je tím menší, čím větší je oblast. Při 100 000 tkm/h se blíží součinitel kolísání podle Forwalda hodnotě 2,5, která dalším zvyšováním výkonu již neklesá. Napaječe jednotlivých fází nutno proto rozdělit na oblasti s dopravním výkonem asi 100 000 tkm/h.

⁵³ Zde, v roce 1942, se tedy již rýsuje náznak budoucí všeobecně a globálně používané hodnoty napětí 25 kV. A to ironií osudu z pera budoucího velkého propagátora stejnosměrného systému Františka Jansy. A „H“ je dobový zápis jednotky Hz

⁵⁴ Výše zmíněné lokomotivy E 294 a 218

⁵⁵ František Jansa, K elektrisaci železnic v ČSR, in *Elektrotechnika ve výstavbě Československa 1945*, strany 59 – 63

⁵⁶ Sovětské experimenty s německou technologií viz úvod tohoto textu

Poměry se zjednoduší použitím dvou transformátorů ve Scottově zapojení, jímž lze převést zatížení ze dvou skupin napájecích na 3 fáze primární.⁵⁷

Vyšší indukční úbytek ve vrchním vedení vlivem vyššího kmitočtu se vyrovnává volbou vyššího dráhového napětí. Při napětí 23,5 kV, 50 c/s je celkový úbytek napětí ve vrchním vedení při stejném průřezu stejný jako u 15 kV 16^{2/3} c/s.

Rušení slaboproudých vedení je u vrchního vedení napájeného 50 c/s přirozeně silnější než u 16^{2/3} c/s. Lze je omezit kabelisací slaboproudých vedení nebo trojvodičovým napájením vrchního vedení, jímž se zpětný proud převádí z kolejnice do zvláštního zpětného kabelu.

Konstrukce vozidel na 50 c/s je nejobtížnější. Přímé napájení kolektorových⁵⁸ motorů 50 c/s je nevýhodné, neboť u větších výkonů, s jakými se setkáváme u železniční vozby, činí komutace obtíže, ač i takové řešení bylo zkoušeno. Jiné možnosti jsou v přeměně jednofázového proudu na trojfázový (Splitphase, Kando, Krupp) neb na stejnosměrnými rtuťovými usměrňovači (BBC, AEG). Ač tyto přeměny proudu mohou být snad únosné u těžkých lokomotivních jednotek, nejsou jistě řešením pro motorové vozy.“

Nicméně jak vidno úplně totožná s verzí z roku 1942 není⁵⁹ a celkově již tak příznivě pro tomto systém nevyznívá; rozdílný je hlavně závěr, kdy autor v roce 1945 klade větší důraz na řešení pro motorové vozy. Budoucí profesor František Jansa tak mezi lety 1942 a 1945 učinil zajímavý názorový posun a dnes se můžeme jen domnívat, co bylo jeho příčinou.

Dochované písemnosti dokládají, že během druhé světové války došlo v českých zemích k určitému – spíše teoretickému, ale přeci jen znatelnému – rozvoji stejnosměrného systému, na který chtěly poválečné ČSD navázat. Šlo o práce, navazující na známou studii Elektrizace našich drah (dnes známější pod názvem Milion tun uhlí) autorů Jana Bílka, Jaroslava Hanyka a Františka Jansy, uveřejněnou v letech 1938 a 1939, doporučující rozvoj elektrizace našich železnic. A to při zvýšení napětí 1,5 kV na 3 kV s cílem zvýšit výkonnost a účinnost napájecího systému. Na tuto teoretickou studii pak ještě na podzim 1938, po obsazení pohraničí, navázaly první úvahy a jednání o elektrizaci tehdy nově budované sklonově náročné trati Německý (Havlíčkův) Brod – Brno, dále byl v roce 1940 poměrně daleko rozpracován záměr elektrizace trati Smíchov – Zdice pro příměstskou dopravu, se kterým do určité míry souvisel záměr elektrické vozby nebo alespoň postrků na nově budované spojení Vršovice – Krč – Radotín a dále využití elektrické trakce pro dopravu nákladních vlaků centrem Prahy, a to jednak ve směru Smíchov – Vršovice sn. a dále ve směru Vysočany/Libeň hn. – výhybna Vítkov – Praha hn. – Smíchov. Toto je však stále značně neprobádané téma, vyžadující vlastní text a zde je proto jen takto načrtnuto. Poválečný vývoj v Československu logicky navázal nejen na domácí dění v době předválečné, ale i na domácí dění v době válečné. Poválečné pokračování předválečných myšlenek, ovlivněných technickým děním v průběhu války, je velmi zřetelné například i u motorových vozů M 131.1 a M 262.0.

Tolik tedy výchozí situace, jaká na německém a československém území vznikla během války a jaká existovala v okamžiku jejího skončení. Uvedené texty každopádně

⁵⁷ Jak je ale uvedeno výše němečtí odborníci mezitím toto zapojení na základě zkušebního provozu na Höllentalbahn vyhodnotili jako zbytečně komplikované

⁵⁸ = komutátorových

⁵⁹ Velmi zajímavý detail je i v odklonu od jednotky „H“ jakožto Herz v roce 1942 k jednotce „c/s“ (cyklů za sekundu) v roce 1945

jednoznačně dokazují, že v roce 1945 byly vlastnosti – pozitiva i slabiny – soustavy 50 Hz mezi odbornou veřejností v obou částech znovuobnoveného Československa dobře známy.

Vývoj v Československu po roce 1945

Po druhé světové válce byl tedy u nás přijat systém 3000 V ss, a to zřejmě jako v jediné zemi na světě – není nám znám jiný stát, který by se po roce 1945 rozhodl elektrizovat svou železniční síť stejnosměrným systémem 3000 V, aniž by navazoval na práce prováděné před vypuknutím války (v Evropě Itálie, Belgie, Polsko a SSSR); přesněji řečeno není znám stát, který by toto rozhodnutí nejpozději ve druhé polovině padesátých let nepřehodnotil ve prospěch systému 25 kV 50 Hz.⁶⁰ V polovině padesátých let již o jeho výhodách nebylo pochyb, což jasně dokazuje od té doby datované rozšiřování tohoto systému doslova po celém světě. Počínaje Francií, balkánskými státy, Sovětským Svazem, nakonec také Československem, Velkou Británií, Novým Zélandem a konče například Pákistánem a především skutečnou současnou světovou velmocí systému 25 kV 50 Hz, Indií⁶¹.

Každopádně i v poválečném Československu byl systém 50 Hz sledován a již v roce 1949, ve dnech 27. března až 4. dubna, se uskutečnila studijní cesta zástupců *odboru III Ministerstva dopravy* a československého průmyslu do Maďarska s cílem prohlídky tratě Budapest – Hegyeshalom, elektrizované systémem 50 Hz. Tato cesta se konala na základě pozvání *generálního ředitelství MÁV* a *generálního ředitelství maďarského těžkého průmyslu* (jak stojí v dochovaných dokumentech)⁶² a vedla k velmi zajímavému výsledku, pro československou delegaci zřejmě trochu nečekanému. Součástí této cesty byla totiž i *diskuse o přednostech a nevýhodách trakčního systému jednofázového 50 ~*, na jejímž základě požádali maďarští odborníci československé zástupce o „*provozní data asi 3 tratí ČSD, které přicházejí v úvahu pro elektrisaci, aby mohli vykalkulovati náklady na jejich elektrisaci při použití jednofázového systému 50 ~*“. Tomuto požadavku samozřejmě nemohlo být československou stranou na místě vyhověno, nicméně po návratu do Prahy bylo nutno se jím zabývat s tím, že „*definitivní odpověď obdrží po jejím projednání v ministerstvu dopravy na podkladě písemné žádosti firmy*“⁶³. Následoval dopis firmy *Ganz* ze dne 5. dubna 1949, adresovaný pražskému *Ministerstvu dopravy*, ve kterém byla písemně opakována nabídka kalkulací nákladů elektrizace některých konkrétních tratí systémem 50 Hz, a to pokud možno s různými sklonovými a provozními poměry. ČSD by tak měly možnost porovnat náklady na elektrizaci střídavým systémem s náklady na stejnosměrný systém 3000 V, o kterém teprve nedávno rozhodly. Konkrétně byly firmou *Ganz* požadovány tyto informace: *vzdálenost stanic, spádové poměry, všeobecnou trať*⁶⁴ *napájecího elektrického vedení vysokého napětí, zátěž jednotlivých druhů vlaků, max. rychlost vlaků, počet vlakových dvojic za 24 hod., střední*

⁶⁰ Z těchto států zatím víme jednak o Bulharsku, kde státní BDŽ údajně krátce po druhé světové válce začaly budovat systém 3000 V, ale velice brzyho – ještě ve fázi výstavby – opustily, a to snad již počátkem padesátých let. Viz např. https://spz.logout.cz/infrastruktura/bdz_elektrizace.html, vyhledáno 2.7.2023. Druhou zemí je Indie, která v polovině padesátých let začala s elektrizací 108 km dlouhé tratě Howrah – Burdwan ve východní části země. Na rozdíl od Bulharska zde byl pravidelný provoz ve stejnosměrné trakci zahájen, ale ani tento experiment neměl dlouhého trvání a zanikl snad již počátkem šedesátých let přestavbou na systém 25 kV 50 Hz

⁶¹ Včetně metra v Dillí, viz např. https://en.wikipedia.org/wiki/Delhi_Metro, vyhledáno 18.2.2024

⁶² Národní archiv Praha-Chodovec, Fond Ministerstvo dopravy I, karton 635, spis č.j. 29101/49

⁶³ „Firmou“ je myšlena firma *Ganz*, viz například https://en.wikipedia.org/wiki/Ganz_Works, vyhledáno 3.3.2020

⁶⁴ Dobový zápis slova trasa, v českých textech té doby běžně užívaný

vzdálenost zastávek jednotlivých druhů vlaků, cenu proudu na primérních svorkách a případné zvláštní předpisy.

V Praze na *Ministerstvu dopravy*, kde již došlo k definitivnímu rozhodnutí jít cestou stejnosměrného systému 3000 V, se tento návrh a požadavek zjevně neseťkal s velkým pochopením, neboť *Odbor III* 19. května 1949 napsal, že „*použití maďarského systému Ganz-Kandó nepřichází pro elektrisaci naší magistrály Praha – Česká Třebová s budoucím navázáním na elektrisovanou KBD*⁶⁵ v úvahu již z toho důvodu, že změna ve volbě systému by měla za následek zdržení v realizaci programu 5LP, které se nesmí připustiti⁶⁶, nehledě ani k tomu, že stejnosměrný systém 3000 V je pro tak silně frekventovanou trať technicky účelnější⁶⁷ též podle zkušeností z jiných států s elektrisovanými drahami.“ Na závěr reakce pochopitelně následuje zdvořilostní „bratrská“ formulace, že by „*bylo ovšem jistě zajímavé získati touto cestou kalkulační podklady pro srovnání obou systémů proudových z hlediska finančních nákladů pro tratě s menší provozní intenzitou.*“ Na to reagovalo 25. května 1949 *Presidium 4 Ministerstva dopravy*, které konstatovalo, že „*se jedná v podstatě o sdělení všech dat určujících výkonnost vybraných tratí do zahraničí. V případě konkrétního výběru tratí muselo by být jednáno s MNO*⁶⁸ o souhlas, ale musely by být uvedeny pádnější důvody než ty, které uvádí odbor III. Přitom ještě soudíme že by MNO zaujalo velmi zdrženlivé, ne-li zamítavé stanovisko⁶⁹.“ K tomu pak *Odbor III* ještě neznámého dne dodal, že „*z vyjádření odd.pres/4 vyplývá, že by MNO v tomto případě sotva dalo souhlas k sdělení všech dat, určujících výkonnost některé z hlavních tratí ČSD, poněvadž získání kalkulačních podkladů pro jednofázovou trakci 50 ~ by mohlo mít jen studijní účel. Zmínili jsme se již ve svém vyjádření z 19.V., že použití systému Ganz-Kandó nepřichází při elektrisaci naší magistrály v úvahu již z toho důvodu, že by to nesporně znamenalo zdržení v realizaci programu elektrisace. Po technické stránce nutno vzít v úvahu, že pro jednofázový systém 50 ~ není dosud vyřešen elektr. motorový vůz, což je velmi závažné, neboť předměstská doprava bude u nás řešena převážně elektrickými motorovými vozy.*⁷⁰ Jednoduchost napájecích stanic při 50 ~ systému proti komplikovanějším a dražším měnirám stejnosměrného systému 3000 V je vyvážena komplikovaným uspořádáním lokomotiv syst. Kandó. Podle našich informací konají

⁶⁵ Uvádění zkratky *KBD* je tehdy ještě běžné, neboť tato společnost byla definitivně *znárodněna zestátněním* právě v té době

⁶⁶ Toto „nepřípustné zdržení“ pak stejně ale nastalo...

⁶⁷ Skutečně pozoruhodné tvrzení, dnes bohužel naprosto vyvrácené. Naopak stejnosměrný systém již dávno narazil na svoje technické a fyzikální limity

⁶⁸ Ministerstvo národní obrany

⁶⁹ Jeden z mnoha důkazů z československého prostředí toho, kdy vojenská místa bránila modernizaci železnice. Plně v duchu všeobecně platné teze, že každá armáda světa se důkladně připravuje na minulou válku

⁷⁰ Toto je v té době závažný argument. Ironií osudu ovšem zůstává, že sériové předměstské elektrické stejnosměrné jednotky řady EM 475.1 začaly být k ČSD dodávány až v roce 1964 a ve významnějších počtech začaly do provozu zasahovat až ve druhé polovině šedesátých let, tedy jen pár let před tím, než se na kolejích objevily elektrické jednotky SM 488.0 (prototypy již 1966, sériová výroba 1970 – 1971), viz např.

https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A9_jednotky_451_a_452 a

https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%A1_jednotka_560, vyhledáno 4.3.2020

francouzské dráhy pokusy se zlepšeným systémem 50 ~; zatím objednaly 3 lokomotivy⁷¹, které jsou teprve ve stavbě.⁷²

Elektrifikační program 5LP je předmětem zájmu nejvyšších míst ve státě a jeho splnění je absolutní nutností nejen politickou a hospodářskou, nýbrž i z dopravních důvodů na KBD pro zvýšení její výkonnosti. Z toho důvodu je nutno soustředit se na zvolený systém 3000 V stejnosměrný a nelze se již zdržovati úvahami o možnosti použití systému 50 ~.

Podotýkáme, že po jednání s Čs. energetickými závody, gen. ředitelstvím v Praze a oblastním ředitelstvím v Bratislavě, jsme se po zjištění, že podle nynějšího vývoje poměrů bude u 100000 V napájecí sítě vzdálenost napájecích bodů 25 – 50 km, místo původně předpokládaných 50 – 100 km rozhodli pro přímé napájení ze sítě 100 kV. Tím odpadne vlastní napájecí síť vedení 35 kV, což znamená úsporu 50 až 70 milionů Kčs na investičních nákladech jen pro trať Spiš. Nová Ves – Žilina, nehledě ani k snížení ročních provozních výdajů o 2,5 až 3 mil. Kčs následkem snížení ztrát úbytkem napětí při 100 kV proti 35 kV v napájecím vedení. Tím jsme se již značně přiblížili hlavní výhodě trakčního systému 50 ~, který vzhledem k vyššímu napětí a v troleji vystačí s menšími průřezy, lehčím a proto i lacinějším pevným zařízením.“

Dopis, odeslaný firmě Ganz 15. června 1949 ve francouzštině⁷³ pak zněl takto:

„Vážení pánové,

K Vašemu ct. dopisu ze dne 5. dubna t.r. Vám sdělujeme, že jsme se po prohlídce elektrizované trati Budapest – Hegyeshalom zabývali velmi podrobně jednofázovým trakčním systémem 50 ~ a jeho porovnáním se systémem stejnosměrným 3000 V.

Vzhledem k naší speciální situaci nepřichází však případná revize proudového systému v úvahu. Některé z podkladů, o které žádáte, by vyžadovaly úplného přepracování, po příp. nového vypracování, pro kteréžto práce nemáme v nynější době v důsledku jiných nutných prací ani času, ani potřebných pracovních sil. Prosíme Vás proto, abyste nás laskavě omluvili, nemůžeme-li Vám žádané podklady zaslati.

Používáme této příležitosti, abychom Vám vyslovili svůj upřímný dík za laskavé přijetí, kterého se dostalo naší delegaci při prohlídce Vašich závodů a elektrické trakce trati Budapest – Hegyeshalom.

Za ústředního ředitele podepsán Ing. Jeništa“

Pro zajímavost lze uvést, že na maďarské trati Budapešť – Hegyeshalom elektrizované střídavým systémem 15 kV 50 Hz, dvojkolejně a dlouhé 190 km, uvedené do provozu v roce 1931, byly vybudovány pouze čtyři napájecí stanice Torbágy, Báhnida, Nagyszentjános a Horvátkimle.⁷⁴ Ty byly napojeny na síť 100 kV/50 Hz a bez problémů zvládaly napájet celou

⁷¹ Toto dokazuje, že informace o vývoji ve světě byly v tehdejším Československu dostupné. Míněny jsou velmi pravděpodobně lokomotivy CC 6051, CC 6052 a BBB 6053 SNCF, viz např.

https://de.wikipedia.org/wiki/Bahnstrecke_Aix-les-Bains%E2%80%93Annemasse, vyhledáno 4.3.2020

⁷² Výraz „teprve ve stavbě“ je v této souvislosti opravdu velmi pikantní, neboť lokomotivy E 499.0 ČSD nebyly v té době ještě ani objednány...

⁷³ Dopis firmy Ganz do Prahy byl ovšem psán německy

⁷⁴ Viz např. <https://hu.m.wikipedia.org/wiki/Budapest%E2%80%93Hegyeshalom%E2%80%93Rajka-vas%C3%BAtvonal>, vyhledáno 6.7.2023

tuto velice zatíženou a důležitou trať sítě meziválečných i poválečných MÁV. Naproti tomu na kratší (165 km) trati Praha – Česká Třebová, taktéž dvojkolejné, bylo o čtvrtstoletí později provozováno dvanáct napájecích stanic (měniren), tedy přesně třikrát tolik. Byly to Praha-Křenovka (nejprve na napětí 1500 V, v roce 1962 upravena na napájení 3000 V), Praha-Vršovice „Třešňovka“, Praha-Běchovice, Rostoklaty, Pečky, Kolín, Trnávka, Opočíněk, Moravany, Choceň, Ústí nad Orlicí a Česká Třebová-Rybník. Ty byly taktéž napojeny na síť 110 kV, a to z linky Praha-Jih – Toušeň – Opočíněk – Česká Třebová (– Zábřeh na Moravě).

S tratí Budapest – Hegyeshalom, resp. s lokomotivami V 40 MÁV souvisí i jedna prakticky neznámá a neprobádaná část české železniční historie, a to výskyt těchto lokomotiv na protektorátním území krátce před koncem války. Podle zatím dostupných informací od maďarských badatelů⁷⁵ byly někdy v roce 1944 nebo počátkem roku 1945 z Maďarska odvezeny nejméně tři tyto lokomotivy čísel 06, 10 a 28. Důvod jejich odvozu není znám a spekuluje se buď o evakuaci před postupující Rudou armádou nebo z důvodu oprav v Německu. A existují náznaky a fragmenty zpráv, že nejméně lokomotivy čísel 10 a 28 se na protektorátním území skutečně nacházely. Nejvíce informací máme o lokomotivě V 40.010, která byla z Maďarska odvezena 13. ledna 1945, a k 2. únoru 1945 evidována v konvoji odstavených lokomotiv na trati Hradec Králové – Hořice v Podrkonosi – Ostroměř, tato konkrétně v dopravně Bašnice (dnes již jen zastávka Dobrá Voda u Hořic). Co je ale zajímavé, tak v dochovaném dokumentu z archiválií *ředitelství státních drah* Hradec Králové je u této lokomotivy uvedena poznámka *am 9.2. nach Hegyeshalom abgerollt*, neboli byla ještě v únoru 1945 vrácena do Maďarska, což poněkud zpochybňuje teorii o evakuaci před Rudou armádou.⁷⁶ U MÁV pak byla provozována až do 26. března 1960, kdy byla zrušena. A o lokomotivě V 40.006 víme, že Maďarsko opustila dne 2. ledna 1945, ale její další válečné osudy neznáme. Podle dostupných informací se i lokomotivy 06 a 28 vrátily v roce 1945 do Maďarska a byly nadále provozovány na své domácí trati Budapest – Hegyeshalom.

⁷⁵ Hlavní část uvedených informací zjistil pan Villanyi György

⁷⁶ K tomuto se v SOA Chodovec dochovala zajímavá informace: *dne 13.1.1945 přijel do stanice Lázně Poděbrady lokomotivní vlak se stahovanými stroji. Je sestaven z těchto lokomotiv: MÁV 421.002, 328.019, 330.340, 375.917, 343.314, 403.502, 343.303, 327.042, 327.404, FS 729.024, 729.097; elektrické lokomotivy MÁV 40.010; tendru MAV – Ci; podle soupisu odstavených lokomotiv po vlečkách v obvodu ŘSD Hr. Králové z února 1945 je na vlečce cukrovaru Bašnice lokomotiva MÁV V 40.010*



Obrázek č. 4:

lokomotiva
V 40.010 MÁV
v Maďarsku, zřejmě již v poválečné
době. Právě tato
lokomotiva proka-
zatelně (z nezná-
mých důvodů) nav-
štívila krátce před
koncem války pro-
tektorátní koleje

Zdroj:
sbírka pan Villanyi
György

Kromě tohoto vyšly v roce 1949 v odborném časopise *Elektrotechnický obzor* dva texty, zabývající se problematikou systému 50 Hz. Prvním byl v čísle 3 článek **Najnovšia elektrická lokomotiva pre jednofázový prúd o frekvencii 50 c/sec – Lokomotiva typ Co Co, 20 000 V, 50 c/sec pre SNCF.**

„Francúzske železnice – SNCF – „Société Nationale des Chemins de Fer Francais“ objednaly u MFO-Maschinenfabrik Oerlikon a u SLM-Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur – pre svoju vlastnú potrebu konštrukciu prototypu najnovšej jednofázovej el. lokomotívy Co-Co, ktorá má jednofázové motory na frekvenciu 50 c/sec. Nemusím sa zvlášť rozpisovať o výhodách tejto lokomotívy, ktorá bude napájaná priamo priemyselným prúdom o frekvencii 50 c/sec, pričom napätie vo vedení bude 20 000 V. Proti jednosmernému prúdu o napätí 1500 V, alebo 3000 V, má tento systém tú značnú výhodu,

- a) že napätie 20 000 V umožňuje napájať omnoho dlhšie trolejové úseky, čo je nemožné, ako som spomenul pri nižšom napätí;
- b) že sa ušetrí hodne medi – menší prierez troleja;
- c) z toho samozrejme vyplýva, že odpadnú pri tomto systéme drahé usmerňovacie stanice, ako aj s nimi spojená obsluha;
- d) že odpadne stavba zvláštnych elektrární tam, kde sa používa nižšia frekvencia (Svajčiarsko, Nemecko);
- e) omnoho jednoduchšie elektrické zariadenia v elektrických lokomotívach a tedy aj lacnejšia prevádzka.

Pre SBB-Sch. Bundesbahnen tento nový systém neprichádza fakticky v úvahu, lebo majú skoro všetky dráhy zelektrizované a používajú tiež jednofázový prúd o napätí 15 000 V, ale o frekvencii 16 c/sec.

Vývoj jednofázových motorov.

Použitie jednofázového prúdu o frekvencii 50 c/sec nemohlo byť až doteraz pre hlavné elektrické dráhy využité, lebo nemali sme vhodných motorov, ktoré by boly vyhovovali požiadavkám elektrickej dopravy. Roku 1902 to bola MFO, keď Dr Behn-Eschenburg prvýkrát použil jednofázový systém a zostrojil prvý upotrebitelný jednofázový kolektorový motor, ale musel frekvenciu snížiť na $\frac{1}{3}$, teda $16\frac{2}{3}$ c/sec. Tiež dosiahol pri prijateľnej váhe motora aj dobrú komutáciu. Od tej doby, pravda, sa docielili ďalšie pokroky v stavbe el. jednofázových motorov pre el. dráhy a umožnily MFO (na popud a iniciatívu SNCF) vytvoriť po dvojročnej vedeckej a budovateľskej práci vyhovujúci jednofázový kolektorový motor na frekvenciu 50 c/sec. Pri tomto však je významné a dôležité, že váha tohoto motora je len o veľmi málo väčšia, ako váha primeraného najmodernejšieho motora na jednosmerný prúd o napätí 1500 V. Tento nový typ motorov bude poháňať lokomotívu Co-Co, ktoré budú vyhotovovať švajčiarske továrne pre SNCF. Časť mechanickú zhotoví SLM a elektrické zariadenie prevedie Maschinenfabrik Oerlikon.

Mechanická časť.

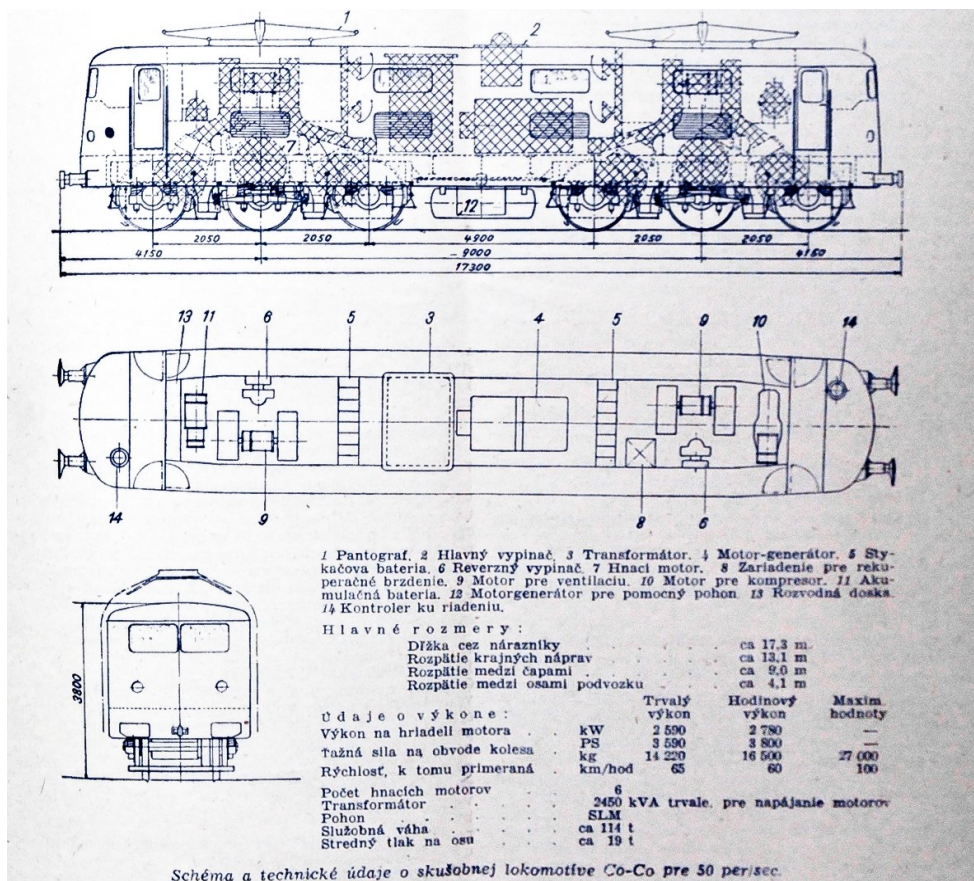
Pozostáva z dvoch trojosových podvozkov, na ktorých je namontovaná lokomotívna skriňa. Podvozky sú veľmi pozoruhodné a je to najmodernejšia konštrukcia, lebo sa tu po prvýkrát použilo 3-och hnacích náprav, ktoré sú celkom symetricky vedľa seba usporiadané. Aj odperovanie je upravené podľa najnovších spôsobov, čím sa docieli veľmi tichý beh, čo sa doposiaľ podarilo len s 2-osými podvozkami. K prenosu hnacej sily na kolesá slúži zvlášť konštruovaný t. zv. lietajúci prsteň (anneau-flottant), ktorý umožňuje popri všestrannej pohyblivosti aj veľkú pružnosť.

Elektrická časť.

V podstate pozostáva z jedného riadiaceho transformátora (stupňového) a z nízkonapäťového el. zariadenia s elektropneumatickými vypínačmi, Ťažnú silu obstaráva 6 jednofázových motorov, z ktorých každý má výkon asi 600 PS. Čo je zvlášť veľmi dôležité, budú mať tieto lokomotívy namontované ešte prídavné zariadenie, ktoré dovoľuje, že budú môcť jazdiť aj na jednosmerný prúd o napätí 1500 V, ale pri zmenšenom výkone. Toto má veľkú výhodu pre Francúzsko, lebo ono má hodne tratí, kde je už zavedený rovnosmerný systém 1500 V, a tak by bolo nepraktické, aby na pr. v spoločných nádražiach, kde sa budú stretávať obidva systémy, lokomotívy na jednofázový prúd 50 c/sec musely prísť do vleku, čím teda táto starosť odpadá. Pri jazde na jednosmerný prúd o napätí 1500 V je tento cez motor generátor teda premenený a cez jednofázový trafo privedený späť do motorov. Pri prechode z jednofázového systému na jednosmerný, ako i opačne sa počítalo na všetko a urobily sa všetky opatrenia, aby sa znemožnilo chybné manipulovanie. Lokomotíva bude mať jednofázovú rekuperačnú brzdu, ktorá má vysokú brzdiacu účinnosť, takže bude možno brzdiť až do úplného zastavenia. Ešte sa chcem zmieniť o pomocných motoroch, ktoré budú bez kolektora.

Nové lokomotívy Co-Co sú určené pre nákladné vlaky až do 1350 t a pre osobné vlaky do váhy 600 t a rýchlosti až 100 km/hod. Prvé lokomotívy typu Co-Co, ktorých vývojova idea vznikla vo Švajčiarsku, sú objednané u MFO a SLM a majú byť hotové v roku 1950.

(Podľa údajov a s dovolením Maschinenfabrik Oerlikon.) V. Kosáč, Zürich.“



Obrázek č. 5:

Schematický náčrt lokomotivy Co-Co Oerlikon pro SNCF, uveřejněný v roce 1949 v časopise Elektrotechnický obzor

Zdroj: Elektrotechnický obzor 3/1949

Závěr

Tímto dobovým článkem o lokomotivě Co-Co uzavřeme první díl popisu této bezesporu zajímavé historie. V dalším pokračování navážeme výše zmíněným druhým textem z časopisu *Elektrotechnický obzor* a budeme pokračovat sledováním vývoje v Československu a celém světě v padesátých letech 20. století. A úplným závěrem bych chtěl tímto poděkovat panu Janu Marvanovi za fundované a odborné překlady citovaných německých odborných článků; bez jeho pomoci by tento text nemohl nikdy vzniknout.

Lektorovali:

Ing. Jiří Pohl, Siemens Mobility, s.r.o.

Ing. Milan Šrámek, ŠKODA TRANSPORTATION a.s.