

U N I V E R Z I T A P A R D U B I C E
Dopravní fakulta Jana Pernera
Dislokované pracoviště Česká Třebová

Rekonstrukce podvozku elektrické lokomotivy Škoda 33E (51E, 90E)
se zaměřením na úpravu vedení dvojkolí

Autor práce: **TOMÁŠ KUDLÁČEK**

Vedoucí práce: **prof. Ing. JAROSLAV ČÁP, DrSc.**

Bakalářská práce

2010

U N I V E R S I T Y O F P A R D U B I C E

Jan Perner Transport Faculty

Detached Branch in Česká Třebová

Reconstruction of electric locomotive class Škoda 33E (51E, 90E) bogie
with focus on wheelset guidance modification

Author: **TOMÁŠ KUDLÁČEK**

Supervisor: **prof. Ing. JAROSLAV ČÁP, DrSc.**

Bachelor work

2010

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš KUDLÁČEK**
Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky-Kolejová vozidla**
Název tématu: **Rekonstrukce podvozku električky lokomotivy Škoda 33E (51E) se zaměřením na úpravu vedení dvojkolí**
Zadávající katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

V práci se zaměřit na konstrukční možnosti úpravy pojezdové části elektrické lokomotivy Škoda 33E (51E) se zaměřením na vedení dvojkolí. Vypracujte:

1. Popis jednotlivých způsobů vedení dvojkolí (včetně moderních trendů).
2. Popis elektrické lokomotivy Škoda 33E (51E).
3. Vlastní rekonstrukce podvozku s uvažovanou výchozí koncepcí vedení ložiskové skříně kyvným ramenem ČKD (včetně výpočtů).
4. Výkresová dokumentace.

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího BP
Rozsah pracovní zprávy: 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- [1] LATA, M. Konstrukce kolejových vozidel II., skripta, Univerzita Pardubice, Pardubice 2004, 206 s., ISBN 80-7194-696-6.
- [2] DVOŘÁČEK, V.; PALÍK, F. Střídavá posunovací lokomotiva S 458.0, Nadas, Praha 1975, 255 s., 625.282-83(023).
- [3] Výkresová dokumentace Škoda Plzeň.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Jaroslav Čáp, DrSc.
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: 26. února 2010
Termín odevzdání bakalářské práce: 31. května 2010



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.
děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.
vedoucí katedry

dne

PROHLÁŠENÍ AUTORA

PROHLAŠUJI:

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

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

Ve Zlíně dne 20. května 2010

Tomáš Kudláček

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi s touto prací pomáhali, zvláště pak mému vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Jaroslavu Čápovi, DrSc. za velmi ochotnou spolupráci a cenné připomínky, které mi při vypracování práce poskytl. Dále děkuji mé rodině za její trpělivost a podporu při studiu.

SOUHRN

Tato práce obsahuje popis a vývoj elektrických posunovacích lokomotiv Škoda II. generace a zabývá se rekonstrukcí podvozku s ohledem na vedení dvojkolí jedné z nich, pro kterou byla vybrána lokomotiva Škoda 90 E. Obsahuje výpočet vypružení a vlastní provedení rekonstrukce, která je provedena nahrazením vodících čepů s válcovými silentbloky kyvným ramenem koncepce ČKD. V práci jsou také uvedeny nejpoužívanější způsoby vedení dvojkolí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Škoda 33 E, 51 E, 78 E, 90 E; řada 110, 111, 113, 114.5, 210; vedení dvojkolí; kyvné rameno; šroubovitá vinutá pružina; podvozek

TITLE

Reconstruction of electric locomotive class Škoda 33E (51E, 90E) bogie with focus on wheelset guidance modification.

ABSTRACT

This bachelor work contains a description of the development and construction of Škoda second generation shunting locomotives and deals with a bogie reconstruction focused on the wheelset guidance of one of them (class Škoda 90E). It includes a suspension calculation and a design of the reconstruction itself, which is made by replacing the guiding pins and cylindrical silent blocks by ČKD design swinging arms. The bachelor work also lists the most common wheelset guidance systems.

KEYWORDS

Škoda 33 E, 51 E, 78 E, 90 E; class 110, 111, 113, 114.5, 210; wheelset guidance; swinging arm; helical spring; bogie

OBSAH

ÚVOD.....	10
1. ELEKTRICKÉ POSUNOVACÍ LOKOMOTIVY ŠKODA II. GENERACE	11
1.1. Výroba a popis jednotlivých řad	11
1.1.1. Řada 110.....	11
1.1.2. Řada 111.....	12
1.1.3. Řada 113.....	13
1.1.4. Řada 114.5.....	14
1.1.5. Řada 210.....	15
1.1.6. Řada 218.....	16
1.1.7. Technické parametry	17
1.1.8. Shrnutí aktuálního provozu a dislokace jednotlivých řad	18
1.2. Mechanická část lokomotiv řad 110, 111, 113 a 210	20
1.2.1. Rám podvozku	20
1.2.2. Dvojkolí.....	20
1.2.3. Převod trakčního motoru	21
1.2.4. Nápravové ložisko	21
1.2.5. Primární vypružení	22
1.2.6. Sekundární vypružení	22
1.2.7. Uložení trakčních motorů.....	23
1.2.8. Mechanická brzda	23
1.2.9. Ruční brzda	23
1.2.10. Pískování.....	23
1.3. Mechanická část lokomotivy řady 114.5.....	24
1.3.1. Pojezd	24
1.3.2. Brzda	24
1.4. Pneumatická zařízení	25
1.4.1. Hlavní kompresor 3 DSK 100	26
1.4.2. Pomocný kompresor T 36 a	26
1.4.3. Napájecí potrubí	26
1.4.4. Samočinná brzda	26
1.4.5. Přímochinná brzda	27
1.4.6. Odbrzďovače.....	27
2. ZPŮSOBY VEDENÍ DVOJKOLÍ	28
2.1. Vedení rozsochové.....	29
2.2. Vedení svislými čepy	29
2.3. Vedení ojníčkové	30
2.3.1. Ojníčkové vedení a vypružení listovou zpruhou	31

2.3.2.	Ojničkové vedení a vypružení šroubovitou zpruhou s vahadlem.....	31
2.3.3.	Vedení ojníčkou a vypružení pružinou flexi-coil.....	32
2.3.4.	Vedení trojúhelníkovou ojníčkou a vypružení šroubovitými pružinami..	32
2.4.	Vedení kyvným ramenem	33
2.5.	Vedení pryžovými prvky	34
2.6.	Vedení pásem a pružinou	35
3.	REKONSTRUKCE PODVOZKU.....	36
3.1.	Popis rekonstrukce	36
3.1.1.	Porovnání vedení kyvným ramenem a pryžovými boky	36
3.1.2.	Úpravy v rámu podvozku.....	36
3.1.3.	Sekundární vypružení	37
3.1.4.	Vedení dvojkolí – primární vypružení	37
3.2.	Výpočet primárního vypružení	38
3.2.1.	Omezení užitečného sednutí u elektrických lokomotiv	38
3.2.2.	Svislé vypružení skříně	38
3.2.3.	Stanovení vstupních hodnot pro výpočet	39
3.2.4.	Výpočet frekvence.....	41
3.2.5.	Návrh prvního stupně vypružení.....	42
3.2.6.	Přepočet tuhostí a deformace primárního stupně vypružení	43
3.3.	Dimenzování pružin primárního vypružení	44
3.3.1.	Volba materiálu pružin.....	44
3.3.2.	Stanovení parametrů pružiny	45
3.3.3.	Stanovení příčné tuhosti pružiny – podle Grosse	48
3.4.	Alternativní varianta – duplexní pružina.....	49
3.4.1.	Rozložení síly (F_8) do vnější (F_{8a}) a vnitřní (F_{8i}) pružiny	49
3.4.2.	Stanovení rozměrů a sil vnitřní a vnější pružiny	49
4.	ZÁVĚR.....	51
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52
	SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE	54

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE Tomáš Kudláček	Strana - 10 -
---	------------------------------------	------------------

ÚVOD

Jak vyplývá z názvu mé bakalářské práce, je hlavním cílem provést rekonstrukci vedení dvojkolí na stávajícím podvozku posunovacích elektrických lokomotiv Škoda II. generace vybranou vhodnou metodou.

Na těchto lokomotivách se vyskytují dva základní typy podvozků. Téměř všechny řady posunovacích lokomotiv, a to řady 110, 111, 113, 210, jsou opatřeny podvozkem s podvlečeným příčným s dvoustupňovým vypružením. Poslední vyvinutá řada 114.5 z této koncepce, zadaná Škodě Plzeň v letech 1996 dlužní společností Severočeské doly, která je nyní stále vlastníkem, byla osazena novým podvozkem zcela odlišné konstrukce s prohnutým rámem a dvojitým vypružením, spojené s hlavním sníženým rámem pomocí otočných čepů.

V bakalářské práci je obsažen stručný popis vývoje a konstrukce všech lokomotiv, dále shrnuty základní druhy vedení dvojkolí u elektrických lokomotiv a provedení vlastní rekonstrukce podvozku, pro kterou byl vybrán podvozek novější lokomotivy řady 114.5 (Škoda 90 E).

1. ELEKTRICKÉ POSUNOVACÍ LOKOMOTIVY ŠKODA II. GENERACE

1.1. Výroba a popis jednotlivých řad

Elektrické lokomotivy první generace vyráběné od roku 1953 v tehdejším n.p. Škoda Plzeň byly určeny k traťové službě a chyběly mezi nimi lokomotivy určené výhradně pro posun. Při rozvoji elektrizace a velkých výkonech na seřadovacích a železničních stanicích se v šedesátých letech začala projevovat naléhavá potřeba elektrických posunovacích lokomotiv. Důvody byly ekonomické, spočívající v nižších provozních nákladech a ekologické, spočívající v nižší hlučnosti oproti motorovým posunovacím lokomotivám, což bylo významné především v hustě osídlených aglomeracích. Proto bylo rozhodnuto, že do nově vznikající řady elektrických lokomotiv II. generace budou zařazeny i posunovací lokomotivy stejnosměrné i střídavé trakce.

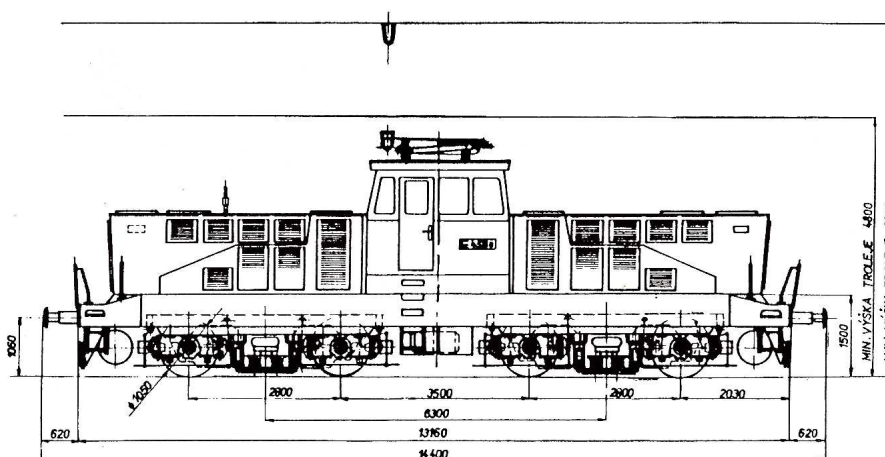
1.1.1. Řada 110

Prototypy elektrických stejnosměrných lokomotiv řady 110 vyvinul plzeňský podnik Škoda a dodal je v roce 1971 k provoznímu ověření. Zkoušky byly úspěšné, a proto v letech 1972 a 1973 následovaly sériové dodávky. Lokomotiva byla zadána jako kapotová se střední vyvýšenou kabinou strojvedoucího umožňující dobrý výhled a snadnou změnu směru. Sběrač proudu polopantografové konstrukce je jeden, umístěný na střeše kabiny strojvedoucího. Výkonové parametry byly voleny tak, aby optimálně vyhovovaly pro posunovací službu a nahradily v plném rozsahu parní a motorové posunovací lokomotivy. Výkon 800 kW a zpřevodování na maximální rychlost 80 km/h umožňuje dosáhnout při rozjezdu tažné síly až 160 kN, což plně vyhovuje i pro těžký staniční posun a přetahy. Podvozky mají jednoduchou konstrukci s pryžovým vypružením a vedením dvojkolí. V sekundárním vypružení skříně lokomotivy jsou použity vinuté ocelové pružiny s podélně řazenými hydraulickými tlumiči.

Regulace výkonu je odporová při elektromagnetickém ovládání řazení odboček. Celkem je 36 jízdních stupňů, z nichž poslední tři po vyřazení trvale zatížitelných odporníků zeslabují elektromagnetické pole až na hodnotu 50 %. Trakční vlastnosti a zabudované elektrické vytápění souprav umožňuje použití těchto lokomotiv i pro vozbu osobních a nákladních vlaků na méně zatížených elektrizovaných tratích.



Obr. 1 Lokomotiva 110.007, ČD-Cargo, SOKV Ostrava [15]



Obr. 2 Typový výkres lokomotivy řady 110 [5]

1.1.2. Řada 111

Klasické stejnosměrné lokomotivy maří při častých rozjezdech a nízkých rychlostech energii v rozjezdových odporech. Pro zhospodárnění jejich provozu se v 70. letech začala používat tyristorová pulzní regulace, která napětí trakčních motorů reguluje plynule, bezkontaktně a s malými ztrátami.

Předchůdkyní sériově vyráběné lokomotivní řady 111 byla lokomotiva **112.001**, která vznikla přestavbou poškozeného stroje 110.012 a stala se tak v podstatě jejím prototypem, kde byla po zrušení v roce 1996 odstavena a později rozebrána.

Na rozdíl od prototypu 112.001 byly u sériových lokomotiv řady 111, vyráběných v letech 1981 – 1982, použity nové sériové trakční motory. Na lokomotivu byl přidán balast 4 t pro dosažení hmotnosti na nápravu 18 t. Drobnými odlišnostmi jsou např.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE Tomáš Kudláček	Strana - 13 -
---	------------------------------------	------------------

jiná světla na čelních kapotách, doplněná madla na čelech kapot nebo uzavření větracích otvorů v prostoru pod kabinou strojvedoucího. V provozu lze také řadu 111 od řady 110 rozpoznat podle symbolu tyristoru na čelech kapot a bocích budky strojvedoucího. Vedle posunovací služby jsou lokomotivy nahrazeny i v traťové službě s osobními a manipulačními nákladními vlaky.



Obr. 3 Lokomotiva 111.019 v novém korporátním vizuálním stylu Českých drah [16]

1.1.3. Řada 113

Pro provoz na elektrizovaných tratích proudovým systémem o napětí 1,5 kV Tábor – Bechyně a Rybník – Lipno nad Vltavou (v roce 2005 byla provedena změna trakce na trati Rybník – Lipno nad Vltavou na střídavých 25 kV/50 Hz) byla v roce 1973 odvozena z vyvíjené řady 110 nová lokomotiva 113 a po nutných konstrukčních úpravách dodal podnik Škoda Plzeň šest lokomotiv této řady.

Vypuštěním balastu se dosáhlo snížené hmotnosti na nápravu 16 t. Snížení nejvyšší rychlosti na 50 km/h vedlo k přijatelným hodnotám tažných sil (88 kN trvale a 116 kN při hodinovém výkonu a rychlosti 14,1 km/h). Elektrická část vycházela rovněž z řady 110, ale vzhledem k polovičnímu napětí byl i výkon lokomotivy poloviční. Regulace výkonu je odporová, polarita a zapojení trakčních motorů byla upravena pro odpovídající stejnosměrné napájení 1,5 kV. Původně se uváděla nejvyšší dovolená rychlost 50 km/h, v roce 1993 byla ale na obou jihočeských tratích zvýšena traťová rychlost na 60 km/h. Protože má řada 113 pojezd zcela shodný s řadou 110, uvádí se nyní pro řadu 113 nejvyšší rychlost 80 km/h.

Se změnou trakční soustavy na trati Rybník – Lipno nad Vltavou byly lokomotivy 113.005 a 113.006 převedeny do DKV Praha, kde proběhla jejich úprava pro provoz na systému 3000 V (nové označení 110.205 a 110.206) a zbylé čtyři kusy jsou

v současnosti v provozní jednotce Tábor, kde zajišťují vozbu osobních vlaků na již zmíněné trati Tábor – Bechyně.



Obr. 4 Lokomotiva 113.003 [17]

1.1.4. Řada 114.5

Stroje řady 114.5 jsou nejmodernějšími a nejvýkonnějšími elektrickými posunovacími lokomotivami na území bývalého Československa. DNT (Doly Nástup Tušimice) objednaly čtyři čtyřnápravové kapotové lokomotivy se střední kabinou strojvedoucího, určené pro posun a lehkou traťovou službu.

Většina uzlů a komponentů lokomotiv, provedením navazující na předchozí řady 110 až 113, je konstruována zcela nově. Pojezdovou část tvoří dva nové dvounápravové podvozky s dvojitým vypružením, kde primární vypružení zajišťují pryžokovové válcové silentbloky Paulstra, sekundární vypružení šroubovitě válcové pružiny, které se opírají o snížené podélníky a příčník podvozkového rámu. Regulace trakčních motorů je pulzní. Lokomotivy jsou upraveny pro možnost dvoučlenného řízení a jsou vybaveny systémem ARR. Oproti předcházejícím řadám byla také dosazena elektrodynamická brzda, která má výkon 1000 kW. Dále je lokomotiva vybavena tlakovou samočinnou brzdou, elektricky ovládanou přímočinnou brzdou, doplňkovou a ruční brzdou. Od roku 1999 jsou lokomotivy po zkouškách v pravidelné posunovací i traťové službě na tratích DNT.

Elektrická část lokomotivy je velice moderně komponovaná. Trakční motory tvoří třífázové asynchronní stroje, paralelně zapojené. Pulzní trakční měnič se skládá z olejem chlazených tyristorů.



Obr. 5 Lokomotiva 114.501 je jedno ze dvou aktuálně provozních vozidel této řady [17]

1.1.5. Řada 210

Vývoj nových střídavých posunovacích lokomotiv Škoda II. generace s řadovým označením 210 byl ministerstvem dopravy objednán v roce 1971 a hlavním jeho požadavkem byla maximální unifikace s právě zkoušeným stejnosměrným prototypem řady 110, neboť při zkouškách vykazoval vynikající výsledky. Prototypová lokomotiva 210.001 byla dokončena v roce 1972. Sériové dodávky proběhly v letech 1973, 1983 a 1988.

Elektrická část lokomotivy má moderní koncepci – jako první lokomotiva tehdejší ČSD měl tento typ tyristorovou regulaci. Do silového obvodu trakčního usměrňovače jsou zapojeny dva tyristorové antiparalelní fázově řízené regulátory napětí a dva diodové můstky zajišťující plynulou změnu trakčního proudu. Transformátor uložený pod kabinou strojvedoucího nemá odbočky. Trakční obvody a kombinované zapojení stejnosměrných trakčních motorů a jejich buzení umožňují normální jízdu v plném rozsahu traťových rychlostí a dva režimy pomalé jízdy pro posun a rozpouštění vozů na svážném pahrbku.

Lokomotivy mají na čele zásuvky pro elektrické vytápění pro umožnění vedení lehkých osobních vlaků v zimním období. Výrazným prvkem, kterým lze tuto lokomotivu vizuálně rozeznat od stejnosměrné varianty 110, je kromě barevného rozlišení umístění tlakovzdušného hlavního vypínače na střeše stanoviště strojvedoucího.

U prototypové lokomotivy 210.001 byla v roce 1990 ve výrobním závodu rekonstruována elektrická výzbroj a lokomotiva je přechíslována na **209.001** a stává

se tak prototypem plánované sériové dodávky. Zkušební provoz probíhal až do roku 1998, kdy byl následně prototyp odstaven a k plánované sériové výrobě dále již nedošlo.

Zajímavou rekonstrukcí, která byla počátkem roku 1991 ověřena v lokomotivním depu České Budějovice na lokomotivě 210.026, je úprava pro možnost cizího napájení na neelektrizovaných tratích z baterií umístěných ve služebním voze. Později byla tato úprava provedena na více lokomotivách této řady.

Po dodání 2. a 3. série s jistými úpravami se lokomotivy v širší míře uplatnili i v traťové službě, a to nejen s nákladními, ale i s osobními vlaky, zejména na tratích Veselí nad Lužnicí – Jihlava a Trnava – Kúty.



Obr. 6 Lokomotiva 210.046, upravená pro napájení z akumulátorů, umístěných ve služebním voze za lokomotivou [17]

1.1.6. Řada 218

Zajímavou a také poslední rekonstrukcí posunovacích elektrických lokomotiv Škoda se stala dvouzdrojová lokomotiva 218.028. Tato rekonstrukce vychází z řady 210 a započala v roce 2001 v tehdejší DKV České Budějovice, ale z důvodu upřednostnění výroby lokomotiv řady 340 bylo její dokončení oddalováno až do roku 2008, kdy byla představena pod hlavičkou ČD Cargo, SOKV České Budějovice. Na rekonstrukci se podílela i společnost ČMKS (dnes CZ LOKO) dodávkou pomocného agregátu a jeho zástavbou.

Lokomotiva je určena pro vozbu manipulačních vlaků na tratích elektrizovaných trakční proudovou soustavou 25 kV, 50 Hz s možností obsluhy nezatrolejovaných manipulačních kolejí. Toto řešení přineslo finanční úspory, oproti obsluze lokomotiv řady 210 s bateriovým vozem (nutnost periodického nákupu nových akumulátorů), případně úsporu druhé pomocné dieselové lokomotivy, nutné pro obsluhu manipulačních kolejí.

Z lokomotivy 210 byl použit hlavní rám, kompletní pojezd, kabina a upravené představky. Zatímco při napájení z trakčního vedení zůstaly zachovány původní parametry, při jízdě s pomocným spalovacím motorem je výkon lokomotivy zhruba třetinový. Pomocný agregát je umístěn v prodloužené části představku a je tvořen spalovacím motorem Caterpillar 3506, nastaveným na výkon 384 kW a trakčním generátorem Siemens Drásov.

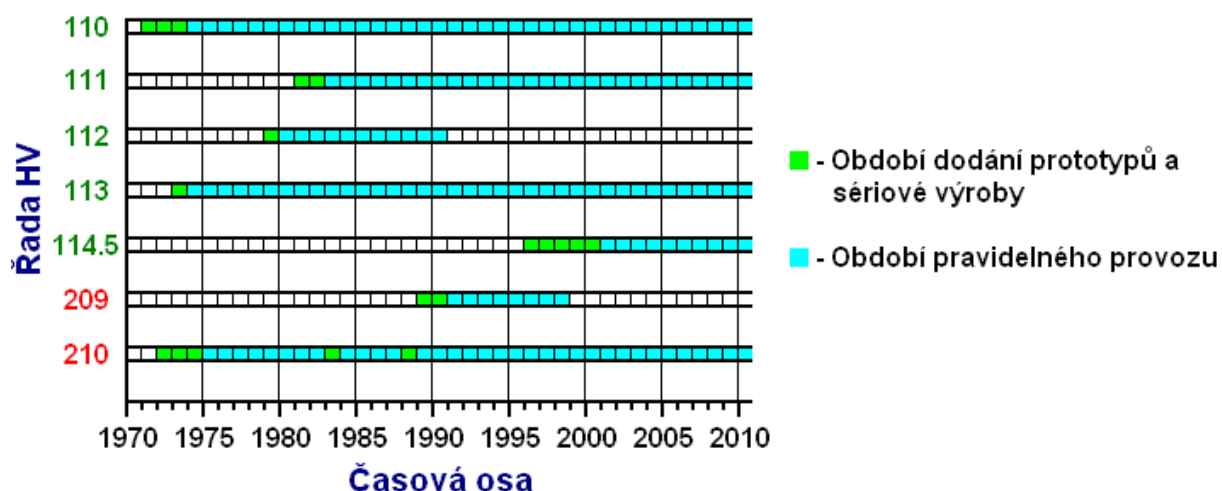


Obr. 7 Lokomotiva 218.028 v českobudějovickém depu [17]

1.1.7. Technické parametry:

Současné řadové označení	110	111	113	114.5	210
Původní řadové označení ČSD	E 458.0	E 458.1	E 426.0	-	S 458.0
Označení výrobce	33 E 0-1	78 E 1	33 E 2	90 E 0-1	51 E 0-3
Výrobce	Škoda Plzeň	Škoda Plzeň	Škoda Plzeň	Škoda Plzeň	Škoda Plzeň
Počátek dodávek	1971	1981	1973	1996	1973
Počet vyrobených vozidel	52	35	6	4	74
Uspořádání pojezdu	Bo'Bo'	Bo'Bo'	Bo'Bo'	Bo'Bo'	Bo'Bo'
Průměr nových dvojkolí	1 050 mm	1 050 mm	1 050 mm	1 000 mm	1 050 mm
Délka přes nárazníky	14 400 mm	14 400 mm	14 400 mm	14 560 mm	14 400 mm
Rozchod	1 435 mm	1 435 mm	1 435 mm	1 435 mm	1 435 mm
Trvalý výkon	800 kW	760 kW	480 kW	1600 kW	880 kW
Nejvyšší rychlost	80 km/h	80 km/h	80 km/h	100 km/h	80 km/h
Služební hmotnost	72 t	72 t	64 t	72 t	72 t
Trakční systém	3 kV ss	3 kV ss	1,5 kV ss	3 kV ss	25 kV, 50 Hz

Tab. 1



Obr. 8 Grafické znázornění průběhu výroby a provozu posunovacích lokomotiv

1.1.8. Shrnutí aktuálního provozu a dislokace jednotlivých řad

S řadou 111 osobní i nákladní dopravce i přes částečné omezení provozu nadále počítá, řada 210 však již zaznamenává mírný útlum provozu. Nejmarkantnější je ale ústup řady 110, která již není v jízdním řádu 2009/2010 v České republice vůbec turnusována.

S poklesem výkonů v osobní a zejména pak v nákladní dopravě došlo v devadesátých letech k postupnému snižování potřeby elektrických posunovacích lokomotiv, a to až už úplným rušením posunovacích záloh, či jejich náhradou hnacími vozidly nezávislé trakce s univerzálním využitím. Naopak možná až paradoxně došlo k nárůstu jejich traťových výkonů. Důvodem byla hlavně snaha o úsporu trakční nafty, kdy byly lokomotivy těchto řad nově nasazeny na vozbu manipulačních nákladních vlaků. Další příčinou nárůstu potřeby lehkých elektrických lokomotiv, tentokrát však v osobní dopravě, byl dodnes přetrvávající nedostatek shodných vozidel pro traťovou službu na nově elektrizovaných tratích.

Lokomotiv řady 114.5 jsou v současné době v provozu pouze 2 ks, a to 114.501 a 502 a jsou střídavě nasazovány na tratích Severočeských dolů. Zbývající dvě zástupkyně této řady (114.503 a 114.504) jsou odstaveny v Tušimicích a slouží jako zdroj náhradních dílů pro lokomotivy 114.501 a 114.502.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE Tomáš Kudláček	Strana - 19 -
---	------------------------------------	------------------

Výpis z aktuální dislokace provozních vozidel (stav k 17. 03. 2010):

České dráhy, a. s.

DKV Brno

210: 003, 008, 023, 030, 031

DKV Česká Třebová

110: 016, 018, 039, 205, 206

111: 014, 019, 028, 030, 031, 032

DKV Olomouc

110: 045, 047, 052

DKV Plzeň

113: 001, 002, 003, 004

210: 002, 021, 026, 037, 039, 045, 052, 055, 057, 058, 059

DKV Praha

110: 027, 030, 032

111: 001, 002, 005, 006, 010, 011, 012, 023, 029, 035

ČD Cargo, a. s.

SOKV České Budějovice

210: 016, 027, 028, 029, 036, 046, 047, 063, 054, 056, 066, 067, 073, 074

SOKV Ostrava

110: 001, 003, 007, 020, 022, 024, 028, 029, 044, 046, 048, 051

111: 003, 007, 008, 009, 016, 017, 018, 022, 026

210: 014, 015, 024, 025, 038, 072

SOKV Ústí nad Labem

110: 005, 006, 009, 017, 019, 037, 038

111: 013, 015, 020, 021, 024, 025, 027, 033, 034

Severočeské doly, a. s.

114.5: 114.501, 114.502, 114.503, 114.504

Železničná spoločnosť Cargo Slovakia, a. s.

Depo Bratislava Východ

210: 004, 022, 032, 033, 035, 040, 041, 042, 043, 044, 048, 049, 050, 051, 060, 061, 062, 063, 064, 065, 068, 069, 070, 071

Depo Žilina

110: 014, 015, 021, 025, 031, 036, 040, 041, 042

Depo Spišská Nová Ves

110: 002, 010, 011, 049, 050

Depo Košice

110: 008, 023, 026, 033, 034, 035,

Depo Zvolen

210: 006, 007, 009, 010, 011, 012, 013, 017, 018, 019, 034

1.2. Mechanická část lokomotiv řad 110, 111, 113 a 210

U střídavých i stejnosměrných posunovacích lokomotiv Škoda II. generace byla stejně jako v části elektrické i v části mechanické použita celá řada v té době nových konstrukčních prvků a patentovaných řešení některých uzlů. Progresivnost konstrukce je i v tom, že se výrobce i provozovatel vozidla poprvé společně dopracovali ke koncepci současného vývoje mechanické části dvou různých typů vozidel pro různé proudové soustavy. Požadavku unifikace mechanické části se podřizuje řešení celé řady celků od nápravy přes uspořádání převodu, vnější zastavovací rozměry trakčních motorů, podvozek a jeho díly, hlavní rám a jeho díly, kapoty.

1.2.1. Rám podvozku

Základním stavebním prvkem je svařovaná konstrukce rámu podvozku. Skládá se ze dvou postranic, předního a zadního čelníku a středního příčnicku. Všechny tyto díly jsou svařeny z ocelových plechů obdélníkového profilu. Svařovaná konstrukce rámu podvozku je konstrukčně i výrobně náročná. Při konstrukci jsou vyloučeny náhlé změny průřezu, které by mohli mít vrubové účinky.

Do rámu podvozku je přivařena celá řada dílů pro upevnění demontovatelných částí podvozku: konzoly sekundárního vypružení, ložiska pro vodící čepy ložiskových domků nápravových ložisek, ložisko otočného čepu, boční narážky, narážky domků nápravových ložisek, konzoly mechanické brzdy, držáky pochytek.



Obr. 9 Pohled na podvozek lokomotivy 210.014 [17]

1.2.2. Dvojkolí

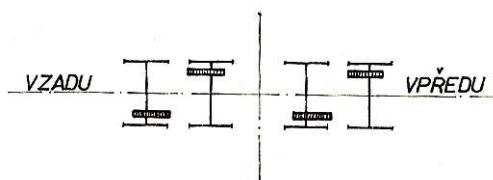
Dvojkolí se skládá z nápravy, na které jsou nalisovány dva disky s nataženými obručemi a ozubené kolo. Pro usnadnění stažení ozubeného kola a disků

je na těchto součástech drážka a kanálek pro tlakový olej. Poloha disků na nápravě se kontroluje podle značek na vnější straně.

Nápravová ložiska jsou namontovány na vnější čepy průměru 170 mm, pánve tlapových ložisek trakčních motorů jsou uloženy na vnitřních čepech průměru 210 mm. Na čelech nápravy jsou otvory pro upevnění sběrného kroužku nápravového sběrače nebo unášeče rychloměru.

1.2.3. Převod trakčního motoru

Převod trakčního motoru tvoří pastorek, natažený za tepla na kuželový konec hřídele trakčního motoru a ozubené kolo, nalisované na nápravě. Ozubení je přímé, evolventní. Pastorek trakčního motoru má 18 zubů, ozubené kolo na nápravě má 73 zubů. Převodový poměr je 1:4,05. Převod je zakrytý krytem ozubených kol, který obsahuje olejovou náplň s obsahem asi 1 litr. Ozubený věnec nalisovaný na nápravě se v ní brodí.



Obr. 10 Uspořádání převodů [4]

1.2.4. Nápravové ložisko

Nápravová ložiska jsou dvouřadá válečková naklápěcí, typ ložiska je 23234 B, vůle C3. Ložisko je stejné na obou stranách nápravy.

Ložiskové komory jsou na vnitřní straně uzavřeny labyrintem, který tvoří vnitřní víko ložiska a kroužek vnitřního víka. Na vnější straně je ložisková komora uzavřena víky. Víka jsou upravena buď pro montáž nápravového sběrače nebo tachodynamu elektrických rychloměrů nebo otáčkových relé Alnico nebo jsou provedena jako slepá. Rozmístění různých druhů vík je zřejmé z přehledu:

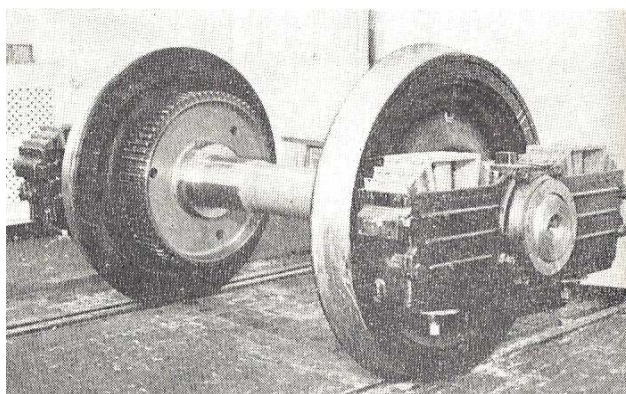
Náprava	Levá strana	Pravá strana
1	Víko pro nápravový sběrač	Slepé víko
2	Víko pro nápravový sběrač	Víko pro nápravový sběrač
3	Víko pro rychloměr	Slepé víko
4	Víko pro Alnico magnety	Víko pro nápravový sběrač

Tab. 2

1.2.5. Primární vypružení

U posunovacích lokomotiv bylo poprvé sériově použito primární vypružení pomocí pryžokovových bloků. Tato novinka přinesla měkké vypružení ložiskového domku ve všech směrech, odstranila tvrdé přenášení příčných i podélných pohybů ložiskového domku na rám podvozku a tím zvýšené namáhání rámu.

Dlouhodobé zkoušky prototypu nové konstrukce primárního vypružení u starších stejnosměrných traťových lokomotiv ukázaly, že se podstatně zvýší spolehlivost toho uzlu, zmenší se výrobní náklady a pracnost montáže a údržby v provozu.



Obr. 11 Dvojkolí s nasazeným ložiskem a ložiskovou skříní [4]

1.2.6. Sekundární vypružení

Skříň lokomotivy je vypružena šroubovými válcovými pružinami, které jsou namontovány mezi vany opěr skříně a mezi nosiče pružin. Na spodních pásnicích rámu podvozku jsou přivařeny konzoly závěsu sekundárního vypružení. Tlumení sekundárního vypružení zajišťuje na každé straně hydraulický tlumič, umístěný v rovině otočného čepu šikmo mezi nosiče pružin a olejovou vanou opěry lokomotivní skříně.

Přenos sil mezi skříní a podvozkem

Váha skříně se přenáší z podélníků hlavního rámu na nosiče pomocných příčníků, ke kterým jsou svorníky připojeny pomocné příčníky, procházející pod rámem podvozku. Pomocný příčník se kluzným ložiskem opírá o vanu pružin sekundárního vypružení, dále se váha přenáší pružinami na podélné trámce nosičů pružin, zavěšené na rám podvozku šikmými závěskami. Z rámu podvozku se váha přenáší na vodící čepy ložiskových domků a dále přes pryžokovové pružicí bloky na ložiskové domky a přes nápravová ložiska na dvojkolí.

Podélné síly, to je tažná a brzdicí síla, jež vznikají při adhezním valení ve styku dvojkolí s kolejnicí, se přenáší přes nápravová ložiska, ložiskové domky, primární

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE Tomáš Kudláček	Strana - 23 -
---	------------------------------------	------------------

vypružení na vodící čepy ložiskových domků, a tím i na rám podvozku. Z rámu podvozku se podélné síly přenášejí na lokomotivní skříň otočným čepem a jeho ložiskem v pomocném příčniku skříně.

Příčné síly se přenášejí na rám podvozku rovněž přes pryžové bloky primárního vypružení a vodící čepy ložiskových domků. Protože kulové ložisko otočného čepu má oboustrannou vůli v příčném směru 30 mm, budou se příčné síly přenášet na lokomotivní skříň prostřednictvím otočného čepu teprve po vyčerpání této vůle. Při menším příčném posunu podvozku proti skříně (méně než 30 mm na každou stranu) se pouze změní sklon šikmých závěsek sekundárního vypružení. Tím vzniká vratná síla, způsobená změnou vodorovných složek síly v šikmých závěsech. Tato vratná síla posunuje skříň za podvozkem tak dlouho, dokud osy podvozku a skříně nejsou totožné a nenastane vyrovnaní vodorovných složek síly. Příčné síly se přenášejí ze závěsů na pružiny sekundárního vypružení, příčnou spojkou trámů nosičů pružin a příčným táhlem pak na příčník skříně. [3]

1.2.7. Uložení trakčních motorů

Trakční motor je na jedné straně uložen na nápravě tlakovým ložiskem. Tlakové ložisko je kluzné, složené ze dvou párů pánví. Směrem ke středu podvozku je trakční motor zavěšen na pružném závěsu. Při pohybu trakčního motoru se spodní lišta pružného závěsu opírá o šrouby táhel a horní náletek na kostře motoru stlačuje horní lištu; při pohybu motoru směrem nahoru se horní lišta opírá o osazení na táhlech.

1.2.8. Mechanická brzda

Lokomotiva má brzdu tlakovzdušnou a ruční. Mechanismus ruční brzdy používá některé díly brzdy tlakovzdušné. Tlaková brzda má dva systémy: pracuje buď jako brzda přímočinná nebo jako brzda samočinná. Výsledkem činnosti obou systémů je vpuštění tlakového vzduchu do brzdových válců, které ovládají mechanismus brzdy.

1.2.9. Ruční brzda

Ruční brzda působí na druhé a třetí kolo lokomotivy. Ovládá se ručním kolem z kabiny strojvedoucího. Kolo otáčí vřetenem, na němž se pohybuje matice, která prostřednictvím táhel otáčí převodovým hřídelem. Pohyb hřídele se přenáší na táhlo spojené s pákovím a dále na šikmou páku mechanické brzdy.

1.2.10. Pískování

Celkový obsah písečníků je 600 litrů. Písek je uložen ve čtyřech zásobnících vytvořených v podélnících hlavního rámu lokomotivy. Plnicí otvory jsou vyvedeny

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE Tomáš Kudláček	Strana - 24 -
---	------------------------------------	------------------

na střechy kapot. Písek prochází ze zásobníků do tryskačů, které jsou vyvedeny ke každému kolu. V tryskači jsou dvě vzduchové trysky: horní tryska zviřuje a kypří v komoře tryskače písek a uvolňuje jej v přívodu ze zásobníků; spodní tryskou se písek vyfukuje do pryžové hadice, kterou je veden do plechové pískovací krabice. Krabice je připevněna na držáku ložiskové skříně nápravového ložiska a je nastavena tak, aby písek tryskal přímo do styku kola s temenem kolejniče.

1.3. Mechanická část lokomotivy řady 114.5

1.3.1. Pojezd

Pojezd lokomotivy tvoří dva dvounápravové podvozky s individuálním pohonem dvojkolí tlapovými asynchronními motory.

Rám podvozku je svařované konstrukce se sníženou střední částí postranic pro umístění sekundárního vypružení. Hlavní rám je na každém rámu podvozku uložen prostřednictvím dvou šroubových pružin tvořících sekundární vypružení. Pohyby skříně vůči rámu podvozku umožněné flexi-coil efektem těchto pružin jsou tlumeny hydraulickými tlumiči ve svislém i příčném směru. Do podvozkových rámu jsou zalisovány vodící čepy, které zasahují do pryžových válcových silentbloků tvořící primární vypružení. Silentbloky jsou umístěny ve skříní nápravových ložisek opatřené opěrou se stavitelným šroubem, aby bylo možno nastavit vůle v narážkách. Ve skříních nápravových ložisek jsou ve dvojicích nápravových ložisek uložena dvojkolí, která jsou tvořena nápravou se složenými koly. Na nápravě je nalisováno ozubené kolo a pomocí soudečkových ložisek uložen nosič ložisek, ke kterému je trakční motor přišroubován. Trakční motor je uložen valivými ložisky na nápravě, druhá strana motoru je pomocí pryžokovové pružiny pružně zavěšena na příčniku rámu podvozku. Převod ozubenými koly je opatřen krytem upevněným k nosiči ložisek. Podélné síly, které vznikají ve styku kol, se přenášejí do skříní nápravových ložisek a přes pryžokovové pružiny do rámu podvozků. Na hlavní rám jsou dále přenášeny nízko uloženými otočnými čepy zasahujícími do příčniku podvozkového rámu.

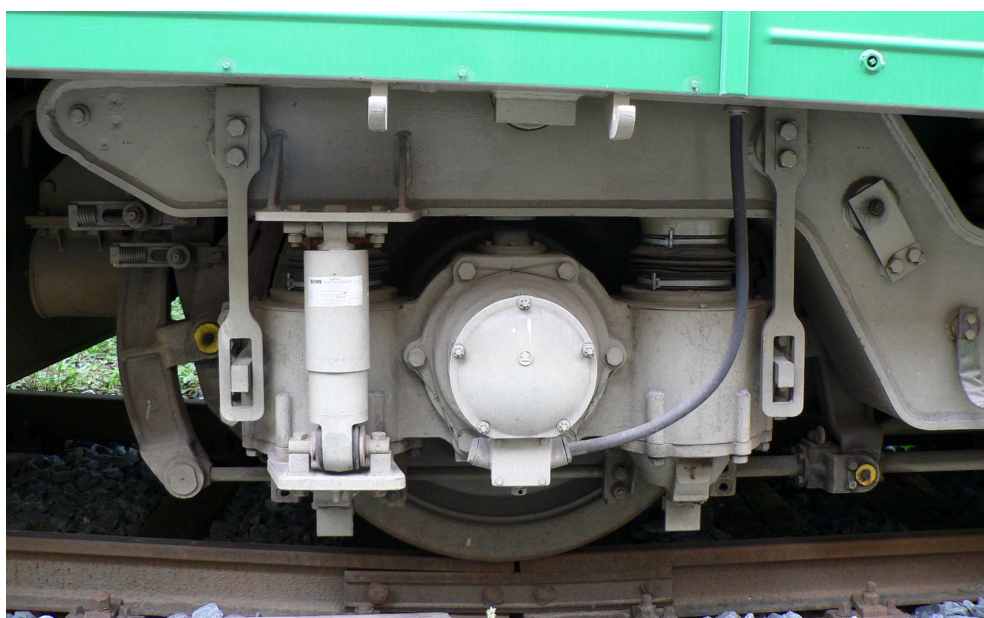
1.3.1. Brzda

Konstrukce brzdy je uzpůsobena pro oboustranné brzdění kol. Každý podvozek má čtyři brzdové válce, které jsou připevněny na konzole čela rámu podvozku. Brzdící síla se od brzdového válce přenáší pístnicí na soustavu pák a táhel, které zajišťují přilehnutí vnějších i vnitřních brzdových zdrží na kolo. Při opotřebení brzdových špalíků se seřizování odlehlosti brzdových zdrží provede samočinně.

Kolem ruční brzdy, které je umístěno na stanovišti strojvedoucího, jsou ze stanoviště brzděna jen pravá kola vnitřních dvojkolí obou podvozků.



Obr. 12 *Pohled na podvozek lokomotivy 114.501 [19]*



Obr. 13 *Pryžové vedení Paulstra na podvozku lokomotivy 114.503 [19]*

1.4. Pneumatická zařízení

Pneumatická zařízení na lokomotivách 110, 210, 114.5 můžeme rozdělit do těchto skupin:

- zdroje stlačeného vzduchu,
- samočinná brzda,
- přímočinná brzda,
- odbrzdovače,
- pneumatické a elektropneumatické přístroje,
- pomocná zařízení.

1.4.1. Hlavní kompresor 3 DSK 100

Tento dvoustupňový tříválcový kompresor je řešen jako univerzální celek, ve kterém je zabudován mezichladič, ventilátor pro chlazení a mazací čerpadlo. Celé soustrojí je vypruženo pryží, spojení mezi motorem kompresoru a kompresorem je provedeno klínovými řemeny.

- Jmenovitý tlak 10 bar
- Výkon při jmenovitém tlaku 120 m³/hod
- Počet otáček 1800 ot/min
- Hmotnost 130 kg

1.4.2. Pomocný kompresor T 36 a

Pomocný kompresor je poháněn motorem 48 V ss. Slouží k naplnění přístrojové jímky a jímky hlavního vypínače při uvádění lokomotivy do provozu v případě, že v hlavních vzduchojemech a v přístrojové jímce není dostatečný tlak.

- Jmenovitý tlak 6 bar
- Výkon při jmenovitém tlaku 9 až 10 m³/hod
- Jmenovité otáčky 1000 ot/min
- Maximální otáčky 1800 ot/min
- Hmotnost 16 až 17 kg

1.4.3. Napájecí potrubí

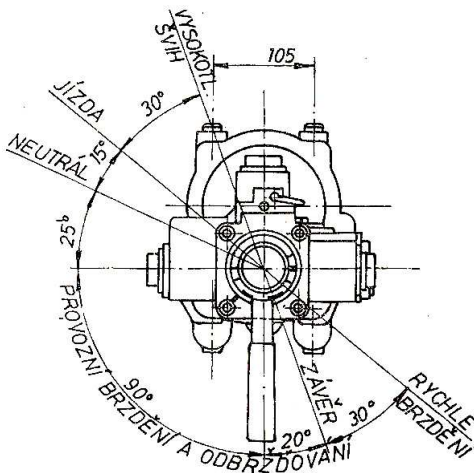
Pro automatické ovládání motorů kompresorů jsou v ovládacím obvodu vloženy kontakty tlakového spínače, které spouští kompresor při poklesu tlaku v hlavních vzduchojemech na 8,5 bar a vypíná kompresor při dosažení tlaku 10 bar. Hlavní vzduchojemy tvoří dvě jímky, umístěné pod čelníky hlavního rámu. Objem vzduchojemů je 2 x 500 litrů. Stlačený vzduch se z kompresoru vede přes odolejovač leteckou hadicí k pojistné záklopce, nastavené na tlak 11 barů, dále ke zpětné záklopce a odtud přes kohouty do hlavních vzduchojemů. Jímky hlavních vzduchojemů mají pojistné záklopy nastaveny na tlak 10,5 barů.

1.4.4. Samočinná brzda

Tlakovzdušná samočinná vlaková brzda 110 a 210 se ovládá brzdičem DAKO-BS 2, který upravuje tlak v průběžném potrubí a řídí tím činnost rozváděče DAKO-LTR, doplněného tlakovým relé TR 1. Na novějších řadách posunovacích lokomotiv 111, 114.5 je samočinná brzda řízena elektrickým brzdičem DAKO-BSE.

Brzdíč DAKO-BS 2

Skládá se z vlastního brzdíče a z nosiče. Nosič je trvale spojen s hlavním vzduchojemem, s průběžným potrubím a s výfukem. K nosiči je připojen řídicím vzduchojemem o objemu 2,5 litru a vzduchojem nízkotlakého přebití. Tlak v hlavním potrubí se nastavuje šroubem umístěným v ose rukojeti brzdíče.



Obr. 14 Brzdíč DAKO-BS 2 [3]

Brzdíč DAKO-BSE

Jedná se o elektrický brzdíč, ukotvený na deskovém nosiči k podlaze. Je osazen elektropneumatickými ventily, rozvodovým ventilem, přepojovacím ventilem, vyrovnávacím ventilem, omezovacím a přerušovacím ventilem, ventilem lineárního odvětrávání, řídicím vzduchojem a regulátorem tlaku. Nosič je spojen se vstupem (napájecím potrubím) a výstupem (hlavním potrubím) brzdíče. Na stanovišti strojvedoucího je umístěn ovladač brzdíče DAKO OBE1.

1.4.5. Přímočinná brzda

Přímočinná brzda se používá k brzdění samostatně jedoucí lokomotivy, při posunu a ke krátkodobému zajištění lokomotivy popřípadě celého vlakového dílu nebo soupravy. Přímočinná brzda se ovládá brzdíči typu DAKO-BP, který se skládá z vlastního brzdíče a z nosiče. Nosič je trvale spojený s hlavním vzduchojemem, s brzdovými válci a s ovzduším. K nosiči se brzdíč připojuje šroubením.

1.4.6. Odbrzďovače

Na každém stanovišti jsou namontovány dva odbrzďovače, kterými je možno vypustit přímo vzduch z brzdových válců lokomotivy. Odbrzďovač má litinové těleso, ve kterém je záklopka, která se při výkyvu ovládací páky zdvihne ze sedla a vzduch z válců se vypustí do atmosféry v kabině strojvedoucího.

2. ZPŮSOBY VEDENÍ DVOJKOLÍ

Vedení dvojkolí (vedení ložiskových skříní) u lokomotiv v rámu podvozku je většinou konstrukčně složeno velmi blízko nebo dokonce konstrukčně propojeno s prvním stupněm vypružení. Tyto dva celky spolu bezprostředně souvisí a mají značný vliv na chodové vlastnosti vozidla.

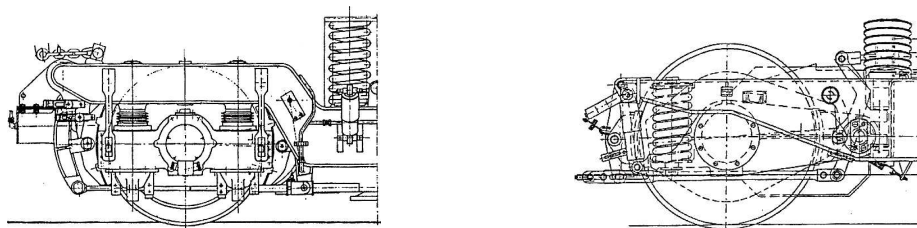
Konstrukční provedení tohoto uzlu se od nákladních a osobních vozů liší z mnoha důvodů. Dvojkolí lokomotiv má obvykle větší průměr (1100 až 1250 mm), nápravové zatížení je větší, ale konstantní, podélné i příčné síly působící na dvojkolí jsou větší.

Úkolem vedení dvojkolí spolu s primárním vypružením je:

- zajistit svislé a příčné vypružení mezi rámem podvozku a ložiskovou skříní, tím i dvojkolím,
- rovnoměrné rozložení tíhy vozidla na jednotlivá kola,
- zachování výšky nárazníků nad temenem kolejnice v mezích stanovených příslušnými předpisy,
- eliminace účinků svislých nerovnoměrností koleje,
- snižování dynamických účinků ve styku kola s kolejnicí jak ze strany vozidla na trať, tak ze strany tratě na vozidlo,
- přenos sil mezi rámem podvozku a dvojkolím ve všech směrech, zejména tažných a brzdných sil ve směru podélném a vodícím, respektive rámových sil ve směru příčném,
- společně se sekundárním vypružením zajistit jízdní komfort vozidla.

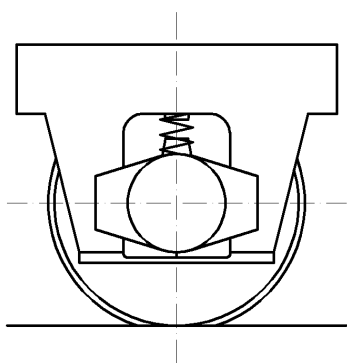
První stupeň vypružení a vedení ložiskových skříní se používá v následujících alternativách:

- a) vedení rozsochové,
- b) vedení svislými čepy,
- c) vedení ojníčkové,
- d) vedení kyvným ramenem,
- e) vedení pryžovými prvky,
- f) vedení pásem a pružinou.



Obr. 15 Vedená pryžovými prvky Clouth (Škoda 90 E) a vedení kyvným ramenem lokomotiv ČKD [1]

2.1. Vedení rozsochové

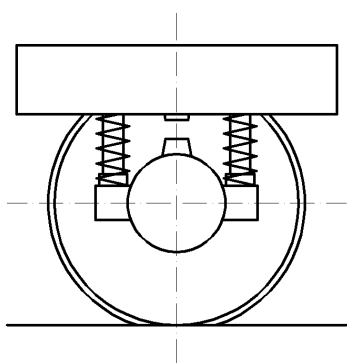


Obr. 16

Tento způsob představuje nejstarší typ vedení dvojkolí v rámu podvozku, převzatý z parních a později rámových lokomotiv. Ložisková skříň se pohybuje mezi dvěma deskami (rozsochami) v kombinaci se šroubovitými pružinami nebo listovými pružinami a závěsy. Tento typ je v současnosti překonán pro své negativní vlastnosti z třecího charakteru kluzné dvojice, která s sebou přináší problémy s mazáním čistotou ploch a opotřebením. Další problémem jsou vůle.

Obecně lze shrnout, že pro vozidla s tímto typem vedení dvojkolí jsou typické horší chodové vlastnosti a použití pro nižší rychlosti. U hnacích vozidel v Česku je rozsochové vedení užito u elektrických jednotek ř. 451, 452.

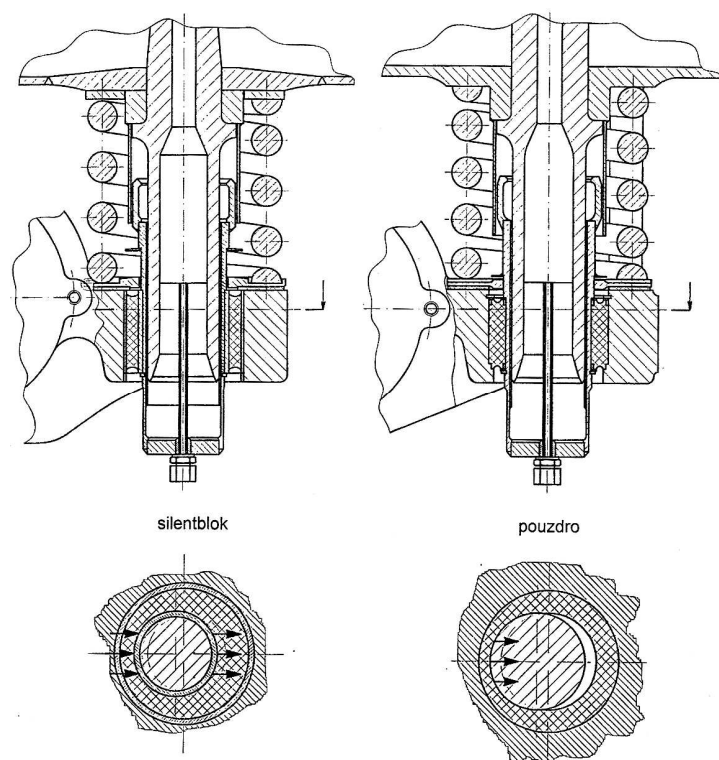
2.2. Vedení svislými čepy



Obr. 17

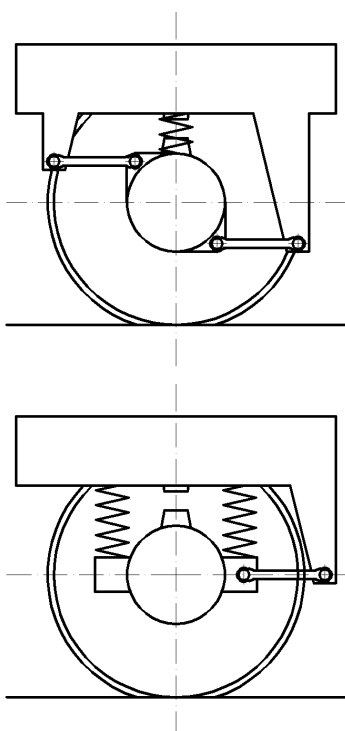
Vedení a vypružení toho typu je jedním z osvědčených konstrukčních prvků elektrických lokomotiv, který se vyznačuje robustností a spolehlivostí. Nejčastěji je spojeno s dvojicí šroubovitých válcových pružin. Slabší stránkou tohoto vedení je prolínání oleje s vedením, naopak silnou stránkou je zcela spolehlivá funkce. U čepového vedení se samomazným pouzdem je výhodou absence oleje ve vodicím pouzdru, odstranění netěsnosti a prakticky bezúdržbový provoz tohoto uzlu. Rozeznáváme dvě

zcela odlišné řešení: čepové vedení s minimální provozní radiální vůlí a s použitím třecích nekovových prvků, které mají částečně plnit funkci třecího tlumení. Čepové vedení s minimální provozní vůlí je opatřeno pryžo-ocelovými vulkanizovanými pouzdry, doplněné navíc mazáním a ve svislém směru účinným hydraulickým tlumičem (elektrické lokomotivy ŠKODA, Obr. 18). Druhý způsob čepového vedení s použitím třecích nekovových prvků se ukazuje v praxi jako méně výhodný. Třením totiž dochází k opotřebení a vzniku vůlí, které při nedostatečné údržbě dosahují značných hodnot s následnými negativními důsledky.



Obr. 18 Čepové vedení se silentbloom a pouzdem [1]

2.3. Vedení ojnicové



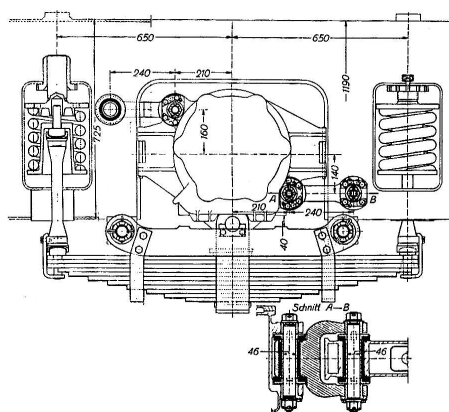
Obr. 19

Je používáno pro náročnější aplikace na hnacích vozidlech pro vyšší rychlosti. Existuje více možností, jak ojnice mezi rámem podvozku a ložiskovou skříň umístit. Nejčastěji je tvořeno dvojicí excentricky umístěných ojnic spojujících rám podvozku a ložiskovou skříň prostřednictvím silentbloků. I v tomto případě musíme brát v úvahu změnu parametrů pryže po dlouholetém provozu, ovšem výměna pouzder bude patrně méně náročná operace. Kinematicky se jedná o paralelogram, který při malých výchylkách působí přibližně jako přímovod. Existují dvě varianty uspořádání, buď se spodním vahadlem nebo tvarově složitější a robustnější ložisková skříň. Dnešní trend jde spíše cestou druhou. Ojnice mohou být také ukotveny trojúhelníkově nebo lze také zapojit ojnicu jednu, vždy s kombinací svislého vypružení, většinou šroubovitými pružinami. Ojnicové vedení je náročnější na prostor, z hlediska umístění prvního stupně vypružení.

Způsoby ojníčkového vedení:

2.3.1. Ojničkové vedení a vypružení listovou zpruhou

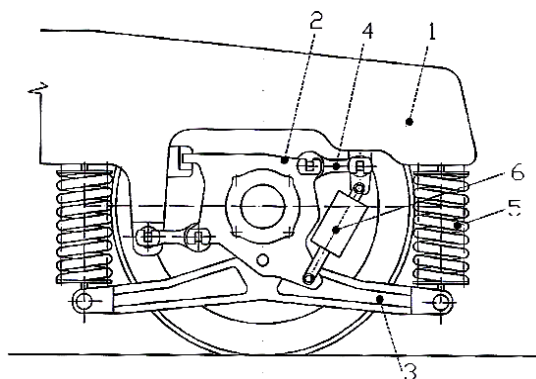
Ojničkové vedení se používalo u starších typů lokomotiv, kdy ještě nebyly k dispozici šroubovitě pružiny s větším průměrem drátu. Na rámu podvozku jsou vytvořeny dvě konzoly, z nichž jedna je viditelná, druhá je skryta za písečníkem. Nápravové ložisko je vedeno dvěma ojničkami, z nichž jedna je viditelná. Listová pružina je svým opaskem upevněna k nápravovému ložisku a oka listové pružiny jsou sériově připojenými pružinami a opřeny na rám podvozku.



Obr. 20 Ojnickového vedení Alstom [2]

2.3.2. Ojničkové vedení a vypružení šroubovitou zpruhou s vahadlem

Ojničkové vedení a vypružení s vahadlem je pokračováním vývoje předchozího ojničkového vedení a vypružení listovou zpruhou. Listová pružina s poměrně velkou tuhostí byla nahrazena vahadlem, soustava primárních šroubových pružin je doplněna hydraulickým tlumičem.



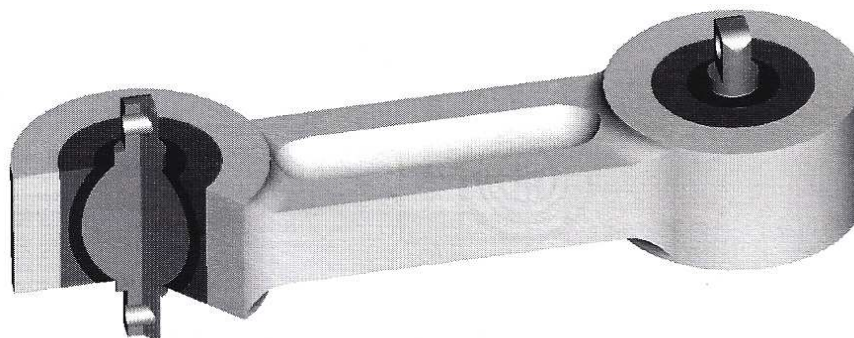
Obr. 21 Schéma ojníčkového vedení a vypružení listovou zpruhou; 1 – rám podvozku, 2 – ložisková skříň, 3 – vahadlo, 4 – ojníčka, 5 – šroubovitá pružina, 6 – hydraulický tlumič [2]

2.3.3. Vedení ojničkou a vypružení pružinou flexi-coil

Tento způsob vedení a vypružení dvojkolí je typický pro lokomotivy z produkce firmy Bombardier, ale také lokomotiv Siemens řad BR 12, ÖBB 1016, 1116 Taurus nebo také u souprav ICE. Škoda Plzeň použila tuto koncepci na podvozcích k dvoupodlažní jednotce ř. 471.

Jedná se o jednoduché vedení dvojkolí bez třecích elementů, které využívá primární pružiny flexi-coil, které přenášejí kromě vertikálního zatížení také příčné síly v rámci příčné vůle. Paralelně s pružinami je řazen tlumič.

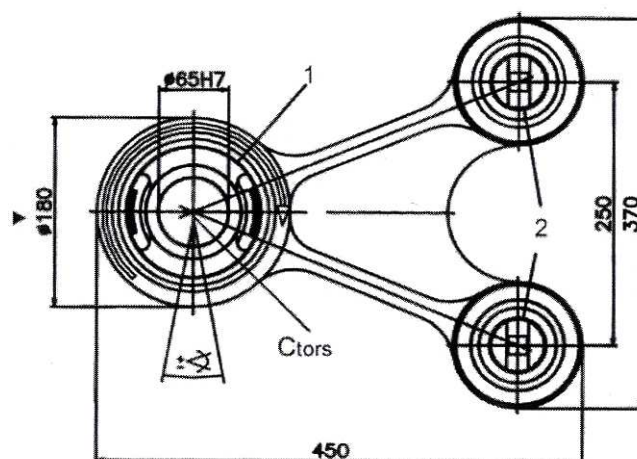
Vedení ojničkou s flexi-coil pružinami se používá ve třech provedeních: s osou vodicích pouzder – příčně, což je častější použití; s osou vodicích pouzder – svisle (kdy při svislém propružení primáru dojde k úhlové deformaci pouzder); kombinovaně (osy pouzder jedné ojnice jsou vůči sobě otočeny o 90°). Samotná pouzdra jsou uchycena (jak konzole na rámu podvozku tak ložiskové skříně) nejčastěji dvěma šrouby, které do protikusu stahují klínovitě tvarované plochy jak v konzole, tak v čepu.



Obr. 22 Ojnička pro přenos tažných sil s kulovými silentbloky [2]

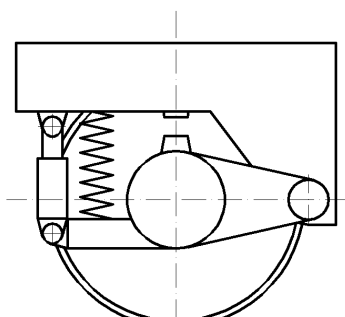
2.3.4. Vedení trojúhelníkovou ojničkou a vypružení šroubovitými pružinami

Jednostranné vedení trojúhelníkovou ojničkou je typické pro podvozky lokomotiv Siemens, nazývané Taurus. Ojnička je ve dvou bodech ukotvena v rámu podvozku, jedním bodem na ložiskové skříně. V těchto bodech se nacházejí pryžkové prvky různé tuhosti, které umožňují v určitých mezích radiální stavění dvojkolí. To má za následek nižší opotřebení jízdní plochy kol i okolků. Primární vypružení tvoří šroubovitě pružiny s paralelním tlumičem.



Obr. 23 Vedení dvojkolí trojúhelníkovou ojnicí (pohled z hora); 1 – válcový silentblok (upevněný v rámu podvozku), 2 – kulový kloub / silentblok (upevněný k ložiskové skříni) [2]

2.4. Vedení kyvným ramenem



Obr. 24

Tento způsob vedení a vypružení je typický pro dieselelektrické lokomotivy z produkce bývalého ČKD. Jedná se o jednoduchou konstrukci, která nemá třecí dvojice. Těleso ložiskové skříň je usazeno do dvou ramen, kde je delší konec ramene zakotven v rámu podvozku prostřednictvím čepu doplněným silentblokem a druhý konec ramene je vyveden do konzoly, na které je uložena šroubovitá vinutá pružina a s ní paralelně hydraulický tlumič. Jsou použity dvouřadé naklápěcí ložiska kde se předpokládá,

že relativní pohyb vůči rámu podvozku se bude uskutečňovat právě prostřednictvím nich. Existují také jiné řešení použití ložisek válečkových, kdy je jak kolébavý pohyb dvojkolí v příčné rovině, tak příčně podélný pohyb dvojkolí vůči rámu podvozku, realizován v pružném uložení kyvného ramene. Lze konstatovat, že se jedná o koncepčně velmi dobré řešení. Vzhledem ke své době vzniku je u vozidel ČKD poněkud robustní s vyšší hmotností, plynoucí z požadavku na značné předimenzování vzhledem k provozu v extrémních podmínkách tehdejších objednavatelů.

Pro konstrukci tohoto vedení proti sobě stojí dva základní požadavky:

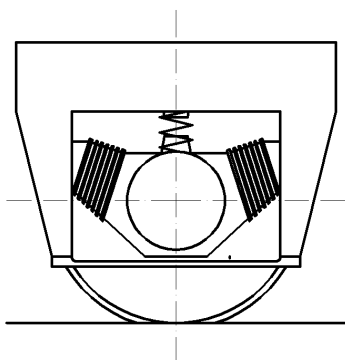
- minimalizace momentů působících v silentbloku a ložisku,
- optimální uložení pružiny primárního vypružení.

Ze zahraničních vozidel lze uvést příklad použití kyvného ramene elektrické lokomotivy Bombardier Re 4/4 460, hnací i hnané podvozky vysokorychlostních jednotek TGV.



Obr. 25 Podvozek dieselové lokomotivy ČKD 754.072 bez trakčního motoru [18]

2.6. Vedení pryžovými prvky

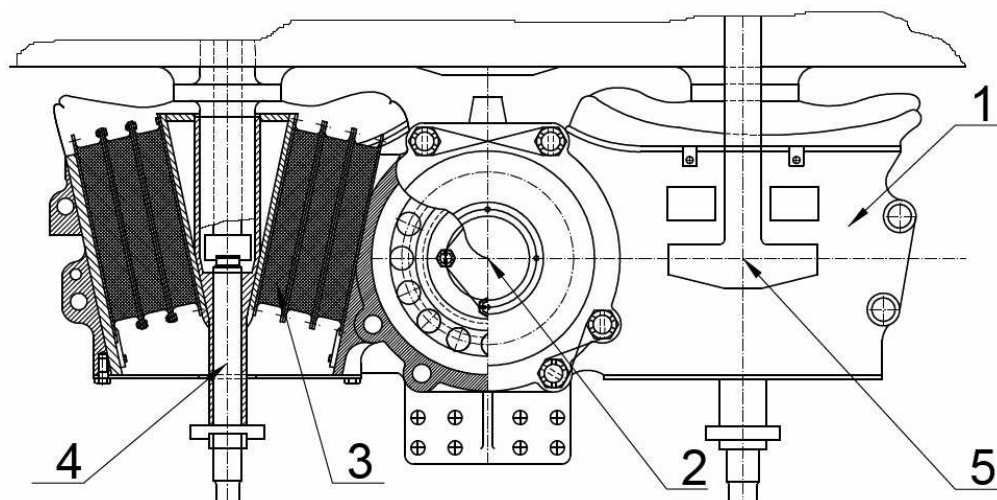


Obr. 26

U některých typů lokomotiv je použito vedení a vypružení pryžokovovým prvkem, silentblokem. Použití pryžokovových dílů ve vypružení bylo motivováno snahou o využití vlastností pryže k tlumení a k pružení a mělo nahradit šroubovitou pružinu s paralelním tlumičem. Pryžové prvky tvoří kromě svislého současně příčný a podélný prvek vypružení.

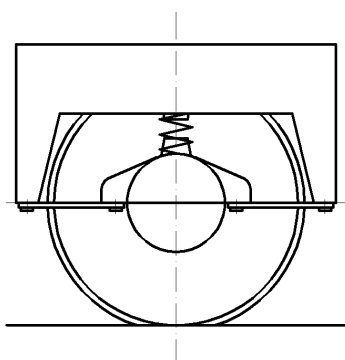
Vedení pryžovými prvky je většinou dvojího typu. První typ je tvořen šikmými několikavrstvými pryžokovovými bloky typu **Meggi**, typické pro posunovací elektrické lokomotivy ŠKODA (110, 210 a řad z nich odvozených). Druhý typ způsobu konstrukce, systém **Clouth**, je odvalování pryže na tvarovaném trnu. Takto je koncipován první stupeň vypružení podvozků nových řad posunovacích lokomotiv ŠKODA 90E.

Hlavní nevýhody pryžových prvků jsou nedostatečné tlumení, ztráta mechanických vlastností vlivem degradace materiálů při stárnutí a případně agresivního prostředí – dochází k sednutí a tvrdnutí pryže. Je nutná regulace výšky.



Obr. 27 Vedení dvojkolí elektrické lokomotivy řady 210; 1 – rám, 2 – ložisková skříň, 3 – pryžokovové bloky Maggi, 4 – vodící čep, 5 – závěs [12]

2.5. Vedení pásem a pružinou

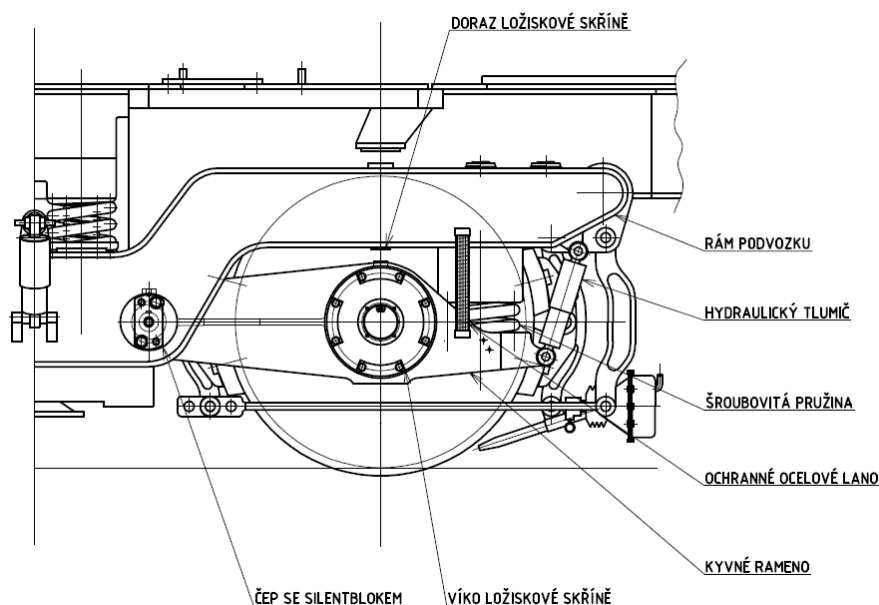


Obr. 28

Vedení pásem a pružinou je převzato z konstrukce osobních podvozků (GP 200, Minden-Deutz). Pás je jednoduchý, dvojitý, jednostranný či oboustranný, laminátový nebo ocelový. Hlavní výhody spočívají v tom, že zde opět odpadá tření, jednoduchosti provedení, malém prostorovém nároku a malé hmotnosti. Pás je v příčném směru téměř nepoddajný. U moderních hnacích vozidel se spíše nepoužívá.

3. REKONSTRUKCE PODVOZKU

Hlavní bod rekonstrukce bylo nahrazení původního vedení pryžovými silentbloky Paulstra. Jako náhrada tohoto vedení byl zvolen jednoduchý a levný způsob osvědčené konstrukce, vedení kyvným ramenem, jehož popis je uveden v předchozí kapitole. Ze dvou typů podvozků, které se vyskytují na posunovacích elektrických lokomotivách Škoda, byl vybrán pro rekonstrukci rámový podvozek s prohnutým podélníkem lokomotivy Škoda 90 E (114.5).



Obr. 29 Model podvozku po rekonstrukci

3.1. Popis rekonstrukce

3.1.1. Porovnání vedení kyvným ramenem a pryžovými bloky

Výhody kyvného ramene spočívají především v jeho jednoduchosti a tudíž pro ekonomicky nenáročnou rekonstrukci byla vybrána právě tato metoda. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, jedná se o starší koncepční řešení osvědčené robustní konstrukce, která má nahradit původní pryžové bloky, jejichž hlavní nevýhoda spočívá v rychlejší ztrátě mechanických vlastností a celkové degradaci materiálu, která se v extrémních podmínkách především posunovací služby na vlečkových tratích v severních Čechách výrazně projevuje.

3.1.2. Úpravy v rámu podvozku

Při rekonstrukci byl kladen důraz na minimální vrubový zásah, který by mohl vést ke snížení pevnosti podvozku, ale přesto bylo nutno provést obráběcími metodami několik úprav. Nejprve po demontáži původního primárního a sekundárního

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE Tomáš Kudláček	Strana - 37 -
---	------------------------------------	------------------

vypružení byly vybroušeny pozůstatky svarů a zaplněny díry po původních šroubových spojeních, které byly odstraněny. Poté byl rám podvozku otryskán a opatřen ochranným nátěrem.

V podélnících bylo nutno vyvrtat nové otvory pro ukotvení silentbloků a vyřezat otvory pro konec kyvného ramene. Nové otvory v plechu podélníku (bočnicku) pro nalisování čepu, na který bude nasunut silentblok, byly vyztuženy silnostěnnými ocelovými kroužky. Pro tlumič bylo k podélníku připevněno oko pro jeho uchycení. Dále byla vhodnou svařovací metodou připevněna trubka na spodní stranu podélníku, která vymezuje prostor a přenáší sílu do pružiny.

Další změny v podvozku jako uložení trakčního motoru, vazba mezi podvozkem a hlavním rámem vozidla, zařízení brzdy nebylo nutné vzhledem k vybranému způsobu rekonstrukce provádět. Bylo upraveno pouze kabelové vedení ke snímačům na nápravách a propojení vodících částí podvozku zemnicími propojkami.

3.1.3. Sekundární vypružení

Původní sekundární vypružení bylo vyjmuto a na místo původních pružin byly usazeny duplexní pružiny s parametry pro sekundární vypružení lokomotiv řady 110, 111, 113 a 210, které mají kratší délku drátu a vyznačují se vyšší tuhostí. Pro vymezení místa a dodržení původní výšky rámu nad temenem kolejnice je mezi pružinou a rámem podvozku umístěna distanční trubka.

3.1.4. Vedení dvojkolí – primární vypružení

Zde se dostáváme k hlavní již zmiňované změně, a to nahrazení původního vedení dvojkolí pryžovými silentbloky Paustra kyvným ramenem, které vychází z koncepce dieselových lokomotiv ČKD Praha. Ramena jsou zavěšena v podélnících rámu podvozku pomocí gumokovových pouzder – silentbloků, které umožňují částečně i příčný výkyv ramene. Svým druhým koncem vedou prostřednictvím valivých ložisek hnací dvojkolí

Prvotní vypružení mezi rámem podvozku a dvojkolím je zabezpečeno šroubovitými vinutými pružinami, která je každá usazena na konci kyvného ramene na straně ložiskové skříně, kde je vytvořeno lůžko v podobě misky. Svým horním koncem se pružiny opírají o upravenou trubku, která je přivařena k podélníku podvozku. Aby byla pružina zajištěna proti příčnému pohybu je nasunuta na trn, který vytváří konec trubky.

Souběžně s pružinami je ke každému kyvnému rameni připojen kapalinový tlumič vypružení, jehož horní konec je spojen s podélníkem rámu podvozku. Tlumič má za úkol zabránit rozkmitání kyvného ramene a tlumit svislé výkyvy.

Při případném vykolejení vozidla chrání proti rozpadu vedení dvojkolí ocelový lanový pás, který je volně připevněn mezi podélníkem rámu podvozku a konzolou kyvného ramene tak, aby nebránil užitečnému kmitání ramene. Ocelový pás také slouží jako zemnicí propojka.

3.2. Výpočet primárního vypružení

Pro výpočet primárního vypružení bylo použito tabulkového procesoru MS EXCEL 2003 a jako hlavní podklad posloužily parametry sekundárního vypružení uváděné výrobcem.

3.2.1. Omezení užitečného sednutí u elektrických lokomotiv

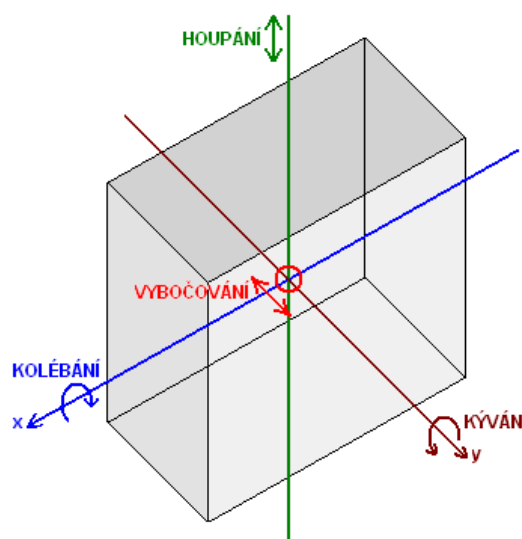
Hmotnost elektrické lokomotivy se za provozu mění pouze v důsledku vyčerpání provozních hmot, které činí pouze obsah písku v písečnicích (u motorové lokomotivy je nutné připočítat i hmotnost paliva a mazadel). Dále by se měla přičíst i hmotnost strojvedoucího, ale v praxi se zanedbává. S přihlédnutím k celkové hmotnosti lokomotivy lze vliv výše uvedených hmotností zanedbat a můžeme konstatovat, že u lokomotiv nedochází k výrazným změnám výšky nárazníků. U elektrických lokomotiv se předepisuje jmenovitá výška nárazníků 1060 mm.

Tuhost vypružení se proto nestanovuje z užitečného sednutí, ale z doporučené vlastní frekvence kmitů houpání skříně, která by měla být v rozsahu $1,2 \div 1,7$ Hz.

3.2.2. Svislé vypružení skříně

Na svislé a příčné vypružení vozidel je kladena řada požadavků, které musí z hlediska bezpečného provozu splnit. Jsou to především:

- zajistit rovnoměrné rozložení tíhy z odpružených částí vozidla na jednotlivá dvojkolí,
- zachovat požadovanou výšku nárazníků a spřáhel nad T.K.,
- zajistit splnění požadavků bezpečnosti proti vykolejení,
- snižovat účinky svislých nerovností koleje a vibrací, působících ve svislém a příčném směru na vozidlo,
- minimalizovat dynamické silové účinky vzájemné interakce vozidlo – trať,



Obr. 30

- minimalizovat opotřebení koleje a vozidla,
- zajistit bezpečný provoz vozidla při změně geometrické polohy koleje v rozsahu povolených tolerancí,
- zajistit potřebný komfort jízdy a splnit požadavky na vlastní frekvence kmitavých pohybů skříně vozidla.

3.2.3. Stanovení vstupních hodnot pro výpočet

Potřebné technické parametry sekundárního vypružení lokomotivy (110) pro výpočet frekvence vypružení, uváděné výrobcem:

TYP LOKOMOTIVY			33E, 51E, 78E	
ZÁKAZNÍK / ZAČÁTEK VÝROBY			ČSD / 1971	
DRUH LOKOMOTIVY / USPOŘÁDÁNÍ NÁPRAV			posunovací / Bo'Bo'	
MAXIMÁLNÍ RYCHLOST			80 km/h	
UMÍSTĚNÍ PRUŽINY			sekundár vnější	sekundár vnitřní
POČET KUSŮ PRO 1 LOK.			8	8
PRŮMĚR TYČE	d	mm	38	20
STŘEDNÍ PRŮMĚR PRUŽINY	D	mm	210	110
POČET ČINNÝCH ZÁVITŮ	n		3	6
POČET ZÁVĚRNÝCH ZÁVITŮ	n _z		1,5	1,5
TUHOST PRUŽINY	c	N/mm	736	197
STATICKÉ ZATÍŽENÍ	F ₂	N	40 823	10 927
STATICKÉ STLAČENÍ	Z ₂	mm	55,5	55,5
STATICKÉ NAMÁHÁNÍ	T ₂	MPa	503	483
VŮLE V NARÁŽKÁCH		mm	30	30
MAXIMÁLNÍ STLAČENÍ	S ₈	mm	95,5	95,5
MAXIMÁLNÍ NAMÁHÁNÍ	T ₈	MPa	865,5	834,5
VOLNÁ DÉLKA PRUŽINY	l ₀	mm	254	243
MIN. DÉLKA ZATÍŽENÉ PRUŽINY	l _{min F}	mm	184	163
SPLNĚNÁ KRITÉRIA l _{min F} PŘI MAX. STLAČENÍ			nesplněno o 25 mm	nesplněno o 16 mm

Tab. 3

Z tabulky lze určit tyto parametry důležité pro výpočet:

Tuhost sekundárního vypružení k_s

$$k_s = 8 \cdot c = 8 \cdot (736 + 197) = 7\,464 \, \text{N} \cdot \text{mm}^{-1} \Rightarrow \underline{7\,464\,000 \, \text{N} \cdot \text{m}^{-1}}$$

Hmotnost skříně m_s

$$m_s = \frac{8 \cdot F_1}{g} = \frac{8 \cdot (40\,823 + 10\,927)}{10} = \underline{41\,400 \, \text{kg}}$$

Hmotnost neodpružených hmot podvozků m_n

$$m_n = 4 \cdot \left(m_d + \frac{1}{2} \cdot m_{TM} \right) = 4 \cdot \left(2\,000 + \frac{1}{2} \cdot 2\,750 \right) = \underline{13\,500\text{ kg}}$$

Hmotnost podvozků (bez neodpružených hmot) m_p

$$m_p = m_L - m_s - m_n = 72\,000 - 41\,400 - 13\,500 = \underline{17\,100\text{ kg}}$$

Statické stlačení primárního stupně vypružení z_{st1}

Vzhledem k výslednému poměru tuhostí pružení mezi skříní a podvozkem, který byl stanoven na hodnotu 2:3, bylo pro výsledek tuhosti primárního vypružení blížící se k tomuto poměru zvoleno stlačení primárního vypružení $\underline{z_{st1} = 0,052\text{ m}}$.

Statické stlačení vypružení (celkové) z_{st}

$$z_{st} = z_{st1} + z_{st2} = 0,052 + 0,055 = \underline{0,105\text{ m}}$$

Statické zatížení primárního stupně vypružení F_p

$$F_p = g \cdot (m_s + m_p) = 10 \cdot (41\,400 + 17\,100) = \underline{585\,000\text{ N}}$$

Tuhost primárního stupně vypružení k_p

$$k_p = \frac{F_p}{z_{st1}} = \frac{585\,000}{0,052} = \underline{11\,250\,000\text{ N} \cdot \text{m}^{-1}}$$

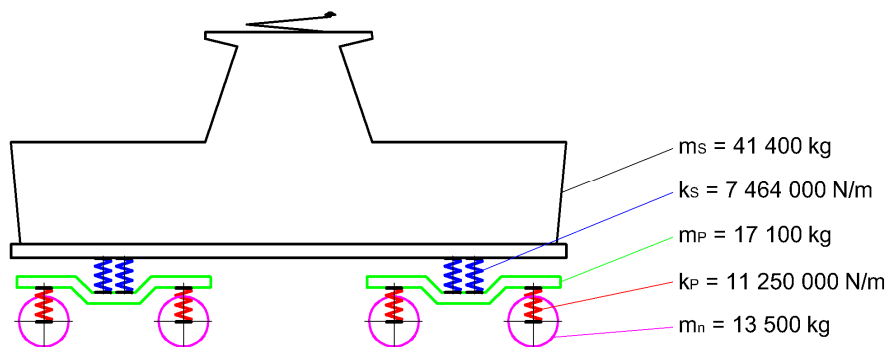
Celková tuhost vypružení k

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_p} + \frac{1}{k_s} = \frac{1}{11\,250\,000} + \frac{1}{7\,464\,000} \Rightarrow k = \underline{4\,487\,015\text{ N} \cdot \text{m}^{-1}}$$

Poměr tuhostí vypružení e

Tenhle výpočet je uveden spíše pro kontrolu. Jako nejčastější poměr mezi sekundárním a primárním stupněm vypružení se uvádí 1:2 nebo 2:3. Jako nejvýhodnější byl zvolen poměr 2:3.

$$e = \frac{k_s}{k_p} = \frac{7\,464\,000}{11\,250\,000} = \underline{0,664} \Rightarrow \frac{2}{3} = \underline{0,667} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obr. 31 Schématický obrázek s důležitými hodnotami pro výpočet

Shrnutí vstupních hodnot pro výpočet vypružení:

Celková hmotnost lokomotivy	m_L	72 000 kg
Celková hmotnost podvozku.....	m_{PC}	30 600 kg
Hmotnost podvozku bez odpružených hmot.....	m_P	17 100 kg
Hmotnost skříně	m_S	41 400 kg
Hmotnost trakčního motoru.....	m_{TM} ...	2 750 kg
Hmotnost dvojkolí	m_{DV}	2 000 kg (cca)
Statické stlačení vypružení	z_{st}	0,105 m
Statické stlačení primárního stupně vypružení	z_{st1}	0,052 m
Statické stlačení sekundárního stupně vypružení....	z_{st2}	0,055 m (zaokrouhleno)
Statické zatížení primárního stupně vypružení	F_P	585 000 N
Statické zatížení sekundárního stupně vypružení...	F_S	414 000 N
Statická síla působící na pružinu I. st. vypružení....	F_1	73 125 N
Statická síla působící na pružinu II. st. vypružení ...	F_2	51 750 N
Tuhost primárního vypružení	k_P	11 250 000 N.m ⁻¹
Tuhost sekundárního vypružení.....	k_S	7 464 000 N.m ⁻¹
Tuhost primárního vypružení pro pružinu	k_1	1 406 250 N.m ⁻¹
Tuhost sekundárního vypružení pro pružinu.....	k_2	933 000 N.m ⁻¹
Počet pružin v primárním stupni vypružení	x_1	8
Počet pružin v sekundárním stupni vypružení	x_2	8

3.2.4. Výpočet frekvence

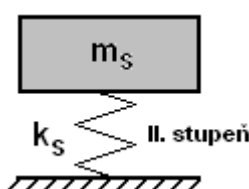
Obecná frekvence lokomotivní skříně s celkovým sednutím

(Tato frekvence vychází v intervalu 1,2 ÷ 2 Hz)

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{z_{st}}} = \frac{0,5}{\sqrt{z_{st}}} = \frac{0,5}{\sqrt{0,105}} = \underline{1,54 \text{ Hz}}$$

K prvotnímu stanovení vlastní frekvence lze použít **zjednodušené metody**:

a) První vlastní frekvence (způsob první); $m_p = \infty$

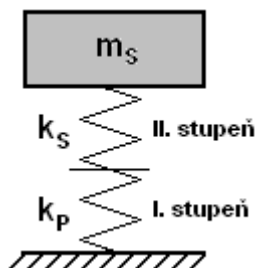


$$\Omega_1 = \sqrt{\frac{k_S}{m_S}} = \sqrt{\frac{7\,464\,000}{41\,400}} = 13,43 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\Omega = 2 \cdot \pi \cdot f \Rightarrow f_1 = \frac{\Omega_1}{2 \cdot \pi} = \frac{13,43}{2 \cdot \pi} = \underline{2,14 \text{ Hz}}$$

Obr. 32

b) První vlastní frekvence (způsob druhý); $m_p = 0$



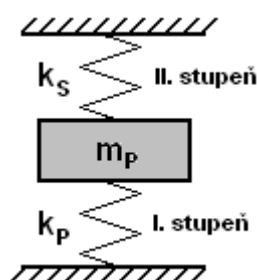
Obr. 33

$$\frac{1}{k_v} = \frac{1}{k_p} + \frac{1}{k_s} \Rightarrow k_v = \frac{k_p \cdot k_s}{k_p + k_s} = \frac{11\,250\,000 \cdot 7\,464\,000}{11\,250\,000 + 7\,464\,000} = 4\,487\,015,07 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\Omega_1 = \sqrt{\frac{k_v}{m_s}} = \sqrt{\frac{4\,487\,015,07}{41\,400}} = 10,41 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$f_1 = \frac{\Omega}{2 \cdot \pi} = \frac{10,41}{2 \cdot \pi} = \underline{\underline{1,67 \text{ Hz}}}$$

c) Druhá vlastní frekvence; $m_s = \infty$

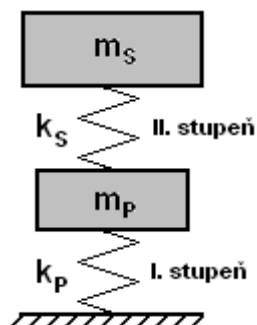


Obr. 34

$$\Omega_2 = \sqrt{\frac{k_p + k_s}{m_p}} = \sqrt{\frac{11\,250\,000 + 7\,464\,000}{17\,100}} = 33,08 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$f_2 = \frac{\Omega_2}{2 \cdot \pi} = \frac{33,08}{2 \cdot \pi} = \underline{\underline{5,27 \text{ Hz}}}$$

Přesný výpočet vlastní frekvence:



Obr. 35

$$\Omega_{1,2}^2 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left[\frac{k_p + k_s}{m_p} + \frac{k_s}{m_s} \right] \pm \sqrt{\left[\frac{k_p + k_s}{m_p} + \frac{k_s}{m_s} \right]^2 - \frac{4 \cdot k_p \cdot k_s}{m_p \cdot m_s}} \right\}$$

$$\Omega_{1,2}^2 = \frac{1}{2} \cdot \{1274,68 \pm 1072,54\}$$

$$\Omega_1 = 10,05 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\Omega_2 = 34,26 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$f_1 = \frac{\Omega_1}{2 \cdot \pi} = \frac{10,05}{2 \cdot \pi} = \underline{\underline{1,60 \text{ Hz}}}$$

$$f_2 = \frac{\Omega_2}{2 \cdot \pi} = \frac{34,26}{2 \cdot \pi} = \underline{\underline{5,45 \text{ Hz}}}$$

3.2.5. Návrh prvního stupně vypružení

Dynamická přírážka prvního stupně vypružení k_{dyn1}

$$k_{dyn1} = a + b \cdot 0,0222 \cdot \frac{V - 55}{z_{stat}} = 0,1 + 1 \cdot 0,0222 \cdot \frac{(100 - 55)}{12,7} = 0,169$$

Konstanta pro první stupeň vypružení.....a 0,1

Konstanta pro dvě nápravy v jednom rámu.....b 1

Nejvyšší dovolená rychlost vozidla.....V 100 km.h⁻¹

Dynamická síla působící na pružinu F_{dyn1}

$$F_{dyn1} = k_{dyn1} \cdot F_1 = 0,169 \cdot 73\,125 = \underline{12\,358\,N}$$

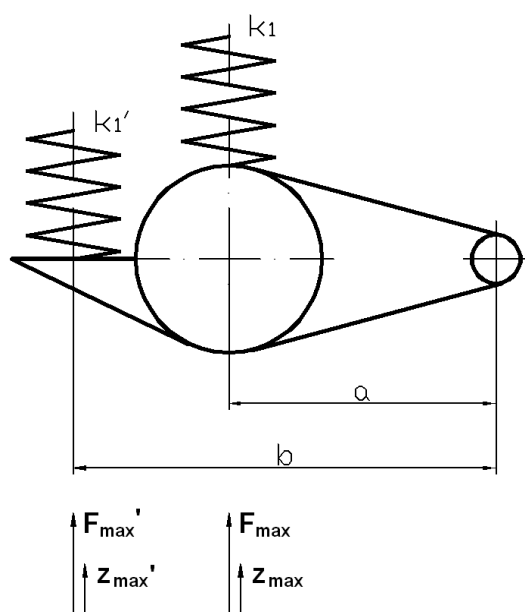
Maximální zatížení pružiny F_{max}

$$F_{max} = F_{dyn1} + F_1 = 12\,358 + 73\,125 = \underline{85\,483\,N}$$

Maximální stlačení pružiny z_{max}

$$z_{max} = \frac{F_{max}}{k_1} = \frac{85\,483}{1\,406\,250} = \underline{0,061\,m}$$

3.2.6. Přepočet tuhostí a deformace primárního stupně vypružení



Obr. 36

Nyní je stanovena tuhost primárního vypružení pro pružinu umístěnou v ose procházející středem ložiskové skříně. Pružina bude ovšem uložena na kratším konci ramene, a proto je nutné provést přepočet tuhosti a deformace.

Hlavní rozměry kyvného ramene koncepce ČKD:

$$a = 0,835\,m$$

$$(b = 1,16\,m)$$

Pro tento případ bude muset být kyvné rameno upraveno tak, že dojde k prodloužení kratšího konce, z důvodu potřeby většího prostoru pro usazení pružiny.

$$b = 1,195\,m$$

$$\left(\frac{a}{b}\right) \cong 0,70; \left(\frac{a}{b}\right)^2 \cong 0,49$$

$$F_{max}' \cdot b = F_{max} \cdot a; \quad F_{max}' = k_1' \cdot z_{max}'; \quad F_{max} = k_1 \cdot z_{max}$$

$$k_1' \cdot z_{max}' \cdot b = k_1 \cdot z_{max} \cdot a$$

$$\frac{k_1'}{k_1} = \frac{z_{max}}{z_{max}'} \cdot \frac{a}{b} \quad \frac{z_{max}}{z_{max}'} = \frac{a}{b} \Rightarrow \underline{\underline{z_{max}' = z_{max} \cdot \frac{b}{a}}}$$

$$\frac{k_1'}{k_1} = \frac{a}{b} \cdot \frac{a}{b} \Rightarrow \underline{\underline{k_1' = k_1 \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^2}}$$

Po dosazení vycházejí:

Maximální stlačení pružiny v posunutém stavu z_{\max}'

$$z_{\max}' = 0,061 \cdot \frac{1,195}{0,835} = \underline{\underline{0,087 \text{ m}}}$$

Maximální tuhost pružiny v posunutém stavu k_1'

$$k_1' = 1\,406\,250 \cdot \left(\frac{0,835}{1,195} \right)^2 = \underline{\underline{686\,593 \text{ N.m}^{-1}}}$$

Maximální zatížení pružiny v posunutém stavu F_{\max}

$$F_{\max}' = k_1' \cdot z_{\max}' = 698\,231 \cdot 0,087 = \underline{\underline{59\,734 \text{ N}}}$$

Statické zatížení pružiny v posunutém stavu z_{st1}'

$$z_{st1}' = z_{st1} \cdot \frac{b}{a} = 0,052 \cdot \frac{1,195}{0,835} = \underline{\underline{0,074 \text{ m}}}$$

Statické zatížení pružiny v posunutém stavu F_{st1}'

$$F_{st1}' = k_1' \cdot z_{st1}' = 686\,593 \cdot 0,074 = \underline{\underline{50\,808 \text{ N}}}$$

3.3. Dimenzování pružin primárního vypružení

3.3.1. Volba materiálu pružin:

Pro materiál pružin byla zvolena ocel ČSN 13 251.1

Druh oceli: Nízkolegovaná ocel pružinová zušlechtěná kalením a popouštěním.

Použití: Vysoce namáhané pružiny a pružné elementy pro automobily a kolejová vozidla, dále zkrutné tyče a listová pera.

Mechanické vlastnosti oceli v zušlechtěném stavu:

Re [MPa].....440 MPa
Rm [MPa].....840 MPa (780 ÷ 1030 MPa)
tvrdost HB225 ÷ 295

Tepelné zpracování:

Normalizační žíhání [°C]820 ÷ 850
Žíhání na měkko [°C]680 ÷ 72
Teplota kalení [°C]820 ÷ 850
Kalicí prostředí.....olej
Teplota popouštění [°C]450 ÷ 600

3.3.2. Stanovení parametrů pružiny

Poměr vinutí i

$$5 \leq i \leq 12$$

$$i = \frac{D}{d} \Rightarrow \text{zvolen } \underline{c = 6}$$

Korekční součinitel ξ_{UIC}

$$1,15 \leq \xi_{UIC} \leq 1,35$$

$$\xi_{UIC} = \frac{4 \cdot i - 1}{4 \cdot i - 4} + \frac{0,615}{i} = \frac{4 \cdot 6 - 1}{4 \cdot 6 - 4} + \frac{0,615}{6} = \underline{1,25}$$

Návrh průměru drátu pružiny

Maximální možná přípustná síla v pružině **$F_8 = 59\,734\text{ N}$** ($F_8 = F_{\max}'$)

Dovolené napětí materiálu pružiny v krutu $\tau_8 = 0,9 \cdot R_m \rightarrow \tau_8 \approx \mathbf{750\text{ MPa}}$

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} = \frac{F_8 \cdot R}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot F_8 \cdot D}{2 \cdot \pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot F_8 \cdot i \cdot d \cdot \xi_{UIC}}{2 \cdot \pi \cdot d^3} = \frac{8 \cdot F_8 \cdot i \cdot \xi_{UIC}}{\pi \cdot d^2} \Rightarrow$$

$$d' = \sqrt{\frac{8 \cdot F_8 \cdot i \cdot \xi_{UIC}}{\pi \cdot \tau_8}}$$

$$d' = \sqrt{\frac{8 \cdot 59\,734 \cdot 6 \cdot 1,25}{\pi \cdot 750\,000\,000}} = \underline{0,039\text{ m}}$$

Průměr drátu pružiny d

~ zvolen normalizovaný průměr drátu pružiny **$d = 40\text{ mm}$**

Pevnostní kontrola pružiny

$$\tau_8 = \frac{8 \cdot F_8 \cdot \xi_{UIC} \cdot i}{\pi \cdot d^2} \leq \tau_8$$

$$\tau_8 = \frac{8 \cdot 59\,734 \cdot 1,25 \cdot 6}{\pi \cdot 40^2} \leq 750$$

$$\underline{\underline{\tau_8 = 713\text{ MPa} \leq 750\text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}}}$$

Střední průměr pružiny D

$$D = i \cdot d = 6 \cdot 40 = \underline{\underline{240\text{ mm}}}$$

Stanovení počtu činných závitů pružiny n_ϵ

Modul pružnosti ve smyku (pro zušlechťený drát z uhlíkové nebo slitinové oceli):

$$G = 7,85 \cdot 10^4\text{ MPa}$$

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE Tomáš Kudláček	Strana - 46 -
---	------------------------------------	------------------

Vztah pro výpočet zkrutu:

$$\vartheta = \frac{M_k}{G \cdot I_k} = \frac{F \cdot R}{G \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{32}} = \frac{16 \cdot F \cdot D}{\pi \cdot d^4 \cdot G}$$

$$z = \vartheta \cdot l \cdot \frac{D}{2} = \frac{8 \cdot F \cdot D^2 \cdot l}{\pi \cdot d^4 \cdot G}; \quad l = \pi \cdot D \cdot n_\epsilon$$

$$z = \frac{8 \cdot F \cdot D^2 \cdot \pi \cdot D \cdot n_\epsilon}{\pi \cdot d^4 \cdot G}; \quad k = \frac{F}{z}$$

$$k = \frac{F \cdot \pi \cdot d^4 \cdot G}{8 \cdot F \cdot D^3 \cdot \pi \cdot n_\epsilon}$$

$$k = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot n_\epsilon} \Rightarrow k \cdot 8 \cdot D^3 \cdot n_\epsilon = G \cdot d^4 \Rightarrow n_\epsilon = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot k} = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot \frac{F}{z}} = \frac{z \cdot G \cdot d}{8 \cdot F \cdot i^3}$$

$$n_\epsilon = \frac{z_8 \cdot G \cdot d}{8 \cdot F_8 \cdot i^3} = \frac{87 \cdot 7,85 \cdot 10^4 \cdot 40}{8 \cdot 59\,734 \cdot 6^3} = \underline{\underline{2,65}}$$

Celkový počet závitů pružiny n

Podmínka pro počet závěrných závitů:

$$1 \leq n_z \leq 1,5$$

$$n = n_\epsilon + n_z = 2,65 + 1,35 = 4$$

Délka pružiny v mezním stavu zatížení l_9

l_9 dosednutí závitů na sebe (v provozu nesmí dojít)

$$l_9 = (n - n_z + 1) \cdot d = (4 - 1,35 + 1) \cdot 40 = \underline{\underline{146 \text{ mm}}}$$

Délka pružiny při plném stavu zatížení l_8

Součet nejmenších dovolených vůlí mezi činnými závity s_{amin}

$$s_{amin} = \frac{d \cdot i \cdot n}{50} = \frac{40 \cdot 6 \cdot 4}{50} = \underline{\underline{19,2 \text{ mm}}}$$

Mezní zkušební délka pružiny $l_{min F}$

$$l_{min F} = l_9 + s_{amin} = 146 + 19,2 = \underline{\underline{165,2 \text{ mm}}}$$

$$l_8 \leq l_{min F} \rightarrow \text{délka obou pružin při plném zatížení byla zvolena } \underline{\underline{l_8 = 170 \text{ mm}}}$$

Délka pružiny v předpruženém stavu l_1

$$l_1 = l_8 + (z_{max} - z_{st1}) = 170 + (87 - 74) = \underline{\underline{183 \text{ mm}}}$$

Délka pružiny ve volném stavu l_0

$$l_0 = l_1 + z_{st1}' = 183 + 74 = \underline{\underline{257 \text{ mm}}}$$

$60 \text{ mm} \leq l_0 \leq 800 \text{ mm} \rightarrow$ délka pružin ve volném stavu **vyhovuje**

Délky drátu rozvinuté pružiny L

$$L = \pi \cdot D \cdot n = \pi \cdot 240 \cdot 4 = \underline{\underline{3\,016 \text{ mm}}}$$

$L \leq 6\,000 \text{ mm} \rightarrow$ délka drátu rozvinuté pružiny **vyhovuje**

Rozteč činných závitů pružin ve volném stavu t

$$t = a + d$$

$$a = \frac{z_9}{n_\varepsilon} \dots \dots \text{vůle mezi činnými závity ve volném stavu}$$

$$z_9 = l_0 - l_9 = 257 - 146 = 111 \text{ mm}$$

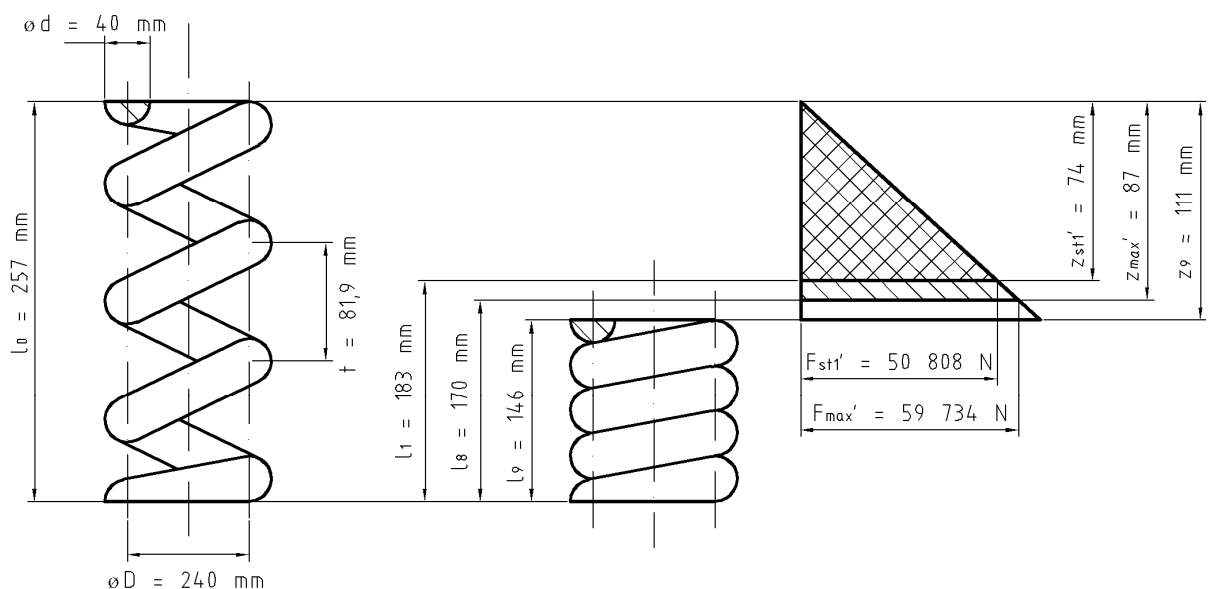
$$a = \frac{z_9}{n_\varepsilon} = \frac{111}{2,65} = 41,9 \text{ mm}$$

$$t = a + d = 41,9 + 40 = \underline{\underline{81,9 \text{ mm}}}$$

Podmínka pro rozteč činných závitů ve volném stavu:

$$0,3 \cdot D \leq t \leq 0,6 \cdot D$$

$$72 \leq t_A \leq 144 \Rightarrow \underline{\underline{72 \leq 81,9 \leq 144}} \rightarrow \text{rozteč činných závitů pružiny } \mathbf{vyhovuje}$$



Obr. 37 Rozměry pružiny s charakteristikou

3.3.3. Stanovení příčné tuhosti – podle Grosse

Modul pružnosti v tahuE $2,1 \cdot 10^5$ MPa

Modul pružnosti ve smyku.....G..... $7,85 \cdot 10^4$ MPa

Momenty setrvačnosti průřezu drátu I_1 a I_p

$$I_1 = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 40^4}{64} = 125\,663\,mm^4$$

$$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = \frac{\pi \cdot 40^4}{32} = 251\,327\,mm^4$$

Ohybová tuhost k_o

$$k_o = \frac{l_8}{\pi \cdot n_c \cdot \frac{D}{2} \cdot \left(\frac{1}{E \cdot I_1} + \frac{1}{G \cdot I_p} \right)} =$$

$$= \frac{183}{\pi \cdot 2,65 \cdot \frac{240}{2} \cdot \left(\frac{1}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 125\,663} + \frac{1}{7,85 \cdot 10^4 \cdot 251\,327} \right)} = 2,068 \cdot 10^9\,mm^2$$

Smyková tuhost k_s

$$k_s = \frac{E \cdot l_8 \cdot I_1}{\pi \cdot n_c \cdot \left(\frac{D}{2} \right)^3} = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 183 \cdot 125\,663}{\pi \cdot 2,65 \cdot \left(\frac{240}{2} \right)^3} = 335\,690\,N$$

Konstanta α

$$\alpha = \sqrt{\frac{F_{\max}'}{k_o \cdot \left(1 - \frac{F_{\max}'}{k_s} \right)}} = \sqrt{\frac{59\,734}{2\,067\,927\,898 \cdot \left(1 - \frac{59\,734}{335\,690} \right)}} = 0,006\,N^{1/2} \cdot mm^{-1}$$

Příčná tuhost k_y

$$k_y = \frac{1}{\frac{1}{F_{\max}'} \cdot \left[\frac{2}{\alpha} \cdot tg \left(\alpha \cdot \frac{l_8}{2} \right) - l_8 \right] + \frac{l_8}{k_s}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{59\,734} \cdot \left[\frac{2}{0,006} \cdot tg \left(0,006 \cdot \frac{183}{2} \right) - 183 \right] + \frac{183}{335\,690}} = 1\,117\,kN \cdot m^{-1}$$

Tuhost v příčném směru je poměrně vysoká, což vysvětlujeme malým počtem činných závitů. Pro umožnění pohybu kyvného ramene v příčném směru byla dosažena mezi kyvným ramenem a plechy podélníku rámu podvozku vůle na obou stranách **6 mm**.

3.4. Alternativní varianta – duplexní pružina

3.4.1. Rozložení síly (F_8) do vnější (F_{8a}) a vnitřní (F_{8i}) pružiny

Pro duplexní pružinu musí platit tyto vztahy:

$$F_8 = F_{8i} + F_{8a}$$

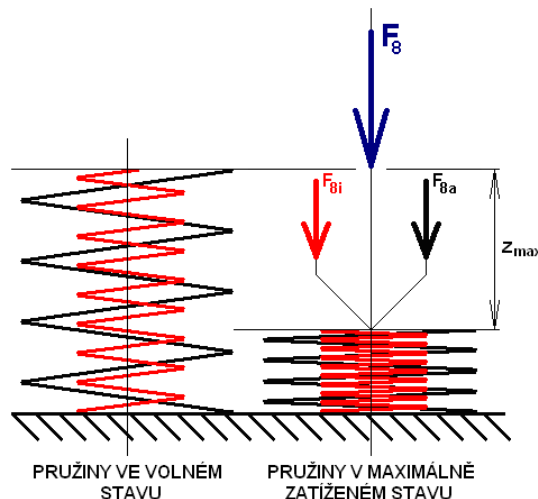
$$\tau_{8i} = \tau_{8a} \Rightarrow$$

$$\frac{8 \cdot F_{8i} \cdot D_i}{\pi \cdot d_i^3} = \frac{8 \cdot F_{8a} \cdot D_a}{\pi \cdot d_a^3}; F_8 = \frac{z \cdot \pi \cdot d^4 \cdot G}{8 \cdot D^2 \cdot l} \Rightarrow$$

$$\frac{8 \cdot D_i}{\pi \cdot d_i^3} \cdot \frac{z \cdot \pi \cdot d_i^4 \cdot G}{8 \cdot D_i^2 \cdot l_i} = \frac{8 \cdot D_a}{\pi \cdot d_a^3} \cdot \frac{z \cdot \pi \cdot d_a^4 \cdot G}{8 \cdot D_a^2 \cdot l_a} \Rightarrow$$

$$\frac{z \cdot d_i \cdot G}{D_i \cdot l_i} = \frac{z \cdot d_a \cdot G}{D_a \cdot l_a} \Rightarrow$$

$$\frac{d_i}{D_i} = \frac{d_a}{D_a}$$



Obr. 38

3.4.2. Stanovení rozměrů a sil vnitřní a vnější pružiny

Hodnoty poměru vinutí i a korekčního součinitele ξ_{UIC} jsou stanoveny stejně, jako v případě jedné pružiny v předchozím výpočtu.

Průměr drátu vnější pružiny d_a :

~ zvolen normalizovaný průměr drátu pružiny **$d_a = 35,5 \text{ mm}$**

Střední průměr vnější pružiny D_a

$$D_a = i \cdot d_a = 6 \cdot 35,5 = \underline{\underline{213 \text{ mm}}}$$

Průměr drátu vnitřní pružiny d_i

~ zvolen normalizovaný průměr drátu vnitřní pružiny **$d_i = 22,5 \text{ mm}$**

Střední průměr vnitřní pružiny D_i

$$\frac{d_i}{D_i} = \frac{d_a}{D_a} \Rightarrow D_i = D_a \cdot \frac{d_i}{d_a} = 213 \cdot \frac{22,5}{35,5} = \underline{\underline{135 \text{ mm}}}$$

Maximální síla vnější pružiny:

Uvažované napětí v pružině $\tau_{8i} = 700 \text{ MPa}$

$$\tau_{8i} = \frac{8 \cdot F_{8i} \cdot \xi_{UIC} \cdot i}{\pi \cdot d_i^2} \Rightarrow F_8 - F_{8a} = \frac{\tau_{8i} \cdot \pi \cdot d_i^2}{\xi_{UIC} \cdot i \cdot 8} \Rightarrow$$

$$F_{8a} = F_8 - \frac{\tau_{8i} \cdot \pi \cdot d_i^2}{\xi_{UIC} \cdot i \cdot 8} = 59\,734 - \frac{700 \cdot \pi \cdot 22,5^2}{1,25 \cdot 6 \cdot 8} = \underline{\underline{41\,179 \text{ N}}}$$

Maximální síla vnitřní pružiny

$$F_8 = F_{8i} + F_{8a} \Rightarrow F_{8i} = F_8 - F_{8a} = 59\,734 - 41\,179 = \underline{\underline{18\,555\text{ N}}}$$

Pevnostní kontrola vnitřní pružiny a vnější pružiny

$$\tau_{8i} = \frac{8 \cdot F_{8i} \cdot \xi_{UIC} \cdot i}{\pi \cdot d_i^2} \leq \tau_8$$

$$\tau_{8i} = \frac{8 \cdot 18\,555 \cdot 1,25 \cdot 6}{\pi \cdot 22,5^2} \leq 750$$

$$\underline{\underline{\tau_{8i} = 700\text{ MPa} \leq 750\text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}}}$$

$$\tau_{8a} = \frac{8 \cdot F_{8a} \cdot \xi_{UIC} \cdot i}{\pi \cdot d_a^2} \leq \tau_8$$

$$\tau_{8a} = \frac{8 \cdot 41\,179 \cdot 1,25 \cdot 6}{\pi \cdot 35,5^2} \leq 750$$

$$\underline{\underline{\tau_{8a} = 624\text{ MPa} \leq 750\text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}}}$$

	ozn.	VNITŘNÍ PRUŽINA	VNĚJŠÍ PRUŽINA
Průměr drátu	d [mm]	22,5	35,5
Střední průměr	D [mm]	135	213
Maximální zatěžující síla	F ₈ [N]	18 555	41 179
Maximální stačení	z _{max} ' [mm]	87	87
Tuhost	k [kN.m ⁻¹]	213	474
Počet činných závitů	n _č	4,79	3,4
Počet závěrných závitů	n _z	1,21	1,1
Celkový počet závitů	n	6	4,5
Délka v mezním stavu zatížení	l ₉ [mm]	130,3	156,2
Délka při plném stavu zatížení	l ₈ [mm]	160	160
Délka v předpruženém stavu	l ₁ [mm]	173	173
Délka ve volném stavu	l ₀ [mm]	247	247
Délka drátu rozvinuté pružiny	L [mm]	2545	2677
Rozteč činných závitů ve volném stavu	t [mm]	46,9	62,2

Tab. 4 Rozměry duplexní pružiny – alternativní varianty vypružení kyvného ramena

Pružiny mají navzájem protisměrné vinutí, aby při jejich vzájemném posunutí nebo případném prasknutí nemohla jedna zapadnout mezi závity druhé, což by mohlo způsobit například vykolejení lokomotivy.

Tento způsob vypružení duplexní pružinou je v práci zveřejněn pouze na ukázkou. Pro jednodušší řešení na výrobu, montáž i opravy byla zvolena varianta s jednou pružinou.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE Tomáš Kudláček	Strana - 51 -
---	------------------------------------	------------------

4. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést návrh rekonstrukce podvozku elektrické posunovací lokomotivy Škoda, doplněný popisem vývoje a technickými parametry této specifické generace vozidel. V první části práce je obsažena rešerše vývoje s technickým popisem včetně uskutečněných rekonstrukcí, rozšířená v druhé části práce základními způsoby vedení dvojkolí s příklady moderních aplikací. Třetí část bakalářské práce se zabývá vlastní rekonstrukcí podvozku, pro kterou byla vybrána řada 114.5.

Vedení dvojkolí je konstrukční celek, který je v provozu intenzívně zatěžován. V těžké posunovací i traťové službě na důlních tratích, ale také i na tratích celostátních v oblasti severních Čech, kde se lokomotiva 114.5 pohybuje, si provozní nároky na vedení dvojkolí vyžadují zvláštní pozornost. Zadaný zvolený způsob rekonstrukce se opírá právě o výhody kyvného ramene oproti vedení pryží v těchto provozních podmínkách. Jak již bylo mimo jiné zmíněno dříve, mezi hlavní přednosti kyvného ramene patří stálost mechanických vlastností a delší životnost, oproti původnímu vedení, kdy je nutno pravidelně obměňovat pryžové prvky, které vlivem případné špatné těsnosti ochranných prvků mění svoji strukturu a tím pádem i tuhost.

Rekonstrukce je spíše nahrazení zastaralou koncepcí vedení dvojkolí, vymykající se moderním trendům, avšak koncepcí osvědčenou a dostatečně zaručenou a také, a to je její hlavní přednost, ekonomicky nenáročnou.

Lokomotiva řady 114.5 je poměrně mladou řadou, vyráběnou v letech 1996 až 2000, disponující mnoha moderními prvky, s původními záměry sériové výroby a řadit tuto lokomotivu k III. generaci lokomotiv Škoda. Tento návrh rekonstrukce by měl větší význam po znovuoobnovení výroby této řady.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LATA, Michael. *Konstrukce kolejových vozidel II*. Vyd. 1. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2004. 206 s. ISBN 80-7194-696-6.
- [2] HELLER, Petr; DOSTÁL, Josef. *Kolejová vozidla II*. Vyd. 1. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2009. 394 s. ISBN 978-80-7043-641-7.
- [3] DVOŘÁČEK, Václav; PALÍK, František. *Střídavá posunovací lokomotiva S 458.0*. Vyd. 1. Praha : Nakladatelství dopravy a spojů, 1975. 256 s. OD-31-045-075-05-94.
- [4] DVOŘÁČEK, Václav; PALÍK, František. *Stejnoseměrné posunovací lokomotivy E 458.0 a E 426.0*. Vyd. 1. Praha : Nakladatelství dopravy a spojů, 1974. 308 s. OD-31-053-074-05-94.
- [5] SELLNER, Karel. *Elektrické lokomotivy I*. Vyd. 1. Praha : Nakladatelství dopravy a turistiky, 1994. 16 listů. ISBN 80-901681-5-9, ISBN 80-901681-6-7.
- [6] PINDRIČ, Milan. *Dieseleelektrická lokomotiva T 466.2, T 448.0*. Vyd. 1. Praha : Nakladatelství dopravy a spojů, 1988. 96 s. OD-31-046-88-05-94.
- [7] BITTNER, Jaromír. *Malý atlas lokomotiv*. Vyd. 1. Praha : Gradis Bohemia, 2002. 262 s. ISBN 80-902-791-1-2.
- [8] LEINVEBER, Jan ; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Vyd. 1. Úvaly : Albra - pedagogické nakladatelství, 2003. 872 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [9] KLETEČKA, Jaroslav; FOŘT, Petr. *Technické kreslení*. Vyd. 1. Praha : Computer Press, 2001. 194 s. ISBN 80-7226-542-3.
- [10] KAŠPAŘÍK, Tomáš. Zvoní „žehličkám“ hrana?. *Dráha*. 2010, XVI, 4, s. 18-23. ISSN 1211-1260 MK ČR E 7054
- [11] BARTÁK, Michal. *Rekonstrukce podvozku el. lokomotivy 65 E 1 se zaměřením na úpravu brzdy*. Pardubice, 2009. 47 s. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.
- [12] PETRÁS, Jan. *Přehled elektrických lokomotiv světových výrobců*. Pardubice, 2008. 90 s. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice.
- [13] MACHÁČEK, Jaroslav. *Návrh elektrické lokomotivy pro koridorové tratě ČD pro osobní dopravu a rychlé nákladní vlaky*. Pardubice, 2002. 45 s. Diplomová práce. Univerzita Pardubice.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE Tomáš Kudláček	Strana - 53 -
---	------------------------------------	------------------

- [14] ŠVESTKA, David. *Atlas lokomotiv* [online]. 2004-2010 [cit. 2010-04-19]. Elektrické lokomotivy. Dostupné z WWW: <<http://www.atlaslokomotiv.net/list-el.html>>.
- [15] KRŠKA, Aleš. *Trainweb* [online]. 09.04.2009 [cit. 2010-04-12]. Fotogalerie. Dostupné z WWW: <<http://trainweb.cz/foto/lokomotiva-110-007-2-hulin-brest-15373>>.
- [16] *K-report* [online]. 2010 [cit. 2010-04-15]. Diskuse K-report: 110, 111, 113, 210, 218 - žehličky. Dostupné z WWW: <<http://www.k-report.net/ukazobrazek.php?soubor=410303.jpg&httpref=28/14376>>.
- [17] RŮŽEK, Václav. *Želpage* [online]. 10.05.2008 [cit. 2010-04-15]. Fotogalerie. Dostupné z WWW: <<http://www.zelpage.cz/fotogalerie/elektricke-lokomotivy/113/113021.html>>.
- [18] BELKO, Marián. *Vlaky.net* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Fórum - Koľajové vozidlá – 750/754. Dostupné z WWW: <<http://www.vlaky.net/online/diskusie/tema.asp?id=230081>>.
- [19] Fotoarchiv – Bc. Jaroslav Skůra
- [20] Výkresová dokumentace – Ing. Alois Kotrba, Ph.D.

UNIVERZITA PARDUBICE Dopravní fakulta Jana Pernera Dislokované pracoviště Česká Třebová	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE Tomáš Kudláček	Strana - 54 -
---	------------------------------------	------------------

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

- 1 **BP-TK-01** Škoda 90 E – typový výkres (boční pohled)
- 2 **BP-TK-02** Podvozek – výkres sestavy
- 3 **BP-TK-03** Kyvné rameno – výkres sestavy
- 4 **BP-TK-04** Válcová pružina – výrobní výkres