

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra strojů průmyslové dopravy

Obor

2302T010 Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření

Kolové dopravní a manipulační stroje

**PŘEVEDENÍ MOTOROVÝCH VOZŮ ŘADY 842
NA POHON PLYNOVÝMI MOTORY**

KSD – DP – 473

Jiří Lochman

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Josef Laurin, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Ladislav Bartoníček, CSc.

Počet stran:	47
Počet obrázků:	23
Počet tabulek:	14
Počet příloh:	4
Počet výkresů:	4

květen 2006

Převedení motorových vozů řady 842 na pohon plynovými motory

ANOTACE

Diplomová práce shrnuje informace o přestavbě motorového vozu řady 842 s pohonem na naftu pro pohon na CNG nebo LPG. Zabývá se umístěním tlakových nádrží na střechu motorového vozu, výpočtem uchycení nádrží, potřebnou palivovou instalací a dalšími úpravami, které jsou třeba při přestavbě uskutečnit. Součástí práce jsou i odhady nákladů na přestavbu včetně zjištění nových provozních parametrů motorového vozu.

Conversion of diesel engine to gas engine of rail cars 842 serie

ANNOTATION

The thesis summarises data about conversion of diesel engine to CNG or LPG of rail car 842 serie.

This thesis deals with placing of the gas tanks on the roof of the rail car and by other alterations, which are necessity for conversion. Some strength analysis of gas tank fixation was made, as well as design of needed fuel installation.

The articles of the thesis are also cost estimation for conversion including ascertainment of the new operation parameters of the rail car.

Převedení motorových vozů řady 842 na pohon plynovými motory

Klíčová slova

vlak, železnice, motorový vůz, pohon, zástavba, zemní plyn, NG, stlačený zemní plyn, CNG, zkapalněný zemní plyn, LNG, zkapalněné rafinérský plyny , LPG, plynná paliva, nádrž, palivové příslušenství, držák

Conversion of diesel engine to gas engine of rail cars 842 serie

Key words

Train, Railways, Rail Car, Drive, Placing, Natural Gas, NG, Compressed Natural Gas, CNG, Liquefied Natural Gas, LNG, Liquefied Petroleum Gases, LPG, Gas Fuel, Tank, Fuel Accessories, Holder

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci 26.5.2006

Jiří Lochman

Vysoká 74,
466 02 Jablonec nad Nisou

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Josefu Laurinovi a konzultantovi Ing. Ladislavu Bartoníčkovvi za odborné vedení, pomoc při zpracování diplomové práce a cenné rady.

Obsah

Obsah	7
Seznam použitých symbolů a označení	9
1.0 Úvod	11
2.0 Alternativní plynná paliva pro železniční motorové vozy	12
2.1 Motorové palivo NG	12
2.2 Motorové palivo LPG	13
3.0 Současný stav využití alternativních plynných paliv v železniční dopravě	16
3.1 Posunovací lokomotiva Deutsche Bahn s motorem na LNG	16
3.2 Motorové vozy Usedomer Bäder Bahn s motory na CNG	16
3.3 Motorový vůz Svensk Biogas s motory na bioplyn	17
3.4 Lokomotivy a motorové vozy Českých drah na alternativní plynná paliva	17
4.0 Přestavba motorového vozu řady 842 s naftovými motory na vůz poháněný motory na CNG nebo motory na LPG	18
4.1 Motorový vůz řady 842.....	18
4.2 Podmínky přestavby motorového vozu řady 842 na plynná paliva	19
4.3 Nádrže na CNG a LPG.....	19
4.3.1 Kapacita nádrží na plynná paliva	19
4.3.2 Nádrže na CNG	20
4.3.3 Nádrže na LPG	20
4.4 Plynové palivové příslušenství	21
4.4.1 Příslušenství pro palivo CNG.....	21
4.4.2 Příslušenství pro palivo LPG.....	22
4.5 Držák nádrží.....	22
4.6 Střecha motorového vozu	24
4.7 Zastřešení tlakových nádrží.....	24
4.8 Vytápění a větrání motorového vozu	25
5.0 Pevnostní výpočty pro variantu CNG	26
5.1 Výpočet uchycení nádrží	26
5.1.1 Svěrný spoj horního a dolního úchyty s nádrží	26
5.1.2 Svarový spoj dolního úchyty a příčného nosníku držáku.....	27

5.2	Výpočet držáku nádrží	29
5.2.1	Svarový spoj příčného nosníku a podélného plechu	29
5.2.2	Analýza napětí a posunutí rámu	30
6.0	Pevnostní výpočty pro variantu LPG.....	32
6.1	Výpočet uchycení nádrží	32
6.1.1	Výpočet upevnění nádrže k držáku pomocí pásků	32
6.1.2	Svarový spoj utahovací matice a příčného nosníku	35
6.1.3	Svarový spoj utahovacího úhelníku a příčného nosníku	35
7.0	Očekávané provozní parametry motorového vozu řady 842.....	36
7.1	Parametry motoru	36
7.2	Dojezd motorového vozu	36
7.3	Hmotnost motorového vozu	37
7.4	Obrysové rozměry motorového vozu	38
8.0	Schvalování změny typu motorového vozu	39
8.1	Podmínky a postup schvalování změny typu motorového vozu	39
8.2	Zkoušky vlastností motorových vozů potřebné ke schvalování.....	40
9.0	Odhad nákladů na přestavbu motorového vozu řady 842.....	41
10.0	Závěr.....	42
	Seznam použité literatury, informační zdroje a www stránky.....	43
	Přílohy.....	44

Seznam použitých symbolů a označení

a	charakteristický rozměr svaru	[mm]
d	průměr	[mm]
d ₂	střední průměr závitu šroubu	[mm]
d ₃	malý průměr závitu šroubu	[mm]
d _n	průměr nádrže	[mm]
f	koeficient smykového tření	[-]
f _z	koeficient smykového tření v závitu	[-]
g	gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
i _p	počet pásků	[-]
i _s	počet šroubů	[-]
k	bezpečnost	[-]
l _s	skutečná délka svaru	[mm]
l _T	teoretická délka svaru	[mm]
m _n	hmotnost prázdné nádrže	[kg]
m _{pal}	hmotnost paliva	[kg]
p _o	tlak	[MPa]
F _x	síla působící v podélném směru	[N]
F _y	síla působící v příčném směru	[N]
F _z	síla působící ve svislém směru	[N]
F _p	síla v pásku	[N]
F _s	síla ve šroubu	[N]
J _(x,y,z)	kvadratický moment k ose x,y,z	[mm ⁴]
M _k	krouticí moment	[Nm]
M _o	ohybový moment	[Nm]
M _u	utahovací moment šroubu	[Nm]
P	rozteč závitu	[mm]
R _e	mez kluzu	[MPa]
S _j	průřez jádra šroubu	[mm ²]
W _{k(x,y,z)}	modul průřezu v krutu k ose x,y,z	[mm ³]
W _{o(x,y,z)}	modul průřezu v ohybu k ose x,y,z	[mm ³]
α _{τK} , α _{τR}	převodní součinitel svaru	[-]
β	součinitel koutového svaru	[-]
γ	úhel stoupání závitu šroubu	[rad]

σ_{Do}	dovolené napětí v ohybu	[MPa]
σ_{Ds}	dovolené napětí ve smyku	[MPa]
σ_{Dsv}	dovolené napětí svaru	[MPa]
σ_{Dt}	dovolené napětí v tahu	[MPa]
σ_o	napětí v ohybu	[MPa]
σ_s	napětí ve smyku	[MPa]
σ_{sv}	srovnávací napětí svaru	[MPa]
σ_t	napětí v tahu	[MPa]
τ_K	napětí kolmé na směr svaru	[MPa]
τ_R	napětí rovnoběžné se směrem svaru	[MPa]
φ_s	redukovaný třecí úhel	[rad]
č.	číslo	
např.	například	
obr.	obrázek	
tab.	tabulka	

1.0 Úvod

V dnešní době, kdy se hovoří o neustále se snižujících zásobách ropy, její rostoucí ceně a problematickém umístění nalezišť, a značném znečištění životního prostředí, se stále více snažíme používat v dopravním průmyslu alternativní paliva. K pohonu vozidlových motorů se již úspěšně používají např. plynná alternativní paliva, která zajišťují nejen hospodárnější provoz, ale také přispívají ke snižování výfukových emisí. Téměř v každém větším městě jsou dnes proto samozřejmostí autobusy, vozidla komunálních služeb i osobní automobily na plynná paliva. Plynná paliva se ovšem pomalu začínají prosazovat i do dalších prostředků veřejné hromadné dopravy - vlaků. Jejich nástup v této kategorii je zatím velmi pozvolný, hlavně z důvodu neexistujícího zázemí a z toho vyplývajících velkých počátečních investic. Ovšem jako v automobilové dopravě zde zřejmě dojde časem k většímu rozšíření, neboť vliv stále se zpřísnujících limitů výfukových emisí a nižších provozních nákladů bude sílit. Například již dnes jsou známy značné úspory v nákladech na palivo při porovnání s naftou nebo až o 2/3 nižší náklady na údržbu tratí při porovnání s méně využívanými elektrifikovanými tratěmi. Do budoucna se proto jako vhodné lokality využití jeví jak hustě osídlené a průmyslové oblasti, tak i rekreační a chráněné oblasti.

Diplomová práce pojednává o vlastnostech alternativních plynných paliv, shrnuje současný stav využití alternativních plynných paliv v železniční dopravě na evropských železnicích a uvádí postup schvalování změny typu motorového vozu při přechodu na pohon plynným palivem. Dále pak na příkladu přestavby motorového vozu řady 842 ukazuje technickou a ekonomickou náročnost převedení z pohonu naftovými motory na pohon plynovými motory, konkrétně motory na CNG a motory na LPG a uvádí očekávané provozní parametry motorových vozů po přestavbě.

2.0 Alternativní plynná paliva pro železniční motorové vozy

Jako alternativní plynná motorová paliva se pro vozidlové motory využívají: stlačený zemní plyn (CNG - Compressed Natural Gas), zkapalněný zemní plyn (LNG - Liquefied Natural Gas) a tekuté rafinérské plyny (LPG - Liquefied Petroleum Gas). Další plynná paliva jsou zatím méně vhodná - vodík s ohledem na jeho velkou energetickou náročnost, vysokou cenu a poměrně obtížné uskladnění na vozidle, bioplyn pro omezenost jeho zdrojů a drahou lokální výrobu.

2.1 Motorové palivo NG

Zemní plyn je fosilní palivo a jeho fyzikální vlastnosti jsou závislé na jeho složení. Obsahuje 80 až 99 % metanu, další uhlovodíky, dusík, oxid uhličitý, vodu a sloučeniny síry. Zemní plyn se v současné době do ČR dodává z Ruska, ten obsahuje okolo 98 % metanu, a z Norska, který obsahuje okolo 84 % metanu. V tabulce T 2–1 jsou uvedeny vlastnosti metanu (hlavní složky zemního plynu), důležité z hlediska spalování v zážehovém motoru. V dopravě se může zemní plyn využívat jako stlačený (CNG), což je zatím preferovanější varianta nebo zkapalněný (LNG).

Tab. T 2–1 Vlastnosti metanu /1/

Parametr	Jednotka	Hodnota
Měrná hmotnost plynu (0 °C a 101,3 kPa)	kg.m ⁻³	0,68
Měrná hmotnost při bodu varu	kg.m ⁻³	415
Teplota bodu varu při 101,3 kPa	°C	-161,4
Plynová konstanta	J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	518,8
Výhřevnost	MJ.kg ⁻¹	49,9
Stechiometrické množství vzduchu	kg.kg ⁻¹	17,2
Zápalná teplota stochiometrické palivové směsi	°C	520
Rozmezí zápalnosti palivové směsi (Lambda)	-	0,7 až 1,9
Oktanové číslo VM	-	130

Stlačený zemní plyn se na vozidle uchovává v tlakových nádržích nejčastěji pod tlakem 20 či 25 MPa. Nevýhodou vzhledem k omezené možnosti umístění nádrží a růstu hmotnosti je značné zmenšení akčního rádiusu vozu. K výhodám naopak patří kromě ekologických

hledisek (snížení výfukových emisí, nehrozi kontaminace půdy při úniku plynu, ...) také vyšší bezpečnost provozu než při používání kapalných paliv a snadná distribuce plynu k provozovateli čerpacích stanic pomocí plynovodů.

Zkapalněný zemní plyn je bezbarvá tekutina, která má při atmosférickém tlaku teplotu přibližně $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ a zaujímá zhruba 570 krát menší objem než v plynné fázi, což je výhodné pro jeho skladování. Na vozidlech se uchovává v kryogenních nádržích, a protože dochází neustále k jeho odpařování, je vhodný hlavně pro často využívaná vozidla. Kryogenní nádrže moderních konstrukcí mívají dobu zádrže odpařeného plynu až 10 dní. Oproti variantě stlačeného plynu lze zachovat patřičný dojezd vozidla bez výrazného zvětšení hmotnosti. Před zkapalněním musí být ze zemního plynu odstraněny nežádoucí příměsi tak, aby nepřekračovaly hodnoty uvedené v tabulce T 2–2.

Tab. T 2–2 Přípustná množství nečistot v zemním plynu před zkapalněním /1/

Příměsi	Jednotka	Maximální množství
Voda	ppm obj.	1
Oxid uhličitý	ppm obj.	1000
Sloučeniny síry	$\text{mg}\cdot\text{m}_\text{N}^{-3}$	30
Rtuť	$\mu\text{g}\cdot\text{m}_\text{N}^{-3}$	10
Aromatické uhlovodíky	ppm obj.	10

2.2 Motorové palivo LPG

Zkapalněné ropné plyny používané jako motorová paliva jsou uhlovodíky, hlavně propan a butany s malým podílem dalších uhlovodíků (např. etan, propen, pentan, buten, penten). Významné vlastnosti propanu, n-butanu a i-butanu jsou uvedeny v tabulce T 2–3. Zkapalněné ropné plyny vznikají při rafinaci ropy nebo jako kapalná frakce separovaná od metanu v průběhu těžby zemního plynu. V současné době se v naprosté většině případů využívá rafinace ropy, takže je otázkou, zda může být toto palivo považováno za alternativní pohonnou hmotu.

V LPG se vyskytují nežádoucí příměsi. Vlivem těchto příměsí vznikají v plynovém palivovém příslušenství, případně v motoru různé druhy úsad, které pak narušují jejich správnou funkci. Agresivní sírné sloučeniny pak způsobují korozi měděných komponent. Po zkapalnění palivo zaujímá 260 krát menší objem než v plynné fázi. Na vozidlech se uchovává v tlakových nádržích pod tlakem do 1,8 MPa.

Tab. T 2–3 Vlastnosti propanu, n-butanu a i-butanu /2/

Parametr	Jednotka	Propan	N-butan	I-butan
Hustota plynné fáze (0 °C, 101,3 kPa)	kg.m ⁻³	2,01	2,64	2,64
Hustota kapalné fáze (20 °C)	kg.m ⁻³	501	578	558
Výhřevnost	MJ.kg ⁻¹	46,2	45,9	45,9
Bod varu (101,08 kPa)	°C	-42,6	-0,6	-12,6
Bod tání (101,08 kPa)	°C	-190	-135	-145
Výparné teplo	kJ.kg ⁻¹	441,1	396,5	386,6
Stechiometrické množství vzduchu	m ³ .m ⁻³	23,9	31,3	31,3
Výhřevnost stechiometrické směsi	MJ.m ⁻³	3,73	3,78	3,78
Oktanové číslo VM	-	96	89	97

V ČR musí zkapalněné ropné plyny používané jako palivo pro motorová vozidla vyhovovat ustanovením dle ČSN EN 589 „Motorová paliva - Zkapalněné ropné plyny (LPG) - technické požadavky a metody zkoušení“. Podle této normy se dodávají v době od 1.6. do 30.9. jako letní druh a v době od 1.10. do 31.5. jako zimní druh. Tabulka T 2–4 ukazuje složení a vlastnosti letního a zimního druhu LPG.

ČSN EN 589 limituje z nežádoucích příměsí obsah dienů, sirovodíku, síry, příměsí způsobujících korozi mědi, metylalkoholu a vodu. Další nežádoucí příměsí již norma nesleduje (např. monoetanolamin, vyšší uhlovodíky, ...). Hlavní požadavky na LPG stanovené v ČSN EN 589 jsou uvedeny v tabulce T 2–5.

Tab. T 2–4 Složení a vlastnosti letního a zimního druhu LPG /3/

Parametr	Jednotka	LPG letní druh	LPG zimní druh
Obsah propanu	% hmot.	0 až 100	44,5 až 100
Obsah n-butanu	% hmot.	100 až 0	55,5 až 0
Výhřevnost kapaliny	MJ.l ⁻¹	26,5 až 23,1	25 až 23,1
Oktanové číslo VM	-	94 až 112	102 až 112
Min. teplota při přetlaku par 50 kPa	°C	10 až -33	-19 až -33

Tab. T 2–5 Hlavní požadavky na LPG /3/

Parametr	Jednotka	Mezní hodnoty
Oktanové číslo MM	-	min. 89
Obsah dienů (jako 1,3-butadien)	% mol	0,5
Celkový obsah síry po odoraci	mg.kg ⁻¹	max. 100
Odparek	mg.kg ⁻¹	max. 100
Přetlak par při teplotě 40 °C	kPa	1550
Přetlak par při teplotě -5 °C pro zimní druh LPG	kPa	150
Obsah volné vody při 0 °C	-	0
Obsah metylalkoholu	mg.kg ⁻¹	2000
Nepříjemný a typický zápach	při 20 % dolní meze výbušnosti	

3.0 Současný stav využití alternativních plyných paliv v železniční dopravě

Využití zemního plynu v železniční dopravě je relativně nová záležitost. První lokomotivy na LNG se sice objevují už v 70. letech 20. století v Kanadě, Rusku a USA, ale jedná se buďto o výzkumné nebo později také o malé, nekomerčně zaměřené projekty. V komerční oblasti se začíná zemní plyn používat až v posledních letech. Palivo LNG využívají pro nákladní lokomotivy např. železniční společnosti Consolidated Natural Gas Company a Burlington Northern v USA. Palivo CNG se používá v osobních motorových soupravách např. v Peru a Indii. Palivo LPG se v železniční dopravě nevyužívá.

Na evropských železnicích se alternativní plyná paliva používají zatím v Německu (LNG a CNG) a ve Švédsku, kde byla zprovozněna první motorová souprava na bioplyn na světě.

3.1 Posunovací lokomotiva Deutsche Bahn s motorem na LNG

Od roku 2001 provozují Deutsche Bahn AG na centrálním nádraží v Mnichově posunovací lokomotivu 760.877-1 s motorem na LNG /24, 25/. Osmiválcový plynový motor s označením G 3508 TA-54 je od firmy Caterpillar a má výkon 472 kW. Kryogenní nádrž o obsahu 770 l je umístěna v zadní části lokomotivy. V roce 2003 byla tato lokomotiva zkoušena v tandemu s naftovou lokomotivou v nákladní dopravě.

Zatím zveřejněné výsledky ukazují výrazně nižší výfukové emise a až o 1/3 nižší hluchnost oproti používaným naftovým posunovacím lokomotivám.



Obr. O 3–1 Posunovací lokomotiva na LNG

3.2 Motorové vozy Usedomer Bäder Bahn s motory na CNG

V roce 1997 začala společnost Usedomer Bäder Bahn GmbH. provozovat na ostrově Usedom první motorový vůz s motorem na CNG /26/. Postupně byly do provozu nasazeny 3

vlakové soupravy s označením 772 201 až 772 203. K pohonu vozu je využíván plynový motor MAN E 2866 DUH 01 o výkonu 170 kW. Zásoba plynu je uložena v zásobníkovém modulu, který se skládá ze 12 kompozitových tlakových nádob o celkovém vodním objemu 1680 l. Tento modul byl vestavěn pod podlahu přívěsného vozu. Dojezd motorového vozu činí přibližně 725 km.

V průběhu roku 2002 byly všechny soupravy tohoto typu vyřazeny z komerčního provozu a nahrazeny modernějšími naftovými soupravami. Nyní se využívají pro různé zkoušky a měření, v normálním provozu pak jen při vyjímečných příležitostech.



Obr. O 3–2 Motorový vůz na CNG

3.3 Motorový vůz Svensk Biogas s motory na bioplyn

V červnu roku 2005 začala společnost Svensk Biogas provozovat na trati mezi městy Linköping a Väestervik při východním pobřeží země první motorový vůz na bioplyn na světě /27, 28/. K pohonu jsou použity dva plynové motory Volvo, maximální rychlost vozu je 130 km/hod. Zásoba bioplynu je uložena v 11 nádržích pod podlahou motorového vozu a umožňuje dojezd přibližně 600 km.



Obr. O 3–3 Motorový vůz na bioplyn

3.4 Lokomotivy a motorové vozy Českých drah na alternativní plynná paliva

České dráhy neprovozují v současné době žádná kolejová hnací vozidla s motory na alternativní plynná paliva.

4.0 Přestavba motorového vozu řady 842 s naftovými motory na vůz poháněný motory na CNG nebo motory na LPG

4.1 Motorový vůz řady 842



Obr. O 4–1 Motorový vůz řady 842

Motorový vůz řady 842 (typový výkres v Příloze č.1) je osobní vůz určený pro vnitrostátní dopravu /4/.

Vůz je čtyřnápravový se dvěma hnacími dvounápravovými podvozky. Přenos výkonu je hydromechanický. Podvozek je bezkolébkový s dvojitým vypružením, tvořeným vinutými ocelovými a vzduchovými pružinami. Hnací soustrojí vozu tvoří dva shodné naftové motory Liaz ML 640F se společným palivovým hospodářstvím, vzájemnou vazbou chladicích systémů a společnou skupinou pomocných strojů poháněných přes převodovku pomocných pohonů s volnoběžkami od předních konců obou motorů. Motor a přírubově spojená převodovka Allison HTB 741R jsou jako celek zavěšeny ve spodku vozu.

Skříň vozu je lehké samonosné konstrukce a je svařena z válcovaných a ohýbaných profilů. Tvoří ji spodek s plechovou podlahou, dvě bočnice, střecha a dvě čela. Na vnější opláštění bočnice a koster čel jsou použity rovné plechy z uhlíkové oceli s přísadou Cu, na vnější opláštění střechy a plechovou podlahu je použito profilovaných plechů z austenitické nerezavějící oceli. Tepelně hluková izolace je provedena ze sklovláknitého materiálu a tvarovkami z lehčeného polystyrénu. V obložení interiéru jsou použity plastové panely. Představné dveře jsou ovládány elektropneumaticky přímo cestujícími nebo z kabiny strojvedoucího. Sedadla v provedení 2+2 proti sobě jsou zavěšena do stropu spolu s příčnými policemi.

Teplovzdušné vytápění motorových vozů využívá odpadní teplo z chlazení motorů. Větrání je nucené, přetlakové, kabina strojvedoucího je klimatizována.

Brzdový systém vozu se skládá z pneumatické samočinné, přímočaré brzdy DAKO, hydrodynamické brzdy, třecí kotoučové brzdy na nápravě a přídatné jednošpalíkové brzdy.

Zdrojem elektrické energie pro palubní síť o jmenovitém napětí 48 V DC je třífázový alternátor s usměrňovačem a polovodičovou regulací. Vůz je vybaven elektronickým regulátorem řízení, který umožňuje současné ovládání dvou motorových vozů z jednoho stanoviště. Ovládání dveří, regulace topení a vodního hospodářství WC jsou řízeny samostatnými jednočipovými mikropočítači.

4.2 Podmínky přestavby motorového vozu řady 842 na plynná paliva

K přestavbě na plynná paliva jsou vhodné pouze motorové vozy jejichž technický stav skříně a pojezdu je dobrý. Dále je třeba splnit následující podmínky:

- přestavba vznětového motoru na zážehový, což představuje kromě konstrukčních úprav motoru (snížení kompresního poměru a úprava prostoru pro zapalovací svíčku) také odstranění naftového palivového příslušenství, instalace plynového palivového příslušenství a elektronického zapalování, vybavení motoru regulátorem maximálních otáček, regulátorem tlaku plnicího vzduchu, elektronickým regulátorem kvality palivové směsi s lambda sondou a oxidačním katalyzátorem.
- zástavba nádrží (tlakových nádob) na střechu motorového vozu a jejich vybavení potřebným palivovým příslušenstvím (zejména uzavírací, pojistné a tlakové ventily).
- instalace plnicího ventilu, vysokotlakého palivového potrubí a odvětrávacího potrubí od plnicího hrdla k nádržím a od nádrží k motoru.

4.3 Nádrže na CNG a LPG

4.3.1 Kapacita nádrží na plynná paliva

Z výsledku provozu autobusů na plynná paliva (CNG a LPG) s motory Liaz lze přibližně odhadnout množství plynných paliv, která jsou potřeba pro náhradu původního naftového paliva. Přibližná ekvivalentní množství jsou uvedena v tabulce T 4–1.

Tab. T 4–1 Množství alternativních paliv odpovídající při provozu motorů 1 litru nafty /2/

Palivo	Motorová nafta	CNG	LPG (50% propan 50% butan)
Jednotka	litr	m _N ³	litr
Množství paliva	1	1,2	1,8

4.3.2 Nádrže na CNG

Pro palivo CNG se použije 9 nádrží W 320 od firmy Dynetek Europe GmbH. Jsou to nádrže kompozitové a plyn je zde stlačen pod tlakem 20 MPa. Výhodou oproti ocelovým nádržím je výrazně nižší hmotnost. K nádrži výrobce dodává také plynové palivové příslušenství ve formě multifunkčního ventilu, který plní funkce nadprůtokového, tepelného a tlakového ventilu. Vše vyhovuje evropskému předpisu ECE R110. Hlavní parametry použitých kompozitových nádrží jsou uvedeny v tabulce T 4–2.

Nádrže se přichytí k držáku nádrží pomocí dvou navzájem sešroubovaných úchytů, které jsou umístěny na zúžených válcových zakončení. Toto řešení umožňuje tvar nádrží a poloha multifunkčního ventilu na jedné straně, druhá strana je uzavřena zátkou. Výhodou je menší výška zástavby, než při použití klasického přichycení pomocí pásků, a také nižší hmotnost celého držáku.

Tab. T 4–2 Kompozitové nádrže na CNG /29/

Typ	Objem [l]	Průměr × délka [mm]	Hmotnost nádrže [kg]	Obsah CNG [m _N ³]
W 320	315	404 × 3048	101	69,7

4.3.3 Nádrže na LPG

Pro palivo LPG se použije 9 nádrží B/GT 200 – 400 od firmy Witte van Moort B.V. Jsou to ocelové tlakové nádoby a palivo je zde přechovááno pod tlakem do 1,8 MPa. Výrobce k nádrži dodává také plynové palivové příslušenství ve formě multifunkčního ventilu s plynovou skříňkou. Multifunkční ventil plní funkci nadprůtokového a tlakového ventilu. Plynová skříňka chrání multifunkční ventil a zároveň umožňuje odvětrání prostoru okolo něho. Vše vyhovuje evropskému předpisu ECE R67.01. Nádrže se plní na 80 % objemu. Hlavní parametry použitých ocelových nádrží jsou uvedeny v tabulce T 4–3.

Nádrže se přichytí k držáku nádrží pomocí dvou pásků, neboť mají klasický válcový tvar s umístěním multifunkčního ventilu uprostřed nádrže. Na jedné straně je pásek pevně

příšroubován k držáku a na straně druhé zašroubováním šroubu do matice zajistíme dostatečně pevné uchycení nádrže.

Tab. T 4–3 Ocelové nádrže na LPG /30/

Typ	Objem [l]	Průměr × délka [mm]	Hmotnost nádrže [kg]	Obsah LPG [l]
B/GT 200-400	200	400 × 1764	62	160

4.4 Plynové palivové příslušenství

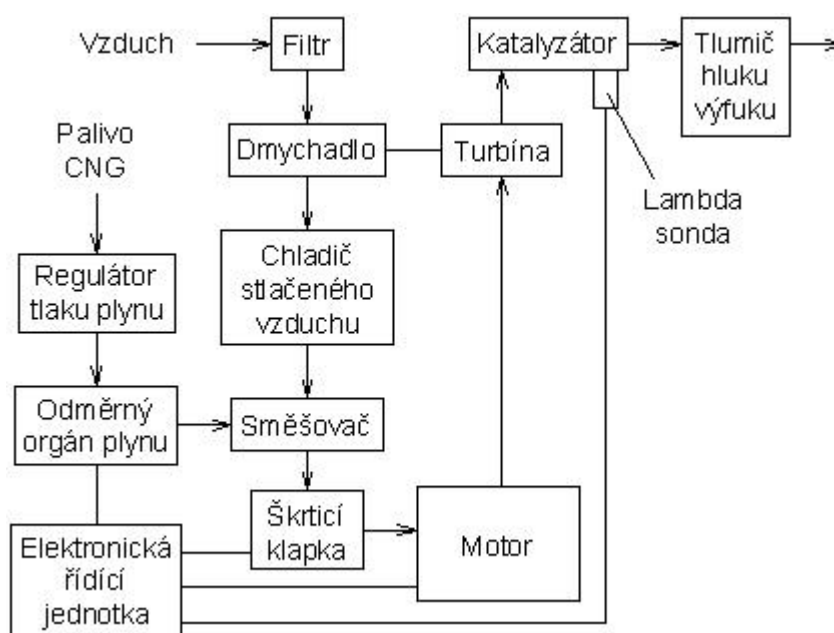
4.4.1 Příslušenství pro palivo CNG

Plynové palivové příslušenství motoru je značky Woodward /31/. Jedná se především o regulátor tlaku plynu (2 × model N-H420-NG), elektronickou řídicí jednotku a směšovač se škrticí klapkou (2 × model N-CA55-500). Schéma uspořádání plynového motoru na zemní plyn ukazuje obrázek O 4–2.

Přípojka dálkového plnění je značky WEH /32/, typ TS55

Trubky pro vedení paliva mezi nádržemi a motory jsou nerezové ocelové bezešvé ČSN 42 6750, $\varnothing 12 \times 1,5$ mm a $\varnothing 9 \times 1,5$ mm. Odvětrávací plastové potrubí má $\varnothing 26$ mm.

Minimální tlak CNG v nádrži musí být 0,6 MPa, jinak není zaručena správná funkce palivového příslušenství.



Obr. O 4–2 Schéma uspořádání přeplňovaného plynového motoru na CNG spalujícího chudou palivovou směs

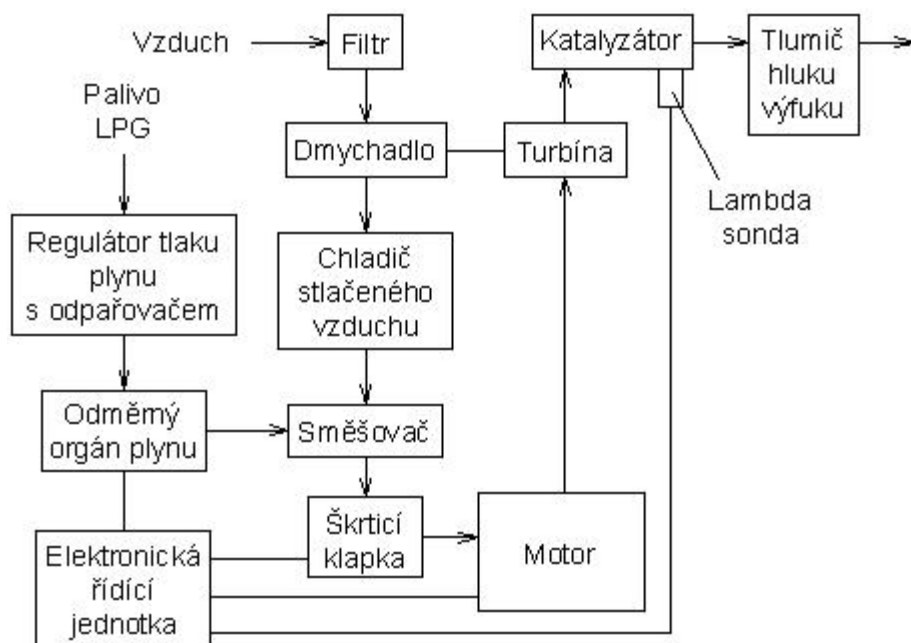
4.4.2 Příslušenství pro palivo LPG

Plynové palivové příslušenství motoru je značky Woodward /31/. Jedná se především o regulátor tlaku plynu s odpařovačem (2 × model N-EB-2), elektromagnetický ventil s filtrem paliva (9 × model N3-0342), směšovač se škrticí klapkou (2 × model N-CA55-500) a elektronickou řídicí jednotku. Schéma uspořádání plynového motoru na LPG ukazuje obrázek O 4–3.

Přípojka dálkového plnění je značky Lovtec /33/, katalogové označení 3010.

Plnicí trubky a trubky pro vedení paliva od nádrží k motorům jsou nerezové ocelové bezešvé ČSN 42 6750, $\text{Ø } 12 \times 1,5 \text{ mm}$ a $\text{Ø } 9 \times 1,5 \text{ mm}$. Odvětrávací plastové potrubí má $\text{Ø } 26 \text{ mm}$.

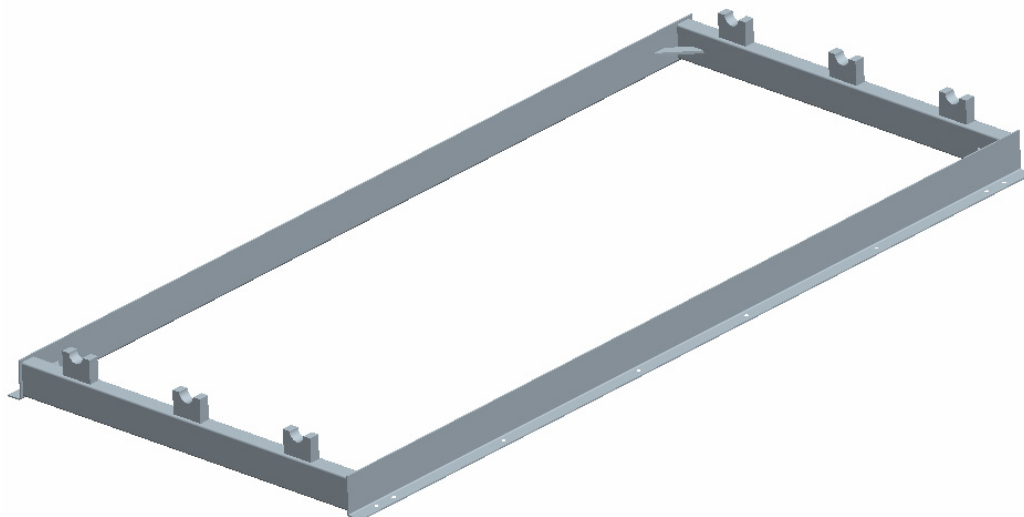
Minimální tlak LPG v nádrži musí být 0,4 MPa, jinak není zaručena správná funkce palivového příslušenství.



Obr. O 4–3 Schéma uspořádání přeplňovaného plynového motoru na LPG spalujícího chudou palivovou směs

4.5 Držák nádrží

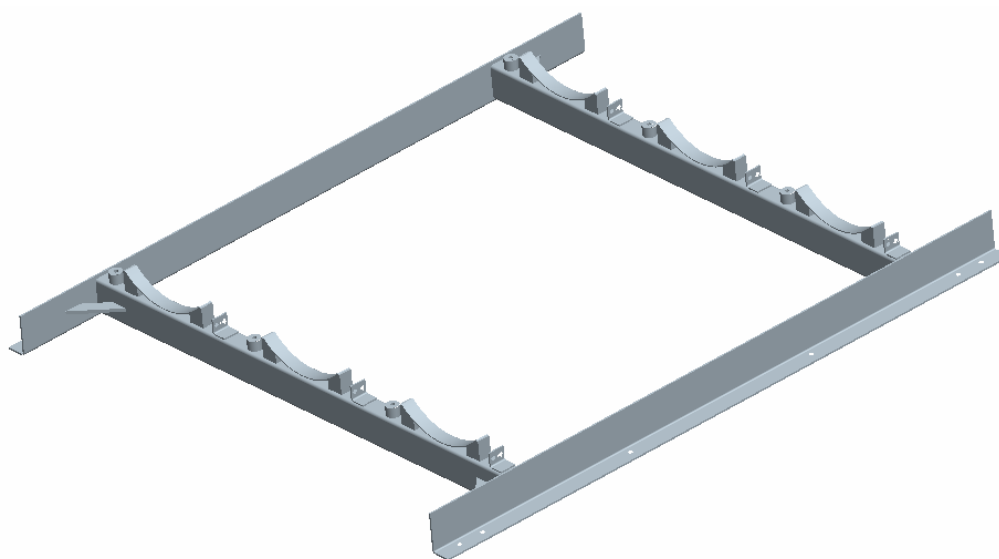
Pro variantu CNG tvoří držák nádrží dva tenkostěnné obdélníkové profily (TR OBD 120×60×4), které jsou umístěny v příčném směru. V podélném směru jsou k nim přivařeny dva ohnuté plechy ve tvaru „L“ tloušťky 5 mm. V každém rohu je umístěn ještě vyztužující úhelník a vzniklý uzavřený prostor může sloužit pro protažení lana a následnou manipulaci s držákem během montáže nebo případných oprav. Na obou obdélníkových profilech jsou přivařeny spodní části úchytů nádrží. Ke střeše je držák přišroubován šestnácti šrouby M12 rozmístěnými rovnoměrně na obou podélných plechách.



Obr. O 4-4 Držák CNG nádrží

Pro variantu LPG je držák podobný jako u varianty CNG. Tvoří jej dva tenkostěnné obdélníkové profily (TR OBD 100×60×4), které jsou umístěny v příčném směru. V podélném směru jsou k nim přivařeny dva ohnuté plechy ve tvaru „L“ tloušťky 5 mm. V každém rohu je umístěn ještě vyztužující úhelník a vzniklý uzavřený prostor může sloužit pro protažení lana a následnou manipulaci s držákem během montáže nebo případných oprav. Na obdélníkových profilech jsou přivařeny utahovací matice a úhelníky pro přichycení pásků upevňujících nádrže na lůžka nádrží. Ke střeše je držák přišroubován dvanácti šrouby M12 rozmístěnými rovnoměrně na obou podélných plechách.

Zvolené konstrukce držáků musí bezpečně odolat hodnotám zrychlení uvedených v kapitolách 5.0 (pro variantu CNG) a 6.0 (pro variantu LPG).



Obr. O 4-5 Držák LPG nádrží

4.6 Střecha motorového vozu

Nosná část střechy vozu je tvořena z ohnutých plechů tloušťky 3 mm (označují se jako „kružiny“), které mají profil do tvaru „Z“ nebo „U“ a jsou po délce ohnuty do oblouku, čímž vytváří základní obrys střechy vozu. Tyto kružiny jsou umístěny v nepravidelných rozestupech po celé délce vozu a jsou přivařeny k bočnicím. Na kružiny je z vnější strany položen krycí plech tloušťky 1 mm s trapézovým profilem a na stykových plochách jsou spojeny koutovými svary. Z vnitřní strany střechy jsou kružiny vyztuženy v podélném a příčném směru ohnutými plechy profilu „L“ a na stykových plochách jsou opět provedeny koutové svary. V oblastech dveří je vyztužení zvětšeno dalšími profily.

Nosná konstrukce střechy zůstane beze změn zachována. Do vnějšího krycího plechu přijdou v určitých místech zhotovit díry pro válečky Ø 50 mm se závitovou dírou. Tyto válečky jsou po délce na jedné straně seříznuty, vzniklou plochou se přiloží ke kružině a svaří se s ní koutovými svary. K těmto válečkům bude přišroubován držák nádrží. Na několika místech pak přijdou do krycího plechu vyvrtat otvory, kterými budou procházet vysokotlaké a odvětrávací trubky. Protože jsou nádrže umístěny na střeše v podélném směru a jejich hmotnost je tak rozložena na větší plochu, nepředpokládám žádné další vyztužení střechy. Zda-li toto vyztužení bude nutné se musí ověřit pevnostními výpočty střechy a skříně vozu.

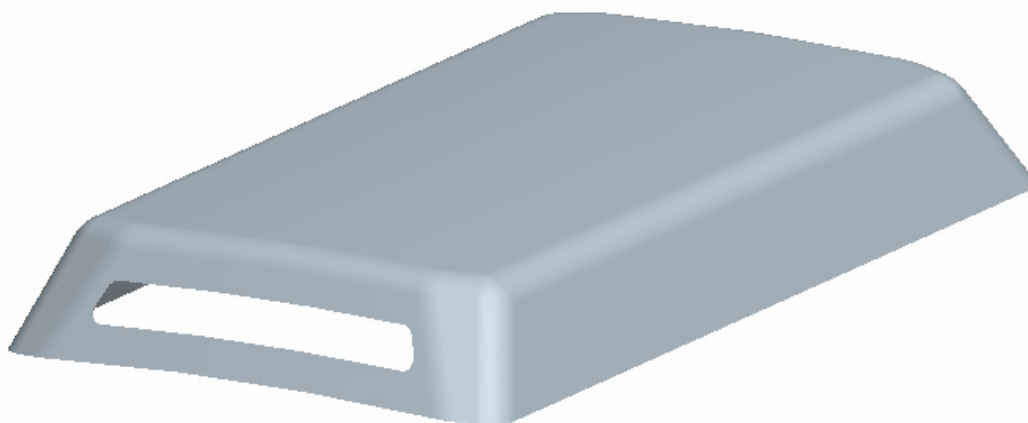
4.7 Zastřešení tlakových nádrží

Kryt nádrží musí zajišťovat dostatečnou ochranu nádrží a příslušenství proti povětrnostním podmínkám a vnikání vody. Zároveň musí umožňovat nutné odvětrání. Vzhledem k pravidelným kontrolám tlakových nádrží, jejich plynového příslušenství a příchycení držáku ke střeše by měl jít kryt snadno a rychle montovat i demontovat.

Zastřešení nemůže být provedeno jedním krytem pro všechny skupiny nádrží vzhledem k vývodům ve střeše. Pro variantu CNG i LPG budou použity 3 kryty – na každou skupinu nádrží jeden samostatný kryt ze sklolaminátu od firmy JAG - Ing. Galovský Juraj /34/.

Trapézový profil plechu střechy je vyrovnán vpředu a vzadu pásem pryže, která má na jedné straně výstupky do profilu střechy a druhá strana je rovná. Pryžový pás je ke střeše přilepen a zabraňuje vnikání vody tekoucí po střeše k nádržím. Kryt je připevněn na bočních stranách pomocí šroubů k držáku nádrží. Pro variantu CNG je na každé straně použito 6 šroubů, pro variantu LPG jsou na každé straně 4 šrouby.

Na přední a zadní straně krytu je otvor pro větrání, ve kterém je umístěna mřížka proti vnikání hrubých nečistot.



Obr. O 4–6 Tvar krytu nádrží

4.8 Vytápění a větrání motorového vozu

K vytápění a větrání vozu se používá centrální vytápěcí a větrací agregát V35.00, ve kterém jsou umístěny filtry vzduchu. Větrání vozu je nucené přetlakové bez ohřevu vzduchu a kanálového rozvodu vzduchu vytápění. Odpadní vzduch je odsáván střešními větrači, případně lze také větrat vyklápěcími okny. Sání vzduchu je provedeno mřížkou na bočnici, při nižších teplotách kombinováno se sáním recirkulačního vzduchu.

Vytápění je teplovzdušné nízkotlaké a zdrojem tepla je odpadní teplo z vodního okruhu motorů. Při nižších venkovních teplotách se používá také nezávislý naftový teplovodní agregát FAGA, který rovněž slouží k přehřívání vodního okruhu motorů. Pro tento agregát, který je umístěn pod vozem, bude v místě původní naftové nádrže umístěna menší nádrž o objemu 70 litrů nafty.

Vytápění a větrání stanovišť strojvedoucího je provedeno samostatnými agregáty, které jsou napojeny na vodní okruh motorů. K dispozici jsou zde také klimatizační jednotky.

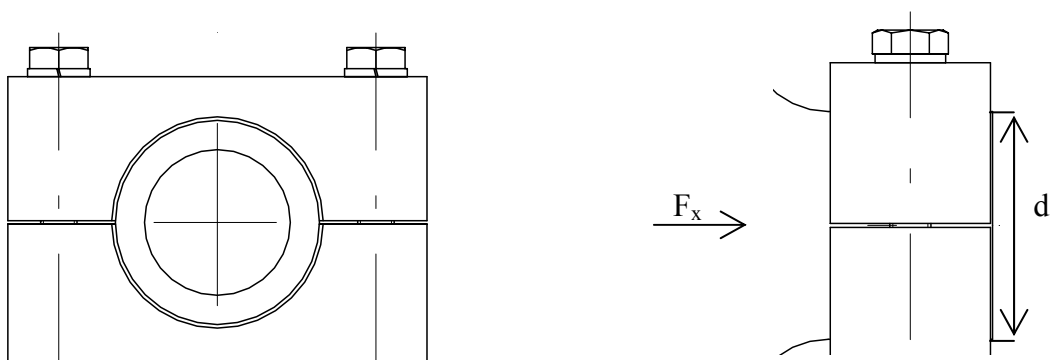
5.0 Pevnostní výpočty pro variantu CNG

Z důvodu bezpečnosti je uchycení CNG nádrží na železničním motorovém voze řady 842 kontrolováno v podélném směru na hodnotu zrychlení 3g, v příčném a svislém směru na hodnotu zrychlení 2g. Uvažuje se samostatně působící síla v daném směru /11/.

Výpočty jsou uvedeny ve zkráceném tvaru, kompletní verze je na příloženém CD.

5.1 Výpočet uchycení nádrží

5.1.1 Svěrný spoj horního a dolního úchyty s nádrží



Obr. O 5-1

$$\begin{array}{llll}
 f_z := 0.15 & m_n := 101 \text{ kg} & m_{\text{pal}} := 41.5 \text{ kg} & d := 56 \text{ mm} \\
 i_s := 4 & f := 0.4 & R_e := 400 \text{ MPa (materiál 5S)} & k := 3 \\
 l_s := 38 \text{ mm (volím s ohledem na tvar nádrže)} & & &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 F_x := (m_{\text{pal}} + m_n) \cdot 3g & F_x = 4194 \text{ N} \\
 p_o := \frac{F_x \cdot k}{2 \cdot \pi \cdot d \cdot l_s \cdot f} & p_o = 2.35 \text{ MPa} \\
 F_s := \frac{2 \cdot p_o \cdot d \cdot l_s}{i_s} & F_s = 2503 \text{ N} \\
 \sigma_{\text{Dt}} := \frac{R_e}{k} & \sigma_{\text{Dt}} = 133.3 \text{ MPa} \\
 S_{j\text{min}} := \frac{F_s}{\sigma_{\text{Dt}}} & S_{j\text{min}} = 18.77 \text{ mm}^2
 \end{array}$$

Volím šroub M10*60 ČSN EN 24014, parametry: $d_2 := 9.026 \text{ mm}$, $d_3 := 8.160 \text{ mm}$,
 $P := 1.5 \text{ mm}$

$$S_j := \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad S_j = 57.99 \text{ mm}^2$$

$$\gamma := \operatorname{atan}\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right) \quad \gamma = 0.053 \text{ rad}$$

$$\phi_s := \operatorname{atan}(1.15f_z) \quad \phi_s = 0.171 \text{ rad}$$

$$M_u := \frac{3}{4} \cdot d_2 \cdot F_s \cdot \tan(\gamma + \phi_s) \quad M_u = 3854 \text{ Nmm}$$

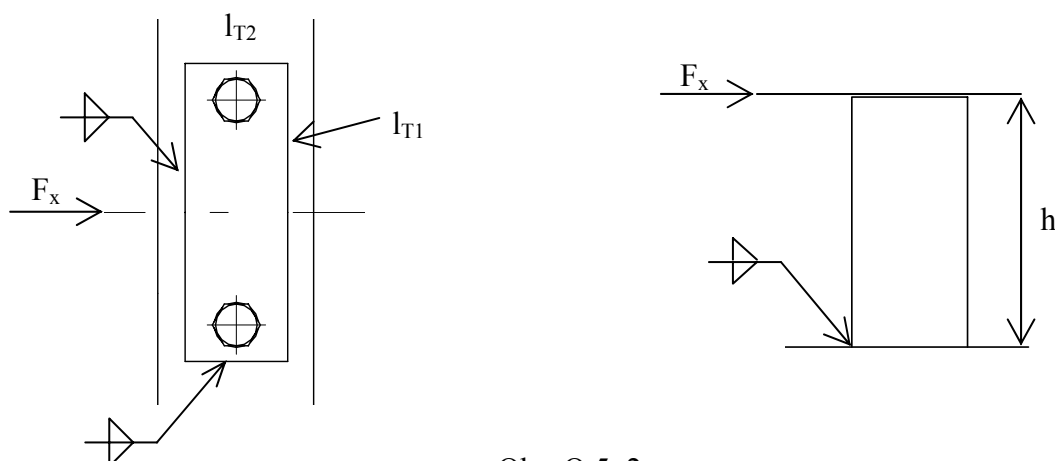
kontrola na ustřížení:

$$\sigma_{Ds} := 0.7 \cdot \sigma_{Dt} \quad \sigma_{Ds} = 93.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s := \frac{F_x}{i_s \cdot S_j} \quad \sigma_s = 18.08 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

5.1.2 Svarový spoj dolního úchytu a příčného nosníku držáku

- podélně působící síla F_x :



Obr. O 5-2

$$h := 84 \text{ mm} \quad a := 4 \text{ mm} \quad l_{T1} := 114 \text{ mm} \quad l_{T2} := 38 \text{ mm} \quad k := 2$$

$$R_e := 190 \text{ MPa} \quad \alpha_{\tau K} := 0.8 \quad F_x := 4194 \text{ N} \quad \alpha_{\tau R} := 0.7$$

$$M_o := F_x \cdot h \quad M_o = 352296 \text{ Nmm}$$

$$l_{s1} := l_{T1} - 2 \cdot a \quad l_{s1} = 106 \text{ mm}$$

$$l_{s2} := l_{T2} - 2 \cdot a \quad l_{s2} = 30 \text{ mm}$$

$$J_y := 4 \cdot \left[\left(\frac{1}{12} \cdot a^3 \cdot l_{s1} \right) + a \cdot l_{s1} \cdot \left(\frac{a}{2} + \frac{l_{T2}}{2} \right)^2 \right] + 4 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot a \cdot l_{s2}^3 \right) \quad J_y = 786197 \text{ mm}^4$$

$$W_{oy} := \frac{J_y}{\frac{l_{T2}}{2} + a} \quad W_{oy} = 34182 \text{ mm}^3$$

$$\beta := 1.3 - 0.03 \cdot (a \cdot \sqrt{2})$$

$$\beta = 1.13$$

$$\sigma_{Dsv} := \beta \cdot \frac{R_e}{k}$$

$$\sigma_{Dsv} = 107.38 \text{ MPa}$$

1. srovnávací napětí

$$\tau_{K1} := \sqrt{\left(\frac{M_o}{W_{oy}}\right)^2 + \left[\frac{F_x}{(4 \cdot a \cdot l_{s1}) + (4 \cdot a \cdot l_{s2})}\right]^2}$$

$$\tau_{K1} = 10.49 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sv1} := \frac{\tau_{K1}}{\alpha_{\tau K}}$$

$$\sigma_{sv1} = 13.11 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

2. srovnávací napětí:

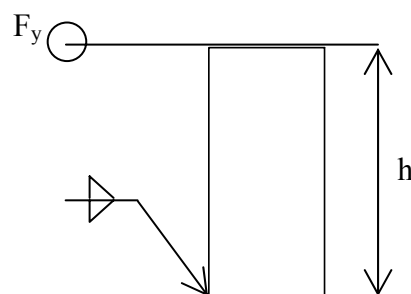
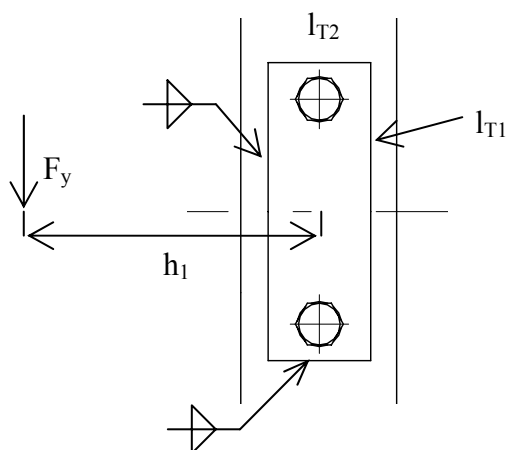
$$\tau_{R2} := \frac{F_x}{(4 \cdot a \cdot l_{s1}) + (4 \cdot a \cdot l_{s2})}$$

$$\tau_{R2} = 1.93 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sv2} := \frac{\tau_{R2}}{\alpha_{\tau R}}$$

$$\sigma_{sv2} = 2.75 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- příčně působící síla F_y :



Obr. O 5-3

$$h_1 := 1544 \text{ mm}$$

$$W_{ox} = 53435 \text{ mm}^3$$

$$W_{kx} = 106870 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{Dsv} = 107.38 \text{ MPa}$$

$$l_{s1} = 106 \text{ mm}$$

$$l_{s2} = 30 \text{ mm}$$

$$F_y := (m_{pal} + m_n) \cdot 2g$$

$$F_y = 2796 \text{ N}$$

$$M_o := F_y \cdot h$$

$$M_o = 234851 \text{ Nmm}$$

$$M_k := F_y \cdot h_1$$

$$M_k = 4316792 \text{ Nmm}$$

1. srovnávací napětí

$$\tau_{K1} := \sqrt{\left(\frac{M_o}{W_{ox}}\right)^2 + \left[\frac{F_y}{(4 \cdot a \cdot l_{s1}) + (4 \cdot a \cdot l_{s2})}\right]^2} \quad \tau_{K1} = 4.58 \text{ MPa}$$

$$\tau_{R1} := \frac{M_k}{W_{kx}} \quad \tau_{R1} = 40.39 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sv1} := \sqrt{\left(\frac{\tau_{K1}}{\alpha_{\tau K}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{R1}}{\alpha_{\tau R}}\right)^2} \quad \sigma_{sv1} = 57.99 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

2. srovnávací napětí:

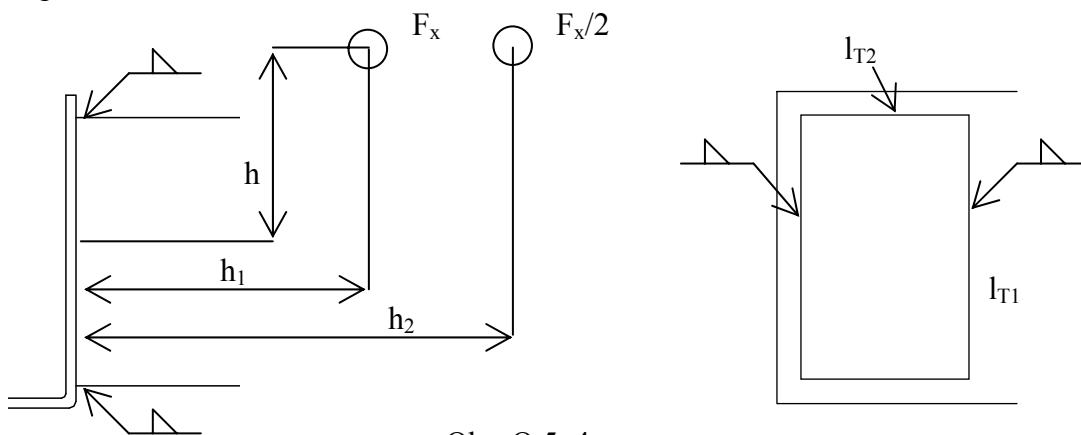
$$\tau_{R2} := \frac{F_y}{(4 \cdot a \cdot l_{s1}) + (4 \cdot a \cdot l_{s2})} + \frac{M_k}{W_{kx}} \quad \tau_{R2} = 41.68 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sv2} := \frac{\tau_{R2}}{\alpha_{\tau R}} \quad \sigma_{sv2} = 59.54 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

5.2 Výpočet držáku nádrží

5.2.1 Svarový spoj příčného nosníku a podélného plechu

- podélně působící síla F_x :



Obr. O 5-4

$$h := 144 \text{ mm} \quad h_2 := 686 \text{ mm} \quad h_1 := 222 \text{ mm} \quad F_x := 4194 \text{ N}$$

$$k := 2 \quad a := 4 \text{ mm} \quad l_{T1} := 120 \text{ mm} \quad l_{T2} := 60 \text{ mm}$$

$$W_{oz} = 59555 \text{ mm}^3 \quad W_{kz} = 119110 \text{ mm}^3 \quad \sigma_{Dsv} = 141.29 \text{ MPa}$$

$$M_o := F_x \cdot h_1 + \frac{F_x}{2} \cdot h_2 \quad M_o = 2369610 \text{ Nmm}$$

$$M_k := 1.5 \cdot F_x \cdot h$$

$$M_k = 905904 \text{ Nmm}$$

$$l_{s1} := l_{T1} - 2 \cdot a$$

$$l_{s1} = 112 \text{ mm}$$

$$l_{s2} := l_{T2} - 2 \cdot a$$

$$l_{s2} = 52 \text{ mm}$$

1. srovnávací napětí

$$\tau_{K1} := \sqrt{\left(\frac{M_o}{W_{oz}}\right)^2 + \left[\frac{F_x}{(4 \cdot a \cdot l_{s1}) + (4 \cdot a \cdot l_{s2})}\right]^2} \quad \tau_{K1} = 39.82 \text{ MPa}$$

$$\tau_{R1} := \frac{M_k}{W_{kz}} \quad \tau_{R1} = 7.61 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sv1} := \sqrt{\left(\frac{\tau_{K1}}{\alpha_{\tau K}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{R1}}{\alpha_{\tau R}}\right)^2} \quad \sigma_{sv1} = 50.95 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

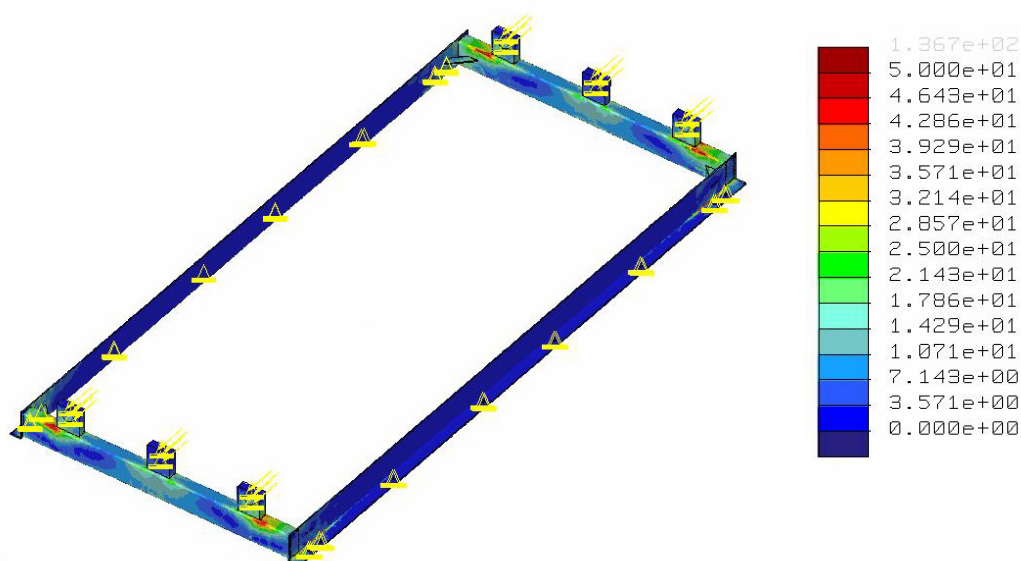
2. srovnávací napětí:

$$\tau_{R2} := \frac{F_x}{(4 \cdot a \cdot l_{s1}) + (4 \cdot a \cdot l_{s2})} + \frac{M_k}{W_{kz}} \quad \tau_{R2} = 9.2 \text{ MPa}$$

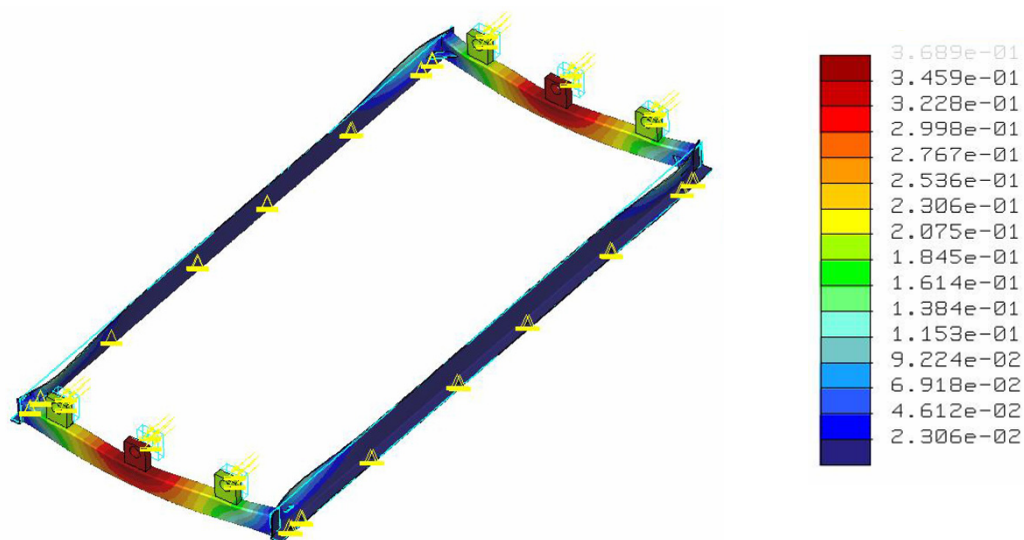
$$\sigma_{sv2} := \frac{\tau_{R2}}{\alpha_{\tau R}} \quad \sigma_{sv2} = 13.15 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

5.2.2 Analýza napětí a posunutí rámu

- zatížení silou F_x :

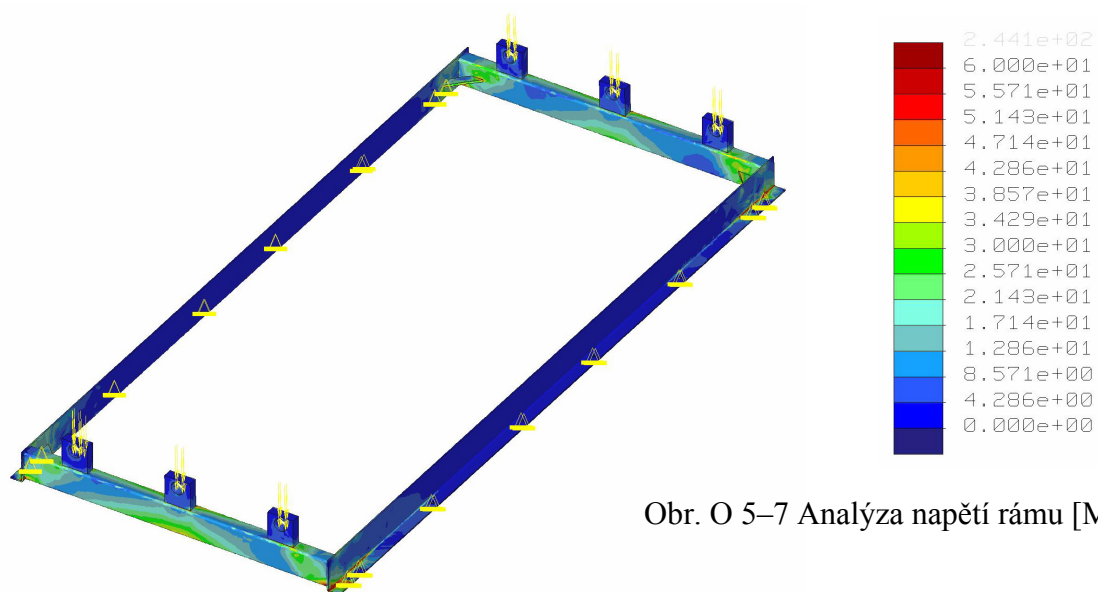


Obr. O 5–5 Analýza napětí rámu [MPa]

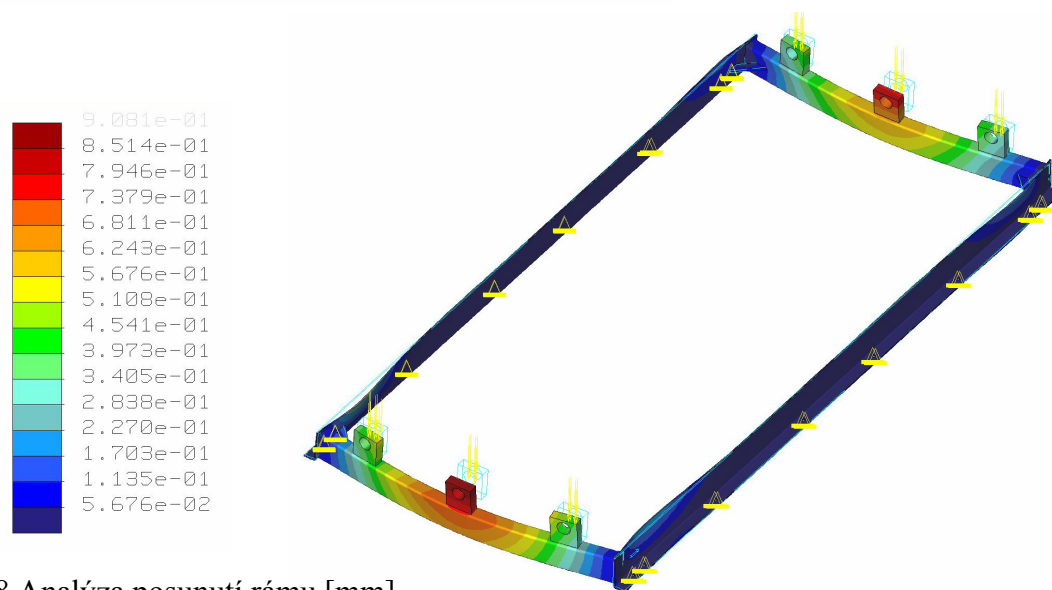


Obr. O 5-6 Analýza posunutí rámu [mm]

- zatížení silou F (výslednice sil F_x , F_y , F_z):



Obr. O 5-7 Analýza napětí rámu [MPa]



Obr. O 5-8 Analýza posunutí rámu [mm]

6.0 Pevnostní výpočty pro variantu LPG

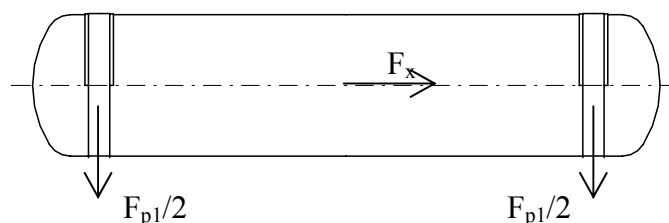
Z důvodu bezpečnosti je uchycení LPG nádrží na železničním motorovém voze řady 842 kontrolováno v podélném směru na hodnotu zrychlení 3g, v příčném a svislém směru na hodnotu zrychlení 2g. Uvažuje se samostatně působící síla v daném směru /11/.

Výpočty jsou uvedeny ve zkráceném tvaru, kompletní verze je na příloženém CD.

6.1 Výpočet uchycení nádrží

6.1.1 Výpočet upevnění nádrže k držáku pomocí pásků

- podélně působící síla F_x :



Obr. O 6-1

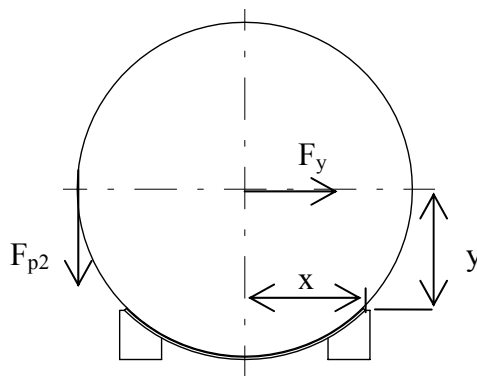
$$m_n := 62 \text{ kg} \quad m_{pal} := 88 \text{ kg} \quad k := 2 \quad f := 0.49 \quad R_e := 330 \text{ MPa}$$

$$i_p := 2 \quad d_n := 0.4 \text{ m} \quad x := 143.5 \text{ mm} \quad y := 145 \text{ mm}$$

$$F_x := (m_{pal} + m_n) \cdot 3g \quad F_x = 4415 \text{ N}$$

$$F_{p1} := \frac{k \cdot F_x \cdot \frac{d_n}{2}}{i_p \cdot f \cdot d_n} \quad F_{p1} = 4505 \text{ N}$$

- příčně působící síla F_y :



Obr. O 6-2

$$F_y := (m_{pal} + m_n) \cdot 2g \quad F_y = 2943 \quad \text{N}$$

$$F_{p2} := \frac{k \cdot F_y \cdot y}{i_p \cdot \left(\frac{d_n}{2} + x \right)} \quad F_{p2} = 2970 \quad \text{N}$$

Protože je $F_{p1} > F_{p2}$, počítám dále se silou v pásku F_{p1} , volím rozměry pásku

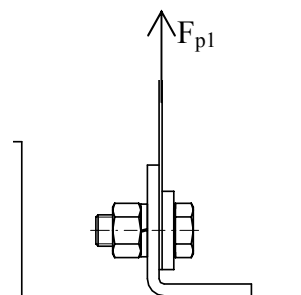
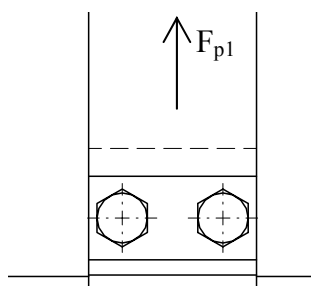
$b := 60 \text{ mm}$ a $t := 1.5 \text{ mm}$.

$$p_o := \frac{F_{p1} \cdot i_p}{b \cdot d_n \cdot 10^3} \cdot \frac{2 \cdot d_n}{d_n} \quad p_o = 0.75 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_{Dt} := \frac{R_e}{k} \quad \sigma_{Dt} = 165 \quad \text{MPa}$$

$$\sigma_t := \frac{F_{p1}}{t \cdot (b - 25)} \quad \sigma_t = 85.8 \quad \text{MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- šrouby v utahovacím úhelníku:



Obr. O 6–3

$$R_e := 640 \text{ MPa (materiál 8G)} \quad f_z = 0.15 \quad F_{p1} = 4505 \text{ N} \quad i_s := 2$$

$$F_s := \frac{F_{p1}}{i_s \cdot f_z} \quad F_s = 15015 \text{ N}$$

$$\sigma_{Dt} := \frac{R_e}{k} \quad \sigma_{Dt} = 320 \text{ MPa}$$

$$S_{jmin} := \frac{F_s}{\sigma_{Dt}} \quad S_{jmin} = 46.92 \text{ mm}^2$$

Volím dva šrouby M12*25 ČSN EN 24014, parametry: $P := 1.5 \text{ mm}$, $d_2 := 11.026 \text{ mm}$, $d_3 := 10.160 \text{ mm}$

$$S_j := \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad S_j = 88.13 \text{ mm}^2$$

$$\gamma := \operatorname{atan}\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right) \quad \gamma = 0.043 \text{ rad}$$

$$\phi_s := \operatorname{atan}(1.15f_z) \quad \phi_s = 0.171 \text{ rad}$$

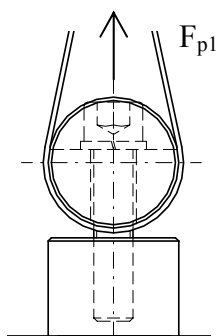
$$M_u := \frac{3}{4} \cdot d_2 \cdot F_s \cdot \tan(\gamma + \phi_s) \quad M_u = 26998 \text{ Nmm}$$

kontrola na ustřížení:

$$\sigma_{Ds} := 0.7 \cdot \sigma_{Dt} \quad \sigma_{Ds} = 224 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s := \frac{F_s}{S_j} \quad \sigma_s = 170.4 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

- šroub v utahovací matici:



Obr. O 6-4

$$R_e := 640 \text{ MPa (materiál 8G)} \quad f_z = 0.15 \quad F_{p1} = 4505 \text{ N} \quad k := 2$$

$$\sigma_{Dt} := \frac{R_e}{k} \quad \sigma_{Dt} = 320 \text{ MPa}$$

$$S_{jmin} := \frac{F_{p1}}{\sigma_{Dt}} \quad S_{jmin} = 14.08 \text{ mm}^2$$

Volím šroub M12*45 ČSN 02 1143, parametry: $d_2 := 11.026 \text{ mm}$, $d_3 := 10.160 \text{ mm}$,
 $P := 1.5 \text{ mm}$

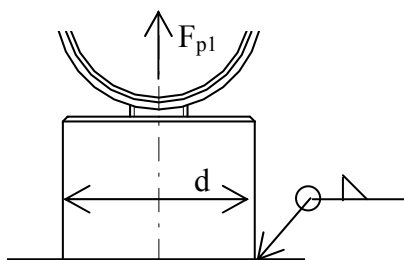
$$S_j := \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2 \quad S_j = 88.13 \text{ mm}^2$$

$$\gamma := \operatorname{atan}\left(\frac{P}{\pi \cdot d_2}\right) \quad \gamma = 0.043 \text{ rad}$$

$$\phi_s := \operatorname{atan}(1.15f_z) \quad \phi_s = 0.171 \text{ rad}$$

$$M_u := \frac{3}{4} \cdot d_2 \cdot F_{p1} \cdot \tan(\gamma + \phi_s) \quad M_u = 8099 \text{ Nmm}$$

6.1.2 Svarový spoj utahovací matice a příčného nosníku



Obr. O 6-5

$$R_e := 190 \text{ MPa} \quad k := 2 \quad d := 40 \text{ mm} \quad F_{p1} = 4505 \text{ N} \quad \alpha_{\tau K} := 0.8$$

$$a := 3 \text{ mm}$$

$$\beta := 1.3 - 0.03 \cdot (a \cdot \sqrt{2})$$

$$\beta = 1.173$$

$$\sigma_{Dsv} := \beta \cdot \frac{R_e}{k}$$

$$\sigma_{Dsv} = 111.41 \text{ MPa}$$

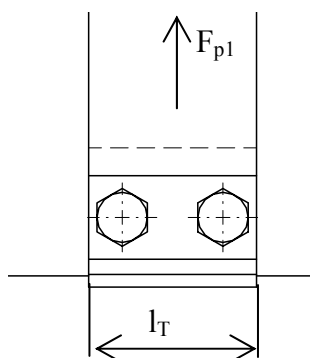
$$\tau_K := \frac{F_{p1}}{\frac{\pi}{4} \cdot [(d + 2 \cdot a)^2 - d^2]}$$

$$\tau_K = 11.12 \text{ MPa}$$

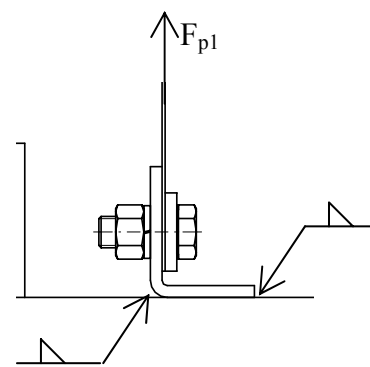
$$\sigma_{sv} := \frac{\tau_K}{\alpha_{\tau K}}$$

$$\sigma_{sv} = 13.89 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

6.1.3 Svarový spoj utahovacího úhelníku a příčného nosníku



Obr. O 6-6



$$a := 3 \text{ mm} \quad R_e := 190 \text{ MPa} \quad k := 2 \quad F_{p1} = 4505 \text{ N} \quad \alpha_{\tau K} := 0.8$$

$$\beta = 1.173 \quad l_T := 48 \text{ mm}$$

$$\sigma_{Dsv} := \beta \cdot \frac{R_e}{k}$$

$$\sigma_{Dsv} = 111.41 \text{ MPa}$$

$$\tau_K := \frac{F_{p1}}{2 \cdot (l_T - 2 \cdot a) \cdot a}$$

$$\tau_K = 17.88 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sv} := \frac{\tau_K}{\alpha_{\tau K}}$$

$$\sigma_{sv} = 22.34 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

7.0 Očekávané provozní parametry motorového vozu řady 842

7.1 Parametry motoru

V důsledku spalování palivové směsi zemního plynu nebo zkapalněných ropných plynů dochází ke změně průběhu točivého momentu a maximum se posune do nižších otáček. Výkon motoru zůstává v podstatě stejný. Celková účinnost mírně klesne, což znamená vyšší požadavky na výkon chladiče. V tabulce T 7–1 jsou uvedeny parametry použitých plynových zážehových motorů a původního naftového motoru.

Tab. T 7–1 Parametry naftového motoru Liaz ML 640F a odpovídajících zážehových motorů na CNG a LPG /2/

Parametr	Jednotka	ML 640F	ML 640F NGE	ML 640 PBE.w
Palivo	-	Nafta	CNG	LPG
Kompresní poměr	-	17,5	11,5	10,8
Palivová směs	-	-	chudá	chudá
Palivový systém	-	-	Woodward	Woodward
Katalyzátor	-	-	oxidační	oxidační
Elektrické zapalování	-	-	Delco	Magneton
Jmenovitý výkon	kW	212	220	215
Jmenovité otáčky	min ⁻¹	2000	2000	2000
CO	g.kWh ⁻¹	2,50	0,23	0,55
HC	g.kWh ⁻¹	1,25	0,94	0,26
NO _x	g.kWh ⁻¹	11,25	3,45	3,72
Částice	g.kWh ⁻¹	0,14	0,03	0,03

7.2 Dojezd motorového vozu

Při přechodu na pohon plynovými palivy dojde ke snížení dojezdu motorového vozu, jak ukazuje tabulka T 7–2. Je to způsobeno tím, že pro stejný dojezd vozu jako na naftu by zabírala plyná paliva několikrát větší objem než nafta, potřebné nádrže by pak neúměrně zvýšily hmotnost vozu a také jejich umístění by bylo problematické.

Průměrná spotřeba nafty motorového vozu řady 842 je 0,89 litrů na 100 km /12/. Plyné palivo v instalovaných nádržích dokáže pokrýt denní spotřebu paliva motorového vozu.

Tab. T 7–2 Dojezd motorového vozu řady 842 s motory na naftu, CNG a LPG

Varianta motoru	Nafta	CNG	LPG
Množství paliva	900 litrů	627 m _N ³	1440 litrů
Dojezd vozu [km]	1012	588	900
Snížení dojezdu vzhledem k původnímu naftovému motoru [%]	–	41	11

7.3 Hmotnost motorového vozu

Při přestavbě motorového vozu na pohon plynovými palivy dojde ke zvýšení hmotnosti vozu, jak ukazují tabulky T 7–3 a T 7–4. Protože celková hmotnost vozu by se neměla výrazně zvýšit vzhledem k různým nastavením a použitým součástkám, bude třeba snížit užitečnou hmotnost vozu (přepravní kapacitu vozu). O kolik přesně bude nutné snížit užitečnou hmotnost vozu se musí zjistit kontrolou, případně výpočtem jednotlivých komponent. Jedná se například o přepočítání vypružení, brzd, náprav, ... jak je blíže uvedeno v kapitole 8.1.

Naftová verze motorového vozu má maximální hmotnost přepravní zátěže 14 000 kg a hmotnost plně vstrojeného vozu, vyzbrojeného 2/3 zásob je 47 000 kg. Zvýšení hmotnosti o přibližně 1 000 kg, respektive snížení přepravní zátěže o tuto hodnotu, by proto nemělo představovat vážný problém.

Tab. T 7–3 Změna hmotnosti motorového vozu řady 842 s motorem na CNG oproti původní naftové verzi

Změna hmotnosti	[kg]
Palivo	- 250
Nádrže	+ 880
Motory	- 50
Držáky, kryty a plynové palivové příslušenství	+ 470
Celkem	+ 1 050

Tab. T 7-4 Změna hmotnosti motorového vozu řady 842 s motory na LPG oproti původní naftové verzi

Změna hmotnosti	[kg]
Palivo	+ 65
Nádrže	+ 490
Motory	- 50
Držáky, kryty a plynové palivové příslušenství	+ 450
Celkem	+ 955

7.4 Obrysově rozměry motorového vozu

Při montáži nádrží na střechu se zvětší výška motorového vozu, jak ukazuje tabulka T 7-5. Pro obrysově rozměry vozu s rozchodem kolejí 1435 mm platí norma ČSN 28 0312 (Příloha č.3) /6/, dle které byl původní vůz konstruován. Jak varianta vozu s motorem na CNG, tak varianta vozu s motorem na LPG tuto normu ČSN splňují a splňují také mezinárodní normu UIC 505-1, podle které jsou v současnosti konstruovány nové vozy pro železniční dopravu.

Tab. T 7-5 Obrysově rozměry motorového vozu řady 842 s motory na naftu, CNG a LPG

Varianta motoru	nafta	CNG	LPG
Délka [mm]	25 200	25 200	25 200
Šířka [mm]	2 850	2 850	2 850
Výška [mm]	4 055	4 215	4 320

8.0 Schvalování změny typu motorového vozu

Dle ustanovení § 43 zákona č. 266/1994 Sb. o drahách, lze na drahách provozovat drážní vozidlo, které svou konstrukcí a technickým stavem odpovídá požadavkům bezpečnosti drážní dopravy, obsluhujících osob, přepravovaných osob a věcí a jehož technická způsobilost byla prokázána shodou se schváleným typem. Hnací drážní vozidla na železnici musí mít technickou způsobilost kromě prokázané shody se schváleným typem ještě ověřenou Drážním úřadem. Na základě tohoto ověření vydá Drážní úřad průkaz způsobilosti vozidla /2, 35/.

Drážní úřad schválí typ drážního vozidla, jsou-li splněny technické podmínky stanovené mezinárodní smlouvou nebo prováděcím předpisem. Podkladem pro rozhodnutí Drážního úřadu je výsledek zkoušky vozidla, která je provedena u právnické osoby určené Ministerstvem dopravy ČR.

Změnu na drážním vozidle, jejíž podstatou je zásah do konstrukce vozidla znamenající odchylku od schváleného typu, schvaluje Drážní úřad dle podmínek stanovených prováděcím předpisem - vyhláška MD č. 173/1995 Sb., ve znění vyhlášky č. 242/1996 Sb., a vyhlášky č. 174/2000 Sb., kterou se vydává dopravní řád drah.

8.1 Podmínky a postup schvalování změny typu motorového vozu

Úpravy drážního vozidla pro převedení provozu z nafty na plynná paliva vyžadují zásah do konstrukce vozidla, jenž znamená odchylku od schváleného typu vozidla. Podmínky pro schvalování jsou určeny dle § 62 vyhlášky č. 173/1995 Sb. Jedná se především o změny:

- druhu a typu hnacího motoru nebo přenosu výkonu
- nosných částí ovlivňujících jejich pevnost a funkčnost
- zabudovaných určených technických zařízení (např. palivových nádrží, které jsou tlakovými nádobami)

Při schvalovacím procesu vychází Drážní úřad z následujících předpisů:

- vyhlášky UIC (International Union Of Railways)
- normy ČSN, TNŽ
- předpisy Českých drah

Pro vlastní schvalování je třeba předložit technickou dokumentaci změn (výpočty a výkresy). Při změně provozu drážního vozidla z nafty na plynná paliva pak zejména:

- výkresovou a výpočtovou dokumentaci vlastních plynových nádrží
- výkresovou dokumentaci úprav nosných částí v souvislosti s instalací plynových nádrží včetně pevnostních výpočtů

- schéma palivového hospodářství, atesty k použitým materiálům a armaturám
- výpočet chlazení hnacího agregátu
- výpočet trakční charakteristiky vozidla
- kontrola obrysu vozidla

Vzhledem k tomu, že po převedení z provozu na naftu na plyné palivo dojde ke zvýšení hmotnosti vozidla (viz kapitola 7.3), bude nutné také doložit:

- posouzení či kontrolní pevnostní výpočty základních nosných částí vozidla
- kontrolní pevnostní výpočty náprav
- kontrolní přepočet vypružení
- kontrolní přepočet brzdy

Dále pak budou požadovány průkazy požární odolnosti a splnění vyhlášky UIC 564-2 „Předpisy o ochraně proti požárům a hašení v osobních vozidlech“.

8.2 Zkoušky vlastností motorových vozů potřebné ke schvalování

Stanovení rozsahu zkoušek a dalších průkazů vlastností vozidla je v kompetenci příslušné právnické osoby. V případě převedení provozu motorového vozu z nafty na plyné palivo lze předpokládat následující typové zkoušky:

- statická pevnostní zkouška upravených částí (uchycení palivových nádrží)
- zkouška tlakových nádob a bezpečnostních funkcí soustavy palivového hospodářství
- nárazová zkouška (njetí zkušebním vozem o hmotnosti 80 tun na zkoušené stojící vozidlo rychlostí do 10 km/h)
- trakční zkouška
- zkouška hmotnosti na kolo (vážení motorového vozu)
- zkouška vytápění
- zkouška protipožárních opatření
- měření vnitřní a vnější hlučnosti

9.0 Odhad nákladů na přestavbu motorového vozu řady 842

Uvedené údaje je nutné uvažovat pouze za orientační, neboť cena rekonstrukce motoru či úprav na motorovém voze závisí vždy na stavu konkrétního motoru či vozu a může se značně lišit. Taktéž záleží na konkrétních nabídkách dodavatelů jednotlivých komponent, firem provádějících rekonstrukce motorových vozů a počtu vozů určených k přestavbě. Teprve na základě těchto údajů bude možné provést zpřesnění ceny.

Náklady na přestavbu motorového vozu na pohon plynovými motory byly odhadnuty na základě údajů získaných z /13, 14, 15, 29, 30, 31/ a jsou uvedeny v tabulce T 9–1. Náklady na zkoušky potřebné pro změnu typu motorového vozu zde nejsou zahrnuty.

Tab. T 9–1 Náklady na přestavbu motorového vozu řady 842 na pohon plynovými motory

Varianta motoru	CNG	LPG
Přestavba motorů [tis. Kč]	1 050	1 050
Nádrže [tis. Kč]	900	100
Držáky, uchycení a další úpravy na motorovém voze [tis. Kč]	40	50
Palivové vedení [tis. Kč]	50	80
Náklady na provedení přestavby vozu [tis. Kč]	650	650
Celkem [tis. Kč]	2 690	1 930

Z konečné ceny obou variant vyplývá levnější přestavba na pohon LPG, CNG variantu prodražují zejména kompozitové nádrže, jejichž cena je v dnešní době stále značná. Je ovšem nutné si uvědomit, že zde nejsou uvedeny související náklady – např. náklady na výstavbu alespoň jedné čerpací stanice nebo náklady na úpravu stávajících uzavřených provozních prostor pro stání, údržbu a opravy motorových vozů. Při přestavbě na palivo CNG je zde také možnost získání dotace z fondů Evropské unie.

Návratnost vložených investic a ekonomii provozu ovlivní hlavně ceny jednotlivých paliv. Motorová nafta, CNG a LPG jsou jako paliva zatíženy daní z přidané hodnoty (19 %) a spotřební daní (motorová nafta 9,95 Kč/l, CNG 3 355 Kč/tunu a LPG 3 933 Kč/tunu).

10.0 Závěr

Přestavba motorového vozu řady 842 na pohon plynými palivy (CNG nebo LPG) je technicky zvládnutelná.

Při přestavbě na palivo CNG dochází ke zvýšení hmotnosti vozu o 1 050 kg (přibližně 2,2 % z celkové hmotnosti vozu). Dojezd vozu bude 588 km (snížení o 41 % oproti původní naftové verzi). Dále dojde k výraznému snížení výfukových emisí motorů (CO, HC, NO_x, pevné částice, PAU, karcinogenní látky, ...) a také ke snížení hluku motorů. Náklady na samotnou přestavbu jsou přibližně 2 690 000 Kč, bez započtených nákladů na zkoušky potřebné pro změnu typu motorového vozu.

Při přestavbě na palivo LPG dochází ke zvýšení hmotnosti vozu o 955 kg (přibližně 2 % z celkové hmotnosti vozu). Dojezd vozu bude 900 km (snížení o 11 % oproti původní naftové verzi). Dále dojde k výraznému snížení výfukových emisí motorů (CO, HC, NO_x, pevné částice, PAU, karcinogenní látky, ...) a také ke snížení hluku motorů. Náklady na samotnou přestavbu jsou přibližně 1 930 000 Kč, bez započtených nákladů na zkoušky potřebné pro změnu typu motorového vozu.

Vedle plynifikace motorových vozů je nutné postavit plnicí stanici na příslušné plyné palivo a provést úpravy (provozní a havarijní větrání) všech uzavřených prostor sloužících k údržbě, opravám nebo stání motorových vozů.

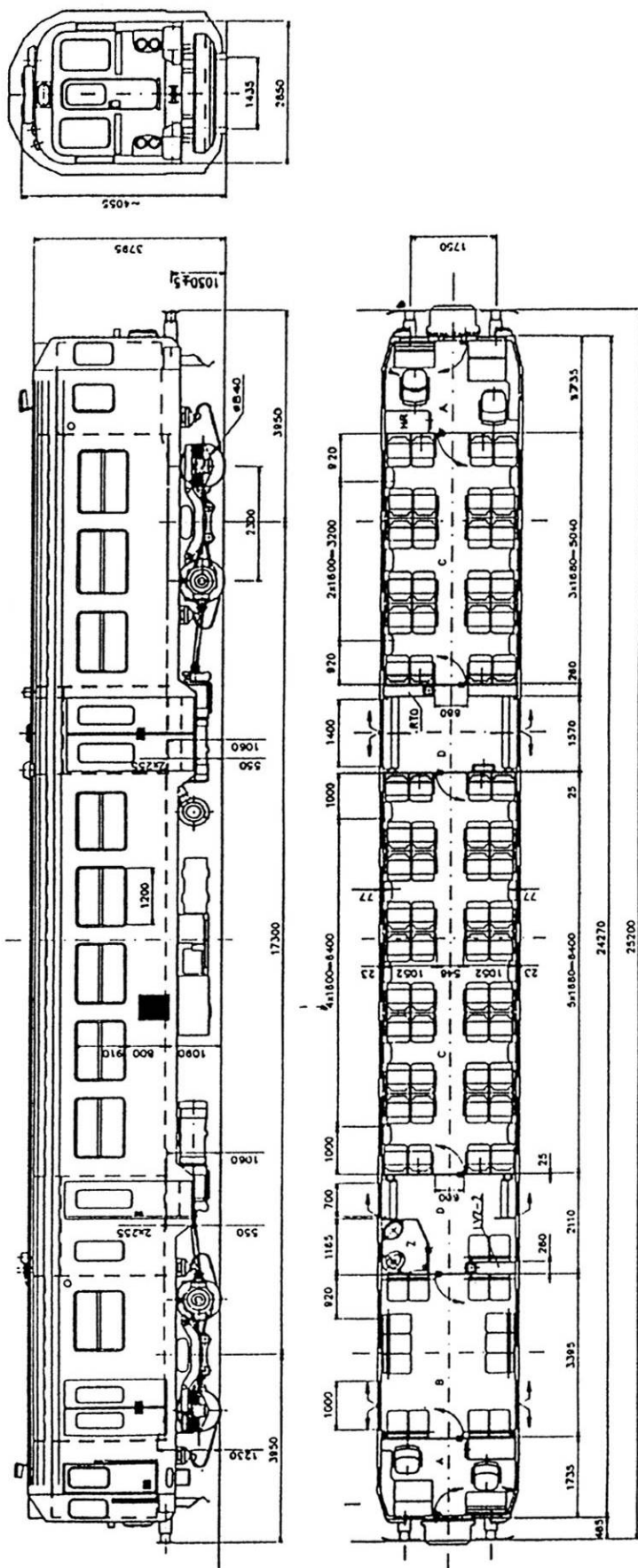
Přestavbu motorového vozu na plyná paliva je vhodné spojit s jeho celkovou rekonstrukcí a modernizací, která bude vzhledem k datu uvedení do provozu (od roku 1992) a současnému stavu vozů nutná v nejbližších letech. Vstupní investice budou sice vyšší, ale získáme moderní motorový vůz s nízkými provozními náklady, který bude schopný konkurence na vnitrostátních tratích otevřených v rámci trhu dalším společenstvem působících v železniční dopravě.

Seznam použité literatury, informační zdroje a www stránky

- /1/ Poláček, P.: Autobus s motorem na LNG. (Diplomová práce) KDMS – 398. Technická univerzita v Liberci, Liberec 2001
- /2/ Laurin, J.: Využití alternativních paliv pro drážní hnací vozidla. (Studie) SM 437/2002. Technická univerzita v Liberci, Liberec 2002
- /3/ ČSN EN 589
- /4/ Šritr, M. – Chlup, P.: Motorový vůz řady 842 (Výběr z technického a funkčního popisu). DKV Liberec, Liberec 1997
- /5/ Beroun, S.: Technický popis a návod k obsluze autobusu KAROSA B 931 s plynovým motorem ML 636 PBEM a autobusu Karosa B 741.1922 s plynovým motorem ML 636 PBE.w (Přepřacovaná a doplněná verze původního materiálu, vydaného a.s. Krušnohorské strojírný Komořany v prosinci 1997). SM 349/98. Technická univerzita v Liberci, Liberec 1998
- /6/ ČSN 28 0312
- /11/ ČKD VAGONKA, a.s., Ostrava
- /12/ České dráhy, a.s., DKV Liberec
- /13/ Pars nova, a.s., Šumperk
- /14/ Tedom, s.r.o. – Divize motory, Jablonec nad Nisou
- /15/ Karsit, s.r.o. – závod Příbram

- /21/ www.cng.cz
- /22/ www.aegpl.com
- /23/ www.iangv.org
- /24/ www.geranova.de
- /25/ www.gibgas.de
- /26/ www.ubb-online.com
- /27/ www.ngvglobal.com
- /28/ www.21stoleti.cz
- /29/ www.dynetek.de
- /30/ www.wvm.nl
- /31/ www.woodward.com
- /32/ www.weh.com
- /33/ www.lovtec.com
- /34/ www.jag.sk
- /35/ www.du-praha.cz

Příloha č.1



Motorový vůz řady 842

Příloha č.2

1. Vytápěcí a větrací agregát V35.00
2. Vodní okruh plynových motorů
3. Naftový teplovodní agregát FAGA
4. Agregát vytápění a větrání stanoviště strojvedoucího
5. Ohřivač vody na WC
6. Rozvod vzduchu
7. Odsávání odpadního vzduchu
8. Sací mřížka
9. Recirkulační mřížka
10. Klimatizační jednotka stanoviště strojvedoucího
11. Střešní větrač

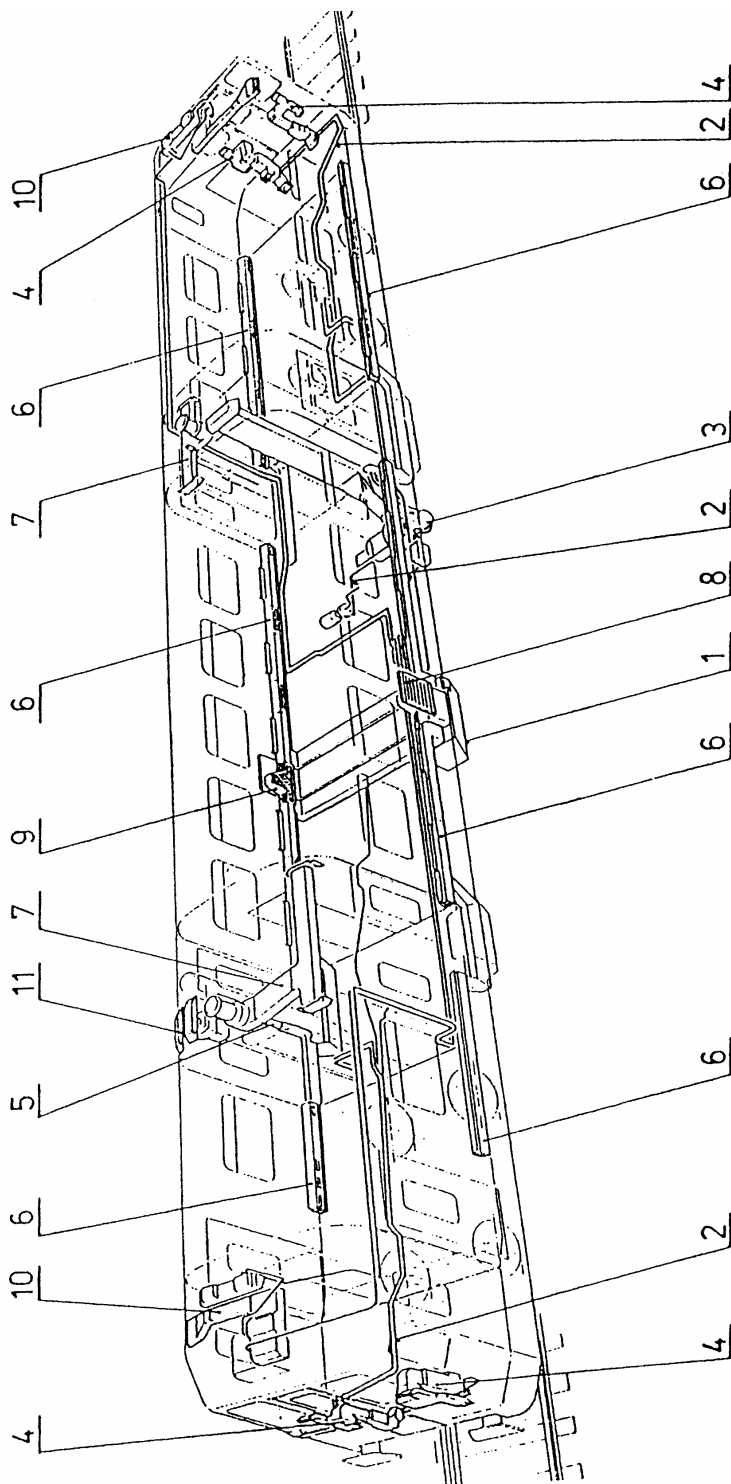
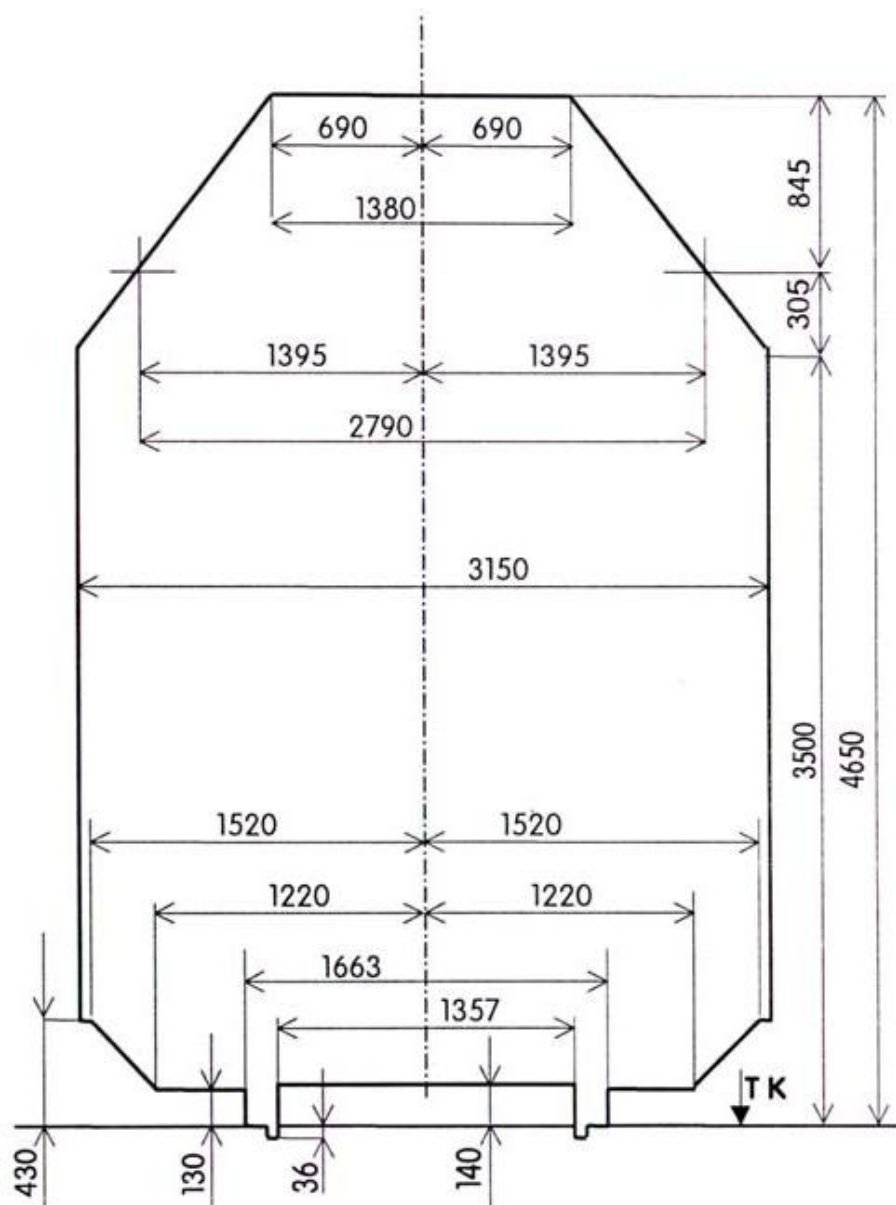


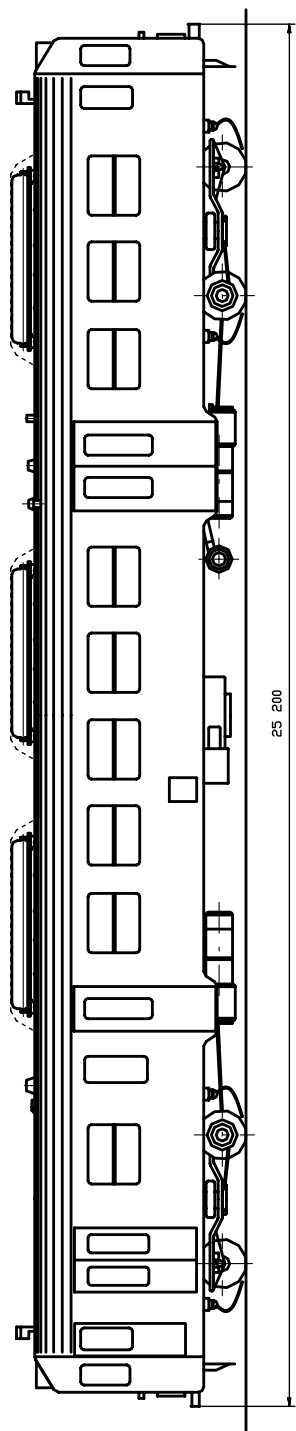
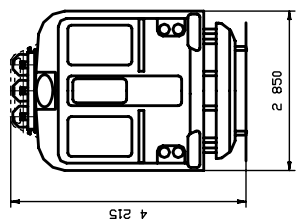
Schéma vytápění a větrání

Příloha č.3

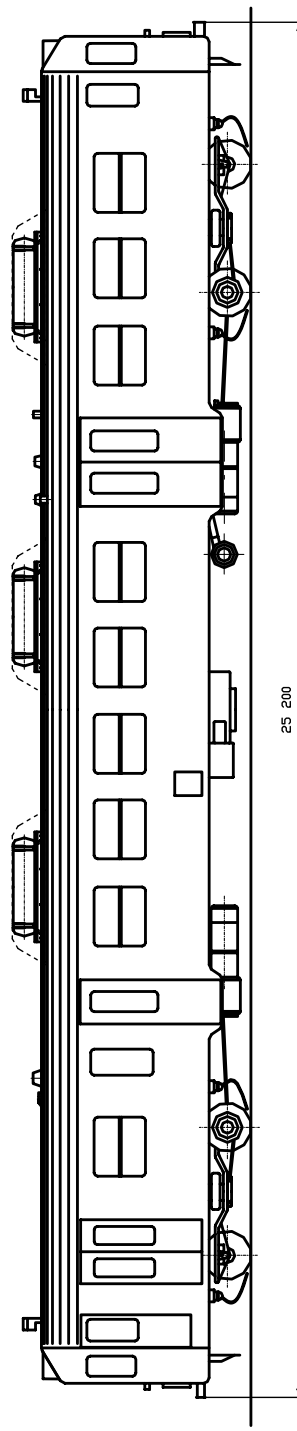
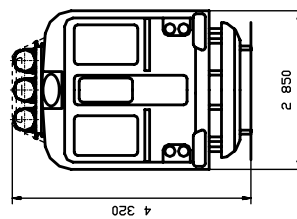


Obrys vozu pro rozchod kolejí 1435 mm podle ČSN 28 0312

Příloha č.4



Motorový vůz řady 842 s nádržemi na CNG



Motorový vůz řady 842 s nádržemi na LPG