

Ladislav Novák<sup>1</sup>**45 let od zrodu lokomotiv řady 742**

**Klíčová slova** lokomotivy ČKD, pevnostní výpočty, hlavní rámy, automatická spřáhla

**Keywords** locomotives ČKD, strength computation, locomotive frames, automatic coupler

**Anotace**

Vzpomínky na 70. léta minulého století. Konstrukci hlavních rámu lokomotiv ovlivňuje příprava na automatické spřáhlo a zavádění výpočtů metodou konečných prvků (MKP). Do řízení lokomotiv řady 742 začíná zasahovat elektronika.

**Abstract**

Memories of the 1970s. The construction of locomotive frames is influenced by preparation of the automatic coupler and by introduction of calculation with the Finite element method (FEM). The electronics starts to become involved in locomotive steering of the type 742.

**Úvod**

V roce 2022 uplyne 45 let od zahájení sériové výroby lokomotiv T 466.2 (nyní řada 742). Pozoruhodné na této řadě je, že nebyla plánována v žádném dlouhodobém či krátkodobém výhledu u výrobce (ČKD Praha) ani u zákazníka (ČSD). Přesto se tento typ stal počtem 494 kusů nejrozšířenější univerzální motorovou lokomotivou na českých i slovenských drahách – počtem 601 kusů ji překonaly jen traťové lokomotivy T 679.1 (řada 781), které dnes již nejezdí.

Koncepce lokomotivy byla dána, neboť vycházela z průmyslové lokomotivy T 448.0 (řada 740). Hlavní změnou bylo snížení hmotnosti lokomotivy T 466.2 tak, aby nápravové zatížení kleslo ze 180 kN na 160 kN.

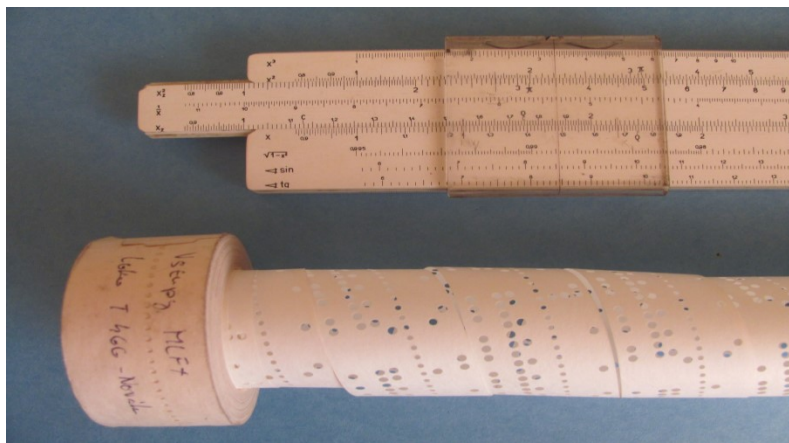
Složitost výpočtu hlavního rámu umocnila skutečnost, že odlehčená lokomotiva řady 742 musela vyhovět pevnostním stlačovacím zkouškám nově i přes připravované centrální evropské spřáhlo. Článek proto věnuje první kapitole i historii vzniku myšlenky zavedení jednotného evropského spřáhla na celé evropské železniční síti.

Hlavním tématem článku je však výpočet hlavního rámu lokomotivy pomocí logaritmického pravítka a děrných štítků sálového počítače, což je pro dnešní

---

<sup>1</sup> Ing. Ladislav Novák, nar. 1945, absolvent Vysoké školy dopravní v Žilině, býv. konstruktér a projektant v závodě ČKD Lokomotivka, též technický delegát PZO Pragoinvest v Moskvě.

konstruktéry, kteří pracují na osobních počítačích s 3D modely něco nepředstavitelného (viz obrázek č. 1).



Obr. 1 - Logaritmické pravítko a děrná páska se vstupními daty – originální pomůcky, se kterými byla počítána pevnost hlavního rámu lokomotivy T 466.2 programem MLFX.

## 1 Vývoj automatického spřáhla

### 1.1 Historie spřáhla

Historie vzniku automatického spřáhla je všeobecně známa. V USA byl již v roce 1873 udělen patent prvnímu poloautomatickému spřáhlu typu Janney. Použití tohoto spřáhla na všech železnicích USA uzákonil Kongres v roce 1892. Spřáhlo typu Janney je v různých obměnách na světě nejrozšířenější. V Japonsku je toto spřáhlo v provozu od poloviny 20. let minulého století. Po několika letech příprav provedli železničáři výměnu spřáhla během několika dní.

V Německu přihlásil 18. března 1903 patent na automatické spřáhlo Karl Scharfenberg. Ve spolupráci s firmami Siemens a Brown Boveri bylo vyvinuto plně automatické spřáhlo, tj. s elektrickým a vzduchovým propojením. Spřáhlo Scharfenberg se nejdříve ve velkém začalo používat po roce 1926 na vozech německého S-Bahnu, pak v berlínském U-bahnu (metru) a dalších.(1) Moskva, další města bývalého Sovětského svazu a východoevropská města s vozy metra z Mitišči, tj. včetně Prahy, jednu z variant tohoto spřáhla také používá. U ČD se v současnosti používá spřáhlo typu Scharfenberg ve zdokonalené verzi od švédské firmy Dellner u elektrických jednotek řady 471, pendolina ř. 680, všech Pantherů a motorových jednotek PESA.

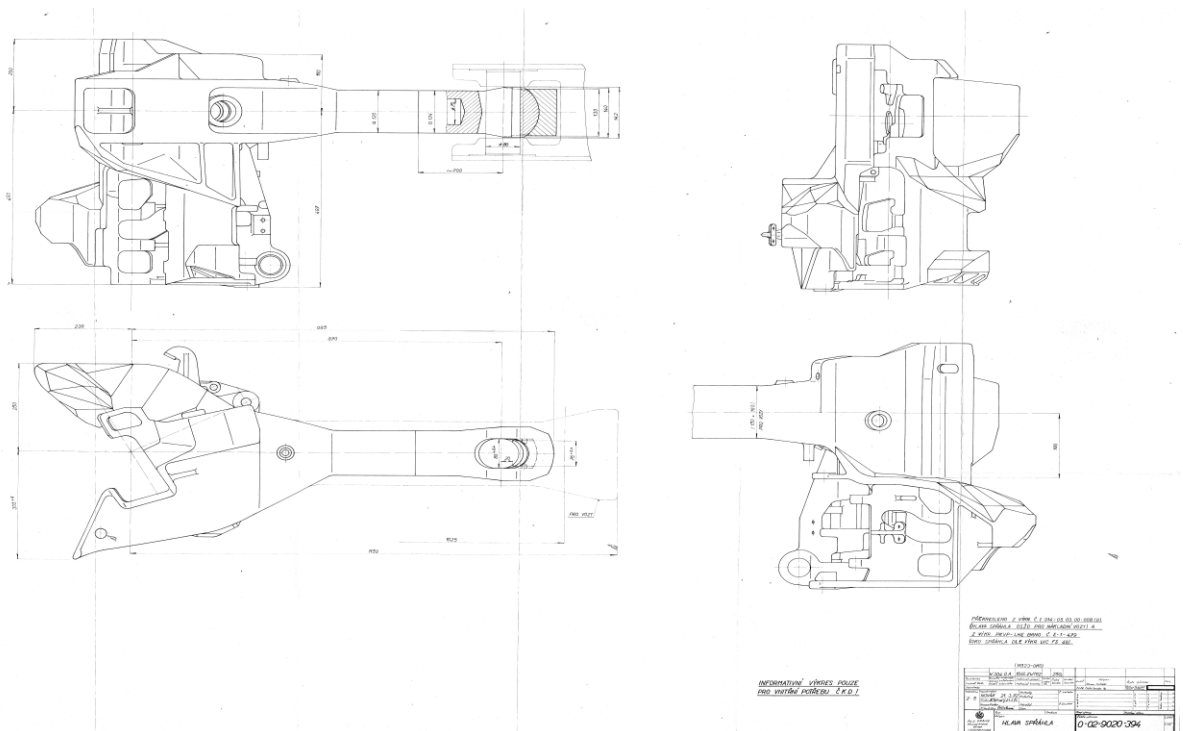
V Sovětském svazu bylo zkonstruováno poloautomatické spřáhlo SA-3 v roce 1932. Základem konstrukce bylo robustní americké spřáhlo Willison, které bylo přepracováno především změnou tvaru v oblasti vzájemného spojení hlav spřáhla. Přechod na spřáhlo SA-3 začal v roce 1935 a trval s válečnou přestávkou celých 22 let až do roku 1957. (2)

### 1.2 Evropské spřáhlo

V Evropě se používají různé varianty spřáhla Scharfenberg na motorových a elektrických jednotkách, ale automatické spřáhlo pro lokomotivy, osobní a nákladní vozy stále chybí. Přitom již v roce 1928 v UIC vznikla pracovní skupina pro vývoj

samočinného spřáhla. Práce však ztroskotaly na neúměrných základních požadavkách na toto spřáhlo. Dalším impulzem na rozpracování jednotného celoevropského spřáhla byl rok 1957, kdy na toto téma začala společná jednání organizace OSŽD a UIC. Za základ bylo vzato ruské spřáhlo SA-3, neboť byla stanovena podmínka jejich vzájemného spřahování. K roku 1973 bylo toto plně samočinné spřáhlo, tzn. včetně automatického propojení vzduchového potrubí a slaboproudých elektrických kabelů, připraveno. Slaboproudé propojení mělo sloužit např. pro elektropneumatickou brzdu, ovládání z řídicího stanoviště apod., s automatickým propojením vysokonapěťového vedení pro elektrické vytápění vlaků se nepočítalo. Výrobcům bylo s předstihem nařízeno, aby nově vyráběné lokomotivy a vagóny byly konstrukčně připraveny tak, aby při vyhlášení termínu výměny (v 80. letech minulého století) byla výměna tažného a narážecího ústrojí rychle a jednoduše provedena za předem vyrobená a uskladněná spřáhla. Nárazníky se měly odstranit později až v době, kdy bude celý proces ukončen, neboť jich bylo zapotřebí v přechodném období spolu s přechodovými spojovacími kusy pro spojení vozidel se spřáhlem s vozidly se šroubovkou. Následné práce však kvůli politickému uspořádání probíhaly dvoukolejně.

Bylo rozhodnuto, že jak UIC, tak i OSŽD budou mít svůj samostatný vzor spřáhla, která však budou vzájemně kompatibilní. U OSŽD tedy vznikl typ Intermat a u UIC AK 69 (Unicoupler). Evropa si stanovila jako optimální dobu výměny na dva roky. Jeho zavedení se však stále odkládalo kvůli jiným investičním prioritám jednotlivých evropských železnic. Evropa tak zůstala posledním světadílem bez automatického spřáhla. Ne však tak docela, neboť u elektrických a motorových jednotek došlo ke spontánnímu zavedení spřáhla S 10. U lokomotiv a jednotlivých vozů však zůstal starý spřahovací standard.



Obr. 2 – Evropské samočinné spřáhlo. Mnoho lidí o něm slyšelo, ale téměř nikdo ho neviděl. A zřejmě ani neuvidí, neboť tento typ spřahovatelný s ruským SA-3 byl z dnešního možného výběru vyřazen. Informativní výkres pro vnitřní potřebu ČKD v roce 1972 překreslil autor.

Dalším pokusem o oživení evropského samočinného spřáhla byly zkoušky upraveného spřáhla ve Švédsku v roce 1995. Právě časově, materiálově a finančně náročná příprava s nezbytnou logistikou zřejmě způsobila, že Evropa ani po pětadesáti letech tento plán neuskutečnila a další prodlužování termínu hraje proti jeho realizaci. Osobní mezinárodní doprava se přesouvá na vysokorychlostní tratě, ale i regionální tratě obsluhují ucelené jednotky vybavené, i když nejednotnými spřáhly. Zbývalo by tak především vybavit spřáhly statisíce nákladních vagónů v mezinárodní nákladní přepravě. Za ta léta navzdory ekologickým proklamacím se však velké procento přepravovaného zboží přesunulo z vagónů na kamiony. V 21. století v rámci nulové uhlíkové stopy je snaha vrátit dopravu zboží zpět na železnici. V širších souvislostech v tom hraje významnou roli i automatické spřáhlo. Nejdále je nyní v tomto snažení švýcarská SBB-CFF-FFS, iniciativní je i Německo. Třeba pomůže k zavedení spřáhla v současnosti nejskloňovanější slovo „digitální“, neboť si ho dalo do názvu i spřáhlo DAC (Digital Automatic Coupler). Ve spojení s náhradou pomalu působící pneumatické samočinné brzdy okamžitě působící elektropneumatickou brzdou přináší zejména do nákladní dopravy nové hodnoty.(3)

### **1.3 Vzpomínky konstruktéra na přípravu zavedení evropského spřáhla v ČKD.**

Po absolvování Vysoké školy dopravní v Žilině v oboru „Konstrukce dopravní a manipulační techniky“ a roční službě u železničního vojska jsem v říjnu 1969 nastoupil do ČKD Praha, závodu Lokomotivka do konstrukční skupiny 70 (Přístroje, nátěry, nářadí). Tam jsem např. rozmísťoval do prvních motorových lokomotiv Liniový vlakový zabezpečovač (LVZ), neboť jsem dobře znal jeho činnost v provozu z praxe na elektrické lokomotivě řady E 499.0. S cílem lépe poznat celou konstrukci lokomotivy, jsem brzy požádal o přeřazení do další konstrukční skupiny, a tak jsem se dostal do skupiny 20 (Hlavní rám). Tam jsem měl speciální úkol – „párat“ čela hlavních rámu dosud provozovaných lokomotiv, u kterých se s ohledem na jejich životnost ještě předpokládal provoz v době zavedení evropského spřáhla. Jednalo se o lokomotivy T 478.1, T 458.1, T 435.0 a dokonce i T 678.0 a T 679.0.

Úkol souvisel s výše uvedeným plánem UIC připravit stávající lokomotivy na rychlou montáž samočinných spřáhel. Principem přípravy bylo vyříznout v ose čelníku rámu obdélníkový otvor a za ním vytvořit vyztužený prostor pro umístění tlumicího zařízení spřáhla. Otvor se překryl deskou s upevněným současným tažným zařízením, která se připevnila k čelníku 24 šrouby M24 s přesně definovanými roztečemi. V den „D“ se měla vyměnit deska s tažným zařízením za jinou, ve skladech připravenou, rozměrově totožnou desku s uchyceným automatickým spřáhlem. To však nebylo všechno. Pod čelníkem měl být přišroubován obdélníkový rám, na kterém by stála spodní část šikmé vzpěry hlavy spřáhla. Vnitřní prostor tohoto rámu měl být volný, a proto se i v plechu pluhu vyřízl otvor, který se dočasně překryl novým přišroubovaným plechem. V případě starších lokomotiv, které by měly na čelníku jen jeden brzdový kohout, bylo zapotřebí brzdové potrubí rozdvíjet a přidat brzdový kohout i na druhou stranu čelníku. Propojovat hadicové spojky lokomotivy s vagónem diagonálně by totiž pod hlavou spřáhla nešlo. Ve zpracovávané dokumentaci měly být i takové detaily, jako nalezení místa ve strojně pro jakousi přihrádku, ve které bude umístěn přechodový kus. Ten měl být používán v přechodném období v případě, že by se lokomotiva měla spojit s vagónem, který měl ještě šroubovku.

Dokumentace pro lokomotivy T 678.0 a T 679.0 byla mj. komplikovaná tím, že čelník rámu byl schován za krycími vypouklými plechy tvarovanými v souladu s kabinou a pluhem. Robustní čelníky rámu lokomotiv T 435.0 a T 458.1 se zdály být pro rekonstrukce bezproblémové, složitější bylo orientovat se v originálních výkresech s množstvím změn během doby výroby, přičemž jedna změna byla pro rekonstrukce zásadní – změna výšky rámu od temena kolejnic. S čelníkem lokomotivy T 478.1 byl zas velký problém v odstupňované tloušťce plechů. V jeho horní části, ve které má být uchycena horní řada šroubů desky spřáhla, je plech příliš slabý. Konstrukčně a pevnostně bylo optimálním řešením vyměnit celý čelník za celistvý silnější, ale to bylo technologicky náročnější.

Konstrukční výkresy rekonstrukce hlavních rámu uvedených lokomotiv byly připraveny výše popsaným způsobem a zpracovaná dokumentace byla předána na FMD, které plánovalo ve svých opravárenských dílnách provést prototypovou rekonstrukci rámu jednotlivých typů lokomotiv. Třístranná jednání nad předanou dokumentací mezi ČKD, FMD a ŽOS Nymburk začala lokomotivou T 478.1. ŽOSka hned namítla, že navržené řešení je příliš pracné, neboť znamenalo demontovat kabiny strojvedoucího a navrhla jednodušší řešení – „přilepit“ nový čelník na stávající děrovými svary. Po delší diskuzi FMD rozhodlo, že se budou rekonstruovat dvě lokomotivy a výsledné řešení bude určeno po zhodnocení obou způsobů rekonstrukce. Oficiálně jsme se výsledky rekonstrukcí nedozvěděli, jen na můj pozdější dotaz jsem v ŽOSce dostal mlhavou odpověď, že rekonstrukce bardotky dle jejich návrhu nepřinesla očekávané výsledky, a tím byly zřejmě další pokusy o rekonstrukce odloženy. Ne však na dlouho. Po nehodě byly v roce 1976 vyměněny oba čelníky u lokomotivy T 478.1032, čelníky s úpravou pro spřáhlo se objevily i u lokomotiv T 478.1089 a 143.



Obr. 3 - Současný stav přípravy na výměnu evropského spřáhla na lokomotivě 742.126. Benešov u Prahy, 7. 7. 2020. Foto autor.

Nově vyráběné sériové lokomotivy jsou již od začátku 70. let samozřejmě konstrukčně svými čelníky hlavních rámců na výměnu spřáhla připraveny, některé úpravy jsou však ošizeny. Přestalo se řešit umístění přechodového mezikusu a většina pluhů nemá vyříznutý (a překrytý) otvor pro zabudování vzpěry. Prvními sériovými lokomotivami s přípravou na spřáhlo byly lokomotivy T 478.3 - I. série (od inv. č. 013) z prosince 1971. Od konce roku 1973 následovala výroba ověřovací série lokomotiv T 448.0 (řada 740). Prvními prototypy s přípravou na evropské spřáhlo byly dvě lokomotivy T 499.0 z roku 1974. Pak již následovala sériová výroba lokomotiv T 466.2, o jejichž vzniku si řekneme podrobněji.

## 2 Vznik lokomotivy T 466.2

První sériově vyráběnou lokomotivou vlastní konstrukce slovenské lokomotivky v Martině byla lokomotiva T 466.0 (řada 735). Jen konstrukce dvounápravových podvozků s výjimkou kluznic a většina elektrické výzbroje byla z ČKD. Zdrojem výkonu byl licenčně vyráběný francouzský motor Pielstick typu 12 PA4 V-185. Do března 1975 bylo vyrobeno 27 těchto lokomotiv T 466.0. Ale v témže roce, vzhledem k rozhodnutí ukončit lokomotivní výrobní program kvůli jiným atraktivnějším vládním zakázkám, se ZTS Martin prostřednictvím FMD obrátily na ČKD Lokomotivku s tím, aby ČKD zakoupila a dokončila vývoj martinského prototypu lokomotivy T 466.1 (s moderní, ale vývojově nedokončenou elektrickou výzbrojí z EVÚ Nová Dubnica) včetně zkoušek a urychleně zahájilo jejich sériovou výrobu. Naftový motor Pielstick by nadále do těchto lokomotiv dodávaly ZTS Martin.

Vedení ČKD Lokomotivka toto řešení vzhledem k odlišnému konstrukčnímu a technologickému provedení odmítlo a upozornilo, že v této výkonové kategorii má připraveno své řešení, které navazuje na vývojovou řadu lokomotiv s motory řady 230. Již v roce 1970 se rozběhla sériová výroba výkonných traťových lokomotiv T 478.3 (nyní řada 753) s dvanáctiválcovým motorem typu K 12V 230 DR. Zároveň ČKD nabídlo FMD k vyzkoušení dva prototypy lehké traťové lokomotivy řady T 475.1 s šestiválcovým motorem K 6S 230 DR pro vedlejší méně únosné tratě. Od roku 1972 se ověřovala první koncepce elektrického vytápění vlakových souprav na motorové lokomotivě řady T 476.0 s osmiválcovým motorem K 8S 230 DR. Vzhledem k tehdejší koncepci ČSD, zaměřené na motorové vozy M 474.0, nebyla nabídka na lokomotivu T 475.1 přijata. Lokomotivka proto lehkou traťovou lokomotivu překonstruovala na těžkou posunovací lokomotivu a začala ji od prosince 1973 úspěšně dodávat pro československý a od roku 1976 pro polský průmysl pod označením T 448.05 (ř. 740), resp. T 448-P.

Tyto argumenty nakonec přesvědčily tehdejší pracovníky FMD, aby již netrvali na výrobě lokomotiv T 466.1 v ČKD. Vlastně FMD nemělo příliš jiných možností. Dílny přecházely v této době na opravy vozů, příp. el. lokomotiv, přestaly se provádět revize parních kotlů, a proto hrozilo, že odstavované parní lokomotivy nebude čím nahradit. Nabízené lokomotivy ČKD neměly zařízení na vytápění vlakových souprav a nemohly plně nahradit lokomotivy T 466.1. Proto vyšší orgány nařídily ZTS Martin, aby splnily své závazky vůči ČSD a dodaly plánované lokomotivy T 466.0.

První konkrétní jednání o podobě lokomotivy T 466.2, trvající 3,5 hodiny bylo uskutečněno dne 17. 2. 1975, kde FMD předneslo tyto požadavky:

- Výkon lokomotivy – 880 kW
- Nápravové zatížení – 160 kN
- Max. rychlost – 90 km/h
- Palivová nádrž – 4 000 litrů
- Bez zařízení na vytápění vlakových souprav
- Trakční charakteristika – vycházet z tažné síly na háku 122 kN (jako u T 466.0)
- Trakční dynamo TD 805 – stejné s T 466.0 (vč. uchycovacích patek)
- Trakční motor TE 005 – dle nové úpravy dle T 466.0 a T 478.3
- Elektrická výzbroj – provedení jako u T 466.0 od 28. lokomotivy (bez EDB)
- Naftový motor K 6S 230 DR – dle posledního provedení (vstřikovací čerpadla)
- Liniový vlakový zabezpečovač typu VZ-Ž, LS-IV – kam s přístrojovou skříní?
- Příprava na radiostanici nového typu VR-20 – rozměrově menší, podklady nejsou
- Úplná příprava na zabudování automatického spřáhla – pluh šípový jako u T 478.1 (ne úhelníky), otvor pro vzpěru spřáhla překrýt
- Dvě diagonálně umístěná stanoviště s ovladači – pomocné stanoviště rozšířit o rychloměr bez registrace, ukazatelé teploty oleje a vody, ukazatel tlaku oleje
- Jednotné stanoviště s ležatým kontrolérem (viz T 478.4) nebude
- Bez mnohočlenného řízení – výkonných lokomotiv mají ČSD dost
- Bez automatického řízení rychlosti (ARR)
- Průjezdny obrys – dle ČSN stačí (ne UIC 505)
- Mazání okolků
- Odbrzďovač DAKO OL-2
- Ruční brzda na 2 kola (ne na jedno) – požadavek udržet se na sklonu 40 ‰
- Snížit hladinu hluku – úvaha o izolaci kapoty
- Provéřit vypružení na pryžokovových sloupkách – VÚKV
- Provedení s příčným tlumením sekundárního vypružení (90 km/h)
- Provést stlačovací zkoušku lokomotivy na 2 000 kN

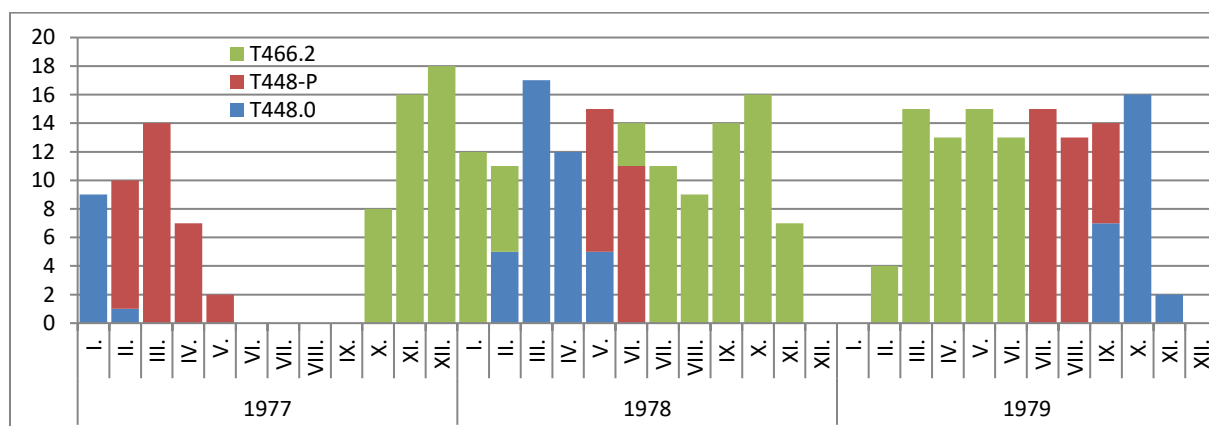
Z požadavků FMD vyplynulo, že ČKD bude těžkou posunovací lokomotivu přepracovávat zpět na lehkou traťovou a vznikne další modifikace ve výkonové kategorii 880 kW. V pozdějších schvalovacích zprávách byl kladen důraz na to, že nejde o novou lokomotivu, ale o modifikaci schválených lokomotiv. Tím odpadly časově náročné etapy zkoušek a schvalování prototypů i ověřovací série – vždyť prototypové zkoušky byly prováděny na dvou prototypech T 475.1 a kritéria ověřovací série splnily lokomotivy T 448.0. Z toho vyplynula podmínka, že lokomotiva musí dodržet koncepci výše uvedených lokomotiv. Toto je vysvětlení pro některé kritiky lokomotivy, že má zastaralou koncepci elektrického stejnosměrného přenosu výkonu a vysoké kapoty, které omezují výhled. Pro řešitele tím odpadla nutnost kreslit projekt lokomotivy, zůstala „jen“ nutnost koordinovat jednotlivé konstrukční skupiny při provádění požadovaných změn. Zpočátku vše vypadalo jednoduše tak, že nebude problém zahájit v přiměřené době výrobu hned šedesátikusové 1. série. Přáním FMD bylo začít s dodávkami lokomotiv nejpozději začátkem roku 1977. V tomto duchu byl dne 27. 2. 1975 vydán v Lokomotivce Zakázkový list č. 934. Realita však bylo trochu složitější.

Již čtyři dny po jednání s FMD vydali konstruktéři ze závodu Trakce první návrh trakční charakteristiky lokomotivy T 466.2. Současně nastala široká diskuze o technické i časové proveditelnosti předložených požadavků. Dne 12. 3. 1975 byly s upřesněnými požadavky FMD seznámeni vedoucí konstrukčních skupin v Lokomotivce. O dva měsíce později (28. 5. 1975) bylo na FMD oznámeno konečné

rozhodnutí ČKD o odsunu termínu dodávek I: série lokomotiv T 466.2: na III. čtvrtletí 1977 až I. čtvrtletí 1978. Toto rozhodnutí potvrdila 25. 6. 1975 zakázková komise vydáním Příkazu ke změně zakázkového listu č. 934. Zakázková komise projednala i související plány výroby dalších lokomotiv. Na duben 1977 byla naplánována výroba deseti nových lokomotiv pro Bangladéš. V roce 1978 mělo být v mezeře mezi výrobou I. a II. série lokomotiv T 466.2 vyrobeno 10 lokomotiv ověřovací série T 499.0 (řada 759). Do roku 1979 se mělo vyrobit celkem 250 až 270 lokomotiv T 466.2. Výroba průmyslových T 448.0 byla odsunuta na období až po roce 1980. Dnes již víme, že skutečnost byla trochu jiná.

Kontrakt na export lokomotiv do Bangladéše nebyl podepsán a ani k výrobě lokomotiv T 499.0 nedošlo. Kontrakt na dodávku I. série lokomotiv T 466.2 byl splněn ve slíbeném termínu do I. čtvrtletí 1978, včetně jubilejní T 466.2037, která má výrobní číslo 10 000. V roce 1978 byla dodána i celá II. série, do roku 1979 bylo pro ČSD dodáno celkem 180 lokomotiv T 466.2. Výroba průmyslových lokomotiv T 448.0 se neodsunula, ale pokračovala dál šedesátikusovými sériemi ročně, včetně nového exportního provedení pro polský průmysl s označením T 448-P. Jak byla poskládána skutečná výroba všech tří modifikací lokomotiv v kusech po měsících v uvedeném období na první montážní lince v Lokomotivce ukazuje graf č. 1. K tomu bylo samozřejmostí vyrábět na druhé lince ročně kolem 300 lokomotiv ČME3 včetně pěti jejich modifikací.

Graf č. 1 – Počty tří modifikací lokomotiv o výkonu 880 kW vyrobených v jednotlivých měsících v letech 1977-1979 v ČKD Lokomotivka



Zdroj: autor

### 3 Konstrukční změny lokomotivy T 466.2 v porovnání s T 448.0

Podstatná redukce hmotnosti hlavního rámu lokomotivy byla dána od počátku požadavkem na snížení nápravového zatížení na 160 kN. Ale o tom bude řeč později a podrobněji. Další změny neměly již podstatnější vliv na hmotnost, ale zvyšovaly pracnost výkresových změn. Značnou komplikaci způsobila také skutečnost, že ne všechny uskutečněné změny byly zadány v samém začátku. Pojďme si některé změny připomenout.

Požadavek na snížení vnější hlučnosti znamenal zvýšení hmotnosti, pracnosti zhotovení výkresové dokumentace kapot i samotné výroby, neboť byl řešen zdvojením



plechů dveří a střech kapot a zesílením mezistěny mezi strojovnou a kabinou. Nepodařilo se však zvládnout technologii vyplnění těchto dveří protihlukovými matracemi. Maličkovitostí bylo doplnění chybějících bočních krytů hlavního rámu.

Nový požadavek na zjednodušení vzduchového schématu tlakové brzdy na jednookruhovou brzdou podle standardů ČSD znamenal zrušit systém modernějšího a bezpečnějšího, i když složitějšího systému dvouokruhových brzd, použitého na průmyslových lokomotivách.

Při dovybavení lokomotiv liniovým vlakovým zabezpečovačem (typ VZ-Ž, LS IV) nebyl problém s umístěním snímačů za pluhu, ani se světelnou signalizací v kabině, ale s umístěním vlastní skříně LVZ.

S požadavkem na změnu přišel i sesterský závod ze Smíchova, vyrábějící naftové motory K 6S 230 DR. Správně předpokládal, že v provozu na ČSD budou lokomotivy T 466.2 pracovat s větší zátěží než T 448.0 na průmyslových vlečkách. Sám zvýšil výkon vodních čerpadel a na Lokomotivce žádal zvýšení výkonu chladicího bloku. Řešením byla záměna třížebrovkových chladících článků za dva dvoužebrovkové za sebou, též se měnil úhel natočení lopatek ventilátorů chlazení.

Poslední změnou na poslední chvíli bylo zjednodušení zapojení trakčních motorů. První, již vzpomínanou, trakční charakteristiku předal závod Trakce v únoru 1975 s převodem 78:15 v souladu s typem T 448.0. Nová charakteristika vznikla v červenci 1976 již s převodem 77:16, který zabezpečil pro ČSD na lokomotivách T 466.2 shodná dvojkolí s T 478.1 až T 478.4. Tím měly být vyřešeny základní parametry pro zátěžový diagram za předpokladu, že trakční motory budou zapojeny ve skupinovém řazení sérioparalel/paralel.

To by však nesměl v listopadu 1975 do závodu Trakce nastoupit čerstvý absolvent VŠD v Žilině ing. Jiří Pohl. Po prvních zkušenostech na projektu nákladní motorové lokomotivy pro Turecko nabyt přesvědčení, že se navrhovaná elektrická výzbroj pro lokomotivy T 466.2 poněkud nehodí.

Výhodou skupinového řazení je, že zajišťuje plné využití trakčního výkonu do rychlosti přes 100 km/h. Lokomotivy T 466.2 jsou však primárně určeny na nákladní dopravu na vedlejších tratích, kde nebudou takové rychlosti dosahovány. Na druhou stranu čtyři trakční motory TE 005 poskytovaly při převodu pohonu dvojkolí 77:16 lokomotivám T 466.2 trvalou tažnou sílu 123 kN, tedy stejně jako lokomotivy T 478.1 a T 478.3, ale při nižší hmotnosti lokomotiv T 466.2 bylo třeba lépe využívat adhezi. Zkušenosti z provozu podobně dimenzovaných lokomotiv T 466.0 u ČSD ale ukazovala, že jednoduchá skluzová ochrana, detekující skluz podle rozdílu proudů mezi podvozky nepracuje s potřebnou spolehlivostí. Selhává totiž při současném prokluzu dvojkolí v obou podvozcích. Další nevýhodou je, že spínáním vyvolané přechodové jevy při skupinovém řazení trakčních motorů a také náhlým přechodem trakčních motorů z rozvinutého skluzu zpět do adhezivního záběru se vyvolávají prudké změny trakčního proudu, které mohou způsobit přeskoky na komutátorech trakčních motorů i trakčního generátoru.

Podstatou navrhované inovace elektrické výzbroje na lokomotivách T 466.2 bylo zrušení skupinového řazení, což sice snížilo rozsah využití instalovaného výkonu motoru do 70 km/h, zato značně zjednodušilo schéma trakčního obvodu a zmenšilo pravděpodobnost přeskoků na komutátorech. Lepší využití tažné síly na mezi adheze

a zvýšení spolehlivosti měla přinést změna řešení skluzové ochrany v podobě použití nově se rodící polovodičové techniky. Polovodičová technika též měla být použita pro regulaci nabíjecího dynama a v časovém relé. Tady ale mohl nastat problém. Dokumentace k elektrické výzbroji byla již vydána a zavádět do výzbroje nový nevyzkoušený element bylo riskantní zvláště v době, kdy měla být do roka spuštěna výroba rovnou celé šedesátikusové série. Aby se nad tím nápadem (méně kontaktů a trochu elektroniky) nemohlo mávnout rukou, že je to utopie, podal ho Jiří Pohl spolu s konstruktéry Milošem Junkem a Zdeňkem Hříbalem formou zlepšovacího návrhu, jejichž projednávání mělo v té době prioritu.

První a směrodatný odborný posudek musel vyřknout jejich nadřízený – hlavní konstruktér závodu ČKD Trakce Ladislav Netolický. Byl to však správný člověk na svém místě a podporoval zavádění elektronických systémů do lokomotiv i tramvají. Nejpádňějším argumentem pro prosazení návrhu pro vedení závodu však byla značná úspora pracnosti a materiálu. Výrobní závody byly v té době zavaleny příkazy a směnicemi o těchto úsporách, jejichž plnění bylo někdy za hranicemi splnitelnosti a vedlo i k zhoršování kvality výrobků. Navrhovaná změna elektrické výzbroje na lokomotivách T 466.2 byla spojena s velmi významnou úsporou materiálu i pracnosti. Odpadly čtyři velké linkové elektropneumatické stykače SD 11, šest shuntovacích stykačů SC 11, přepínač směru byl poloviční, ušetřilo se i dost pomocných stykačů a relé. Také silných kabelů o průřezu 185 mm<sup>2</sup> zbyla k trakčním motorům polovina, jen osm, nikoliv 16. Ve výsledku byla inovovaná elektrická výzbroj asi o 430 kg lehčí než původní, z toho elektrický rozvaděč byl lehčí o 250 kg a na kabelech se ušetřilo 180 kg. To znamenalo při sérii 60 lokomotiv nejen docela slušnou úsporu mědi a oceli, ale i úsporu tisíců normohodin lidské práce. Souhlasit s realizací návrhu a inovací elektrické výzbroje lokomotiv T 466.2 však znamenalo v útvaru konstrukce urychleně přepracovat již vydanou konstrukční dokumentaci a zdůvodnit to navazujícím útvarům.

Následně bylo nutno jednat s FMD a přesvědčit odborníky ze železnice o správnosti inovativních úmyslů. Kontrakt a technické podmínky na lokomotivy T 466.2 již byly dávno uzavřeny. Václav Krátký z odboru kolejových vozidel 012 tehdejšího FMD byl spontánně pro, neboť z praxe věděl, že lokomotivy T 466.0 s obdobně řešenou elektrickou výzbrojí, jaká byla uvažována i pro lokomotivy T 466.2, nejsou schopny dopravovat nákladní vlaky vytižené na úroveň normativu zátěže za ztížených adhezních podmínek. Logicky se však potřeboval přesvědčit, že nové pojetí elektrické výzbroje bude funkční. Dohodl se velmi rychle s vedoucím servisu ČKD Trakce Františkem Skálou, že několik lokomotiv T 466.0 v provozu ČSD na zkoušku v předstihu předělají na nové zapojení trakčních motorů a v provozu ověří. První dvě lokomotivy T 466.0071 a 072 ze strojové stanice Benešov vozily nákladní vlaky na sklonově náročné vedlejší trati do Vlašimi, další T 466.0032 se zabudovanou elektronickou skluzovou ochranou s děličem napětí jezdila z Tábora do Milevska apod. Její přínos byl ve srovnání s původním skluzovým relé velmi zásadní. Vlaky již v kritických místech tratě neuvízly, proudové rázy v trakčním obvodu se podařilo eliminovat, kola lokomotivy se dobře držela na kolejnicích. Dojmy nabyté z vozby nákladních vlaků touto upravenou lokomotivou s novou elektronickou skluzovou ochranou Václava Krátkého přesvědčily. Zaručil se vedoucímu vývoje železničních vozidel na FMD, všemi respektovanému železničnímu odborníkovi Karlu Sellnerovi, že nové lokomotivy T 466.2 budou v nákladní dopravě v inovovaném provedení spolehlivě fungovat. Je na místě ocenit odvahu Karla Sellnera zařadit do provozu na ČSD rovnou 60 lokomotiv v novém provedení bez do té doby obvyklých rozsáhlých prototypových zkoušek, neboť on byl odpovědný za park kolejových vozidel, jeho

funkčnost a spolehlivost. Podobnou rozhodnost a odvahu je pochopitelně nutno ocenit i na straně obou hlavních konstruktérů – Ladislava Netolického v ČKD Trakce a Antonína Kosiny v ČKD Lokomotivka. (4)

Snahou výrobce je neprovádět příliš mnoho změn v průběhu sériové výroby, pokud k tomu nejsou pádné technické nebo ekonomické důvody. Tento případ nastal v případě příbuzných lokomotiv T 448.0. Změna zapojení trakčních motorů po vzoru lokomotiv T 466.2 byla provedena v roce 1978 od lokomotivy T 448.0613 a od T 448-P033. Naopak normě Poláků na vyšší zábradlí 1 100 mm se přizpůsobily lokomotivy T 448.0 i T 466.2. Lokomotiva T 466.2 měla výšku zábradlí 900 mm jen v prvním návrhu typového listu, T 448.0 do inv. čísla 612.

#### **4 Vzpomínka řešitele na první vážení lokomotivy T 466.2001.**

Především zvětšení chladícího bloku více zatížilo přední podvozek a zjednodušené zapojení TM naopak odlehčilo zadní podvozek. Proto bylo s napětím očekáváno vážení první lokomotivy.

Dne 20. října 1977 na konci první směny jsem byl jako řešitel lokomotivy pozván pracovníky kontroly na první vážení, kde nás zajímalo, kromě celkové hmotnosti i dodržení předepsaných tolerancí mezi jednotlivými nápravami, resp. koly, v neposlední řadě i výška nárazníků. Tato výška a změna nápravových zatížení se u lokomotiv s kývačkovými podvozky reguluje pomocí matic u jednotlivých šroubových pružin primárního vypružení na podvozcích. Při obvyklém nastavení byla změřená výška nárazníků o 10 až 15 mm výše než předepsaných 1 065 mm pro prázdnou lokomotivu. Při vytočení matic na doraz výška nárazníků klesla na požadovanou hranici a přistoupilo se k vážení. Hmotnost prázdné lokomotivy činila 59 040 kg, což bylo o 820 kg méně než v rozboru hmotnosti a dokonce o 1 540 kg méně než udával kusovník. To se dalo částečně vysvětlit tím, že se v kusovníku ještě nepromítla změna v elektrické výzbroji a chybějící protihluková výplň.

Pak se přistoupilo k vážení lokomotivy s  $\frac{2}{3}$  provozních zásob. Zde je třeba poznamenat, že nominální hodnota hmotnosti lokomotivy se definovala v technických podmínkách s  $\frac{2}{3}$  provozních zásob poprvé od lokomotiv T 478.1, které se nemohly při vážení s plnými zásobami vejít do limitu hmotnosti. Jak se však ukázalo, u lokomotiv T 466.2 mohl vzniknout opačný problém, takže k výsledkům vážení je možno připočíst třetinu provozních zásob (tj. asi 1 100 kg), neboť dle technických podmínek je jmenovitá hmotnost lokomotivy T 466.2 definovaná s plnými zásobami. Zůstaneme však u  $\frac{2}{3}$  provozních zásob, protože v tom duchu se prováděla všechna vážení lokomotiv T 466.2. Při nominální hmotnosti 64 t a přípustné toleranci (-1 % a +3 %) může být minimální hmotnost 63 360 kg a maximální 65 920 kg.

Samotné vážení bylo provedeno s rovnoměrně umístěným (na víkách písečníků) závažím o hmotnosti 800 kg, které nahrazovalo chybějící zátěž – dvě osoby, písek, náradí, nátěr a nenamontovaná sedadla. Zde jsou výsledky prvního vážení první lokomotivy T 466.2:

Povolený rozdíl skutečného zatížení mezi levým a pravým kolem téhož dvojkolí  $\pm 4$  % byl vždy splněn. Povolený rozdíl zatížení dvou sousedních dvojkolí  $\pm 2$  %, tj. v průměru rozdíl v hmotnosti na nápravu 629 kg byl překročen mezi 2. a 3. dvojkolím, kde činil 930 kg. Rozdíl v hmotnosti na přední a zadní podvozek byl tak v nepřijatelné

hodnotě 1 480 kg. Pracovníci zkušebny si následně pracně pohráli s regulačními maticemi podvozků a dosáhli při druhém vážení následujícího výsledku:

Rozdíl zatížení mezi dvojkolými jednotlivých podvozku se podařilo stáhnout na nulu. Rozdíl hmotnosti mezi 2. a 3. dvojkolím se snížil na vyhovujících 580 kg. Celková hmotnost lokomotivy byla při druhém vážení 62 840 kg, což znamenalo, že při dvoutřetinovém limitu zásob chybělo 520 kg do minima, dle TP se však překročila o 620 kg spodní minimální hranici hmotnosti lokomotivy a formálně by tak mohla být puštěna do provozu. Pracnost regulace a neustálé balancování na hranicích tolerance nemohlo být přijatelné pro sériovou výrobu. Výsledky obou vážení jsou uvedeny v následujících tabulkách pro jednotlivá kola, dvojkolí, podvozky a celou lokomotivu v hmotnostech v kg:

T 466.2001			1. vážení	
L kolo	P kolo	Dvojkolí	Podv.	Loko
7910	8000	15910	32180	62880 kg
8020	8250	16270		
7640	7700	15340	30700	
7720	7640	15360		

T 466.2001			2. vážení	
L kolo	P kolo	Dvojkolí	Podv.	Loko
7900	8100	16000	32000	62840 kg
7900	8100	16000		
7680	7740	15420	30840	
7740	7680	15420		

Sbalil jsem své poznámky a šel domů si v klidu spočítat možné varianty nápravy v podobě posunu těžiště lokomotivy. Ráno jsem přišel do práce s dvěma variantami řešení. Jedna se týkala prvních šesti lokomotiv pro Bratislavu, neboť ty byly buď smontované, nebo již v různém stavu rozpracovanosti na montážní lince – sérová výroba běžela již naplno bez čekání na dokončení první lokomotivy. Přidaný balast o hmotnosti 600 kg pod zadním předstávkem by měl snížit rozdíl hmotnosti mezi podvozky na potřebné minimum. Zásobovači proto urychleně zajistili pro těchto šest lokomotiv po 14 litinových kostkách o hmotnosti asi 560 kg z vysočanského závodu ČKD Slévárny a ty se upevnily do bočních skříněk hlavního rámu pod zadním předstávkem, které původně měly sloužit pro umístění náradí. Druhá lokomotiva s litinovými kostkami byla vážena 24. října 1977. Vzpomínané závaží 800 kg se ale správněji rozmístilo tak, že většinou se uložilo v okolí kabiny. Výsledkem vážení bylo, že hmotnost na první podvozek byla 31 890 kg a na druhý 31 900 kg, takže rozdíl činil pouhých 10 kg. Průměrná hmotnost 2. až 6. lokomotivy byla 63 984 kg. Sedmý a osmý hlavní rám byly dobalastovány do vnitřních prostorů rámu pod kabinou na montáži a teprve od devátého se rámy dodávaly na montáž kompletní již s balastem. Výpočet stanovil jako optimální hmotnost balastu v rámu na 850 kg. Lokomotiva T 466.2007 podstoupila vážení začátkem listopadu 1977. Po vyhodnocení vážení šesti lokomotiv bylo zjištěno, že v extrémním případě by při plných zásobách mohla hmotnost lokomotivy atakovat horní přípustnou hranici, proto byl objem balastu trochu snížen. Tím bylo ladění rovnoměrnosti nápravových zatížení dokončeno. Průměrné hodnoty hmotnosti (v kg) dvou šestic lokomotiv lze porovnat v následujících tabulkách:

T466.2007 až 012			Průměr	
L kolo	P kolo	Dvojkolí	Podv.	Loko
8100	8015	16115	32165	64362 kg
8038	8012	16050		
7997	8066	16063	32197	
8082	8052	16134		

T466.2013 až 018			Průměr	
L kolo	P kolo	Dvojkolí	Podv.	Loko
8065	8025	16090	32112	64205 kg
8025	7997	16022		
8037	8005	16042	32093	
7948	8103	16051		

## 5 Výpočet hlavního rámu lokomotivy

Hlavní rámy traťových skříňových lokomotiv mají hlavní podélníky tvaru uzavřeného obdélníku a nosnou součástí je i boční příhradová konstrukce. My se však budeme zabývat hlavními rámy kapotových lokomotiv. Současné rámy s dvěma nárazníky na čelníku mají relativně jednoduchou konstrukci i po pevnostní stránce. Základ tvoří dva podélné profily tvaru „I“ v osách nárazníků, které jsou spojeny vpředu a vzadu masivními čelníky a v místech tažných čepů dvěma příčníky. Při pevnostních zkouškách je rám namáhán vzpěrem tak, že se síly  $2 \times 1$  MN přenášejí podélně z nárazníku na nárazník právě přes tyto nosné profily. Přenos sil trochu komplikuje skutečnost, že výškově jsou nárazníky níž, než je těžiště „I“ profilů, což způsobuje přidavné ohybové namáhání celé konstrukce. Složitější situace nastala po vydání předpisu, že lokomotivní rám musí kvůli budoucímu spřáhlu vyhovět i namáhání od vzpěru silou 2 MN v místě dnešního tažného háku. V praxi to znamená přenést tuto sílu z osy lokomotivy masivními čelníky a šikmými výztuhami do obou podélníků a na druhém konci ji do této osy vrátit zpět.

### ***Vzpomínka řešitele na výpočet rámu.***

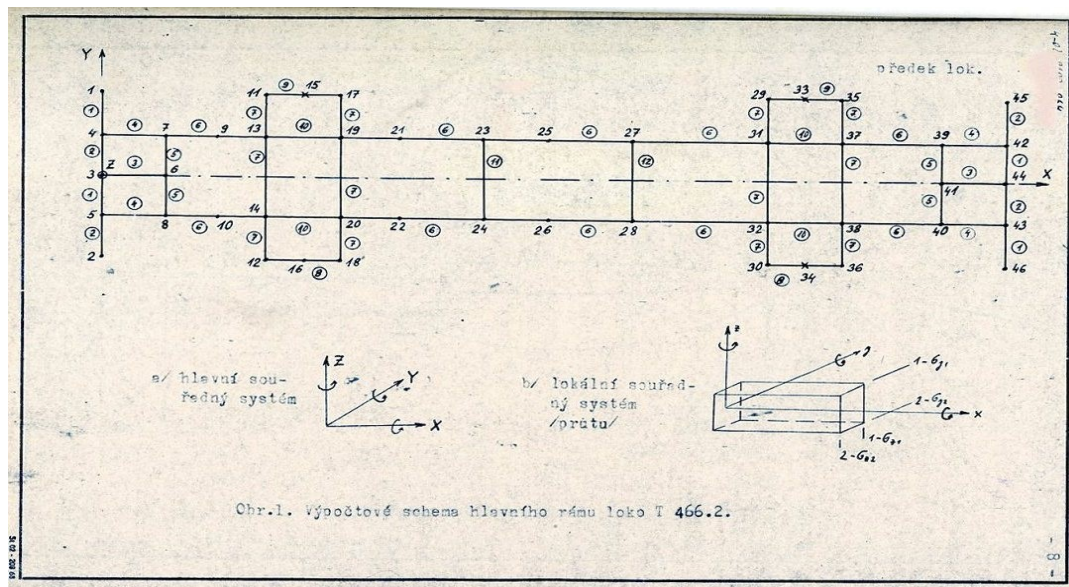
Jak již bylo řečeno, hlavními rámy jsem se zabýval již v oddělení konstrukce. Později v oddělení projektů, kde jsem byl vybrán jako řešitel lokomotivy T 466.2, ležel přede mnou náročnější úkol v podobě podstatného odlehčení rámu z lokomotivy T 448.0. V té době se na mne obrátil vedoucí oddělení pevnostních zkoušek Vladimír Synek, jestli bych se nechtěl blíže podílet na výpočtech hlavních rámu. Do té doby to často fungovalo tak, že vyhotovená dokumentace hlavních rámu se předala do Výzkumného ústavu motorových lokomotiv (VÚML) při ČKD, kde pracovníci ústavu se museli orientovat v množství detailních výkresů a z nich vybírat jen ty, které byly důležité pro sestavení výpočtového modelu a následného kontrolního pevnostního výpočtu. Ústavu by velmi pomohlo, kdyby se na sestavování výpočtového modelu podílel sám projektant rámu. Rád získávám nové znalosti, a tak jsem okamžitě s nabídkou souhlasil. VÚML měl konkrétně pro tyto účely k dispozici dva programy, které fungovaly na sálovém počítači typu 1CT 1905. Počítač zabíral jedno patro Výpočetního střediska v budově Generálního ředitelství ČKD ve Freyově ulici v pražských Vysočanech a byl značně vytížený, neboť např. zpracovával tisíce platů zaměstnanců všech závodů ČKD libeňsko-vysočanské oblasti, ale i výkresových kusovníků pro objednávky materiálů.

### ***Program MLAX***

První počítačový program pod zkratkou MLAX řešil deformace a namáhání prutových konstrukcí. Pro výpočet hlavního rámu lokomotivy T 466.2 jsem ve spolupráci s pracovníky ústavu vytvořil plošný výpočtový model prutové soustavy, geometricky symetrický podle podélné osy lokomotivy, který dostatečně přesně zobrazuje namáhání ve střední části rámu (obr. 4).

Základním úkolem bylo stanovit rozměry podélných profilů tvaru „I“. Lokomotiva T 475.1 měla v základním profilu (A) horní i dolní pásnici o tloušťce 15 mm a stojinu 10 mm. Nevyhověla však stlačovací zkoušce silou 2 MN. Pro porovnání vhodného základního profilu byl ještě zvolen rozměr s tloušťkou 20 mm v obou pásnicích a stojinou 10 mm (profil B). Lokomotiva by však nevyhovovala po hmotnostní stránce. Z rozboru průběhu napětí v profilu tvaru „I“ vyplývá, že při vzpěru i tahu je vždy podstatně více namáhána spodní pásnice. Proto jsem zvolil profil (C) s horní pásnicí 15 mm a spodní 20 mm při stojině opět 10 mm. Dosáhlo se tím o 10 % nižší hmotnosti proti profilu „B“. Posunutím neutrální osy průřezu se snížil

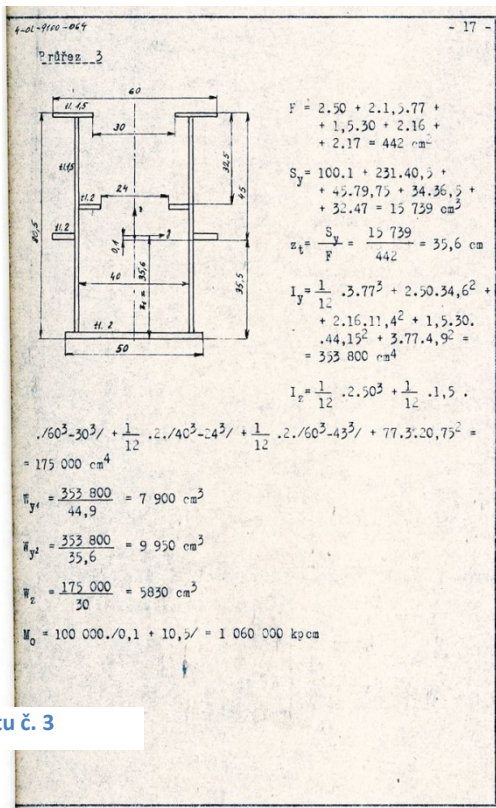
zatěžující ohybový moment na 94 %. Tím celkové napětí v dolní pásnici zůstalo na téměř stejné úrovni, zatímco v horní pásnici stoupl o 29 %, takže při poměrně nízkém napětí v tomto místě došlo k lepšímu využití materiálu. Proti variantě „A“ se snížilo max. napětí v dolní pásnici o 20 %.



Obr. 4 – Počítačový model prutové soustavy pro výpočet rámu lokomotivy T 466.2 programem MLAX.

Tento hlavní rám se stal v Lokomotivce prvním, kde se použily pásnice tvaru „I“ o nestejně tloušťce. Zpočátku protestovali technologové na svařování, neboť nevěděli, jaké deformace rámu při jeho svařování mají očekávat. Ale to byl zase jejich problém, aby ho vyřešili.

Nyní bylo nutno do připraveného formuláře spočítat veškerá data, která počítač potřeboval k výpočtu. Začíná se očíslováním všech 46 spojů jednotlivých prutů, ve který se pak definují jednotlivá dílčí zatížení. Následně se očísluje všech 60 prutů tvořících počítanou soustavu. Čísel je jen 12, neboť pruty se stejným profilem mají totožná čísla. Tím byl splněn první bod zadávacích údajů - popis prutu, druhým bodem je definice souřadnic spojů. Dalšími body zadávacích údajů je specifikace reakcí v uložení rámu, údaje o jednotlivých skupinách zatížení a samozřejmě materiálové konstanty. Poslední bod zadání se nazývá charakteristika prutů, která však v sobě zahrnuje potřebu přesně si načrtnout a okótovat mnohdy složitý profil, sestávající z několika prvků tak, aby se z něho dalo správně spočítat několik dalších dat pro zadání. Především stanovit celkovou plochu profilu daného prutu, jeho těžiště, odpovídající momenty setrvačnosti a moduly odporu průřezu v obou osách souřadnic (viz jeden z profilů na obr. 5). Plochu sebesložitějšího profilu dnes automaticky spočítá grafika lečjakého počítače. V roce 1976 jsme však ještě neměli ani kalkulačky, a tak děrné pásky sálových počítačů krmila svými vstupními daty klasická logaritmická pravítka. Pro zkompletování vstupních dat do programu MLAX bylo ještě definováno osm různých vnějších zatížení rámu:



Obr. 5 - Profil prutu č. 3

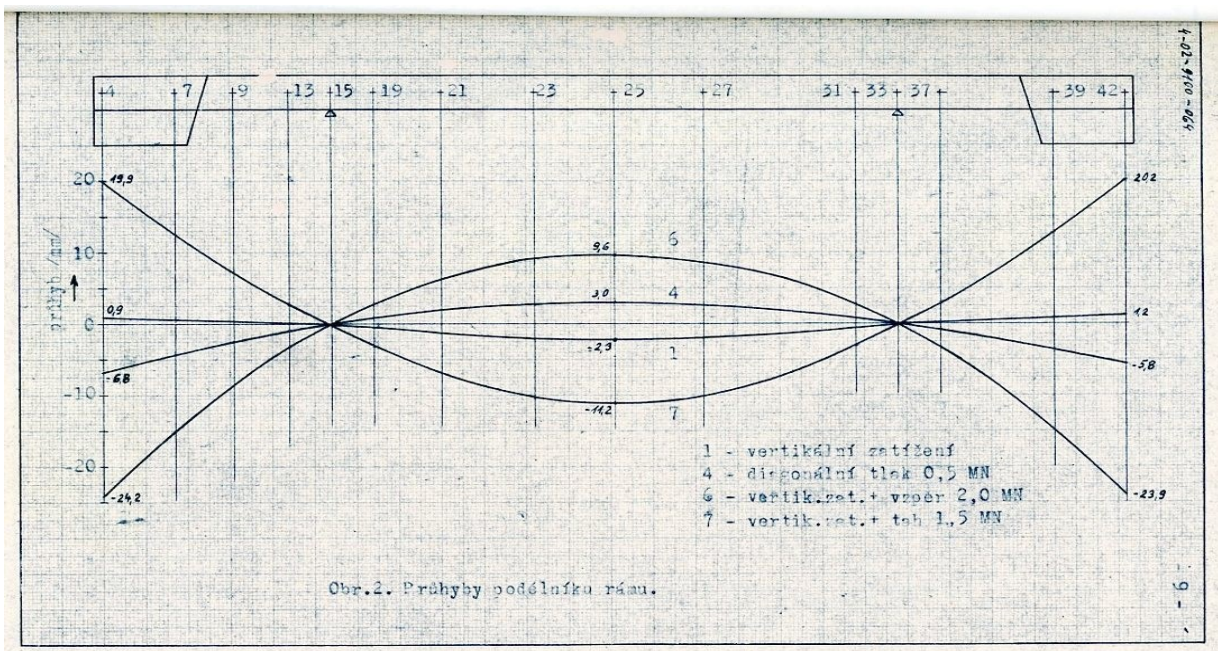
- 1) vertikální zatížení (včetně spojitého zatížení od hmotnosti rámu)
- 2) vzpěr 2,0 MN v ose nárazníků
- 3) oboustranný tah 1,5 MN
- 4) diagonální tlak 0,5 MN
- 5) vzpěr 2,0 MN v ose spřáhla
- 6) kombinace 1 + 2
- 7) kombinace 1 + 3
- 8) zdvihání lokomotivy za jedno čelo s uvažováním hmotnosti jednoho podvozku.

Soubor vstupních dat se na předepsaných formulářích předal do výpočetního střediska, kde se převedl na děrné pásky a na noční směně sálový počítač přetvářel vstupní data na výstupní, kterými byly:

- 1) deformace (3 posuvy a 3 natočení) jednotlivých spojů rámu pro všechna uvažovaná zatížení
- 2) Vnitřní síly v obou koncích jednotlivých prutů (3 síly a 3 momenty) pro každý konec
- 3) napětí v jednotlivých prutech, vyplývající z koncových sil

- 4) vypočtené reakce ve spojích
- 5) kontrolní výpočet rovnováhy soustavy

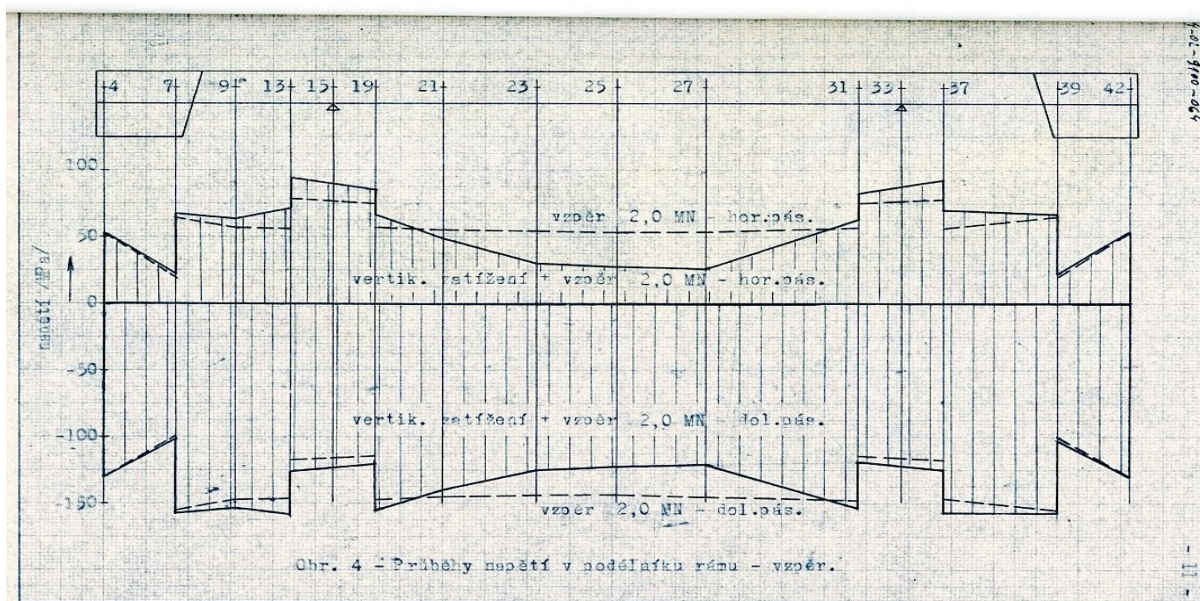
V uvedených bodech výsledku se skrývá několik tisíc čísel vytištěných na mnoha stránkách a bylo na zadavateli, aby z nich vytvořil přehledné závěry. V případě průhybu je největší hodnota kolem 25 mm na obou koncích při vzpěru přes nárazníky i přes spřáhlo a při kombinaci zatížení 1 + 2. Průběh průhybu některých zatížení je znázorněn na obr. 6.



Obr. 6 - Průhyby hlavního rámu lokomotivy T 466.2 při různých zatíženích

Na tomto obrázku lze názorně porovnat vyhodnocování výsledků výpočtu tehdy a v současnosti. Pro znázornění průhybu rámu se z množství dodaných čísel musela vybrat ta správná a nakreslit na milimetrovém papíře z jejich propojení průhybovou křivku. Dnes stačí mít na obrazovce nakreslený 3D model a po zadání zatížení se model sám zobrazí ve výsledné deformaci.

V případě napětí od vertikálních sil dosahuje ve střední části napětí do 27 MPa, při doplňujícím účinku dynamických sil maximálně 34 MPa. Nejvýznamnější namáhání opět vzniká při kombinaci vertikálního zatížení a vzpěru 2 MN, kdy dosahuje největší napětí téměř 160 MPa v dolní pásnici. Jinak je napětí poměrně rovnoměrně rozloženo v rozsahu 110 až 155 MPa. Podobného výsledku bylo dosaženo při kombinaci vertikálního zatížení a tahu 1,5 MN, jen maximální napětí v tahu dosáhlo opět v dolní pásnici o něco nižších hodnot – 130 MPa. Jedna varianta průběhu napětí je uvedena na obr. 7. Zajímavý byl případ kroucení rámu od diagonálního zatížení 500 kN, kde oblast největšího napětí (pod 100 MPa) se omezuje na příčníky u převislých konců. Napětí při zdvínání lokomotivy za jeden konec též nepřesáhlo 100 MPa.



Obr. 7 - Průběhy napětí v podélníku rámu při zatížení vzpěrem 2 MN (čárkovaně) a při jeho kombinaci s vertikálním zatížením v horní a dolní pásnici

Vypočtená napětí jsou svým charakterem napětí jmenovitá a nevypovídají o lokalitách, jakými jsou špičky napětí v oblasti vysokých koncentrací napětí, žeber a působišť osamělých sil. Spočítat tyto lokality detailně je velmi pracné, a proto je vhodnější experimentální prověření přímo na rámu. Na základě takového experimentálního měření na podobném hlavním rámu lokomotivy T 475.1 byla na rámu lokomotivy T 466.2 např. vyztužena exponovaná žebra lemem. Tím byla snížena špička napětí při přechodu sil z žeber do podélníků.

### Program MLFX

Jak již bylo řečeno výpočet hlavních rámu programem MLAX se s experimentálním měřením dobře shoduje ve střední části, kde podélníky a příčníky mají charakter prutů. U převislých konců je lépe konstrukci rámu charakterizovat jako soustavu desek a membrán a výpočet provést metodou konečných prvků (MKP). Tato



numerická metoda slouží k simulaci průběhu napětí a deformací a mohla se rozvinout až s příchodem počítačů. Na konci 60. let minulého století si na principu MKP nechala NASA vyvinout software NASTRAN (5) a již v polovině 70. let jsme v ČKD na stejném principu počítali softwarem MLFX první rám lokomotivy T 466.2.

Převíslý konec rámu se rozdělí na optimální počet trojúhelníkových prvků, a protože je rám symetrický podle podélné osy, je počítána jen polovina konce rámu. Výpočtový model tvoří 76 spojů a 134 membrán o šesti různých tloušťkách.

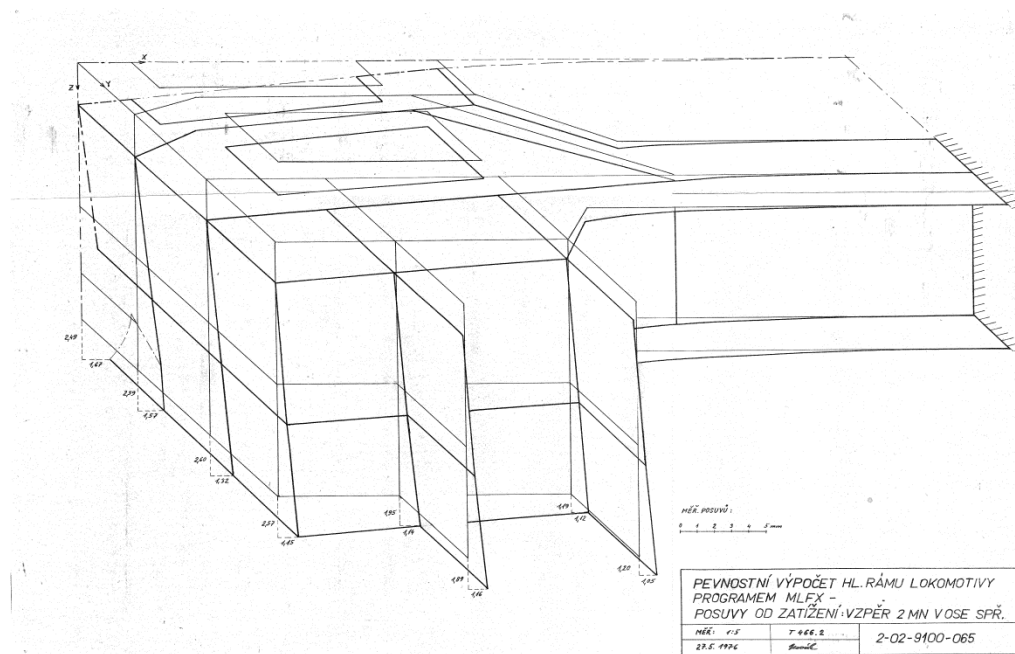
Zadávací údaje:

- 1) materiálové konstanty
- 2) souřadnice spojů
- 3) údaje o deskách (koncové spoje a tloušťka desky)
- 4) specifikace reakcí
- 5) zatížení spojů - a) vzpěr 1,0 MN v ose spřáhla  
b) vzpěr 1,0 MN v ose nárazníku

Výstupní údaje programu MLFX:

- 1) deformace (3 posuvy a 3 natočení) jednotlivých spojů
- 2) napětí v jednotlivých deskách (ve spojích a v těžišti).

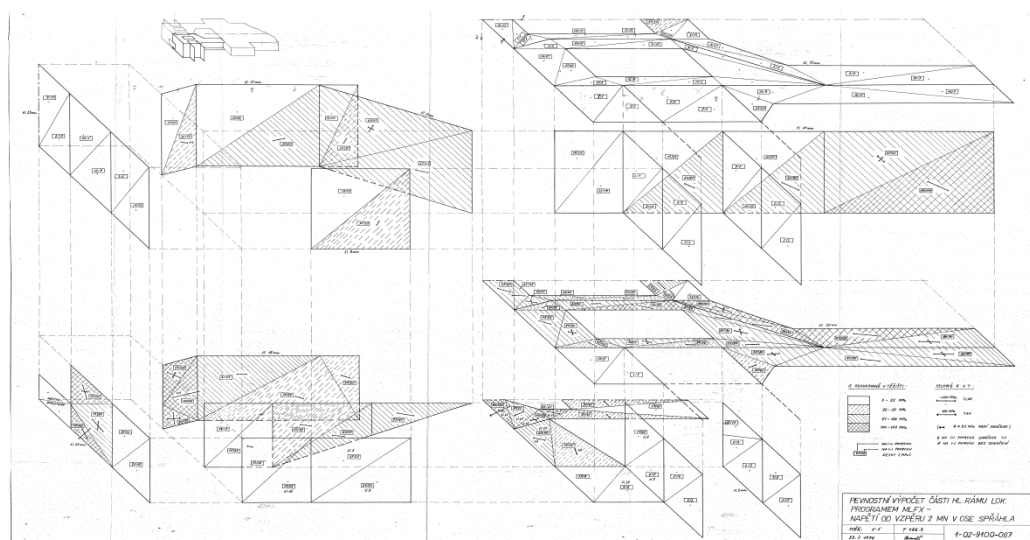
Relativní deformace rámu ve svislém směru vzhledem k místu vetknutí nepřesahuje 3 mm. V porovnání s prutovým modelem z toho vyplývá dvojnásobná tuhost modelu z desek. V místě působení zatěžující síly byla vypočtena lokální deformace v podélném směru téměř 4 mm. Model však v tomto místě nepočítá s výztužným účinkem čelní desky a rozložením zatěžující síly po jejím obvodě proto skutečné deformace budou zde menší. Deformace jsou patrné z přiloženého obrázku č. 8.



Obr. 8 – Posuvy rámu od zatížení vzpěrem 2 MN v ose spřáhla

Velikosti redukovaných a celkových napětí v těžišti byly též z čísel převedeny do obrázků. V horní části rámu nepřesahují redukovaná napětí hodnotu 50 MPa, ve

spodní části a přilehlých žebrech dosahuje max. napětí v těžišti prvku 140 MPa. Okolí zatížení osamělou silou se z výše vedeného důvodu nevyhodnocovalo. Výpočet dokázal opodstatněnost vloženého šikmého žebra pro přenos sil ze spřáhla na podélníky. Dnes na počítačích jsou různá napětí po výpočtech odlišována pestrou stupnicí barev. Tehdy bez barevných tiskáren se stupnice napětí rozlišovala např. odlišným šrafováním (viz obr. 9).



Obr. 9 - Napětí v převislém konci rámu lokomotivy T 466.2 od vzpěru 2 MN v ose spřáhla

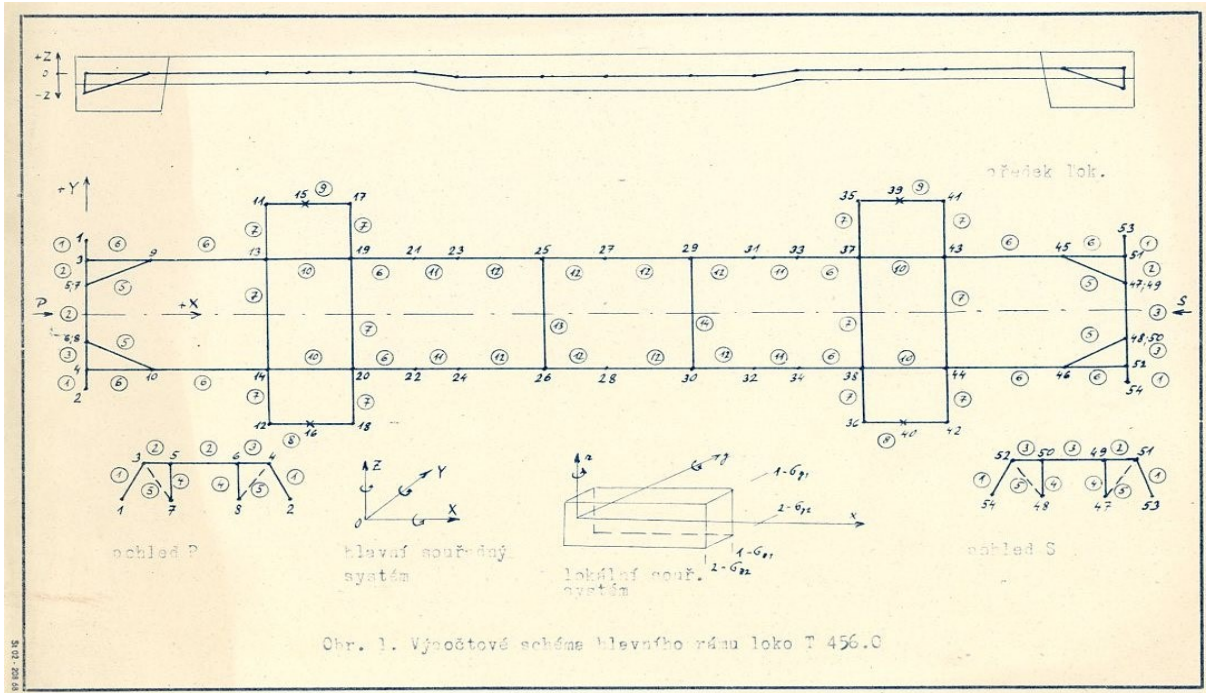
Po zhodnocení výsledku výpočtu bylo v závěru zprávy z 5/1976 konstatováno, že hlavní rám lokomotivy T 466.2 bude po pevnostní stránce vyhovovat předepsaným zatížením. Vzhledem k tomu, že šlo v Lokomotivce o první rám počítaný metodou MKP, bylo z výzkumného hlediska žádoucí, porovnat výsledek s jinou experimentální metodou. Převislý konec rámu byl proto ve zmenšeném měřítku zhotoven z plexiskla a přiměřeně zatěžován. Oba výsledky pak byly porovnávány s výsledky stlačovacích zkoušek celé lokomotivy. Tím byly získány zkušenosti o vhodnosti jednotlivých metod výpočtu v různých oblastech rámu. (6)

Měsíc po vydání zprávy o výsledcích výpočtu rámu lokomotivy T 466.2 jsem vydal podobnou zprávu, tentokrát o výpočtu hlavního rámu rozměrově podobné lokomotivy T 448.0 s tloušťkou stojiny 20 mm a oběma pásnicemi 25 mm silnými. Výpočet předimenzovaného rámu programem MLAX se prováděl dodatečně jen proto, aby se prokázalo, že u této lokomotivy nebylo třeba provést nákladnou stlačovací zkoušku.(7)

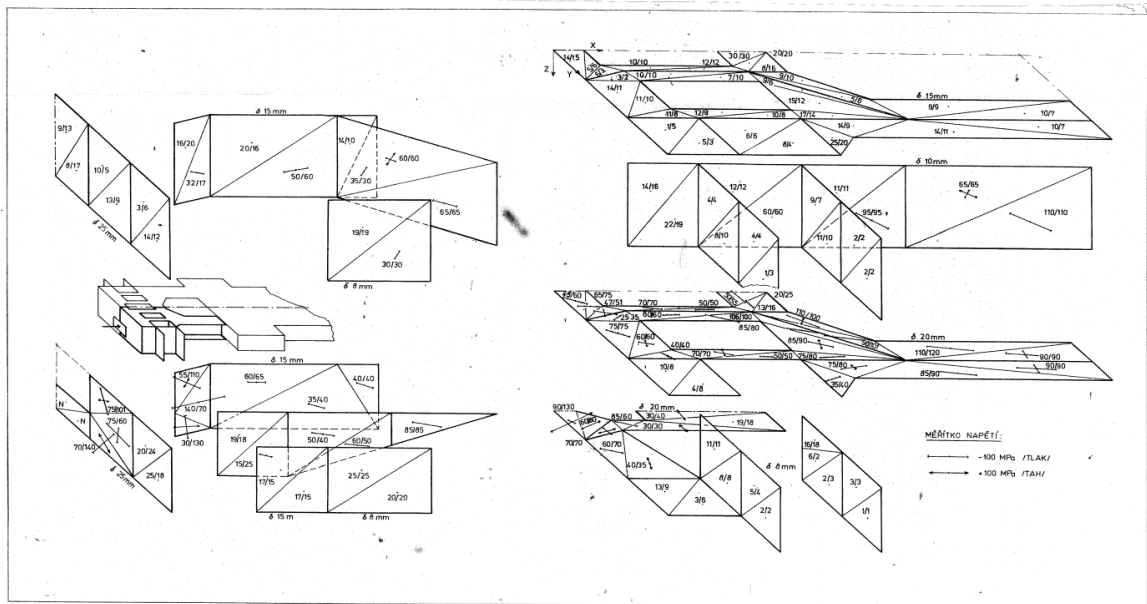
Do třetice byl v roce 1976 proveden výpočet hlavního rámu programy MLAX a MLFX nově projektované lokomotivy T 456.0, který byl zřejmě poslední prací na této lokomotivě. Podle zadání od FMD měla lokomotiva s vyvýšenou kabinou strojvedoucího mít diesel 6 PA 4-185 (Pielstick) ze ZTS Martin o výkonu 600 kW, který by se vešel pod nízké kapoty. Po přehodnocení výrobního programu v Martině by neměl tyto motory kdo vyrábět, a proto FMD u ČKD v roce 1976 tuto zakázku zrušilo. Závody ČKD je od roku 1978 nahradily svou koncepcí lokomotiv s vyvýšenou kabinou s motory řady 230 typu T 457.0, resp. T 457.1 (řady 730, resp. 731).

Ve spolupráci s pracovníky ústavu jsem vytvořil výpočtový model, kde se konstrukce rámu převedla tentokrát na prostorovou prutovou soustavu, ve které se

zohlednily i vzpomínané šikmé vzpěry. Cílem bylo přiblížit realitě i výsledky výpočtu v oblasti převislých konců rámu pomocí prutové soustavy. Opět jsem zvolil rozměry podélných profilů tvaru „I“ s horní pásnicí 15 mm a spodní 20 mm při stojně 10 mm. Jen se zde měnila častěji výška profilu. Horní hrana rámu byla jen ve výšce 1 500 mm (proti 1 600 mm u T 466.2), což znamenalo snížení přidavných ohybových namáhání. Model vytvořilo 54 spojů a 68 prutů se čtrnácti různými profily. Výpočtový model pro program MLAX je zobrazen na obr. 10.



Obr. č. 10 - Prutová soustava prostorového výpočtového modelu hlavního rámu lokomotivy T 456.0



Obr. 11 - Výsledná napětí na převislém konci hlavního rámu lokomotivy T 456.0 po zatěžování s tlačovací silou 2 MN v místě osy spráhla počítaná programem MLFX.

Jeden z výsledků výpočtu převislého konce hlavního rámu lokomotivy T 456.0 metodou MKP programem MFLX je znázorněn na obr. 11. Na výkresu jsou zakresleny velikosti a směr napětí v těžišti jednotlivých prvků vyvolané zatížením silou 2 MN v místě osy spřáhla (graficky jsou hodnoty napětí znázorněny délkou a orientací úseček). Nejvyšší napětí dosáhlo hodnoty 140 MPa.

## Závěr

### ***Příprava lokomotiv na zabudování evropského spřáhla***

Již téměř půl století jsou lokomotivy a vagóny připraveny na výměnu tažného a narážecího ústrojí za evropské automatické spřáhlo. Termín výměny však nebyl dosud stanoven. Z tohoto pohledu se zdá být veškerá příprava zbytečná, neboť většina těchto kolejových vozidel se výměny nedožila a byla zrušena. Zbývá jen doufat, že alespoň část vozidel této úpravy ještě využije.

### ***Výroba motorových lokomotiv řady 742***

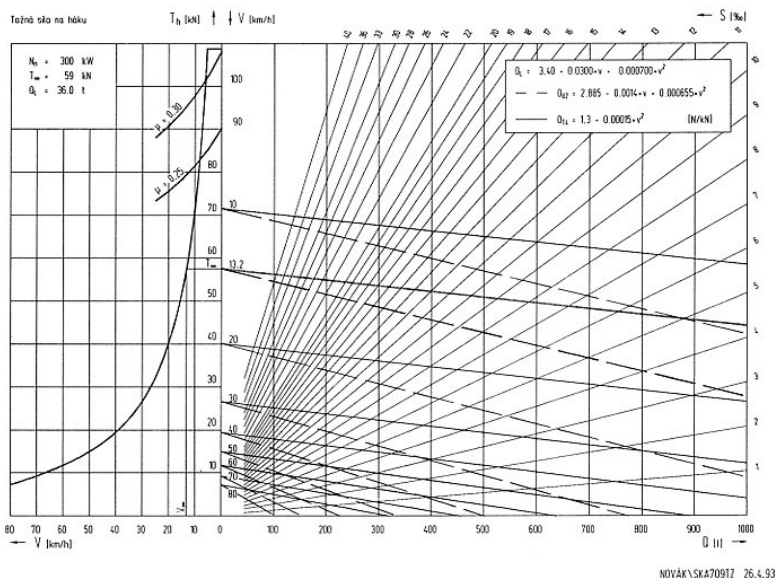
Lokomotiva T 466.2 (742) byla souhrnou okolností od roku 1977 rovnou sériově vyráběna, do roku 1986 jich bylo dodáno 494 kusů, což svědčí o odvaze a profesionalitě osob, které na počátku vzniku této řady o ní rozhodovaly. Svědčí to i o kvalitě konstruktérů a technologů, kteří lokomotivu sice koncepčně stejnou s předchozí lokomotivou T 448.0, ale výkresově téměř zcela novou dokázali téměř bezchybně připravit v krátkém čase do výroby. Kvalita výroby a následná dobrá údržba v provozu spolu s kvalitou oprav se projevila v životnosti lokomotiv. Při garantování životnosti 25 až 30 let jsou některé lokomotivy z I. série v provozu již přes 40let. Lokomotivy řady 742 tak mají v nákladní dopravě stále dominantní postavení v motorové trakci na vedlejších neelektrifikovaných tratích ČD.

### ***Použití počítačové techniky v konstrukci lokomotiv.***

Využívání počítačů ke zkvalitnění a zrychlení práce v různých oborech činnosti již od samého začátku jejich praktického použití svědčilo o vysoké technické úrovni strojírenského gigantu, jakým byla firma ČKD. V konstrukci lokomotiv pomohly pevnostní výpočty hlavních rámu metodou konečných prvků k upřesnění namáhání materiálu v exponovaných oblastech, a tím i k lepšímu využití materiálu. Ve využívání moderních počítačových programů pokračoval závod ČKD Lokomotivka i později. Při volbě kreslicích programů pro osobní počítače (PC) zakoupil licenci na americký grafický program Personal Designer, v Československu právě předváděný, který byl v té době ve vývoji o několik let dále, než známější Autocad. Po mé námitce, že u nás není tento program použitelný, neboť jeho písmo není v souladu s technickým písmem dle ČSN, jsem dostal úkol tento nedostatek napravit. A tak jsem pro distributora překreslil do tohoto programu technická písmata včetně azbuky tak, aby popisky jeho výkresů byly v souladu s československými normami.

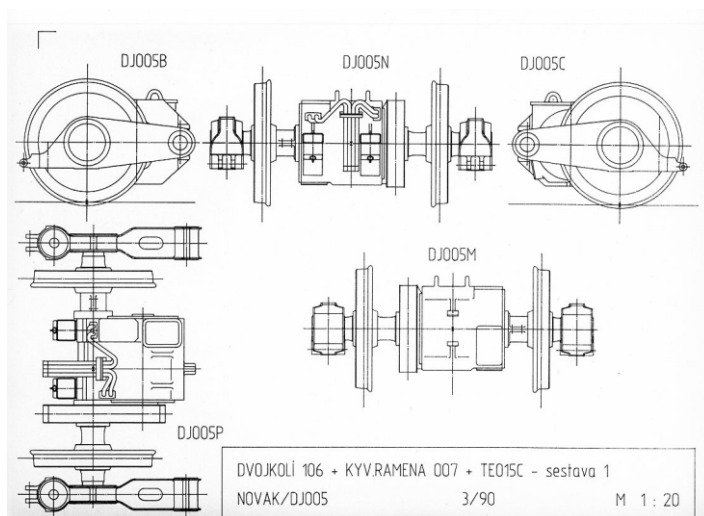
Počítače by měly odstraňovat pracnost a šetřit čas. Testem bylo převedení výpočtu a kreslení zátěžových diagramů lokomotiv na PC. Na klasický výpočet a nakreslení diagramu projektantem a následné jeho překreslení na pauzák kresličkou jeden den nestačil. Kombinací matematického a výše uvedeného grafického programu dokázal šikovný programátor po mém zadání a testování celý proces zkrátit na necelou půl hodinu. Do zadávacího formuláře stačilo jen vyplnit přiměřený počet souřadnic z

trakční charakteristiky dodané závodem ČKD Trakce, podle typu lokomotivy si zvolit maximální velikost tažné síly, rychlosti a vlakové zátěže a podle charakteru provozu si vybrat z nabídky vzorec pro odpor lokomotivy a dva vzorce typu odporu vlakové soupravy. Nakonec se zvolil jeden z nabízených šesti jazyků (včetně vietnamštiny), kterým má být zátěžový diagram popsán. Po kliknutí na enter se během chvíle vytiskl laserovou tiskárnou zátěžový diagram na výkres formátu A3 (viz obr. 12).



Obr. 12 – Zátěžový diagram lokomotivy řady 709

Začátkem 90. let se konstruktéři učili na PC kreslit detaily a sestavy, ale projektanti potřebovali z detailů sestavovat různé varianty typových výkresů a projektů. Začínali jsme od nuly, a tak jsem začal postupně budovat knihovnu detailů. Nejprve to byly jednoduché prvky jako dvojkolí, nárazníky, kabiny a kapoty, pak už to byly např. nákrsky celých naftových motorů značky Liaz pro dvounápravové lokomotivy. Podle potřeby se detail kreslil ve třech až pěti pohledech (viz obr. 13). Tyto začátky se nedají srovnávat s dnešním 3D kreslením, kde mají konstruktéři k dispozici bohaté knihovny počínaje všemi druhy šroubků.



Obr. 13 – Ukázka z katalogu dílů lokomotiv – dvojkolí s TM. Tištěno ještě jehličkovou tiskárnou

## Literatura

- (1) [https://cs.wikipedia.org/wiki/Spřáhlo\\_Scharfenberg#Železnice](https://cs.wikipedia.org/wiki/Spřáhlo_Scharfenberg#Železnice)
- (2) <https://vasillich.livejournal.com/40876.html>
- (3) SOUKUP, Lukáš – Digitální automatické spřáhlo pro evropskou železnici. *Vědeckotechnický sborník Správy železnic č. 5/2021*
- (4) POHL, Jiří – Vzpomínky na 70. léta
- (5) [https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda\\_konečných\\_prvků](https://cs.wikipedia.org/wiki/Metoda_konečných_prvků)
- (6) NOVÁK, Ladislav – Pevnostní výpočet hlavního rámu lokomotivy T 466.2. ČKD *Praha, závod Lokomotivka-Sokolovo, Zpráva č. 4-02-9100-064 z 18. 5. 1976*
- (7) NOVÁK, Ladislav – Pevnostní výpočet hlavního rámu lokomotivy T 448.0. ČKD *Praha, závod Lokomotivka-Sokolovo, Zpráva č. 4-02-9100-071 z 30. 6. 1976*

## Seznam zkratk

ČKD	Českomoravská-Kolben-Daněk
ČSD	Československé státní dráhy
DAC	Digital automatic coupler (Digitální automatické spřáhlo)
EVÚ	Elektrotechnický výzkumný ústav
FMD	Federální ministerstvo dopravy
LVZ	Liniový vlakový zabezpečovač
MKP	Metoda konečných prvků ( ang. FEM – Finite element method)
NASA	Národní úřad pro letectví a vesmír
OSŽD	Organizace pro spolupráci železnic
PC	Personal computer (Osobní počítač)
PZO	Podnik zahraničního obchodu
SA-3	Sovětské automatické spřáhlo
TM	Trakční motor
VŠD	Vysoká škola dopravní
VÚML	Výzkumný ústav motorových lokomotiv
UIC	Mezinárodní železniční unie
ZTS	Závody těžkého strojírenství
ŽOS	Železniční opravny a strojírnny

## Lektorovali:

Ing. Jaromír Bittner (Dražní úřad)  
Ing. Jan Plomer (České dráhy, a.s.)