



**26. MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA
„SÚČASNÉ PROBLÉMY V KOLĀJOVÝCH
VOZIDLÁCH - PRORAIL 2023“
20. – 22. septembra 2023, Žilina, Slovensko**

<https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.26>

**MODERNÍ SOUPRAVA METRA PRO ROZHOCHOD 1435 MM
MODERN METRO TRAIN FOR GAUGE 1435 MM**

Pavel SÁLA^{*)}, Kyrylo SKRYPACHOV

1 ÚVOD

ŠKODA TRANSPORTATION a.s. vyhrála v roce 2020 významnou zakázku na dodávku 37 souprav metra pro město Varšava. Tato souprava metra pro rozchod 1435 mm je odvozená ze souprav metra pro město Petrohrad s rozchodem 1520 mm. Moderní souprava metra pro rozchod 1435 mm pro město Varšava je navržena podle norem EN. Tuto soupravu je možné dodávat kromě Varšavy také do dalších evropských měst, jako je Praha, Sofie, a Budapešť. Design soupravy metra pro město Varšava je uveden na **obr. 1**. Fotografie je pořízena na ZŽO Velim, kde byla provedena řada testů a zkoušek.



Obr. 1 Testování soupravy metra Varšava na ZŽO Velim
Fig. 1 Testing of the Warsaw metro trainset at the ZŽO Velim

^{*)} **Ing. Pavel SÁLA, Ph.D.**, Rolling Stock Development, Product & project engineering management, Metro, ŠKODA TRANSPORTATION a.s, Emila Škody 2922/1, 301 00 PLZEŇ, M.: +420 378 186 067, e-mail, pavel.sala@skodagroup.com. 48 years old, Leader of Product Management Metro, deals with the development and construction of metro vehicles.

Ing. Kyrylo SKRYPACHOV, Tel. +420 378 186 605, e-mail: kyrylo.skrypachov@skoda-group.com. 37 years old, Leader of Main Project Engineers Metro, deals with the development and construction of metro vehicles

2 ZÁKLADNÍ USPOŘÁDÁNÍ SOUPRAVY

Každá souprava metra se skládá z 6 vozů, které jsou navzájem spojeny pomocí mezivozových spřáhel a přechodových měchů. Souprava je plně průchozí, což znamená, že během jízdy vlaku mohou cestující volně procházet mezi jednotlivými oddíly po celé délce vlaku. Složení soupravy je uvedeno na **obr. 2**.



Obr. 2 Uspořádání vozů soupravy metra pro město Varšava

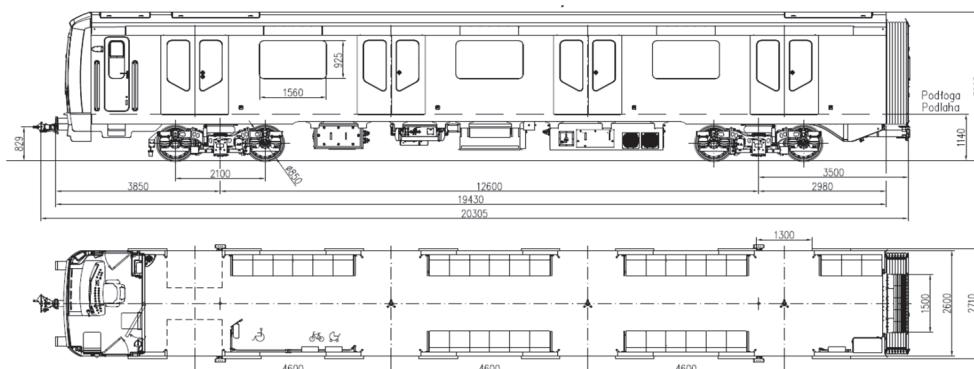
Fig. 2 Arrangement of metro vehicle for the city of Warsaw

Šestivozová souprava je tvořena dvěma shodnými trainsety ve složení 21Mt+22Mt+23Mt, které jsou spojeny a provozovány zády k sobě (zrcadlově). Hlavový motorový vůz typu 21Mt a motorový vložený vůz typu 22Mt jsou uloženy vždy na dvou dvounápravových trakčních podvozcích. Vložený bezmotorový vůz s označením 23Mt je uložen na dvou dvounápravových běžných podvozcích. Pro rychlý nástup a výstup cestujících jsou všechny typy vozů opatřeny na každé straně vozu čtyřmi dvoukřídlymi dveřmi posuvnými po bočnici.

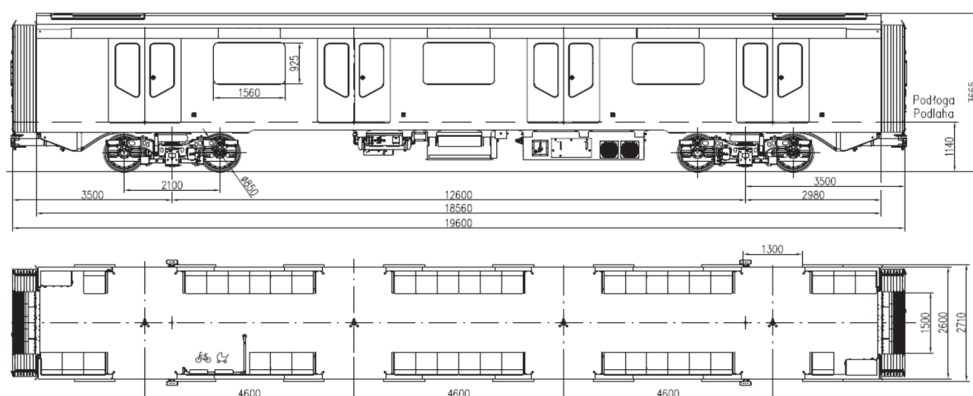
2.1 Technické parametry moderní soupravy metra

Základní rozměry vozů soupravy metra jsou uvedeny na **obr. 3** až **obr. 5**. Technické parametry moderní soupravy metra pro město Varšava jsou následující:

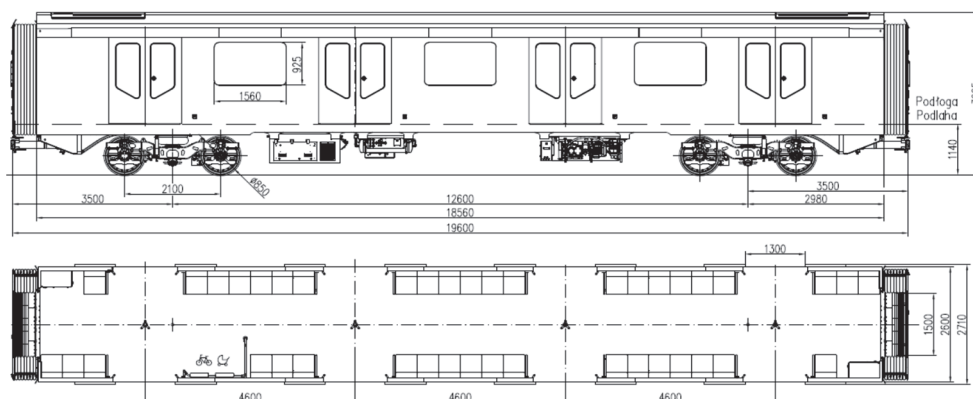
Rozchod koleje	1 435 mm
Celkový počet sedících	230 osob
Celkový počet sedících + stojících (7 os./m ²) / (8 os./m ²)	1 500 / 1 680 osob
Celková hmotnost soupravy	160 400 kg (±5%)
Celková délka soupravy přes čela / přes spřáhla	118 300 mm / 119 010 mm
Trvalý výkon trakčních motorů	16 x 150 kW
Rozsah pracovních teplot	- 35°C až + 40°C
Maximální provozní rychlost	90 km/h
Průměrné zrychlení (0 – 25 km/h)	1,25 m/s ²
Jmenovité trakční napětí	750 V DC ^{+200V DC} / ^{-250V DC}
Jmenovité napětí pomocné sítě	3x400 V/230 V, 50 Hz
Jmenovité napětí baterie	110 V DC
Maximální stoupání	45 ‰
Minimální poloměr oblouku na trati / v depu	190 / 70 m
Výška podlahy nad temenem kolejnice	1 140 mm
Průměr kol (nová/plně opotřebená)	850/780 mm
Požární odolnost	EN 45545-2, úroveň HL3



Obr. 3 Základní rozměry vozu typu 21Mt
Fig. 3 Basic dimensions of the vehicle type 21Mt



Obr. 4 Základní rozměry vozu typu 22Mt
Fig. 4 Basic dimensions of the vehicle type 22Mt



Obr. 5 Základní rozměry vozu typu 23Mt
Fig. 5 Basic dimensions of the vehicle type 23Mt

Obsaditelnost jednotlivých typů vozů soupravy metra a dal i parametry jsou uvedeny v následující **TAB. 1**.

TAB. 1 Základní parametry vozů soupravy metra pro město Varšava
TABLE 1 Basic parameters of metro vehicles for the city of Warsaw

Popis parametrů vozů soupravy metra	Typy vozů		
	21Mt	22Mt	23Mt
Hmotnost prázdného vozu [kg] ± 3 %	29 500	27 500	23 200
Uspořádání náprav	Bo´ Bo´	Bo´ Bo´	2´ 2´
Počet míst k sezení	33	41	41
Obsaditelnost vozu sedící + stojící 7 osob/m ²	244	253	253
Obsaditelnost vozu sedící + stojící 8 osob/m ²	274	283	283

2.1 Technické parametry infrastruktury

Základní technické parametry infrastruktury metra Varšava jsou následující:

Rozchod koleje	1 435 mm
Minimální horizontální poloměr oblouku v tunelu	150 m
Minimální horizontální poloměr oblouku v depu	300 m
Minimální vertikální poloměr oblouku	1 500 m
Maximální sklon	45 ‰
Délka nástupiště	120 m
Výška nástupiště měřená od úrovně TK	1090 -1100 mm

3 SKŘÍŇ VOZU

3.1 Hrubá stavba

Hrubá stavba skříně vozů je svařená z hliníkových extrudovaných profilů. Hrubá stavba je složena z následujících modulů:

- Spodek
- Bočnice
- Střecha
- Čelní stěna

Konstrukce hrubé stavby splňuje normy:

- konstrukční a pevnostní požadavky EN 12663-1, kategorie P-III;
- nárazové požadavky na skříně kolejových vozidel EN 15227, kategorie C-II.

3.2 Interiér vozu

Podlaha vozu je vytvořena z vodovzdorné překližky o tloušťce 15 mm. Překližka je přilepená k hliníkovým profilům lepícím tmelem. Na překližku je přilepena podlahová krytina s protiskluzovou úpravou.

Dveře pro cestující jsou dvoukřídlé, posuvné po bočnici s elektrickým pohonem. Elektrický pohon je realizován jedním elektromotorem pro každé dveře. Řízení elektromotoru zajišťuje řídicí jednotka umístěná u každých dveří.

Okna interiéru pro cestující jsou montovaná do pryžového profilu. Dvě okna v oddílu pro cestující, vždy jedno na každé straně vozu, zajišťují nouzový východ pro cestující.

Sedadla v salónu pro cestující jsou pod eln e uspořadana plastové konstrukce doplněné l tkov ym potahem. Madla pro cestující jsou vyrobena z nerezové oceli opatřena povrchovou úpravou, která je provedena práškovou barvou. Interiér pro cestující je dále vybaven informačním systémem, kamerovým systémem a dvěma řadami osvětlovacích LED těles.

Přisun čerstvého vzduchu cestujícím zajiřt uje ventilační systém. Mnořství dodavan eho vzduchu je regulováno v zavislosti na poctu cestujících, čidlu CO₂ a teplotě vzduchu v oddílu pro cestující. Maximální dodavan e množství vzduchu je 7 900 m³/h. Dvě ventilační jednotky umístěné na koncích vozu. Z ventilačních jednotek je vzduch distribuován centřaln m kanálem. Vzduch z centřaln ho kanálu vstupuje do interieru perforovan m stropem.

3.3 Z Kabina strojvedoucího

Uspořadání kabiny strojvedoucího je ovlivněno  eln m evakuačním výstupem.  eln i evakuační výstup je umístěn v levé  asti kabiny ve směru jízdy. Z uvedeného důvodu je pult umístěn v pravé  asti kabiny. Dveře mezi prostorem pro cestující a kabinou strojvedoucího jsou umístěný v levé  asti kabiny, naproti evakuačním dveřim.  eln i evakuační výstup je řešen jako bezrámový, proto čelní sklo je nedělené, elektricky vyhřivan e.

Přijemn e pracovní prostředí v kabině zajiřt  klimatizační jednotka umístěná na střeře vozu. Klimatizační jednotka je vybavená topením. Přístup do kabiny zajiřt j  dvoje boční dveře.

4 ELEKTRICK  VÝZBROJ

4.1 Řidící obvody soupravy

Souprava je vybavena redundantním systémem nadřazeného řizen , které pracuje na bázi mikroprocesorov e techniky. Nadřazené řizen  zajiřt je sběr dat z jednotlivých subsystémů soupravy, které dále využívá pro řizen  dalřich subsystémů soupravy. Současn e nadřazen e řizen  provádí diagnostiku vybraných subsystémů.

Řidící obvody jsou napájeny z pr b žn e bateriov e s t  110 V DC. Bez drřbov e baterie 110 V DC s centřaln m doléváním jsou umístěný na bezmotorových vozech typu 23Mt pod vozem.

4.2 Trakční a pomocné obvody

Trakční měniče jsou řešeny inteligentními IGBT moduly, které jsou chlazené vzduchem a jsou umístěný v trakčních kontejnerech, které jsou zav řeny pod vozem motorových vozů typu 21Mt a 22Mt. Řešení trakčních obvod  umořňuje realizovat elektrodynamickou brzdou s rekuperač , př padn e rekuperační brzdou v kombinaci s odporovou brzdou, včetně mořnosti samotné odporov e brzdy pro případ, že napájecí s t n n  schopna př j mat řádnou energii. Brzdové odporníky jsou př rozen e chlazené vzduchem.

Pomocné pohony jsou umístěný na vozech typu 23Mt společn e s bateriovou skříní a kompresorem. Pomocné pohony obsahují nabíječ vozové baterie a střídač pro napájení př sluřn ch pomocných pohonů – kompresorového soustrojí, klimatizaci kabiny.

5 BRZDOV  VÝZBROJ

Hlavní provozní brzdou soupravy metra je elektrodynamick  brzda s mořností rekuperace, př padn e s mořností mařit energii v brzdov m odporníku. Souprava je vybavena elektropneumatickou jednopotrubn  brzdou, která je v př pad  výpadku elektrodynamické brzdy schopna zajistit dostatečný brzdový  inek. V př pad  výpadku

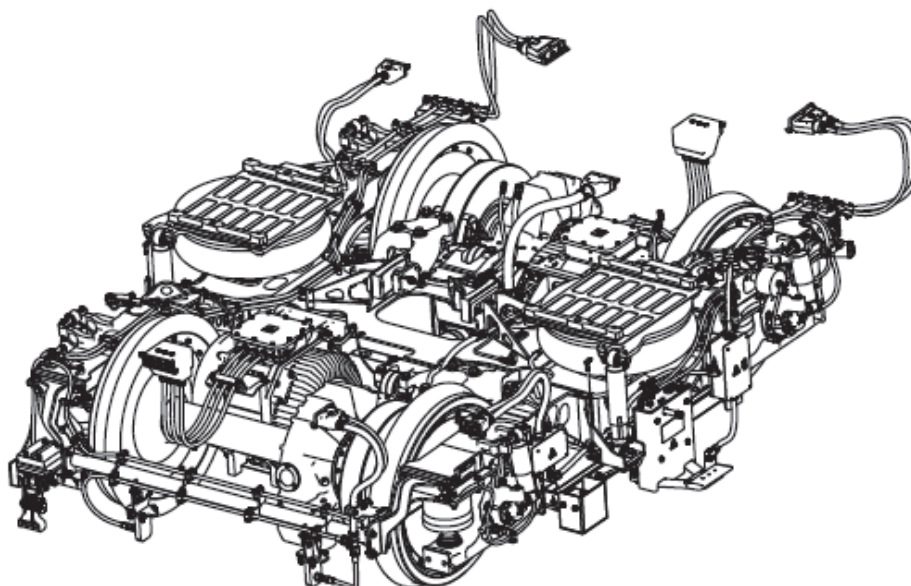
elektrodynamické brzdy je elektropneumatická brzda řízena v závislosti na velikosti požadované brzdné síly.

6 PODVOZKY SOUPRAVY METRA

Na soupravě pro metro Varšava jsou použity dva typy podvozků. Vývoj obou typů podvozků vycházel ze zkušeností stavby podvozků pro metro Petrohrad a zkušebních podvozků typu 11Mt. Koncepce podvozků je zvolena s ohledem na dlouhou životnost s minimálními udržovacími náklady.

6.1 Trakční podvozek

Konstrukce trakčního podvozku zajišťuje dobré jízdní a chodové vlastnosti do maximální konstrukční rychlosti vozidla (90 km/h). 3D pohled na dvounápravový trakční podvozek je uveden na **obr. 6**.



Obr. 6 Trakční podvozek

Fig. 6 Traction bogie

Rám podvozku je otevřeného typu H složený ze dvou podélníků, hlavního příčnicku a dvou čelníků. Jednotlivé podsestavy rámu podvozku jsou svařovány z plechů a odlitků.

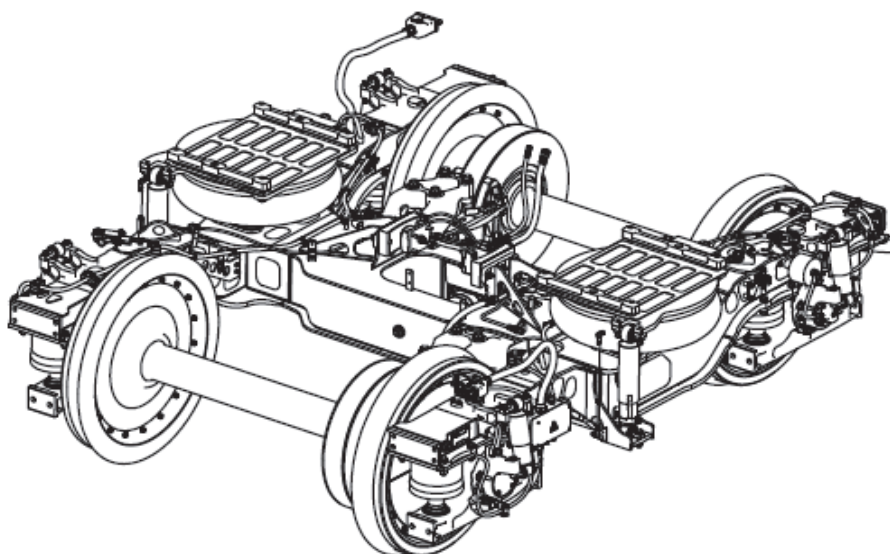
Individuální pohon dvojkolí trakčního podvozku zajišťují dva příčně uložené trakční asynchronní motory, přišroubované ke střednímu příčnicku podvozku. Přenos výkonu z motoru na dvojkolí je realizován jednostupňovou závěskovou převodovkou a zubovou spojkou. Mechanická zubová spojka umožňuje vzájemné relativní radiální, axiální a úhlové pohyby mezi trakčním motorem a převodovkou.

Trakční i běžný podvozek je vybaven dvoustupňovým, tj. primárním a sekundárním vypružením. Primární vypružení je realizováno pryžokovou pružinou. Sekundární vypružení je tvořené vzduchovým měchem doplněným do série pryžovou pružinou. Primární vypružení je doplněno svislými tlumiči a sekundární vypružení je doplněné svislými a příčnými hydraulickými tlumiči.

Trakční a brzd n e sily jsou z rámu podvozku na skř iř vovu přen ařeny přes podl n e nar azky a otočný  ep. K omezení maximálního příčného pohybu slouží pryřov e nar azky s pevným dorazem.

6.2 B eřn y podvozek

Jedním z cílů při vývoji obou typů podvozků byla snaha o maximální mořn e sjednocení pouřit ych komponentů. Oba podvozky mají v tř inu komponent shodnou, b eřn y podvozek není vybaven komponenty souvisejícími s trakčním pohonem, obě nápravy kařd eho b eřn eho podvozku jsou vybaveny parkovací (střadačov u) brzdou. 3D pohled na b eřn y podvozek je na **obr. 7**.



Obr. 7 B eřn y podvozek

Fig. 7 Trailer bogie

5 ZÁVĚR

Vývoj moderní soupravy pro město Varřava byl významným milníkem v produktu metra v ŠKODĚ TRANSPORTATION a.s. Tento vývoj přinesl novou soupravu, která je navřzen a podle norem EN. Důslednou optimalizací kařd eho komponentu řestivozov e soupravy bylo dosařeno velmi nízké hmotnosti soupravy 160,4 t. Souprava plní pevnostní pořadavky EN 12663-1, kategorie P-III; n arazov e pořadavky podle normy EN 15227, kategorie C-II a také normu pořarn i odolnosti EN 45545-2 pro nejv yř i uřroveň HL3. Souprava metra je vybavena diagnostickým systémem vřech důležitých komponent. Tyto skutečnosti pomohly dosáhnout zv yřen i komfortu a bezpečnosti obsluhy i cestujících. Na základě zkuřenost i z předchozích projektů byla provedena optimalizace jednotlivých uřdrřbov ych intervalů, coř by mělo přinést sn iřen i nákladů na uřdrřbu a opravy.

Jak j iř bylo ře eno v uřvodu, jedná se o významnou zakázku, která pomohla vyvinout soupravu metra evropských parametrů vhodnou pro střední Evropu a východní Evropu.

Literatura

[1] Sála, P. Červenka Z., Hora. M.: Výzkum v oblasti jízdních vlastností podvozků typu 11Mt vozu metra a využití výsledků u projektů vozů metra. Sborník přednášek XXIV Mezinárodní konference Súčasný problémy v koľajových vozidlách – PRORAIL 2019, VTS pri Žilinskej univerzite, 2019 ISBN (978-80-89276-59-2). [2] Sála, P.: Souprava metra NeVa pro rozchod 1520. Sborník přednášek XXII Mezinárodní konference Súčasný problémy v koľajových vozidlách – PRORAIL 2015, VTS pri Žilinskej univerzite, 2015 ISBN (978-80-89276-49-3). [3] Sála, P. Vápeník Z.: Prototypová souprava metra pro rozchod 1520 mm. Sborník přednášek XIX. Konference s mezinárodní účastí Súčasný problémy v koľajových vozidlech, Univerzita Pardubice, 2009 ISBN (978-80-7395-199-3).



Resumé

Příspěvek popisuje základní parametry šestivozové soupravy vozů metra pro rozchod 1435 mm. V úvodu článku je uvedeno uspořádání šestivozové soupravy, která je složena ze dvou shodných trainsetů ve složení 21Mt+22Mt+23Mt. Tyto trainsety jsou spojeny a provozovány zády k sobě (zrcadlově). Jedná se o hlavový motorový vůz typu 21Mt a motorový vložený vůz typu 22Mt a vložený bezmotorový vůz typu 23Mt. Dále jsou uvedeny základní technické parametry jednotlivých typů vozů a parametry šestivozové soupravy (např. základní rozměry vozů a soupravy, obsaditelnost vozů a soupravy, hmotnosti vozů, a další parametry), které jsou doplněny typovými listy jednotlivých vozů. Následuje kapitola s názvem Hrubá stavba, ve které je popsána konstrukce hrubé stavby. Hrubá stavba skříňe vozu plní pevnostní požadavky podle EN 12663-1, kategorie P-III a požadavky na nárazovou odolnost podle EN 15227, kategorie C-II. Popis základních elektrických komponent a jejich rozmístění je uveden v kapitole elektrická výzbroj a popis pneumatické výzbroje soupravy metra v kapitole brzdová výzbroj. Souprava je vybavena trakčním a běžným podvozkem shodné konstrukce, jejichž popis je uveden v kapitole podvozky. Podvozky jsou klasické konstrukce s rámem typu H. Individuální pohon náprav zajišťuje trakční asynchronní motor, zubová spojka a jednostupňová závěšková převodovka.

ŠT vývojem získala moderní novou soupravu metra s nízkou hmotností, která je navržena podle norem EN. Souprava metra plní požární odolností podle EN 45545-2 pro nejvyšší úroveň HL3. Souprava metra je vybavena diagnostickým systémem všech důležitých komponent. Tyto skutečnosti pomohly dosáhnout zvýšení komfortu a bezpečnosti obsluhy i cestujících.

Summary

The paper describes the basic parameters of a six-car set of metro for a gauge of 1435 mm. In the introduction of the paper, the layout of the six-car set is presented, which is composed of two identical trainsets of 21Mt+22Mt+23Mt. These trainsets are connected and operated back to back (mirror). There are the 21Mt head motor car and the 22Mt motor intermediate car and the 23Mt trailer intermediate car. The following are the basic technical parameters of the individual car types and the parameters of the six-car set (e.g. basic dimensions of the cars and the set, occupancy of the cars and the set, car weights, and other parameters), which are supplemented by the type list of the individual cars. This is followed by a chapter titled car body structure, which describes the construction of the body structure. The body structure of the car fulfils the strength requirements according to EN 12663-1, category P-III and the crashworthiness requirements according to EN 15227, category C-II. A description of the basic electrical components and their arrangement is given in the electrical equipment chapter and a description of the pneumatic equipment of the metro set in the braking

equipment chapter. The traction unit is equipped with traction and trailer bogies of identical design, the description of which is given in the chapter on bogies. The bogies are of conventional construction with a frame type H. The individual axle drive is provided by a traction asynchronous motor, a toothed clutch and a single-speed overdrive gearbox.

Through the development,  T has acquired a modern new low-weight metro set designed according to EN standards. The metro set meets the fire resistance requirements of EN 45545-2 for the highest level HL3. The metro set is equipped with a diagnostic system for all important components. These facts have helped to achieve an increase in comfort and safety for both operators and passengers.



