

令和 3 年度

質の高いインフラの海外展開に向けた事業実施可能性調査事業  
(ジョージア国・トビリシ地下鉄車両調達事業計画調査)

事業報告書

(令和 4 年 2 月)

委託先：

株式会社パデコ



## 目 次

<b>第1章 調査の背景、目的、内容</b>	<b>1-1</b>
1.1 背景と目的	1-1
1.2 調査対象地域	1-1
1.2.1 市の位置	1-1
1.2.2 トビリシ市の概要	1-2
1.2.3 気候	1-3
1.3 調査内容	1-3
1.4 調査体制	1-4
1.5 調査スケジュール	1-5
<b>第2章 相手国、当該セクター、調査対象事業の概要</b>	<b>2-1</b>
2.1 ジョージア国の概要	2-1
2.1.1 統治機構	2-1
2.1.2 面積・人口	2-2
2.1.3 経済状況	2-4
2.1.4 財政状況	2-6
2.2 トビリシ都市交通の概要	2-8
2.2.1 概況	2-8
2.2.2 開発の方向性	2-15
2.3 トビリシ地下鉄の概況	2-21
2.3.1 運営・路線	2-21
2.3.2 運行状況	2-23
2.3.3 利用客数の推移	2-26
2.3.4 設備改修・更新の緊急性	2-26
2.4 トビリシ地下鉄の需要予測	2-27
2.5 調査対象事業の概要	2-29
2.5.1 車両	2-29
2.5.2 電力供給、信号、通信	2-30
2.5.3 車両基地・工場	2-30
2.6 地下鉄車両調達のプライオリティ	2-31

<b>第3章</b>	<b>トビリシ地下鉄に係る整備計画・事業のレビュー</b>	<b>3-1</b>
3.1	Tbilisi Metro Upgrade and Refurbishment Plan	3-1
3.2	EBRD 支援による事業	3-4
3.2.1	Tbilisi Metro Project	3-4
3.2.2	トビリシ・バスセクターへの支援	3-4
3.3	ADB 支援による事業	3-5
3.3.1	Sustainable Urban Transport Investment Program	3-5
3.3.2	Livable Cities Investment Project for Balanced Development	3-7
3.4	地下鉄駅の改修等	3-8
3.5	地上システムによるメトロ延伸計画	3-8
<b>第4章</b>	<b>プロジェクト計画</b>	<b>4-1</b>
4.1	各技術要素の現況と分析	4-1
4.1.1	システム要件	4-1
4.1.2	インターフェース管理及びシステム統合	4-2
4.1.3	車両	4-5
4.1.4	電力供給	4-15
4.1.5	信号・通信	4-24
4.1.6	車両基地・工場	4-30
4.1.7	車両維持管理計画	4-38
4.1.8	設計基準	4-43
4.1.9	牽引電力の検討	4-44
4.1.10	システムの保証、受け入れ、及び安全性の認証	4-45
4.2	提案プロジェクトの内容	4-49
4.3	事業費	4-51
<b>第5章</b>	<b>財務分析</b>	<b>5-1</b>
5.1	TTC の財務状況	5-1
5.1.1	財務諸表分析	5-1
5.2	本事業の財務分析	5-4
5.2.1	分析の方法論	5-4
5.2.2	分析結果	5-5
<b>第6章</b>	<b>事業実施体制、実施スケジュール、ファイナンスの検討</b>	<b>6-1</b>
6.1	事業実施体制	6-1



6.1.1	事業の調達方法 .....	6-1
6.1.2	調達ガイドライン .....	6-3
6.1.3	工事契約約款 .....	6-4
6.1.4	実施体制・組織 .....	6-4
6.2	実施スケジュール .....	6-6
6.2.1	事業のフロー .....	6-6
6.2.2	事業実施スケジュール .....	6-6
6.2.3	コンサルタント業務 .....	6-8
6.2.4	独立安全評価者 - (Independent Safety Assessor (ISA)).....	6-9
6.3	ファイナンスの検討 .....	6-10
6.3.1	潜在的オプション .....	6-10
6.3.2	日本の支援スキーム .....	6-11
<b>第 7 章</b>	<b>環境改善効果・環境社会面の影響等 .....</b>	<b>7-1</b>
7.1	環境社会面における現状分析 .....	7-1
7.1.1	大気質 .....	7-1
7.1.2	騒音・振動 .....	7-3
7.1.3	生態系 .....	7-3
7.1.4	水質 .....	7-7
7.1.5	廃棄物 .....	7-8
7.1.6	文化遺跡 .....	7-8
7.1.7	土地利用 .....	7-9
7.2	プロジェクトの実施に伴う環境改善効果 .....	7-10
7.2.1	自然・生活環境 .....	7-10
7.2.2	社会環境 .....	7-10
7.3	プロジェクトの実施に伴う環境社会面への影響 .....	7-10
7.3.1	プロジェクトの建設・運営に伴う環境面への影響 .....	7-10
7.3.2	プロジェクトの建設・運営に伴う社会面への影響 .....	7-10
7.4	相手国の環境社会配慮関連法規の概要 .....	7-11
7.4.1	プロジェクト実施の際に関係する環境関連法規の概要 .....	7-11
7.4.2	プロジェクト実施に必要な相手国の EIA の内容 .....	7-11
7.4.3	プロジェクトの実現のために当該国がなすべき事柄 .....	7-14
<b>第 8 章</b>	<b>我が国企業の技術面等での優位性 .....</b>	<b>8-1</b>

<b>第9章 事業実現に向けたアクションプラン .....</b>	<b>9-1</b>
9.1 借款の要請 .....	9-1
9.2 アクションプラン .....	9-1
9.3 課題 .....	9-2

## 添付資料

- 添付資料 1 Interface Control Document（インターフェース管理書類）
- 添付資料 2 Design Criteria
- 添付資料 3 Traction Power Simulation



図 1-1 : トビリシ市位置図 .....	1-2
図 1-2 : トビリシ全域 .....	1-3
図 2-1 : ジョージアの行政区画 .....	2-1
図 2-2 : ジョージア及びトビリシの人口の推移 .....	2-3
図 2-3 : GDP 成長率及び一人当たり GDP 成長率の推移.....	2-4
図 2-4 : ジョージア公的債務の対 GDP 比の推移 .....	2-7
図 2-5 : アジア諸国の公的債務の対 GDP 比 .....	2-7
図 2-6 : トビリシの土地開発状況（容積率） .....	2-8
図 2-7 : トビリシ市街地及び周辺の交通混雑状況 .....	2-9
図 2-8 : トビリシ市の交通手段分担率（2016） .....	2-10
図 2-9 : トビリシ地下鉄の様子（Line 1） .....	2-11
図 2-10 : トビリシ地下鉄の様子（Line 2） .....	2-12
図 2-11 : トビリシ路線バスのバス停 .....	2-13
図 2-12 : トビリシの路線バス .....	2-13
図 2-13 : トビリシのミニバス（Marshrutka） .....	2-14
図 2-14 : トビリシのケーブルカー（ロープウェイ） .....	2-14
図 2-15 : トビリシ地下鉄路線図 .....	2-21
図 2-16 : Line 1 の Akhmeteli Theatre 駅の時刻表 .....	2-24
図 2-17 : Line 2 の State University 駅の時刻表 .....	2-25
図 2-18 : トビリシ地下鉄の年間利用客数の推移 .....	2-26
図 3-1 : Sustainable Urban Transport Investment Program の資金の流れ .....	3-6
図 3-2 : Livable Cities Investment Project for Balanced Development の実施体制 .....	3-7
図 3-3 : 地上システムによるメトロ延伸計画 .....	3-8
図 4-1 : 在来車両 4 両編成外観 .....	4-6
図 4-2 : 在来車両の運転台 .....	4-6
図 4-3 : 在来車両の車内ロングシート .....	4-7
図 4-4 : 在来車両の貫通路（幌なし） .....	4-7
図 4-5 : 在来車両の電動台車と集電靴 .....	4-7
図 4-6 : 在来車両の主幹制御器内部 .....	4-7
図 4-7 : 在来車両の主電動機・駆動装置と接地装置 .....	4-8
図 4-8 : 在来車両の主抵抗器（自然通風） .....	4-8
図 4-9 : 制御装置（VVVF インバータ） .....	4-12
図 4-10 : 主電動機（誘導電動機） .....	4-12
図 4-11 : 補助電源装置（静止形インバータ） .....	4-12
図 4-12 : トビリシ在来車両に相当する国鉄 103 系 .....	4-13
図 4-13 : 新造車両（比較対象）に相当する JR 東日本 209 系 .....	4-13
図 4-14 : Samgori Traction Substation の外観.....	4-17

図 4-15 : 直流遮断器 (ソ連製) .....	4-18
図 4-16 : 12 [kV] 交流遮断器 (中国製) .....	4-18
図 4-17 : サードレールの構造図 .....	4-20
図 4-18 : サードレールと絶縁装置の現場状況 .....	4-21
図 4-19 : 集電部詳細図 .....	4-21
図 4-20 : 終端部／始端部 詳細図 .....	4-21
図 4-21 : 上下線一括き電方式 .....	4-22
図 4-22 : バッテリーによる回生電力蓄電方式 .....	4-23
図 4-23 : 駅舎補助電源装置 .....	4-24
図 4-24 : 中央指令での列車運行管理 (Red Line Dispatcher's Office) .....	4-25
図 4-25 : ラッシュ時間帯のダイヤ (18:00) .....	4-25
図 4-26 : 信号機器室 (Station Square 1) .....	4-26
図 4-27 : 地上区間の線路沿線状況 .....	4-27
図 4-28 : 旅客案内パネル .....	4-28
図 4-29 : インバータ制御車のノイズ低減対策例 .....	4-29
図 4-30 : 電磁障害の発生源 .....	4-30
図 4-31 : Gldani 基地工場の軌道 No. 1 .....	4-33
図 4-32 : Gldani 基地工場の軌道 No. 2 .....	4-34
図 4-33 : Gldani 基地修繕職場 No. 1 .....	4-34
図 4-34 : Gldani 基地修繕職場 No. 2 .....	4-35
図 4-35 : TTC の全体組織図 .....	4-40
図 4-36 : 調達車両数 .....	4-50
図 6-1 : プロジェクト実施組織 .....	6-4
図 6-2 : プロジェクトの流れ .....	6-6
図 6-3 : 事業実施スケジュール .....	6-7
図 6-4 : JBIC による輸出金融スキーム .....	6-11
図 6-5 : 輸出金融を想定した返済キャッシュフローの試算結果 .....	6-13
図 7-1 : トビリシ国立公園から北端の Akhmeteli 駅までの距離 .....	7-4
図 7-2 : トビリシ国立公園の概要 .....	7-5
図 7-3 : 旧ソ連時代をそのまま残す地下鉄駅のデザイン .....	7-9

## 表

表 1-1 : トビリシの気温 .....	1-3
表 1-2 : 調査団の構成 .....	1-4
表 1-3 : 調査スケジュール .....	1-5
表 2-1 : ジョージアの 12 行政区 .....	2-2
表 2-2 : ジョージア全国及び地域毎の人口・人口割合・人口密度 (2021 年) .....	2-2
表 2-3 : ジョージア及びトビリシの人口の年平均増加率 .....	2-3
表 2-4 : ジョージア全体とトビリシの 2019 年 GDP 及び一人当たり GDP の比較 .....	2-4
表 2-5 : ジョージア全体とトビリシの経済活動別 (産業別) 2019 年名目 GDP と割合 .....	2-5
表 2-6 : ジョージアの輸出入総額の推移 .....	2-6
表 2-7 : トビリシ市の自動車登録台数の推移 (2014-2019) .....	2-10
表 2-8 : 都市交通戦略におけるアクションプランの概要 .....	2-16
表 2-9 : SUMP で提案されている主要施策 (例) (ドラフト段階) .....	2-17
表 2-10 : トビリシ地下鉄の駅 .....	2-22
表 2-11 : Line 1・Line 2 のターミナル駅発列車の運行状況 .....	2-23
表 2-12 : 需要予測に用いたパラメータの設定 .....	2-28
表 2-13 : トビリシ地下鉄の需要予測結果 .....	2-29
表 2-14 : 車両の形式、両数、製造年、大修理の実施年等 .....	2-30
表 3-1 : トビリシ地下鉄の改良に係る Pre-FS による整備優先度 .....	3-1
表 3-2 : トビリシ地下鉄の改良に係る Pre-FS による投資費用 .....	3-2
表 3-3 : Pre-FS による主要コンポーネントの投資費用の年度別内訳 .....	3-3
表 3-4 : EBRD 支援によるトビリシ・バスセクター事業 .....	3-4
表 3-5 : ADB 支援による Sustainable Urban Transport Investment Program .....	3-5
表 4-1 : 在来車両の車種・両数・経年 .....	4-6
表 4-2 : トビリシ地下鉄車両諸元表 .....	4-10
表 4-3 : 103 系と 209 系の技術比較 .....	4-13
表 4-4 : 103 系と 209 系のエネルギー消費量比較 .....	4-14
表 4-5 : トビリシ地下鉄との走行条件比較 .....	4-14
表 4-6 : トビリシ地下鉄新旧車両の概算エネルギー消費量比較 .....	4-14
表 4-7 : トビリシ地下鉄のき電システム概要 .....	4-15
表 4-8 : 変電所のタイプと一覧 .....	4-16
表 4-9 : Samgori Traction Substation の主な機器の諸元 .....	4-17
表 4-10 : 各変電所の整流器容量 .....	4-19
表 4-11 : 連動装置の主な諸元 .....	4-26
表 4-12 : 新しい基地設備の調達にかかる推定費用 .....	4-37
表 4-13 : トビリシ地下鉄の既存の保守周期 .....	4-38
表 4-14 : 提案される新車両の保守周期 .....	4-38
表 4-15 : 新しい車両の代表的な保守作業 .....	4-39

表 4-16 : 事業費 (2022 年 1 月現在価格) .....	4-51
表 5-1 : TTC 貸借対照表 (2017-2020) .....	5-1
表 5-2 : TTC 損益計算書 (2017-2020) .....	5-3
表 5-3 : 輸送モード別の収入割合 .....	5-3
表 5-4 : TTC 営業利益率 (2017-2020) .....	5-3
表 5-5 : 本事業の財務分析結果 .....	5-6
表 6-1 : 一般的なデザイン・ビルド工事 .....	6-1
表 6-2 : デザイン・ビルド契約の長所と短所 .....	6-2
表 6-3 : TTC の鉄道部門の職員数 .....	6-5
表 6-4 : コンサルタント業務の概要 .....	6-8
表 6-5 : JBIC 輸出金融の主な条件 .....	6-12
表 6-6 : 輸出金融を想定した返済キャッシュフローの試算に用いた条件 .....	6-13
表 7-1 トビリシ市の浮遊粒子状物質の状況 (2018-2020) .....	7-1
表 7-2 トビリシ市の大気状況 (オゾン、二酸化窒素、ベンゼン) (2020) .....	7-2
表 7-3 : トビリシ国立公園で見られる主な鳥類 .....	7-6
表 7-4 : トビリシ国立公園で見られる主な貴重種 (哺乳類) .....	7-6
表 7-5 : トビリシ市の廃棄物量 (2014-2021) .....	7-8
表 7-6 : トビリシ市の土地利用 .....	7-9

## 略 語

略語	正式名称	日本語訳
AC	Alternating Current	交流電流
ADB	Asian Development Bank	アジア開発銀行
ATC	Automatic Train Control	自動列車制御装置
ATP	Automatic Train Protection	自動列車防護装置
ATS	Automatic Train Stop	自動列車停止装置
CBTC	Communications Based Train Control	無線式列車制御
CDIA	Cities Development Initiative for Asia	アジアの都市開発イニシアチブ
DC	Direct Current	直流電流
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development	欧州復興開発銀行
EMC/EMI	Electro Magnetic Compatibility/ Electromagnetic Interference	電磁両立性/電磁障害
EN	European Norm	欧州規格
FC	Foreign Currency	外貨
FIRR	Financial Internal Rate of Return	財務的内部収益率
FS	Feasibility Study	事業実施可能性調査
FTA	Free Trade Agreement	自由貿易協定
GCAP	Green City Action Plan	グリーンシティ行動計画
GCF	Green Climate Fund	グリーン気候基金
GDP	Gross Domestic Product	国内総生産
GNI	Gross National Income	国民総所得
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	絶縁ゲートバイポーラトランジスタ
IM	Interface Matrix	インターフェースマトリックス
ISA	Independent Safety Assessor	独立安全評価者
JBIC	Japan Bank for International Cooperation	株式会社 国際協力銀行
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau	ドイツ復興金融公庫
LC	Local Currency	内貨
MESD	Ministry of Economy and Sustainable Development	経済・持続的発展省
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	経済協力開発機構

Pre-FS	Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade Final Report	トビリシメトロ改善予備事業実施可能性調査
RAMS	Reliability, Availability, Maintainability	信頼性、可用性、保守性
SIL	Safety Integrity Level	安全要件レベル
SRS	Systems Requirements Specifications	システム要件仕様
SUPM	Sustainable Urban Mobility Plan for Tbilisi	トビリシ都市モビリティ計画
SUT Strategy	Tbilisi Sustainable Urban Transport Strategy	トビリシ都市交通戦略
TCH	Tbilisi City Hall	トビリシ市役所
TFFR	Tolerable Functional Failure Rate	許容機能障害率
TOR	Terms of Reference	委託事項
TTC	Tbilisi Transportation Company	トビリシ交通公社
TUDA	Transport and Urban Development Agency	トビリシ市交通・都市開発局
VAT	Value Added Tax	付加価値税
VVVF	Variable Voltage Variable Frequency (Control)	可変電圧可変周波数制御
WB	World Bank	世界銀行



## 第1章 調査の背景、目的、内容

### 1.1 背景と目的

ジョージアの首都で最大都市のトビリシは、周囲を山や小高い丘に囲まれ、市の北部から南東方向に流れるクラ川（Kura River）の河畔を中心として市街地が広がっている。トビリシ市内の市街地は全長約 35 km、最も狭い部分の幅は約 5 km であり、この市街地に沿って交通が集中する。増大する都市交通需要に対応するため、地下鉄、バス、ミニバス等の公共交通が整備されてきた。一方、経済成長や一人当たりの所得の上昇等に伴い、トビリシにおける乗用車の登録台数は急速に伸び続けている等、都市交通需要は引き続き増加傾向にあり、市街地では交通渋滞が深刻な状況となっている。

このため、トビリシにおける深刻な交通混雑の緩和を図るため、公共交通の更なる整備が急務となっており、アジア開発銀行（ADB）の支援により作成された Tbilisi Sustainable Urban Transport Strategy 2015–2030（2015 年 12 月）においても、短期（2015–2017）及び中期（2018–2021）アクションプランの最重要施策の一つとして、トビリシ地下鉄の E&M システム・車両・駅等の改良が示されている。

トビリシ地下鉄は、1966 年に Line 1（Red）で運行を開始し、それ以来、順次拡張され、現在は Line 2（Green）を加えた 2 路線 27.3 km、23 駅で構成されている。同地下鉄の駅、車両、その他の施設は、ロシアの Gosudarstvenny Standard（GOST）、SNIP 規格及びそれらの下位規定に従って設計・建設された。建設から 60 年近く経過し、駅、車両、各種施設が老朽化したため、地下鉄を所有するトビリシ市は Line 2 の信号改良や駅設備の更新等の近代化・改良を実施してきた。この改良は進行中であり、大部分が欧州規格に移行しつつある。

トビリシ地下鉄の近代化において、老朽化し更新期限が超過した車両の更新が最重要課題とされ、2020 年 4 月に、欧州復興開発銀行（EBRD）により 40 両 - 10 編成の新車調達事業“Tbilisi Metro Project”へ融資が行われた。入札の結果 44 両が調達されることになった。しかし、148 両の更新予定の車両があり、追加の車両調達が急務である。

本事業の目的は、老朽化した車両を、交流主電動機と最新の電気・主回路システムを使用して製造された車両に更新することにより、輸送需要を満たす安定した輸送の確保、エネルギー消費の 30% 程度の節減、及び信頼性の向上による省力化車両保守作業による保守費用の削減を達成することである。

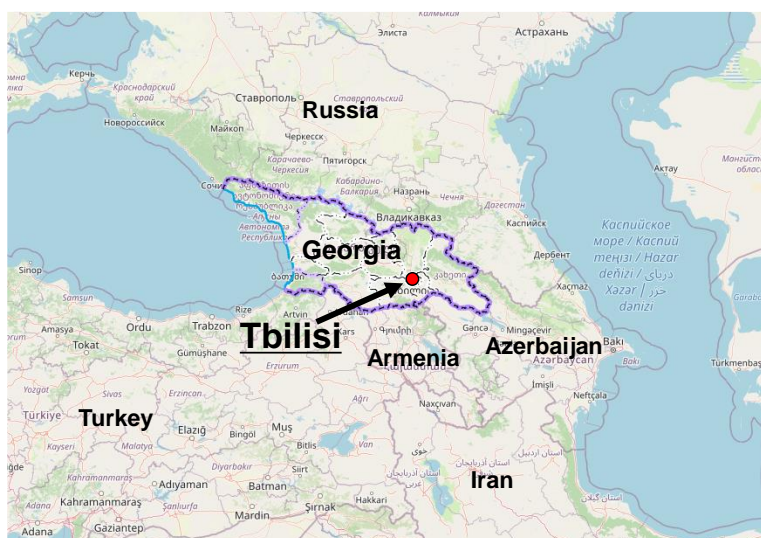
### 1.2 調査対象地域

#### 1.2.1 市の位置

トビリシ市は、グレートコーカサス山脈の南 120km に位置している。海拔 380 - 772m で北西から南東に都市を横切るクラ川に沿って位置する。市は、三方を山に囲まれた大きな円形劇場のような形をした複雑な地形を成している。北部はサグラモ山脈の南麓の丘に囲まれ、東はロリ平野の北西部に囲まれ、西と南はトリアレティ山脈の様々な丘に囲まれている。トビリシ市の位置図を以下に示す。

これらの物理的条件は、今日では都市の成長と都市交通システムの発展にとって物理的な障害となり、川の兩岸を結ぶ橋の数が限られていることから、常に輸送の「ボトルネック」となっている。

2015 年以来、市は大規模な再建設中である。旧トビリシは観光客にとって魅力の高い特別な地位を維持している一方、新しい都市が現れている。これらには、中央駅とスタジアム周辺の Vake、Saburtalo、Didube、トビリシ北部の Digomi と DidiDigomi が含まれる。新しい都市開発、特にアップタウントビリシプロジェクトとディゴミで提案された新しい大学複合施設、及び中央駅、オルタチャラとアブラバリの近くの商業/住宅開発は、この変化を強化するとされている。



出典：<https://maps.municipal.gov.ge> を基に調査団作成

図 1-1：トビリシ市位置図

## 1.2.2 トビリシ市の概要

トビリシ市の概要を以下に示す。

行政区画	トビリシ首都圏
市	トビリシ
標高	380 - 772m
人口	2021 年現在
	人口密度 2,385.2 人/km <sup>2</sup>
	都市圏 1,202,700 人

トビリシ市の位置図を以下に示す。



出典：https://maps.municipal.gov.ge

図 1-2：トビリシ全域

### 1.2.3 気候

気候は温暖で、年間の平均気温は最高 18.1℃、最低 8.2℃、ケッペンの気候区分では温暖湿潤気候に属する。内陸部に位置するため、夏は暑く冬は比較的寒い。最も寒い 1 月の平均最低気温は-2.2℃、最も暑い 7 月の平均最高気温は 30.6℃ である。

表 1-1：トビリシの気温

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年
平均最高気温℃	6.7	7.8	12.2	17.8	22.8	27.2	30.6	30.0	25.0	18.3	11.7	7.2	18.1
平均最低気温℃	-2.2	-1.1	2.2	7.2	11.7	16.1	19.4	18.9	15.0	8.9	3.3	-0.6	8.2

出典：https://weatherspark.com/y/103478/Average-Weather-in-Tbilisi-Georgia-Year-Round

### 1.3 調査内容

本調査では、EN/国際規格、及び（必要に応じて）GOST 規格に従って、トビリシ地下鉄の新しい車両を設計、製造、運用、及び保守することが技術的、経済的、及び環境的に実現可能かどうかを評価する。

本調査は、トビリシ地下鉄の老朽化した車両を更新するための車両調達事業を国際協力銀行（JBIC）又は、その他の融資機関による融資事業として形成するために実施する。そのために日本企業が製造する先進的な省エネ車両コアシステムの導入の可能性と、日本企業が車両製造に参加する可能性を検討し、プロジェクト計画を作成及び評価する。

この実現可能性調査では、以下の作業を行う。

- 現場視察と関係当局との協議
- 情報の収集と分析
- トビリシ都市交通と地下鉄の概要
- 旅客需要
- 車両の設計基準の作成
- システム統合とインターフェースの特定
- システム保証および安全認証の原則の確立
- 車両の運用・保守計画
- 電力供給のモデリングとシミュレーション
- 車両基地・工場
- 財務分析
- 事業実施体制
- 事業実施スケジュール
- ファイナンスの検討
- 環境・社会配慮

Covid-19 の影響により、国際専門家は調査期間中にジョージアを訪問する機会を得ることが出来なかった。このため、国際専門家はリモートで作業を行った。現地視察は、調査団の国際専門家と現地専門家が視察計画について協議を行い、現地専門家が行った。調査団は、情報収集及び協議等調査を円滑に実施するために、Tbilisi City Hall (TCH) と Tbilisi Transportation Company (TTC) との毎週定例会議を調査期間中に開催した。また、TCH と TTC の専門家と調査団の専門家は、夫々直接意見交換や協議を行った。調査団は、調査の円滑な実施を支援してくれた TCH と TTC に感謝を示したい。

#### 1.4 調査体制

調査団は、以下に示す 11 人の国際専門家と 9 人の現地専門家により構成された。

表 1-2 : 調査団の構成

Responsibility	International Experts	Local Experts
1. Team Leader	Masami Sekine (Mr.)	-
2. Railway Plan 1	Takeshi Shimomura (Mr.) Kenji Kimura (Mr.)	Nugzar Rurua (Mr.)
3. Passenger Demand	Naohiko Seki (Mr.) Shogo Matsumoto (Mr.)	-
4. Rolling Stock cum O&M Plan 1	Isao Tsujimura (Mr.)	Avtandil Sharvashidze (Mr.) Mirian Tsotskhalashvili (Mr.)
5. Interface/System Integration cum Systems Assurance 1	Kevin Gutteridge (Mr.)	Temuri Lomadze (Mr.)
6. Signalling cum Communications 1	Akira Honda (Mr.)	Papuna Elizbarashvili (Mr.)
7. Power Supply 1	Kenji Tanoue (Mr.)	Vano tchithaghua (Mr.)
8. RS Maintenance, Depot Expert cum O&M Plan 1	Johnny Chan	Dimitri Qavtaradze (Mr.)

9. Financial Analysis, Financing Plan	Kenji Suzuki (Mr.) Sadiqa Oshiro (Ms.)	-
10. Environmental & Social Issues 1	Noriko Kono (Ms.)	Maia Vashakidze (Ms.)
11. Coordinator	Mayuko Kitamura (Ms.)	Mikha Tabliashvili (Mr.)

出典：調査団

## 1.5 調査スケジュール

調査スケジュールを以下に示す。

表 1-3：調査スケジュール

Work Items	Year & Months	2021			2022	
		10	11	12	1	2
1 Background and necessity of the Project						
2 Review of EBRD and related projects						
2.1 Questionnaire (collection of materials, question & answer, analysis)						
2.2 The current status of Metro						
2.3 Metro projects under planning and execution						
3 Review of passenger demands						
4 Study on the Project						
4.1 Purpose and contents of the Project						
4.2 Study and analysis on engineering elements						
4.3 Project implementation manner and procurement methods						
4.4 Project Implementation System, O&M Plan of the Project						
4.5 Cost estimation						
4.6 Project implementation schedule						
5 Financial analysis						
6 Project financing plan						
7 Examination of environmental and social aspects						
8 Confirmation of superiority of Japanese companies						
Reporting, local briefing session						
Preparation of draft final report						
PPT summary study report preparation						
Local presentation						
Final study report preparation						
Milestone (Study due date - 28 February 2022)						

出典：調査団



## 第2章 相手国、当該セクター、調査対象事業の概要

### 2.1 ジョージア国の概要

#### 2.1.1 統治機構

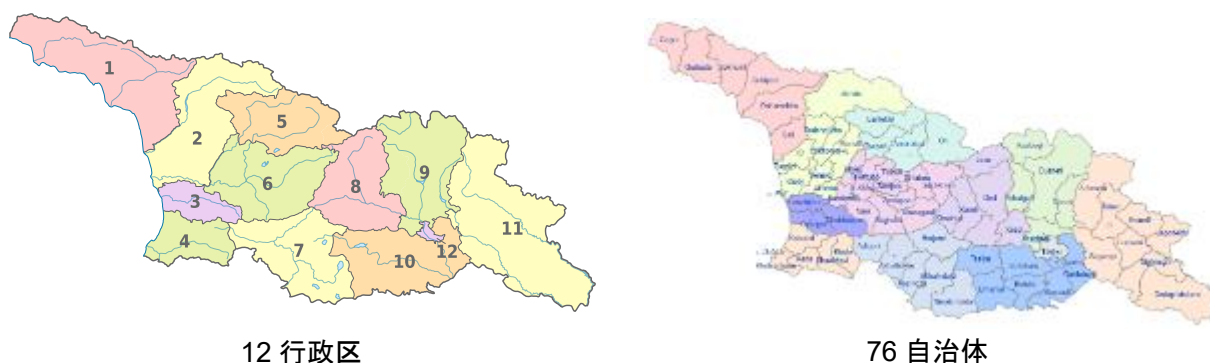
##### (1) 政体

1991 年に旧ソビエト連邦から独立したジョージア国は、大統領を元首とする共和制国家であり、首都はトビリシである。現在の大統領は、2018 年 12 月に就任したサロメ・ズラビシヴィリ（Salome Zourabichvili）で、ジョージア初の女性大統領である。任期は 2024 年までの 6 年である<sup>1</sup>。大統領は、首相その他の大臣の任命・指名に関して議会の同意を得る必要がある。

議会制度は一院制であり、任期 4 年、定数 150 名（120 議席が比例代表制で、30 議席が小選挙区制）である。直近の選挙は 2020 年 1 月に行われた。首相はイラクリ・ガリバシヴィリ（Irakli Garibashvili）で、2021 年 2 月から現職である。議会は行政官庁が集中する首都トビリシではなく、ジョージア西部の古都クタイシに置かれている。2010 年に憲法改正が行われ、2013 年 10 月より、大統領の権限が大幅に縮小され、大部分の権限が首相に移管された。これによってジョージアの政体は事実上、議院内閣制へと移行した。

##### (2) 行政区画

ジョージアは、2 つの自治共和国、トビリシ、及び 9 つの州（Mkhare / Region）の 12 の行政区に分かれ、これらは計 76 の自治体に細分されている。これら行政区・自治体を下図に、12 行政区の名称を次表に示す。



注：12 行政区の名称は次表参照。

出典：Wikipedia

図 2-1：ジョージアの行政区画

<sup>1</sup> 憲法改正により、2024 年から大統領任期は 5 年となる。また、2024 年から国家元首の選出方法が選挙人団による間接選挙に変更されるため、現大統領は直接選挙で選出される最後の大統領となる予定である。

表 2-1 : ジョージアの 12 行政区

#	行政区	英語表記	首府
1	アブハジア自治共和国	Autonomous Republic of Abkhazia	スフミ
2	サメグレロ＝ゼモ・スヴァネティ州	Samegrelo-Zemo Svaneti	ズグジジ
3	グリア州	Guria	オズルゲティ
4	アジャラ自治共和国	Autonomous Republic of Adjara	バトゥミ
5	ラチャ＝レチフミ及びクヴェモ・スヴァネティ州	Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti	アンブロラウリ
6	イメレティ州	Imereti	クタイシ
7	サムツヘ＝ジャヴァヘティ州	Samtskhe-Javakheti	アハルツィヘ
8	シダ・カルトリ州	Shida Kartli	ゴリ
9	ムツヘタ＝ムティアネティ州	Mtskheta-Mtianeti	ムツヘタ
10	クヴェモ・カルトリ州	Kvemo Kartli	ルスタヴィ
11	カヘティ州	Kakheti	テラヴィ
12	トビリシ	Tbilisi	トビリシ

注：番号は上図（12 行政区）における番号に対応

出典：調査団調べ

## 2.1.2 面積・人口

ジョージアの面積は、領土問題のあるアブハジア自治共和国と南オセチアを含むと 69,700 km<sup>2</sup>、これらを除くと 57,200 km<sup>2</sup>であり、後者の 2021 年の人口は約 370 万人、人口密度は 65.2 人/km<sup>2</sup>である。下表に、2021 年の全国及び各地域の人口と人口密度を示す。

表 2-2 : ジョージア全国及び地域毎の人口・人口割合・人口密度（2021 年）

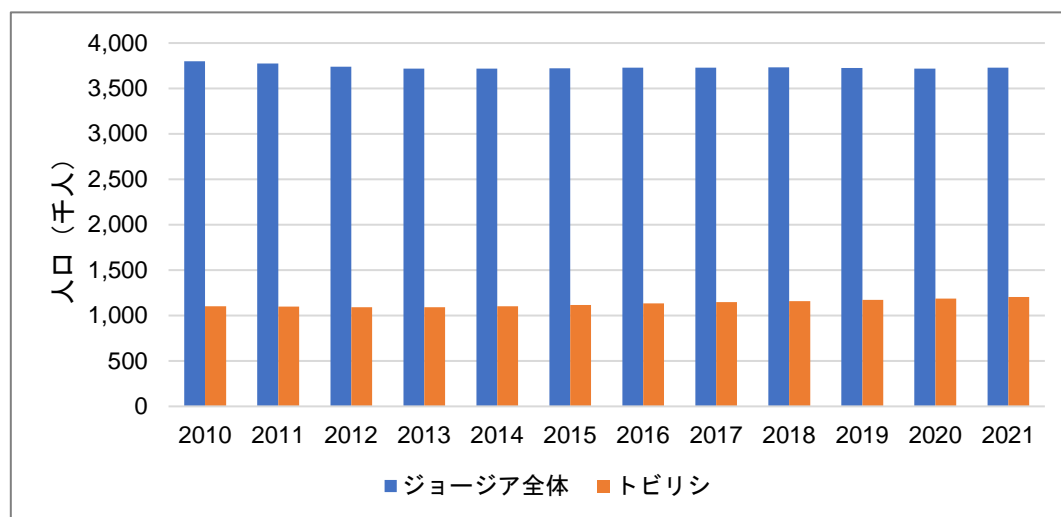
地域	人口 (千人)	人口割合 (%)	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )
ジョージア全国	3,728.6	100.0	65.2
Tbilisi	1,202.7	32.3	2,385.2
Autonomous Republic of Abkhazia	—	—	—
Autonomous Republic of Adjara	354.9	9.5	122.4
Guria	107.1	2.9	52.7
Imereti	481.5	12.9	75.1
Kakheti	309.6	8.3	27.2
Mtskheta-Mtianeti	93.4	2.5	16.7
Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti	28.5	0.8	6.2
Samegrelo-Zemo Svaneti	308.4	8.3	41.3
Samtskhe-Javakheti	151.1	4.1	23.6
Kvemo Kartli	437.3	11.7	68.0
Shida Kartli	254.1	6.8	74.1

出典：ジョージア国家統計局



トビリシの 2021 年の人口は約 120 万人であり、ジョージア全人口の約 3 分の 1 を占める。また、トビリシの人口密度は 2,385 人/km<sup>2</sup> で、他地域の平均密度と比べて圧倒的に高く、首都への人口集中が顕著となっている。

下図に、ジョージア全体及びトビリシの 2010 年以降の人口を示す。2010 年以降、ジョージアの人口は 370 万人から 380 万人で推移している。一方で、首都トビリシの人口は、2010 年の中頃まで概ね 110 万人で推移した後、若干の上昇傾向が見られ、2021 年には約 120 万人となっている。



出典：ジョージア国家統計局

図 2-2 : ジョージア及びトビリシの人口の推移

下表に、2010 年以降の人口の年平均増加率を示す。

表 2-3 : ジョージア及びトビリシの人口の年平均増加率

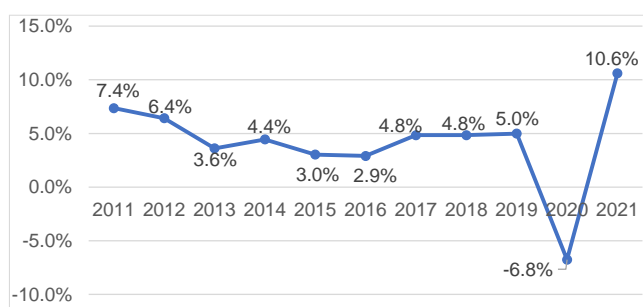
地域	人口 (千人)			期間別の年平均増加率		
	2010	2015	2021	2010-2015	2015-2021	2010-2021
ジョージア全体	3,800	3,722	3,729	-0.4%/年	0.0%/年	-0.2%/年
トビリシ	1,100	1,116	1,203	0.3%/年	1.3%/年	0.8%/年

出典：ジョージア国家統計局

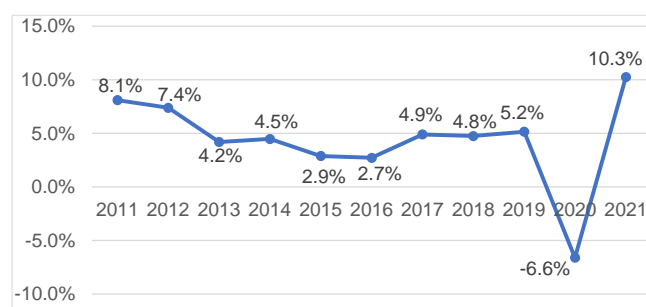
### 2.1.3 経済状況

ジョージアの 2019 年の名目 GDP は、49,253 百万 GEL<sup>2</sup> (17,471 百万 USD<sup>3</sup>) であり、2019 年の一人当たり名目 GDP は、13,239 GEL (4,696 USD) であった。下図に示す通り、2010 年代のジョージアの GDP 及び一人当たり GDP は堅調に推移し、2010 年から 2019 年の 9 年間の年平均成長率は、GDP は 4.7%/年、一人当たり GDP は 4.9%/年となっている。コロナ禍の 2020 年は、前年比で 7% 近い経済縮小に直面したが、2021 年は前年比 10% 以上の上昇との速報値 (2022 年 1 月末時点) が出されている。

2010 年～2019 年の消費者物価 (CPI) の年平均上昇率は 3.3%/年であるが、2019 年は 4.9%、2020 年は 5.2% と上昇傾向にある。



実質 GDP 成長率



一人当たり実質 GDP 成長率

注：2021 年の GDP 成長率は 2022 年 1 月 31 日時点の速報値

出典：ジョージア国家統計局

図 2-3：GDP 成長率及び一人当たり GDP 成長率の推移

一方で、ジョージアの失業率は国際的に見ても高い水準で推移している。2010 年以降の失業率は 20% を超え、2018 年に 19.2%、2019 年に 17.6% と、改善が見られたものの、コロナ禍の 2020 年は 18.5% となっている。高レベルの失業率は、ジョージアの経済・社会において大きな課題である。

ジョージアの GDP に占めるトビリシの割合は高く、2019 年時点で約 51% である (下表参照)。また、トビリシの一人当たり GDP は、ジョージア全体の約 1.6 倍となっている。

表 2-4：ジョージア全体とトビリシの 2019 年 GDP 及び一人当たり GDP の比較

項目	ジョージア全体		トビリシ	
	(GEL)	(USD)	(GEL)	(USD)
GDP	49,253 million	17,471 million	25,207 million	8,941 million
GDP/人	13,239	4,696	21,639	7,676

注：GEL = Georgia Lari、2019 年の平均為替レートは 1 USD = 2.8192 GEL

出典：ジョージア国家統計局

<sup>2</sup> GEL は、ジョージアの通貨である Lari (ラリ)。

<sup>3</sup> 2019 年の平均為替レート 1 USD = 2,8192 GEL を適用。

下表に、ジョージア全体とトビリシの 2019 年の経済活動別（産業別）GDP と割合を示す。ジョージアの主要産業としては、農業、食品加工（高品質なワインが有名）、金属製品（合金鉄、銅・銅製品等）、非金属鉱物製品（セメント、コンクリート含む建材等）、運輸・観光等がある。人口が集中し、人口密度の高いトビリシでは、全国と比較して農業の割合が低く、サービス産業の割合が高い。

**表 2-5：ジョージア全体とトビリシの経済活動別（産業別）2019 年名目 GDP と割合**

	経済活動／産業	ジョージア全体		トビリシ	
		百万 GEL	割合	百万 GEL	割合
A	Agriculture, forestry and fishing	3,204	6.5%	49	0.2%
B	Mining and quarrying	596	1.2%	236	0.9%
C	Manufacturing	4,368	8.9%	1,727	6.9%
D	Electricity, gas, steam and air conditioning supply	1,009	2.0%	399	1.6%
E	Water supply; sewerage, waste management and remediation activities	350	0.7%	139	0.5%
F	Construction	3,681	7.5%	2,223	8.8%
G	Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles and motorcycles	6,161	12.5%	4,661	18.5%
H	Transportation and storage	2,838	5.8%	1,832	7.3%
I	Accommodation and food service activities	2,223	4.5%	1,428	5.7%
J	Information and communication	1,324	2.7%	941	3.7%
K	Financial and insurance activities	2,181	4.4%	1,194	4.7%
L	Real estate activities	4,946	10.0%	2,716	10.8%
M	Professional, scientific and technical activities	1,113	2.3%	727	2.9%
N	Administrative and support service activities	607	1.2%	336	1.3%
O	Public administration and defense; compulsory social security	2,992	6.1%	1,196	4.7%
P	Education	1,883	3.8%	601	2.4%
Q	Human health and social work activities	1,796	3.6%	770	3.1%
R	Arts, entertainment and recreation	1,510	3.1%	751	3.0%
S	Other service activities	311	0.6%	139	0.6%
T	Activities of households as employers; undifferentiated goods and services producing activities of household for own use	45	0.1%	14	0.1%
	(=) GDP at basic prices	43,138	87.6%	22,077	87.6%
	(+) Taxes on products	6,348	12.9%	3,249	12.9%
	(-) Subsidies on products	233	0.5%	119	0.5%
	(=) GDP at market prices	49,253	100.0%	25,207	100.0%

出典：ジョージア国家統計局

ジョージアの貿易は、下表に示す通り、輸入超過の構造となっており、輸出拡大がジョージア経済における課題の一つである。主要輸出品目として、銅鉱、自動車、合金鉄、ワイン、ナッツ類、蒸留酒、ミネラルウォーター等がある。また、主要輸入品目として、石油・ガスを中心とした鉱物性燃料、自動車、銅鉱、一般機械、携帯電話、医薬品等がある。主要輸出先は、中国、ロシア、アゼルバイジャン、ブルガリア、トルコ、ウクライナ等である。輸入については、トルコ、ロシア、中国、EU諸国、アゼルバイジャン、米国、ウクライナ等が多い。日本からの輸入が輸出総額に占める割合は、過去5年（2016～2020）では平均約2.4%となっている。

表 2-6：ジョージアの輸出入総額の推移

(単位：百万 USD)

項目	2015	2016	2017	2018	2019	2020
輸出総額 (FOB)	2,204.2	2,117.1	2,745.7	3,379.7	3,798.4	3,343.4
輸入総額 (CIF)	7,304.2	7,341.9	8,057.2	9,361.8	9,519.2	8,052.9
差引額	-5,100.0	-5,224.7	-5,311.4	-5,982.1	-5,720.8	-4,709.4

出典：ジョージア国家統計局

特筆すべき点として、世界銀行が毎年発行する「Doing Business」における「ビジネスのしやすさ（総合）」ランキングで、ジョージアは、2016年の世界24位、2017年16位から更に上昇し、2018年9位、2019年6位、2020年7位と、良好なビジネス環境が国際的にも高い評価を受けている。

ジョージアは、多くの地域・国との間で積極的に自由貿易協定（FTA）を締結してきており、我が国とも「投資の自由化、促進及び保護に関する日本国とジョージアとの間の協定」（日・ジョージア投資協定）が2021年1月29日に署名され、2021年7月23日に発効した<sup>4</sup>。同協定は、日・ジョージア間の投資の自由化、促進及び保護に関して包括的かつ詳細な事項を規定するもので、この協定の発効により、日・ジョージア間の投資が促進されるとともに、両国間の経済関係が一層発展することが期待される<sup>5</sup>。

## 2.1.4 財政状況

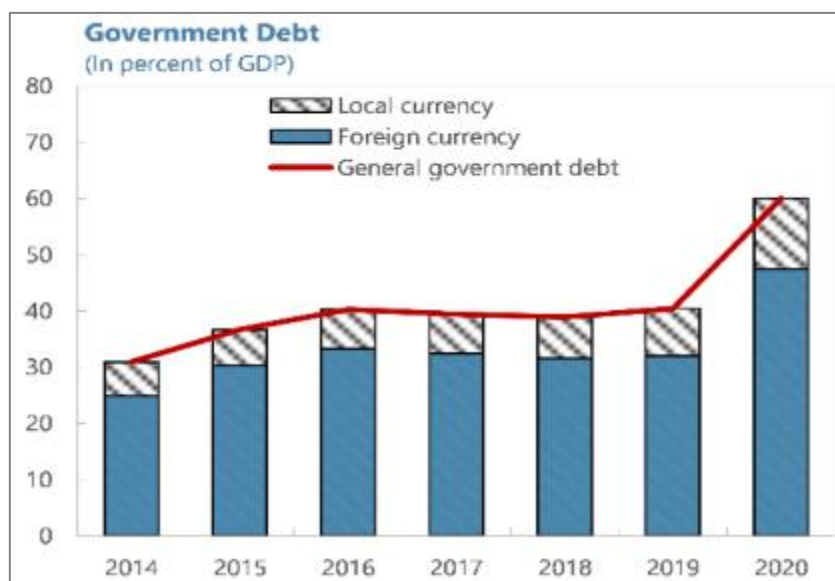
ジョージアの公的債務は、2010年代前半は名目GDPの30%台前半を維持し、2010年代後半になると若干上昇したものの、2019年時点で約40%であった。しかしながら、コロナ禍の2020年は、GDPマイナス成長、歳入減、歳出増、対外債務増により60%まで上昇した。2014年から2020年の公的債務の対GDP比の推移を次図に示す。なお、図の注に記した通り、2021年の経済回復により2021年の数値は改善するものと予想される。

<sup>4</sup> 「日・ジョージア投資協定」の条文は以下：

和文 <https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/100143571.pdf>、英文 <https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/100143573.pdf>  
同協定の附属書は以下：

和文 <https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/100143572.pdf>、英文 <https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/100143574.pdf>

<sup>5</sup> 我が国外務省ウェブサイト参照：[https://www.mofa.go.jp/mofaj/press/release/press4\\_009078.html](https://www.mofa.go.jp/mofaj/press/release/press4_009078.html)

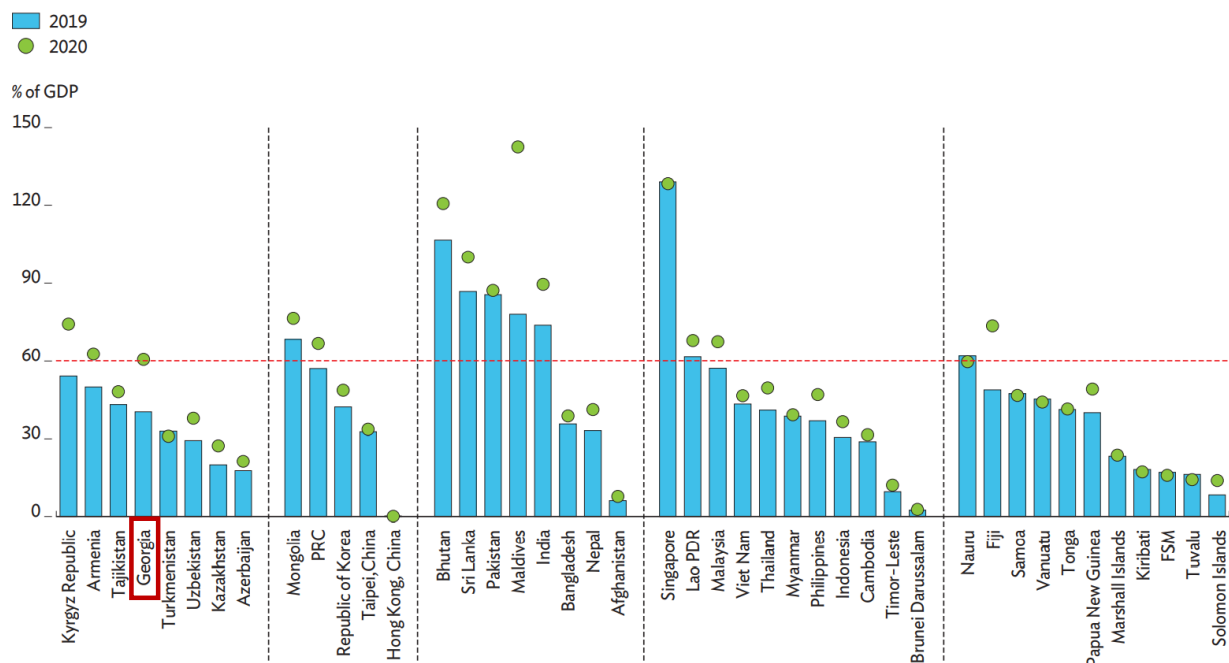


注：公的債務残高の 2021 年における増減の程度にもよるが、先述の 2021 年 GDP 成長率速報値（2022 年 1 月末時点）から、2021 年の公的債務の対 GDP 比は 2020 年から改善するものと予想される。

出典：IMF, 2021 Article IV Consultation Report – Georgia（2021 年 9 月）

図 2-4：ジョージア公的債務の対 GDP 比の推移

参考として、ADB がまとめている Asian Development Outlook 2021 Update による、アジア諸国の公的債務の対 GDP 比（2019 年及び 2020 年）の比較を下図に示す。



FSM = Federated States of Micronesia, GDP = gross domestic product, Lao PDR = Lao People's Democratic Republic, PRC = People's Republic of China.

Note: The Pacific excludes the Cook Island, Niue, and Palau, as no data are available for these economies.

Source: International Monetary Fund. World Economic Outlook April 2021 Database. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2021/April>.

出典：ADB, Asian Development Outlook 2021 Update（2021 年 9 月）

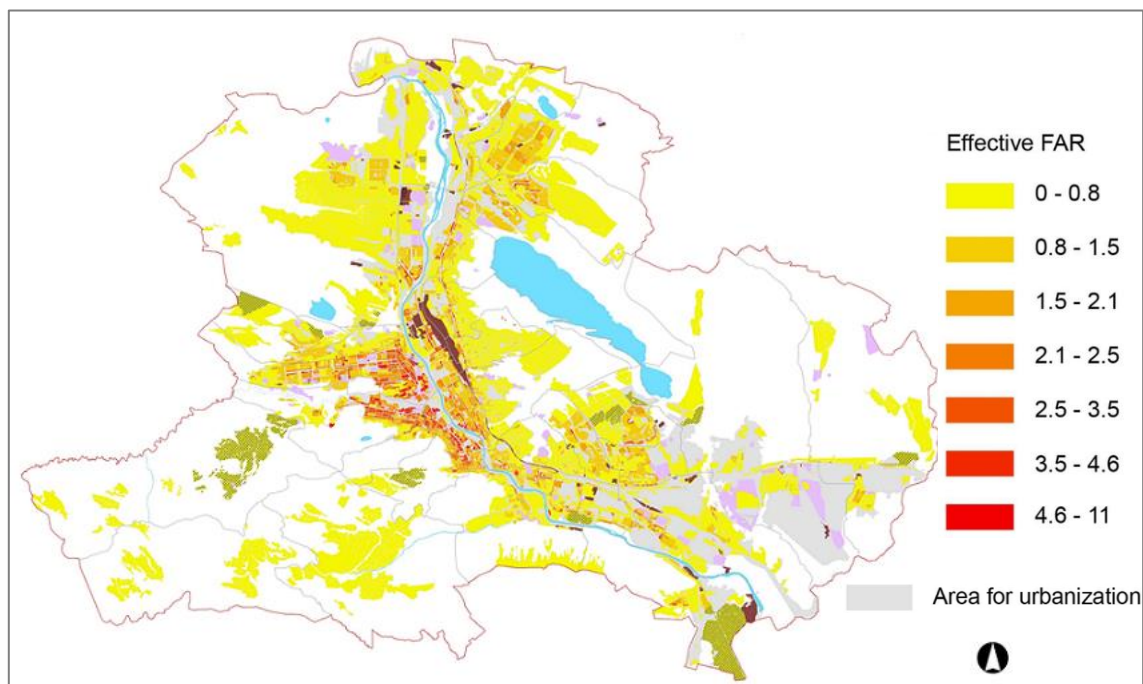
図 2-5：アジア諸国の公的債務の対 GDP 比

## 2.2 トビリシ都市交通の概要

### 2.2.1 概況

#### (1) 市街地の交通混雑

トビリシの市街地は、クラ川<sup>6</sup>に沿って南北約 35 km に広がっている。トビリシの土地開発の状況を下図に示す。市街地の幅は全体的に狭く（最も狭い区間で東西約 5 km）、この市街地に沿って交通が集中する。



注：上図は各地区の平均容積率（FAR：Floor Area Ratio）

出典：トビリシ Sustainable Urban Mobility Plan（SUMP）のドラフト説明資料（2021 年）

図 2-6：トビリシの土地開発状況（容積率）

前項で示した通り、ジョージアの経済成長は近年堅調に推移し、平均所得レベルがかなりの率で上昇している。加えて、トビリシの一人当たり GDP は全国平均の約 1.6 倍と高い。これらの経済状況を背景に、トビリシの乗用車登録台数は年々増加しており、自家用車利用の増大によって、市街地及び周辺では深刻な交通混雑が発生している（次図）。また、交通混雑による大気汚染への悪影響も指摘され、交通混雑緩和はトビリシ市の大きな課題となっている。

<sup>6</sup> 国際的にはクラ川（Kura）と呼ばれ、ジョージア語ではムツクヴァリ川（Mtkvari）と呼ばれる。





出典：2021 年 12 月に調査団撮影

**図 2-7：トビリシ市街地及び周辺の交通混雑状況**

下表にトリビシ市の自動車登録台数の推移を示す。特に乗用車登録台数は 2014 年から 2019 年まで右肩上がりで増え、2019 年までの 5 年間で約 34.2 % 増加している（年平均 6.1 % 増）。トリビシ市の人口は、2014 年の約 110 万人から 2019 年の約 117 万人へと約 6.3 % の増加であり（年平均 1.2 % 増）、人口 1 人当たりの乗用車登録台数は 2014 年の約 0.286 台から 2019 年の 0.361 台に約 26.2 % 増加していることとなる（年平均 4.8 % 増）。

表 2-7：トビリシ市の自動車登録台数の推移（2014-2019）

（単位：1,000 台）

車種	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2014-19 CAGR
乗用車	315.3	345.5	373.4	391.7	411.5	423.1	6.1%
バス・ミニバス	15.7	15.6	15.6	15.6	15.3	15.4	-0.4%
貨物車	22.4	24.1	25.1	25.4	25.5	25.7	2.8%
特殊車両	12.2	13.1	14.6	15.8	17.0	18.4	8.6%

注：CAGR = 年平均増加率（Compound Annual Growth Rate）、特殊車両は農業機械を含む。

出典：Ministry of Internal Affairs of Georgia

アジア開発銀行（ADB：Asian Development Bank）が支援するプログラム（Sustainable Urban Transport Investment Program）の中で、2016 年 4 月から同年 6 月に交通世帯調査（Consulting Services for Organization of a Transportation Household Survey in Tbilisi Metropolitan Area）が実施されており、一人当たり平均トリップ数の推計値は 1.6／日であった。同調査の報告書では、乗用車の保有台数及びその利用が増大している状況と併せて、若い女性の運転免許保有者が増加しており、それに伴い将来の自家用車利用が増える可能性があると言われている。加えて、さらなる交通混雑や駐車場の不足、大気汚染の悪化などの懸念が指摘されている。

## （2） トビリシ市の公共交通

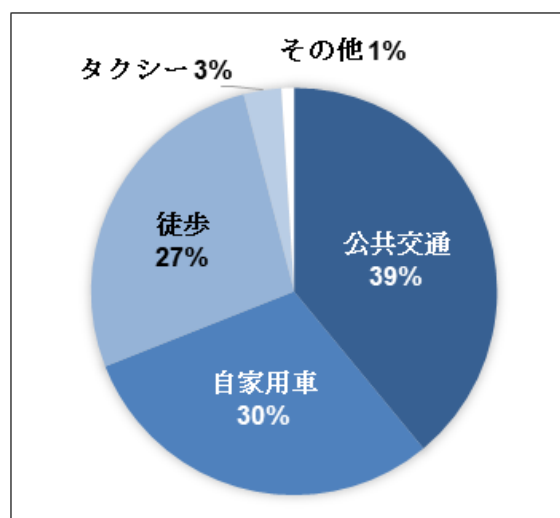
トビリシ市内の公共交通機関として、地下鉄の他に路線バス、ミニバス（乗り合いバス、Marshrutka）、ケーブルカーが運営されている。

2016 年に実施された前述の交通世帯調査では、公共交通の分担率は 39 %、自家用車 30 %、徒歩 27 %、タクシー 3 %であった（右図参照）。

同調査では、2011 年に実施された世帯調査の結果と比較されており、自家用車の分担率は 2011 年の 19 %から、2016 年の 30 %に急速に増加したことが報告されている。

ADB 支援による「トビリシ市持続的な都市交通戦略 2015-2030（Tbilisi Sustainable Urban Transport Strategy 2015-2030）、2015年12月」によれば、2013年

における地下鉄、路線バス、ミニバスの利用客数の合計に占めるそれぞれの割合は、地下鉄 26 %、路線バス 35 %、ミニバス 39 %であった。地下鉄と路線バスの比較に限れば、地



出典：2016 年交通世帯調査（Consulting Services for Organization of a Transportation Household Survey in Tbilisi Metropolitan Area）を基に調査団作成

図 2-8：トビリシ市の交通手段分担率（2016）



下鉄 43 %、路線バス 57 %であった。2019 年時点では、地下鉄と路線バスの利用客数割合は逆転し、地下鉄 51%、路線バス 49%となった<sup>7</sup>。

直近の傾向を見るため、本調査期間中の 2021 年 11 月 14 日から 2021 年 11 月 30 日の約 2 週間における地下鉄と路線バスの乗客数を取得した<sup>8</sup>。この期間の地下鉄及び路線バスの乗客数総計値を比較したところ、地下鉄 46 %、路線バス 54 %であった。なお、トビリシ地下鉄の近年における乗客数の推移は「2.3 トビリシ地下鉄の概況」で記す。

トビリシ市の地下鉄、路線バス、ケーブルカーは、いずれも Tbilisi Transport Company (TTC) によって運営されている。TTC はトビリシ地下鉄の運営会社として 1966 に設立されたが、バスの運営が 2009 年に移譲され、2012 年にはケーブルカーの運営を開始した。トビリシ地下鉄の様子を下図に示す。



注：上段左の写真は Station Square 1 駅。下段の写真はいずれも Didube 駅。  
出典：2021 年 12 月に調査団撮影

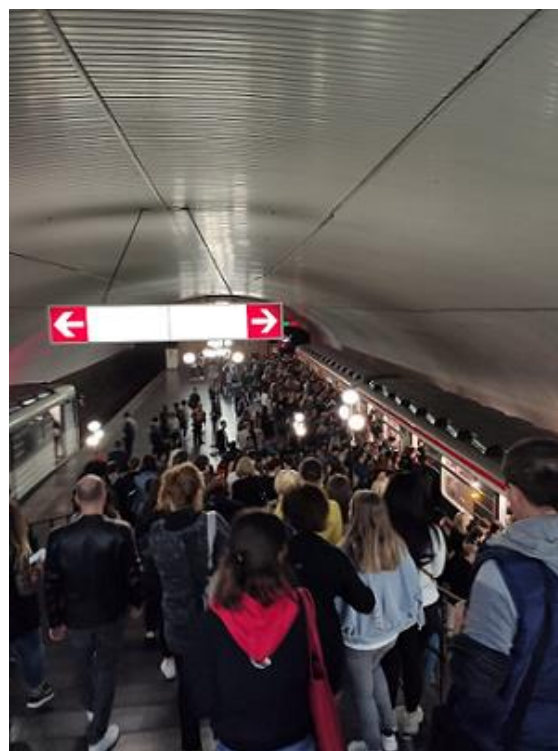
図 2-9：トビリシ地下鉄の様子（Line 1）

<sup>7</sup> 2019 年の地下鉄利用客数は 137.7 百万人、路線バスは 134.7 百万人である（出典：TTC）。

<sup>8</sup> Tbilisi Transport Company (TTC)のウェブサイト (<http://ttc.com.ge/index.php/en>) からデータを取得。



注：これらはいずれも Line 2 の Station Square 2 駅



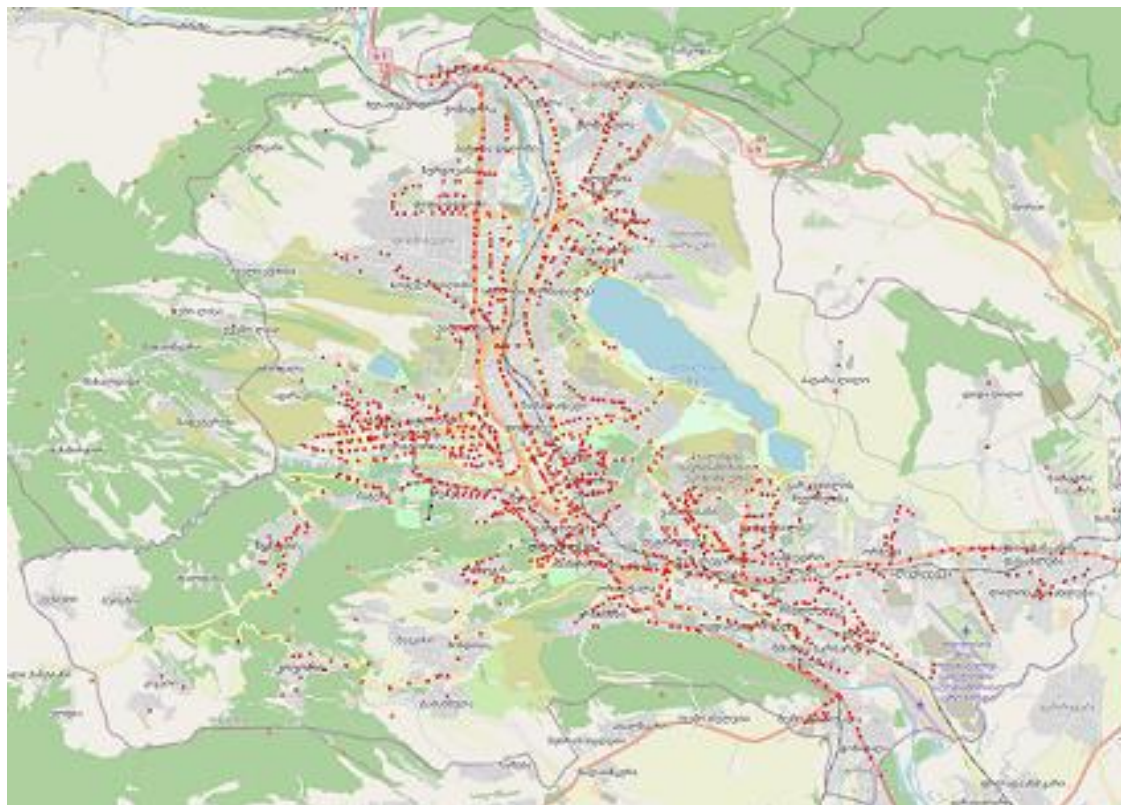
出典：2021 年 12 月に調査団撮影

図 2-10：トビリシ地下鉄の様子（Line 2）

路線バス、ミニバス、ケーブルカーの概要は以下の通りである（地下鉄については「2.3 トビリシ地下鉄の概況」にて詳述する）。

- 路線バス：2021 年 12 月時点で、110 路線で運行されており<sup>9</sup>、2,000 余のバス停は次図の通りである。GPS リアルタイム運行情報システムの導入により利便性の向上が図られているが、快適性などサービス水準の低さ、バス車両のメンテナンス不足、ディーゼルエンジンによる大気汚染への悪化などが指摘されている。これらの課題に対処するため、EBRD の融資によるバス車両の更新等が進められている（EBRD の支援については第 3 章参照）。

<sup>9</sup> TTC バス路線情報（<http://transfer.ttc.com.ge/?page=schedule&setLng=ka>）に基づく。



出典：TTC バス停情報 (<http://transfer.ttc.com.ge/?page=board&setLng=ka>)

図 2-11：トビリシ路線バスのバス停



出典：2021 年 12 月に調査団撮影

図 2-12：トビリシの路線バス



- ミニバス（Marshrutka）：ルート、ターミナルはあるがバス停はなく、乗り合いタクシーに似た公共交通機関として利用されている。ミニバスの運営は、トビリシ市による入札を通して事業許可を得た民間企業によって行われており、地下鉄や路線バスを補完する公共交通機関として市全域をカバーしている。一方で、バス路線や地下鉄路線との競合の問題や、ネットワーク改編・事業規模の縮小の必要性も指摘されている。



出典：2021 年 12 月に調査団撮影

図 2-13：トビリシのミニバス（Marshrutka）

- ケーブルカー（ロープウェイ）：2021 年現在、2 本のロープウェイがトビリシ市内で運営されており、主に余暇や観光を目的として利用されている。2019 年のロープウェイ利用客数は 198 万人で、一日平均約 5,400 人であった<sup>10</sup>。



出典：TTC ウェブサイト

図 2-14：トビリシのケーブルカー（ロープウェイ）

<sup>10</sup> この 2019 年のロープウェイ利用客数は、地下鉄の約 1.4%にあたる。2020 年のロープウェイ利用客はコロナの影響により激減し、22 万 6 千人となった。なお、2021 年 11 月下旬の一日当たりの利用客は、平日が 2,000 人規模、週末・休日が 3,000 人規模であった（出典：TTC）。

## 2.2.2 開発の方向性

### (1) トビリシ市の都市交通計画

トビリシ市の主な都市交通計画として、2015 年 12 月に作成された「トビリシ都市交通戦略（Tbilisi Sustainable Urban Transport Strategy : SUT Strategy）」、及び現在策定中の「トビリシ都市モビリティ計画（Sustainable Urban Mobility Plan for Tbilisi : SUMP）」を挙げることができる。

前者の「トビリシ都市交通戦略（SUT Strategy）」は、アジア開発銀行（ADB）の支援の下、都市交通セクターの主要な関係者、関係機関によって作成され、2015 年から 2030 年までの交通政策の方向性やアクションプランが提示されている。戦略策定に当たっては、以下に示す関係機関、関係者で構成される運営委員会（Steering Committee）が 2014 年 9 月に設置され、トビリシ市の都市交通、及び ADB のコンサルタントや専門家による調査結果、提言について協議された。

- トビリシ市役所（Tbilisi City Hall : TCH）
- トビリシ市議会（Tbilisi Sakrebulo）
- ジョージア地方開発基金（Municipal Development Fund of Georgia : MDF）
- トビリシ交通公社（Tbilisi Transport Company : TTC）
- トビリシ技術開発基金（Tbilisi Technology Development Fund : TDF）
- 交通専門家

後者の「トビリシ都市モビリティ計画（SUMP）」は、ADB の支援を得て、トビリシ市トビリシ開発基金によって策定中である（2021 年 12 月時点）。SUMP では、今後 20 年を対象期間として複数のシナリオを設定し、都市交通の主要コンポーネントについて各シナリオでの施策を提案、シミュレーション結果等を踏まえ各シナリオを評価する予定となっている。SUMP における主要コンポーネントとして以下の 5 つが想定されている。

- 都市成長
- 道路ネットワーク・インフラ開発施策
- 公共交通施策
- 非駆動系交通関連施策
- 交通需要マネジメント施策

### (2) トビリシ都市交通戦略（SUT Strategy）の概要

トビリシ都市交通戦略（SUT Strategy）は、すべての交通モードを網羅した包括的な戦略として、環境に優しい低排出な交通の実現、及びトビリシ都市交通システムの再構築に焦点を当てている。また、1) 健全な生活環境の確保、2) 地域経済の中心としてのトビリシ市の発展、3) 文化・観光、そして若者のハブとしてのトビリシ市の開発、と言うジョージア政府、及びトビリシ市役所の方針に沿って策定されている。

また、SUT Strategy は、短期（2015－2017）、中期（2018－2021）、長期（2022－2030）それぞれの時間軸でアクションプランを提示している。それぞれのコンセプトと主な施策を下表に示す。また、本節の最後に（後述の(4)）、都市交通戦略アクションプラン（原本の写し）を添付する。

**表 2-8：都市交通戦略におけるアクションプランの概要**

期間	コンセプト	主な施策
短期 2015－2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 策定時に実施中であった施策の実施</li> <li>● 低コストで迅速に実施可能な施策</li> <li>● 中期・長期アクションプランの土台構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 調査・計画：世帯調査の実施、都市開発計画の策定、SUMP の策定</li> <li>● 地下鉄：既存路線のアップグレード・改修計画の策定（E&amp;M、車両、駅を含む）</li> <li>● バス：バス車両の更新</li> <li>● ケーブルカー：人口密集地域と地下鉄駅を繋ぐケーブルカーの設置</li> <li>● 組織制度：都市交通局の設立・統合、駐車規制の改訂、タクシー関連規制の導入</li> </ul>
中期 2018－2021	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 短期アクションプランにて策定予定であった SUMP の実施開始</li> <li>● 短期アクションプランの完了</li> <li>● 必要に応じた制度改革</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 調査・計画：SUMP の承認と計画実施</li> <li>● 地下鉄：既存路線のアップグレード・改修（E&amp;M、車両、駅を含む）</li> <li>● バス：バスネットワークの再構築、バス車両の更新</li> <li>● ケーブルカー：ケーブルカーネットワークの拡大</li> <li>● 交通マネジメント：リンクの拡充</li> <li>● 組織制度：都市交通局の設立・統合、駐車規制の改訂、タクシー関連規制の導入</li> </ul>
長期 2022－2030	<ul style="list-style-type: none"> <li>● SUMP の実施</li> <li>● 公共交通システムの改善</li> <li>● 制度改革の完了</li> <li>● 総合的な都市交通システムの構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 調査・計画：SUMP のレビューと更新</li> <li>● 地下鉄：既存路線のアップグレード・改修の完了</li> <li>● バス：バスネットワークの再構築、バス車両の更新</li> <li>● ケーブルカー：ケーブルカーネットワーク拡大の完了</li> <li>● 交通マネジメント：リンクの拡充</li> <li>● 軽量軌道交通（LRT）：LRT 導入の検討</li> <li>● 公共交通志向型開発（TOD）：TOD の制度化と実施</li> <li>● 組織制度：都市交通局の設立・統合、駐車規制とタクシー関連規制の改善</li> </ul>

略語：LRT = Light Rail Transit、SUMP = Sustainable Urban Mobility Plan、TOD = Transit Oriented Development

出典：トビリシ都市交通戦略（SUT Strategy）を基に調査団が整理

**(3) トビリシ都市モビリティ計画（SUMP）**

トビリシ SUMP は、本調査の実施段階において策定中であったが、2021 年 12 月に TCH を通じて入手した SUMP チームによる「Scenarios Presentation & Evaluation (Draft)」によれば、下表に示す施策等が提案されている。

**表 2-9：SUMP で提案されている主要施策（例）（ドラフト段階）**

コンポーネント	主要施策（例）
都市成長	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Transit Oriented Development：5 か所の主要 TOD ハブの開発</li> <li>● 2040 年を目標年次とした地区別の人口密度、雇用密度等の予測</li> </ul>
道路ネットワーク・インフラ開発施策	<ul style="list-style-type: none"> <li>● TCH の既存道路整備計画の実施</li> <li>● 追加的な道路整備事業の提案（約 40 の道路事業の提案）</li> </ul>
公共交通施策	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 地下鉄：運行本数増（楽観シナリオでは複数の延伸も提案）</li> <li>● 路線バス：TCH の路線再編計画の実施、新規高速サービス整備等</li> <li>● コミューター鉄道サービス（在来線活用）の導入</li> <li>● ケーブルカー（ロープウェイ）：新規路線の整備</li> </ul>
非駆動系交通関連施策	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 徒歩交通関連：特定道路の車両通行禁止策（公共交通モード以外）、交通静穏化施策、歩道改良、歩行者専用道路の整備</li> <li>● 自転車専用道路ネットワークの整備</li> </ul>
交通需要マネジメント施策	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ゾーン別の有料駐車許可システムの導入、駐車場整備</li> <li>● 午前ピーク時のトリップ割合の抑制</li> </ul>

出典：トビリシ SUMP 「Scenarios Presentation & Evaluation (Draft)」を基に調査団が整理

**(4) トビリシ都市交通戦略（SUT Strategy）のアクションプラン**

参考として、先述のトビリシ都市交通戦略（SUT Strategy）で提案された短期・中期・長期のアクションプランを次頁以下に掲載する。本調査のトビリシ地下鉄車両調達に直接関係する施策を、本調査団が黄色でハイライトした。

## 参考：トビリシ都市交通戦略（SUT Strategy）の短期アクションプラン

### Short Term Action Plan (2015-2017)

1. **Planning (Surveys and Model).** Conduct a new household survey, update the existing multimodal transport demand model and train relevant staff on its use (on-going, government-financed [ADB loan - SUTIP]).
2. **Planning (Urban Masterplan).** Develop a new urban master plan to define future land use strategies in Tbilisi (on-going, Tbilisi City Hall-financed). Coordinated with sustainable urban mobility plan.
3. **Planning (Sustainable Urban Mobility Plan).** Develop a comprehensive sustainable urban mobility plan (SUMP), based on do-nothing, moderate and transformative scenarios, quantification of benefits, impact and economic viability (for proposed scenario, measures and subprojects), investment plan and financing sources and mechanisms (funding SMUP to be defined). The SUMP would include feasibility study of priority projects. Coordinated with urban master plan.
4. **Planning (Transit Network).** Initiate technical assistance to define a surface transit network, considering main bus routes, bus rapid transit, cable propelled transit and light rail transport options (funding to be defined). **Prepare an upgrade and refurbishment plan for existing metro lines, including E&M, rolling stock and stations. Possibly part of SUMP activities.**
5. **Planning (Bus Network Restructuring).** Initiate technical assistance (ADB-financed) on and implement (City Hall-financed) bus and minibus network restructuring, introduction of main routes (network hierarchy and possible bus rapid transit corridors), bus lanes and propriety for bus at selected junctions. *To be included in and further defined under SUMP.*
6. **Planning (Traffic Management and Missing Links).** Initiate technical assistance on traffic management optimisation (making full use of the functionalities of the intelligent transport system [ITS] already in place) and possible missing links and bridge(s) to release traffic bottlenecks, with consideration of surface public transport (funding to be defined). *Possibly part of SUMP activities.*
7. **Planning (NMT).** Initiate technical assistance on non-motorized transit (NMT) network, define design standards and prepare a NMT pilot project (funding to be defined). *Possibly part of SUMP activities.*
8. **Planning (Smart Technologies).** Initiate technical assistance on smart technology options, recent best practices and potential for replication and tailoring to Tbilisi (funding to be defined). *Possibly part of SUMP activities.*
9. **Metro Extension.** Complete 2.6-km metro extension (on-going, government-financed [ADB loan - SUTIP]).
10. **Pilot Transit Project - Urban Cable Car** (between Samgori and Vasis Ubani). Prepare and implement at least one cable propelled transit system, between densely populated district(s) and the metro network, to expand the coverage of the mass transit backbone (on-going, government-financed [ADB loan - SUTIP]).
11. **Urban Road.** Complete upgrade and creation of 17km urban road link between Tbilisi and Rustavi (on-going, government-financed [ADB loan - SUTIP]).
12. **Bus Fleet Renewal.** Initiate bus fleet renewal adopting green technology (on-going, government-financed [EBRD loan]).
13. **Targeted Interventions.** Implement existing investment plan by Tbilisi City Hall for small scale interventions, including possibly some of the recommendations from actions 5 and 6 (on-going, Tbilisi City Hall-financed).
14. **Road Safety.** Create conditions for strict enforcement of rules combined with large scale and continued awareness campaigns (with possible involvement of Non-Governmental Organizations).
15. **Institutional Framework and Reforms.** Initiate technical assistance covering the following areas and possibly implement immediate actions when applicable (funding to be defined), covering
  - creation of an integrated urban transport authority (Tbilisi urban area), in charge of planning, implementation and operation of all transport modes.
  - revised regulatory framework for parking system (combined with a revised parking master plan including park and ride options).
  - creation of a regulatory framework for Taxis.
  - explore innovative financing mechanisms and introduction of taxes to finance public transport system modernization, expansion and operation (such as fuel tax, employer tax or land value capture).
  - create conditions to implement fully integrated e-ticketing system for all public transport modes and parking.
  - study options, conditions and feasibility of increased participation of the private sector (management contract, concessions, design build finance operate [DBFO]).
16. **Financing.** Conduct consultations to identify and select sources of financing required for the implementation of the short term action plan (grant for technical assistance, trust funds, climate change funds, local and central government budget [including sovereign lending], private sector).
17. **Donor Coordination.** Hold donor consultation meetings periodically to secure integrated support and sound use of resources.
18. **Communication and Awareness Campaign.** Prepare a communication plan and implement an awareness campaign on various sustainable urban mobility related topics (aiming at stimulating the use of public transport). *Possibly part of SUMP activities.*
19. **Tbilisi Sustainable Urban Mobility Forum 2016.** Organize the second edition of Tbilisi Sustainable Urban Mobility Forum in Q4 2016 to take stock of the progress and lessons learned from the various initiatives undertaken, and to refine directions and action plans (government-financed [ADB loan - SUTIP]). It is proposed to organize Tbilisi Sustainable Urban Mobility Forum every other year, or at least every 3 years.
20. **Consultations between Local and Central Governments.** Based on the findings of the set of actions and studies, hold continued consultations between Tbilisi City Hall and the central government to prioritize projects, grounded on cost benefit analysis, and prepare investment and financing plans.

注：黄色のハイライトは調査団による。

出典：トビリシ都市交通戦略（SUT Strategy）



## 参考：トビリシ都市交通戦略（SUT Strategy）の中期アクションプラン

### Medium Term Action Plan (2018-2021)

1. **Planning (SUMP).** Formally endorse Tbilisi SUMP in 2018 (if not achieved earlier) and initiate its implementation.
2. **Planning (Surveys and Model).** Keep the multimodal transport demand model updated and ensure staff are trained to be able to use it and test all initiatives and projects.
3. **Short Term Action Plan (Continued Completion and Evaluation).** Complete all actions of the short term action plan (2015-2017) which might not be fully implemented. Evaluate achievements and learn lessons.
4. **Metro (Transit Network).** Implement the first phase of the upgrade and refurbishment plan for existing metro lines, including E&M, rolling stock and stations (detailed design, procurement and implementation).
5. **Pilot Surface Transit Line (Transit Network).** Prepare detailed engineering design and bidding documents for a pilot transit line (most likely Bus Rapid Transit) adopting universal design standards and fully integrated with other public transport modes. Implement the project and secure commissioning by 2020-2021.
6. **Bus Network Restructuring (Continued).** Assess the performance of the restructured bus and minibus network. Adapt the routes and operation plan as necessary to continue improving the quality of service and passenger satisfaction rate.
7. **Traffic Management and Missing Links (Continued).** Implement missing links and bridge(s) to release traffic bottlenecks, with consideration of surface public transport.
8. **Pilot NMT Project.** Design and implement pilot NMT project (priority project out of NMT plan and developed around the pilot surface transit project). Secure commissioning by 2020-2021.
9. **Urban Cable Car Projects (Continued).** Complete the pilot urban cable car project (if not yet completed) and implement the urban cable car plan to expand the coverage of the mass transit network (building on the lessons learned by the urban cable car pilot project).
10. **Bus Fleet Renewal (Continued).** Implement subsequent phases of bus fleet renewal (adopting green technology), with consideration of Bus Rapid Transit scheme particularly in view with adoption of full-flex services (BRT usually requires rolling stock with particular specifications, such as floor and doors).
11. **Targeted Interventions (Continued).** Implement investment plan by Tbilisi City Hall for small scale interventions. Ensure ITS system is used to continuously improve traffic management.
12. **Urban Roads and Road Safety (Continued).** Secure continued enforcement of rules combined with large scale and continued awareness campaigns (with possible involvement of Non-Governmental Organizations) and ensure road safety features are adopted in the design of all projects. Introduce traffic calming zones. Preparation of Tbilisi bypass might be initiated should economic viability be confirmed under the SUMP.
13. **Institutional Framework and Reforms (Continued).**
  - create an integrated urban transport authority (Tbilisi urban area), in charge of planning, implementation and operation of all transport modes. Ensure the urban transport authority is fully staffed, budgeted and trained.
  - introduce regulatory framework for parking system (combined with a revised parking master plan including park and ride options).
  - create regulatory framework for Taxis.
  - adopt some innovative financing mechanisms and introduction of taxes, to finance public transport system modernization, expansion and operation (such as fuel tax, employer tax or land value capture).
  - implement fully integrated e-ticketing system for all public transport modes and parking.
  - select pilot projects with private sector participations (possibly management contract, concessions, design build finance operate [DBFO]).
  - study options and mechanism to promote Transit Oriented Development.
14. **Financing (Continued).** Conduct consultations to identify and select sources of financing required for the implementation of the medium term action plan (grant for technical assistance, trust funds, climate change funds, local and central government budget [including sovereign lending], private sector).
15. **Donor Coordination (Continued).** Hold donor consultation meetings periodically, to secure integrated support and sound use of resources.
16. **Communication and Awareness Campaign (Continued).** Implement communication plan and awareness campaign on various sustainable urban mobility related topics.
17. **Tbilisi Sustainable Urban Mobility Forums (Continued).** Organize Tbilisi Sustainable Urban Mobility Forum to take stock of the progress of the implementation of the SUMP and lessons learned from the various initiatives undertaken, and to refine directions and action plans. It is proposed to organize Tbilisi Sustainable Urban Mobility Forum every other year, or at least every 3 years.
18. **Consultations between Local and Central Governments.** Based on the findings of the set of actions and studies, hold continued consultations between Tbilisi City Hall and the central government to prioritize projects, grounded on cost benefit analysis, and refine investment and financing plans.

注：黄色のハイライトは調査団による。

出典：トビリシ都市交通戦略（SUT Strategy）

参考：トビリシ都市交通戦略（SUT Strategy）の長期アクションプラン

## Long Term Action Plan (2022-2030)

1. **Planning (SUMP).** Review and update the SUMP by 2026-2027 (in-depth review and update of SUMP should happen at least every 10 years).
2. **Planning (Surveys and Model).** Keep the multimodal transport demand model updated and ensure staff are trained to be able to use it and test all initiatives and projects.
3. **Medium Term Action Plan (Continued - Completion and Evaluation).** Complete all actions of the medium actions plan (2018-2021) which might not be fully implemented. Evaluate achievements and learn lessons.
4. **Bus Network Restructuring (Continued).** Assess the performance of the restructured bus and minibus network. Adapt the routes and operation plan as necessary to continue improving the quality of service and passenger satisfaction rate.
5. **Metro (Transit Network).** Complete by 2030 the upgrade and refurbishment plan for existing metro lines, including E&M, rolling stock and stations (detailed design, procurement and implementation).
6. **Surface Transit Network (Bus Based).** Complete by 2030 the bus based (BRT) surface backbone transit network, adopting universal design standards and fully integrated with other public transport modes (metro, bus, minibuses, NMT, parking, taxi). Implement the project and secure commissioning by 2020-2021.
7. **Urban Cable Car Projects (Continued).** Complete the urban cable car plan to expand the coverage of the mass transit network.
8. **Surface Transit Network (Rail Based).** Conduct feasibility studies to assess whether Light Rail Transport should be introduced in Tbilisi on some of the main surface transit corridors after 2030. Study the merits of commuter rail using existing railway tracks for long distance travel within Tbilisi Urban Area.
9. **Branding.** Tbilisi public transport system is branded with a unique, visible and attractive identity (possibly segmented by mode).
10. **Traffic Management and Missing Links (Continued).** Implement missing links and bridge(s) to release traffic bottlenecks, with consideration of surface public transport.
11. **NMT Project (Continued).** NMT projects are expanded and NMT features are included in all transport and urban projects.
12. **Bus Fleet Renewal (Continued).** Complete the bus fleet renewal.
13. **Targeted Interventions (Continued).** Implement investment plan by Tbilisi City Hall for small scale interventions. Ensure ITS system is used to continuously improve traffic management.
14. **Urban Roads and Road Safety (Continued).** Secure continued enforcement of rules combined with large scale and continued awareness campaigns and ensure road safety features are adopted in the design of all projects. Traffic calming zones are widely adopted. Tbilisi bypass might be implemented should economic viability be confirmed.
15. **Transit Oriented Development (TOD).** Urban density and mixed land used is promoted along the main transit corridors (metro and surface transit network). Key TOD principles and incentives are institutionalized, promoted and implemented.
16. **Institutional Framework and Reforms (Continued).**
  - The integrated urban transport authority (Tbilisi urban area), in charge of planning, implementation and operation of all transport modes, is empowered, fully staffed by experienced sector specialists.
  - Reforms on parking and taxi have been implemented.
  - Innovative financing mechanisms and introduction of taxes, to finance public transport system modernization, expansion and operation are in place.
  - Private sector participation is increased.
17. **Financing (Continued).** Conduct consultations to identify and select sources of financing required for the implementation of the long term action plan (grant for technical assistance, trust funds, climate change funds, local and central government budget [including sovereign lending], private sector).
18. **Donor Coordination (Continued).** Hold donor consultation meetings periodically, to secure integrated support and sound use of resources.
19. **Communication and Awareness Campaign (Continued).** Implement communication plan and awareness campaign on various sustainable urban mobility related topics.
20. **Tbilisi Sustainable Urban Mobility Forums (Continued).** Organize Tbilisi Sustainable Urban Mobility Forum to take stock of the progress of the implementation of the SUMP and lessons learned from the various initiatives undertaken, and to refine directions and action plans (every other year, or at least every 3 years).
21. **Consultations between Local and Central Governments.** Based on the findings of the set of actions and studies, hold continued consultations between Tbilisi City Hall and the central government to prioritize projects, grounded on cost benefit analysis, and refine investment and financing plans.

注：黄色のハイライトは調査団による。

出典：トビリシ都市交通戦略（SUT Strategy）



## 2.3 トビリシ地下鉄の概況

### 2.3.1 運営・路線

トビリシ地下鉄の運営は、トビリシ市 100% 所有の Tbilisi Transport Company (TTC) が行っている。TTC は、トビリシ地下鉄の他に、トビリシ市におけるバスサービス及びロープウェイの運営、またトビリシ市域の駐車スペースの管理も実施している。

トビリシ地下鉄は、ソビエト連邦時代の 1966 年に Didube–Rustaveli 間の 6.3 km、6 駅で開業し、それ以降、Line 1 の延伸が順次進められると共に、1979 年の Line 2 の開業及び以後の延伸が実施された。現状の路線を下図に示す。



注：赤線：Line 1、緑線：Line 2

出典：https://geotourism.ge/tbilisi-maps/tbilisi-metro-map

図 2-15：トビリシ地下鉄路線図

Line 1（図の赤線）は、トビリシの市街地に沿って南北及び東方向に走る路線長 19.6 km の路線であり、全 16 駅から成る。Line 2（緑線）は、トビリシの繁華街地区に位置する Station Square 駅で Line 1 に接続し、市街地と、西方向の郊外地区を結ぶ全 7.8 km・7 駅の路線である。

ソビエト連邦時代に、上記 2 路線以外の路線の整備も計画されたが、実現には至っていない。1991 年のジョージア独立以降に実施された延伸は、Line 2 の西端の 2 駅である Vazha-Pshavela 駅（2000 年開業）と State University 駅（2017 年開業）のみである。下表に、トビリシ地下鉄の駅、及び各駅の開業日を示す。

表 2-10：トビリシ地下鉄の駅

#	駅名	開業日	駅間距離 (km)
<b>Line 1 (Akhmeteli – Varketili Line)、路線長 19.6 km、16 駅</b>			
1	Akhmeteli Theatre	January 7, 1989	—
2	Sarajishvili	January 7, 1989	1.30
3	Guramishvili	November 28, 1985	1.05
4	Ghrmaghele	November 28, 1985	1.46
5	Didube	January 11, 1966	1.90
6	Gotsiridze	January 11, 1966	0.82
7	Nadzaladevi	January 11, 1966	1.52
8	Station Square 1	January 11, 1966	1.19
9	Marjanishvili	January 11, 1966	1.67
10	Rustaveli	January 11, 1966	1.05
11	Freedom Square	November 6, 1967	1.33
12	Avlabari	November 6, 1967	1.32
13	300 Aragveli	November 6, 1967	0.89
14	Isani	May 5, 1971	1.15
15	Samgori	May 5, 1971	1.25
16	Varketili	November 9, 1985	1.70
<b>Line 2 (Saburtalo Line)、路線長 7.8 km、7 駅</b>			
1	Station Square 2	September 15, 1979	—
2	Tsereteli	September 15, 1979	1.39
3	Technical University	September 15, 1979	1.25
4	Medical University	September 15, 1979	1.43
5	Delisi	September 15, 1979	1.57
6	Vazha-Pshavela	April 2, 2000	1.23
7	State University	October 16, 2017	0.96

出典：TTC

### 2.3.2 運行状況

トビリシ地下鉄の Line 1 は 4 両編成、Line 2 は以前の 3 両編成から 2019 年 10 月より 4 両編成で運行されており、営業時間は、午前 6 時から深夜 24 時台までとなっている。次表に、Line 1 の北端ターミナル駅である Akhmeteli Theatre 駅と、Line 2 の西端ターミナル駅である State University 駅の時刻表を基に、運行状況をまとめた。

表 2-11 : Line 1・Line 2 のターミナル駅発列車の運行状況

駅、平日／土日	始発時刻	最終時刻	1 日の 総本数	1 時間当たり の最大本数
Line 1 : Akhmeteli Theatre 駅				
平日	06:03	24:40	259	17
土日	06:04	24:40	197	14
Line 2 : State University 駅				
平日	06:04	24:43	209	15
土日	06:04	24:41	206	14

出典：TTC の時刻表 (<http://transfer.ttc.com.ge/?page=schedule&setLng=ka>) を基に調査団作成

平日 1 日の総列車本数は、Line 1 が 259 本、Line 2 が 209 本であり、1 時間当たりの最大本数は、Line 1 が 17 本／時、Line 2 が 15 本／時である。

Line 1 のターミナル駅間の所要時間は約 31 分であり、停車時間を含めた平均速度は約 38 km/h である。Line 2 のターミナル間の所要時間は約 12 分、停車時間を含めた平均速度は約 39 km/h である。

上記 2 駅の時刻表を次頁に示す。これらから、かなりの高密度輸送が行われていると言える。日本の地下鉄と比べると、平日と土日の列車本数の差が比較的小さく、また、ピーク時間帯とそれ以外の時間帯における本数の差も比較的小さい。

Working days																							
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
03	03	02	02	03	02	02	02	02	02	02	02	02	03	04	04	00	01	05					
10	07	05	05	05	06	06	06	06	06	06	06	06	08	09	10	09	09	30					
17	11	09	09	08	10	10	10	07	10	10	10	10	09	10	16	11	19	40					
25	15	13	13	12	14	14	14	10	11	14	14	14	14	14	22	18	22						
31	20	17	17	14	18	18	18	14	14	18	18	18	15	19	29	26	29						
39	25	20	20	17	22	22	22	18	18	22	22	22	20	24	37	34	37						
45	30	24	24	21	26	26	23	22	22	26	26	23	25	29	45	43	44						
51	35	28	28	26	27	30	26	26	26	30	30	26	30	35	52	52	54						
55	39	32	32	27	30	34	30	30	30	34	34	30	37	36	53								
59	43	35	35	30	34	38	34	34	34	38	38	34	38	43									
	47	39	39	34	38	42	38	38	38	42	39	38	44	50									
	50	43	43	38	42	46	42	42	42	46	42	42	45	57									
	54	47	47	42	46	50	46	46	46	50	46	46	49	59									
	58	50	51	46	47	54	50	50	50	54	50	50	54										
		54	55	50	50	58	54	54	54	55	54	54	59										
		58	59	54	54		58	58	55	58	58	55											
				58	58				58			58											
SATURDAY - SUNDAY																							
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
04	07	03	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	04	00	04	06	05	05					
13	14	10	05	05	05	05	05	05	06	05	05	01	10	07	06	18	16	40					
22	21	15	10	10	10	10	10	10	08	06	10	05	17	14	17	24	29						
31	28	20	15	15	11	15	15	15	13	11	11	10	24	23	30	30	40						
40	35	25	20	20	15	20	20	20	19	17	15	15	31	31	39	39	51						
49	42	30	21	25	20	25	25	25	21	23	20	20	38	38	47	52							
58	49	35	25	30	25	30	30	26	25	29	25	25	45	40	55								
	56	40	30	35	30	35	35	30	30	35	30	31	52	47	58								
		45	35	36	36	40	40	35	35	40	35	36	59	56									
		50	40	40	40	41	45	40	40	41	40	41											
		55	45	45	45	45	50	45	45	45	45	47											
			50	50	50	50	55	50	50	50	50	52											
			55	55	55	55	56	55	55	55	55	54											
					56							58											

出典：TTC（2021年12月末時点）

図 2-16 : Line 1 の Akhmeteli Theatre 駅の時刻表

Working days																							
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
04	08	05	02	02	04	04	04	00	04	04	04	04	03	02	00	04	11	04					
14	17	10	06	06	09	09	09	04	09	09	09	09	08	06	06	12	25	43					
23	25	15	10	10	14	14	14	09	14	14	14	14	10	11	12	22	44						
32	33	20	14	15	19	19	19	14	16	19	19	18	12	15	18	32	46						
41	41	25	18	20	24	24	24	19	19	24	24	23	17	20	26	45							
50	51	30	22	22	29	29	29	24	20	29	29	27	21	24	34	58							
59	59	34	26	24	34	34	34	29	24	34	34	32	26	29	41								
		38	30	30	39	39	39	34	29	35	39	36	30	33	48								
		42	34	35	44	40	44	39	34	39	44	41	35	38	51								
		46	38	39	49	44	49	44	39	44	49	45	39	42	56								
		48	42	44	54	49	54	49	44	49	54	50	44	48									
		50	46	46	59	54	59	54	49	54	57	54	48	54									
		54	50	50		59		59	54	59	59	59	53										
		58	54	54					59				57										
			58	59																			
SATURDAY - SUNDAY																							
6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
04	06	02	02	00	04	04	05	04	00	00	00	00	00	00	00	05	05	04					
15	14	07	07	04	09	09	10	09	05	05	05	05	05	05	05	12	15	41					
27	22	10	12	09	14	14	15	14	10	10	10	10	10	10	10	21	29						
38	30	12	17	14	19	19	20	19	11	15	15	15	15	15	15	24	41						
48	36	17	22	19	24	21	25	24	15	20	20	20	20	20	16	29	53						
57	42	22	28	24	29	24	30	30	20	25	25	25	25	25	20	43							
	47	27	33	29	34	29	35	35	25	30	30	30	30	30	25	52							
	52	32	35	34	39	34	36	40	30	31	35	35	35	35	30								
	57	37	39	39	44	39	39	45	35	35	40	40	40	40	35								
		42	44	44	49	44	44	50	40	40	45	45	45	45	40								
		47	49	49	54	49	49	55	45	45	46	50	50	50	45								
		52	54	54	59	54	54		50	50	50	55	55	55	50								
		57		55		59	59		55	55	55		56		55								
				59																			

出典：TTC (2021 年 12 月末時点)

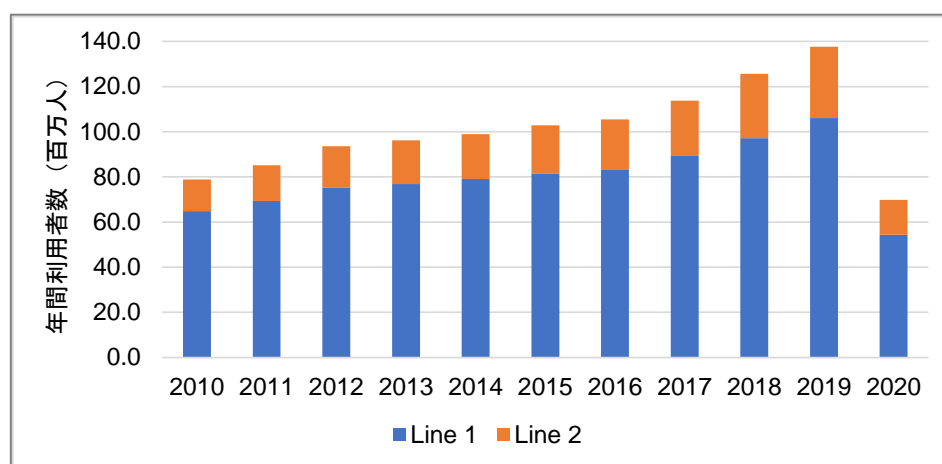
図 2-17 : Line 2 の State University 駅の時刻表



### 2.3.3 利用客数の推移

下図にトビリシ地下鉄の年間利用客数の推移を示す。2010年から2019年の10年間で、7,890万人から1億3,770万人に増加し、この間の平均増加率は年率6.4%と、高い伸びを示している。

しかしながら2020年のトビリシ地下鉄は、コロナ禍により多大な影響を受けた。ジョージア政府は、2020年3月21日に1か月間の緊急事態宣言を発出し、追って2020年5月21日までの2か月間に延長された。この間、すべての公共交通の運行は停止された。その後、2020年9月に第2波の感染が始まり、同年11月に2回目のロックダウンが開始され、2021年1月31日まで続いた。コロナ禍により、2020年のトビリシ地下鉄の利用客数は、前年の約半分の6,980万人にまで落ち込んだ。



出典：TTC

図 2-18：トビリシ地下鉄の年間利用客数の推移

トビリシ地下鉄の現在の運賃は、距離に拘わらず乗車当たり一律 0.5 GEL（約 0.17 USD）で、Metromoney Card と呼ばれる事前チャージ式の電子カードで乗車可能である。なお、出札後 90 分以内であれば、追加料金なしで再度利用することができる。また、学生、トビリシ市の社会保障受給者等に対する運賃割引や、学童の運賃無料等の優遇措置もある。

参考として、トビリシのバス運賃は地下鉄と同じで、乗車当たり一律 0.5 GEL、ミニバスの運賃は乗車当たり 0.8 GEL である。

### 2.3.4 設備改修・更新の緊急性

トビリシ地下鉄は、設備の改修・更新のための投資が絶対的に不足しており、システム全体の老朽化が喫緊の課題である。このため、安全で適切な輸送サービスを継続的に提供するには、早期に改修・更新を行うことが不可欠となっている。2017 年に Cities



Development Initiative for Asia (CDIA)<sup>11</sup>の支援によりトビリシ地下鉄の改修計画が作成されており、その中で、設備関連の主要課題について、以下のように纏められている<sup>12</sup>。

**The metro system shows Major condition concerns including Safety issues.** Despite of the continued efforts of TTC to keep maintenance activities on track, major concerns shall be expressed regarding the current condition of key components such as cabling, escalators, ventilation system and water drainage pumps of the metro system. In general, most components of the Metro's systems are worn out due to decades of under-investment. It shows also a low accessibility adequacy, weakness in the multimodality transfer with other public transport modes in interchanges stations and a very low energy efficiency compared to similar modern metro systems in the World.

上記の改修計画では、地下鉄システム全体について改修・更新の優先度の観点から評価が行われ、ケーブル類、エスカレーター、換気システム、車両、電力システム等が、最も優先度が高いとの評価結果となっている。この評価結果に沿って、欧州復興開発銀行（EBRD）、アジア開発銀行（ADB）の融資を受けて、改修・更新が実施中である。上記の改修計画、及び EBRD・ADB の支援については、第3章で詳述する。

## 2.4 トビリシ地下鉄の需要予測

近年に実施されたトビリシ都市交通分野の調査でトビリシ地下鉄の需要予測が行われている。本調査でも、2010 年以降のデータを用いて需要モデルを推計し、推計されたモデルを参考にしながら妥当と考えられる設定の下で、2030 年までのトビリシ地下鉄の需要予測を行った。

推計したモデルは下記の通りである。

$$Y = b * X^a$$

Y = トビリシ地下鉄旅客需要（人／年）（Line 1+Line 2）  
X = トビリシの実質 GDP  
a = 地下鉄旅客需要のトビリシ GDP に対する弾力性  
b = 係数

係数 a は、需要のトビリシ GDP に対する弾力性（Elasticity）であり、近似的に、トビリシ GDP の変化率（％）に対する需要の変化率（％）に等しくなる。従って、トビリシ GDP 成長率を設定することにより、需要の増加率が算出され（= a \* トビリシ GDP 成長率）、これと前年の需要により、次の年の需要が推計される。

モデル推計は、2010 年から 2019 年の年間乗客数と、各年のトビリシ実質 GDP を用いて、回帰分析により行った。コロナ禍の 2020 年については、ロックダウン等による輸送需要ショックや公共交通サービスの一時停止等があり、例外的な年であるため、2020 年データは除いた。また、Line 2 の State University 駅が 2017 年 10 月に開業したため、2010 年から

<sup>11</sup> アジア開発銀行（ADB）が管理するマルチドナー信託基金。

<sup>12</sup> 出典：Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade, Final Report, November 2017（SYSTRA 社作成）

2017 年までの Line 2 乗客数の補正を行い、同駅開業前後の条件を同等とした<sup>13</sup>。

回帰分析により、弾力性  $a$  は 1.39 と推計され、統計的に有意で、モデルの実績値へのフィットも高いとの結果となった<sup>14</sup>。この推計結果を参考にしつつ、IMF のジョージア GDP 成長率の予測、近年のトビリシ GDP の成長率も考慮し、次表の通り設定を行った。主要点を以下に記す。

- 需要予測のためのベース交通量の設定のため、2022 年中にコロナ禍が収束すると仮定し、また、トビリシでは自動車交通から公共交通への転換を図るべく地下鉄（及びバス）システムの改善が進行中であり、今後も改善の取組みが継続していくことを考慮し、2023 年に、2019 年レベルの需要（乗客数 1 億 3,770 万人）が回復すると仮定。この 2023 年の乗客数を予測のベース交通量とした。
- 2024 年以降の需要の年間変化率を下記の設定の下で算出。
  - 2024 年から 2026 年のジョージアの実質 GDP 成長率を、IMF による予測を参考にして年率 5.0%と設定し、以降、徐々に低下すると仮定。
  - 2010 年から 2019 年の 9 年間のジョージア実質 GDP の年平均成長率が 4.7%、トビリシ実質 GDP の年平均成長率が 4.2%であり、その差は 0.5%ポイント。2024 年以降、若干保守的に 0.6%ポイントの差を仮定。
  - 2024 年の需要のトビリシ GDP 弾力性を、先述の推計値より若干低下すると仮定し 1.2 と設定。以降、徐々に低下すると仮定。

表 2-12：需要予測に用いたパラメータの設定

パラメータ	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
(1) IMF によるジョージア実質 GDP 成長率予測値	5.249%	5.201%	5.201%	—	—	—	—
(2) ジョージア実質 GDP 成長率の設定値	5.0%	5.0%	5.0%	4.5%	4.5%	4.0%	4.0%
(3) トビリシ実質 GDP 成長率 (=上記(2)－0.6)	4.4%	4.4%	4.4%	3.9%	3.9%	3.4%	3.4%
(4) 需要のトビリシ GDP 弾力性設定値	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
(5) 需要の年間変化率 (=上記(3) * 上記(4))	5.28%	4.84%	4.40%	3.51%	3.12%	2.38%	2.04%

参考：IMF の 2022 年と 2023 年のジョージア GDP 成長率の予測は、それぞれ、5.764%、5.494%。

出典：IMF, World Economic Outlook Database, October 2021、調査団

<sup>13</sup> 具体的には、年間通して State University の利用が可能となった 2018 年以降の State University での乗客数の Line 2 全体の乗客数に対する割合を、2017 年以前も同等と仮定して、2017 年以前の Line 2 の乗客数を補正した。

<sup>14</sup> 係数  $a$  の推定値の  $t$  値は 17.9、モデルの  $R$  二乗値は 0.98 と推計された。

上記の設定に基づく地下鉄乗客数予測の結果を次表に示す。2030 年で 176.9 百万人との予測となった。この結果は、2020 年の SYSTRA 報告書<sup>15</sup>、及び 2021 年末時点で実施中のトビリシ Sustainable Urban Mobility Plan のドラフト資料<sup>16</sup>における 2030 年時点の予測と概ね同等である。また、2030 年の 176.9 百万人は、2019 年の地下鉄乗客数 137.7 百万人（2023 年に回復すると設定）から 28.5%増加するとの予測結果である。

**表 2-13：トビリシ地下鉄の需要予測結果**

年	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
乗客数予測 (百万人)	137.7	144.9	152.0	158.6	164.2	169.3	173.4	176.9

出典：調査団

道路混雑が大きな問題となっているトビリシでは、自動車交通から公共交通への転換が喫緊の課題であり、第 3 章で述べる通り、公共交通システム（地下鉄及びバス）の改善が国際機関の支援を得ながら進められてきている。過去 10 年間で、ジョージア及びトビリシの堅調な経済成長も相まって、先述の通りトビリシ地下鉄の利用は大きく増加した。2010 年から 2019 年の 9 年間にトビリシの人口は 6.5%増加したのみであるが、地下鉄の利用客数は 74%増加している（この間のトビリシ実質 GDP は 45%成長）。

トビリシの人口は近年増加傾向を示しており<sup>17</sup>、トビリシ市による人口予測は存在しないものの、国連の 2035 年までの予測によれば、微増が継続すると見られている<sup>18</sup>。一方で、道路交通から公共交通への更なる転換を図るため、トビリシ市は、2.6 節で記す通り地下鉄改良計画に沿って地下鉄システムのリハビリ・改良を継続していく意向であり、コロナ禍が収束すれば、上述の需要予測結果が示すように、地下鉄利用は引き続き増加していくものと考えられる。

## 2.5 調査対象事業の概要

### 2.5.1 車両

TTC が保有する車両の形式、車両数、製造年、Capital Repair や Medium Repair の実施年を以下の表に示す。既存の車両の耐用年数は 35 年である。TTC は、新車両の調達が予算面から難しいため、耐用年数を迎えた車両について、Capital Repair や Medium Repair を行い

<sup>15</sup> SYSTRA 社による Restructuring of Bus Network and Implementation of Integrated Automated Fare Collection System 調査の最終報告書（2020 年 6 月）において、バスに加えてトビリシ地下鉄の需要予測も実施されており、2030 年の地下鉄乗客数は 172 百万人と推計されている。

<sup>16</sup> Ramboll 社の実施による Sustainable Urban Mobility Plan (SUMP) for Tbilisi の 2021 年時点の Scenarios Presentation & Evaluation（ドラフト）においてトビリシ都市交通の需要予測結果が報告されており、それによれば、地下鉄の延伸を行わず Non-Motorized Transport（非駆動系交通）整備を行う場合のシナリオ、或いは、地下鉄の延伸を行わず TDM（交通需要マネジメント）施策を行う場合のシナリオで、2030 年の地下鉄乗客数は概ね 175 百万人前後の結果となっている。

<sup>17</sup> 第 2 章の 2.1 節で示した通り、トビリシの 2010 年人口は 1,100 千人、2015 年人口は 1,116 千人と、2010 年代前半は僅かの伸びであったが、2021 年には 1,203 千人となっており、近年増加傾向が見られる。

<sup>18</sup> 出典：国連 World Urbanization Prospects 2018 (<https://population.un.org/wup/>)

車両の延命化を行ってきた。延命化後の耐用年数は、50 年である。例えば、EM-3M と EM-508TM は、Capital Repair が 2005 – 2008 に、Medium Repair が 2015 – 2018 に夫々行われた。

しかし、2024 – 2027 には耐用年数を迎え、それ以上の延命は不可能なため新車の調達が必要である。つまり、2024 年から 2027 年に 52 両の車両を調達する必要がある。同様に他の車両についても、2039 年（2036 - 2042 の中央年）迄に新しい車両に更新する必要がある。

**表 2-14：車両の形式、両数、製造年、大修理の実施年等**

Model	Type	Quantity	Production year	Year of capital repair and modernization	Year of Medium repair with modernization	Final expiry year
EM-3M	Cab	26	1974 – 1977	2005-2008	2015-2018	2024-2027
EM-508TM	w/o Cab	26	1974 – 1977	2005-2008	2015-2018	2024-2027
81-717M	Cab	62	1986 – 1992	2008-2018	2019-2029	2036-2042
81-714M	w/o Cab	51	1986 – 1992	2008-2018	2019-2029	2036-2042
Ema 81-502	Cab	8	1979	2018-2019	2028-2029	2039
Ema 81-502	w/o Cab	19	1979	2018-2019	2028-2029	2039
Total		192				

注：TTC determined EM-3M and EM-508TM will be procured of which 44 cars are procured by the EBRD loan.

出典：TTC

TTC は、一番緊急性の高い EM-3M と EM-508TM の更新を行うために、約 2 年前にコンサルティング企業と新車両の技術要件の準備に関する契約を締結し、また EBRD ローンを得た。2020 年 3 月、TTC は EBRD ローンを利用した 40 両の車両調達を公示した。TTC によると、入札の結果 40 両の代わりに、44 両の車両を調達する事になった。残りの 8 両（52 – 44 = 8）については、調達資金の検討はこれからである。以上から、2039 年（2036-2042 年の中央年）迄に残りの 148 両を更新する必要がある。

本調査では、EBRD の調達に続いて必要となる車両の最適な調達両数・時期について検討し提案する。

## 2.5.2 電力供給、信号、通信

新車両の調達に伴う電力供給、信号・通信設備については、EBRD 車両調達事業で以下を必要要件としている。この必要要件は本調査でも同じであるため、本調査ではこれらの改良工事を想定していない。但し、本調査により明らかになった事柄や改善について提言を行う。

- 新車両は、既存の電力・信号システム内で運用できる必要がある。
- 新車両は、既存の車両基地・工場で保守が可能である必要がある。

## 2.5.3 車両基地・工場

車両の調達に伴い必要となる新車両の保守要件を満たすための車両基地・工場の改善が必要となる。TTC は、この改善を既に供与されている EBRD ローン Tranche 2 車両基地とトンネル修復事業 (EUR15 百万) で行う予定である。この Tranche 2 の実施のための詳細設

計と実施支援は ADB 資金で行われる。TTC は、現在この技術支援の業務内容を検討している。

本調査では、参考として最低限必要と思われる改善について検討するが、改善工事の費用は本事業に含めない。新車両の保守要件を満たすための車両検査機械・器具は車両調達費用に含まれる。また、新しい車両のための保守要員の訓練について提案する。

## 2.6 地下鉄車両調達のプライオリティ

本調査を通して、トビリシ地下鉄車両調達のプライオリティ、資金調達、関連の政策について、情報収集・関係者へのヒアリングを行った。主要点は以下の通りである。

### (1) トビリシ市交通・都市開発局 (Transport and Urban Development Agency: TUDA)

TUDA は、トビリシの交通・都市政策の策定・実施や、バス・地下鉄を含む公共交通システムによる交通改善等を担当している。TUDA の地下鉄車両調達に係る考え方の主要点は以下の通りである。

- トビリシ地下鉄の改良プログラム<sup>19</sup>の実施が現在進行中であり、それらは 2017 年に作成された Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade<sup>20</sup>に沿って実施されている。
- 資金調達を行う上でのプライオリティは政治的選択によるものであり、正式な書類等は存在しないが、地下鉄車両調達については、2040 年までに全ての車両の置き換えが必要であり、もはや政治的選択ではなく、実施しなければならない事項である。
- 時間が限られており、TUDA としてはあらゆる機会を活用して車両調達に向けて必要なプロセスを実施している。EBRD 支援による車両調達、日本政府及びパデコによる本調査の実施もその一環である。車両調達はオンゴーイングプロセスであり、一時的なプライオリティではない。
- 本調査完了後の検討プロセスとしては、本調査の結果を TUDA として技術的な観点から（部分的に政治的な観点からも）検討し、その上で、トビリシ市長・副市長（マネジメント）に説明する。本事業の推進が了承されれば、次に、市のマネジメントが資金調達の必要性を含めて財務省及び経済・持続的発展省<sup>21</sup>に説明する。これら中央政府への提案は政治的プロセスである。中央政府による資金調達に係る意思決定は、最終的には内閣の承認によるが、最も重要な機関は財務省である。

<sup>19</sup> 具体的な事業を第 3 章 3.2 節以降に記載した。これら事業は、EBRD 支援による Tbilisi Metro Project、ADB 支援による Sustainable Urban Transport Investment Program 及び Livable Cities Investment Project for Balanced Development、トビリシ市予算により実施されている地下鉄駅の改修等を含んでおり、これらは全て Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade (2017) において優先度の高い整備となっている。

<sup>20</sup> トビリシ地下鉄の改良プログラムを策定した ADB 支援による調査。第 3 章 3.1 節に同調査の概要を記した。この調査で作成された地下鉄改良プログラムにおいて、地下鉄車両の調達も優先度の高い整備の一つとなっている。

<sup>21</sup> 財務省は Ministry of Finance、経済・持続的発展省は Ministry of Economy and Sustainable Development である。ジョージアには交通省と呼ばれる省はなく、全国のロジスティックスや交通は経済・持続的発展省が担当している。

## (2) ジョージア財務省

本調査期間中に TUDA を通じて、トビリシ地下鉄車両調達のための対外借入の可能性についてジョージア財務省に照会を行ったところ、コロナ禍の状況下のため現時点では新規借入のコミットをすることは出来ないものの、新規案件の資金調達については、トビリシ市が、財務省と共に借入の必要性について検討することになる、とのことであった。この財務省の回答は、TUDA から得られた本調査完了後の検討プロセス（上述）の内容と整合する。

## (3) 環境関連政策との整合性

トビリシ市は、EBRD の支援を得て、2017 年に Tbilisi Green City Action Plan: 2017–2030 (GCAP) を作成している。GCAP では、交通、ビル（建物）、産業、エネルギー、上下水道、廃棄物、土地利用・生物多様性、レジリエンスの 8 つの分野について、戦略的ビジョン、戦略的目標、Green City 施策が提案されている。交通は、これら 8 分野のうち第一番目の分野として扱われており、「持続可能な都市モビリティシステムの開発」を戦略的ビジョンとして、バスネットワーク及び他の交通モードによる効率的で（Efficient）、魅力的で（Attractive）、利便性が高く（User-friendly）、競争力のある（Competitive）公共交通システムの構築を謳っている。

GCAP の交通分野の戦略的目標及び Green City 施策については、バス交通に力点が置かれた内容になっているものの、EBRD は、地下鉄車両調達を主コンポーネントとする Tbilisi Metro Project について、GCAP で特定された優先ニーズである公共交通の改善に資することを明示している<sup>22</sup>。本調査の中で行った EBRD トビリシ事務所とのインタビューにおいても、EBRD 支援による地下鉄車両調達は GCAP に沿ったものであることを、EBRD 側から明確に言及された。本調査で提案している地下鉄車両調達も同様に、GCAP が謳う「持続可能な都市モビリティシステムの開発」に貢献するものである。

また、ジョージア中央政府が、欧州連合（EU）の支援を得て作成し 2018 年に承認した Third National Environmental Action Programme of Georgia: 2017–2021 (NEAP-3) において、取り上げられている 12 の分野のうち、大気汚染対策、気候変動（特に温室効果ガス（GHG）削減）、グリーンエコノミー・持続可能な開発における環境側面の 3 分野で、交通に起因する影響への対処が提示されている。本調査で提案の地下鉄車両調達は、中央政府レベルの環境関連施策である NEAP-3 にも合致するものと言える。

TUDA によれば、市レベル及び国家レベルの環境政策や持続可能なモビリティの達成を含む幅広いビジョンを念頭に置いて、トビリシにおける交通関連投資の検討を行っているとのことであり、この意味でも、公共交通の改善、省エネルギーに資する地下鉄車両調達事業は有望な案件と考える。

<sup>22</sup> 出典：EBRD, Georgia: GrCF2 W1 – Tbilisi Metro Project, Approved by the Board on 23 April 2020.

### 第3章 トビリシ地下鉄に係る整備計画・事業のレビュー

#### 3.1 Tbilisi Metro Upgrade and Refurbishment Plan

アジア開発銀行（ADB）が管理するマルチドナー信託基金である Cities Development Initiative for Asia (CDIA)<sup>23</sup>の支援により、2017年に、トビリシ地下鉄に係る上記計画の作成が実施された。SYSTRA 社と現地コンサルタントである Spectrum Consulting 社による共同企業体がこの計画業務を受注し、最終成果品として Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade の Final Report（以下、Pre-FS）が2017年11月に作成された。

この Pre-FS では、トビリシ都市交通の現状と課題の把握、トビリシ地下鉄システムの包括的な現況評価と概略的な計画、積算、整備の優先順位付け、投資計画作成、事業実施体制の提案、経済・財務分析、環境社会配慮、安全性評価、資産管理のレビューと固定資産台帳データベースの提案、等が実施された。整備の優先度評価は、技術面、安全面、社会的インパクト、経済性、運行への影響、環境改善の指標が設定され、これら指標によるマルチクライテリア分析（MCA）により行われた。MCA の結果を下表に示す。

表 3-1：トビリシ地下鉄の改良に係る Pre-FS による整備優先度

Component	Score
Cabling	62,27%
Escalators	60,52%
Ventilation system tunnel	60,00%
Metro Trainset type Еж-3М / Ем-508ТМ	55,22%
Metro Trainset type 81-717М / 81-714	54,03%
Power supply	52,74%
Building of stations	51,78%
Track	51,53%
New Signalling system	51,02%
Fire protection system	50,58%
Drainage system Tunnel	49,32%
Gate turnstiles	45,27%
Telecom.	42,01%
Other buildings	32,79%
Maintenance equipment for rolling stock	28,74%
Maintenance equipment for infrastructure	25,37%

出典：Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade, Final Report, November 2017

<sup>23</sup> CDIA のウェブサイト：<https://cdia.asia/>

Pre-FS では、トビリシ地下鉄の各システムの計画、各システムで必要となる投資費用の積算、整備の優先度を踏まえて投資費用が算出されている。投資費用のまとめ（段階別の費用及び総額）を下表に示す。

表 3-2：トビリシ地下鉄の改良に係る Pre-FS による投資費用

ITEM	Component	Need urgent repair	Need repair <2 years	Need repair <5 years	Need repair after 5 years	TOTAL (USD million)
Design, Supply and Rehabilitation works	INFRASTRUCTURE	6,34	7,42	9,00	46,23	68,99
	SYSTEMS	0,00	3,45	60,05	0,00	63,50
	CABLING	5,29	0,00	0,00	0,00	5,29
	ESCALATORS	17,70	14,70	17,70	24,30	74,40
	ROLLING STOCK	0,00	5,09	8,81	64,35	78,25
	MAINTENANCE EQUIPMENT	0,00	12,32	0,00	0,60	12,92
	ELECTROMECHANICAL	6,09	1,27	1,05	0,60	9,02
	POWER ENERGY SUPPLY	8,17	3,34	6,35	0,42	18,27
	Sub Total	43,60	47,58	102,96	136,50	330,64
Additional Studies	Geotechnical surveys	1,50	0,00	0,00	0,00	1,50
	Sub Total	45,10	0,00	0,00	0,00	332,14
Work supervision	10% of Material/infrastructure components	4,36	4,76	10,30	13,65	33,06
Contingencies	10% of Studies + Design, Supply and Rehabilitation works + work supervision	4,95	5,23	11,33	15,01	36,52
TOTAL		54,40	57,58	124,58	165,16	401,73
%		13,54%	14,33%	31,01%	41,11%	100,00%

出典：Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade, Final Report, November 2017

また、主要コンポーネントの投資費用について、12 年の実施期間における各年の内訳を次表に示す。



表 3-3 : Pre-FS による主要コンポーネントの投資費用の年度別内訳

1) 物価上昇及び VAT を除く投資費用 (百万 USD)

Years	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Geotechnical surveys	2,9	2,9	2,4	2,4	1,8	8,2	7,6	0	0	0,4	3,1	2,8
Infrastructure	3,2	3,2	3,7	3,7		9,5	9,5			4,1	17,4	14,6
Systems	2,6	2,6	1,7	1,7	17,8	24,1	18,1					
Escalators	8,9	8,9	7,4	7,4		8,9	8,9				12,2	12,2
Rolling stock			2,5	2,5		35,6	35,6	0,1	0,1		0,9	0,9
Maintenance equipment			6,2	6,2							0,3	0,3
Electromechanical	3	3	0,6	0,6		0,8	0,8					
Energy Supply	4,1	4,1	1,7	1,7		3,3	3,3				0,1	0,1
<b>SUBTOTAL</b>	<b>24,7</b>	<b>24,7</b>	<b>26,2</b>	<b>26,2</b>	<b>19,6</b>	<b>90,4</b>	<b>83,9</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>4,5</b>	<b>33,9</b>	<b>30,8</b>
Physical contingencies	2,5	2,5	2,6	2,6	2	9	8,4	0	0	0,5	3,4	3,1
<b>TOTAL</b>	<b>27,2</b>	<b>27,2</b>	<b>28,8</b>	<b>28,8</b>	<b>21,6</b>	<b>99,5</b>	<b>92,3</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>5</b>	<b>37,3</b>	<b>33,9</b>

2) 物価上昇及び VAT を含む投資費用 (百万 USD)

Years	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Geotechnical surveys and Work supervision	3	3,1	2,6	2,6	2	9,5	9	0	0	0,5	4	3,7
Infrastructure	3,3	3,3	4	4,1		11	11,2			5,2	22,5	19,3
Systems	2,7	2,8	1,9	1,9	20	27,7	21,3					
Escalators	9,1	9,3	7,9	8,1		10,2	10,4				15,7	16
Rolling stock			2,7	2,8		41	41,9	0,1	0,1		1,2	1,2
Maintenance equipment			6,6	6,8							0,4	0,4
Electromechanical	3,1	3,2	0,7	0,7		1	1					
Energy Supply	4,2	4,3	1,8	1,8		3,8	3,9				0,1	0,1
<b>SUBTOTAL</b>	<b>25,4</b>	<b>26</b>	<b>28,2</b>	<b>28,8</b>	<b>22,1</b>	<b>104</b>	<b>98,7</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>5,7</b>	<b>43,8</b>	<b>40,7</b>
Physical contingencies	2,5	2,6	2,8	2,9	2,2	10,4	9,9	0	0	0,6	4,4	4,1
Value added tax	5	5,2	5,6	5,7	4,4	20,6	19,5	0	0	1,1	8,7	8,1
<b>TOTAL</b>	<b>33</b>	<b>33,8</b>	<b>36,6</b>	<b>37,4</b>	<b>28,6</b>	<b>135</b>	<b>128,1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>	<b>7,4</b>	<b>56,8</b>	<b>52,8</b>

出典 : Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade, Final Report, November 2017

## 3.2 EBRD 支援による事業

### 3.2.1 Tbilisi Metro Project

EBRD は、トビリシ地下鉄 40 両の車両調達と、車両デポ及びトンネルのリハビリをコンポーネントとする Tbilisi Metro Project に対して、2020 年 4 月に、75 百万ユーロを上限とするソブリンローンに承諾した。同ローンは、2 つのトランシェから成り、トランシェ 1（上限 60 百万ユーロ）は 40 両の地下鉄車両（10 編成）の調達に、トランシェ 2（上限 15 百万ユーロ）は車両デポ及びトンネルのリハビリに使用される。なお、総額 75 百万ユーロのうち、EBRD が 65 百万ユーロを融資し、トランシェ 1 の総額のうち 10 百万ユーロについては国際基金である Green Climate Fund（GCF）<sup>24</sup>から供与される。

この融資の借入人はジョージア政府（代表機関は財務省）であり、資金は財務省からトビリシ市に転貸され、TTC が EBRD の調達ルールに従って調達を実施する。トランシェ 1 の地下鉄車両調達については、2020 年 3 月に調達手続きが開始され、2021 年 11 月現在、入札評価が実施中であった。トランシェ 2 の車両デポ及びトンネルのリハビリについては、2021 年 11 月現在、詳細設計・事業実施支援を行うコンサルタントの TOR を TTC が作成中であった。

### 3.2.2 トビリシ・バスセクターへの支援

EBRD は、2010 年代中頃から、トビリシにおけるバスセクターへの支援も実施している。下表に関連の事業を示す<sup>25</sup>。これらは上記の Tbilisi Metro Project と同様に、いずれもソブリンローンであり、借入人であるジョージア政府（代表機関は財務省）からトビリシ市に転貸され、TTC が事業を実施している。

表 3-4：EBRD 支援によるトビリシ・バスセクター事業

事業名	融資の概要、対象事業
Tbilisi Bus Project	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 承諾：2016 年 5 月、融資承諾額：27 百万ユーロ（事業費：39 百万ユーロ）</li> <li>● 借入人：ジョージア政府（財務省）、ジョージア政府からトビリシ市に転貸され、TTC が事業を実施</li> <li>● 対象事業：新製の低床圧縮天然ガス（CNG）バス車両 175 台の調達（加えて、グラントによる関連の技術協力の実施）</li> </ul>
Tbilisi Bus Extension	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 承諾：2019 年 11 月、融資承諾額：80 百万ユーロ</li> <li>● 借入人：ジョージア政府（財務省）、ジョージア政府からトビリシ市に転貸され、TTC が事業を実施</li> <li>● 対象事業：新製の低床圧縮天然ガス（CNG）バス車両の調達、バスデポのリハビリ・改良</li> </ul>

<sup>24</sup> GCF は、開発途上国が GHG 排出抑制・削減・吸収（緩和）と気候変動により影響への対処（適応）を実施するための努力を支援する国際基金。（GCF のウェブサイト：<https://www.greenclimate.fund/>）

<sup>25</sup> これら一連のトビリシ・バスセクター事業において、いすゞ自動車、伊藤忠、トルコ Anadolu グループの合弁企業である Anadolu Isuzu Otomotiv San. (AIOS) 社（本社：イスタンブール）が、これまで 400 台弱のバス車両を納入しており、トビリシ都市交通セクターにおける日系企業の大きな実績となっている。

	(加えて、グラントによる関連の技術協力の実施)
Tbilisi Bus Phase III	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 承諾：2021 年 10 月、融資承諾額：83 百万ユーロ</li> <li>● 借入人：ジョージア政府（財務省）、ジョージア政府からトビリシ市に転貸され、TTC が事業を実施</li> <li>● 対象事業：新製の低床圧縮天然ガス（CNG）連節バス約 200 台の調達、これらのバス用の新規デポの建設</li> </ul> (加えて、グラントによる関連の技術協力の実施)

出典：EBRD

EBRD は、2017 年 9 月に作成された Green City Action Plan: Tbilisi, 2017-2030（GCAP）への資金的支援を行っており、上記のバス車両調達への融資は、GCAP におけるトビリシ交通分野の下記提案に沿ったものと言える。

- Sustainable Urban Mobility Plan（SUMP）の策定
- バス車両の更新（低／ゼロエミッションバスへの更新）
- バスネットワークの改編
- ロープウェイ新路線、メトロの地上システムによる拡張に係る FS の実施
- タクシーの規制

### 3.3 ADB 支援による事業

#### 3.3.1 Sustainable Urban Transport Investment Program

トビリシを含むジョージアの主要都市における都市交通整備を目的として、ADB 支援により Sustainable Urban Transport Investment Program が 2010 年に開始された。同投資プログラムに対しては、複数のトランシェから成る ADB の Multi-tranche Financing Facility（MFF）と呼ばれる方式により融資が実施され、合計 5 つのトランシェが供与された。各トランシェの概要と対象事業を下表に示す。また、同投資プログラムの資金の流れを次図に示す。

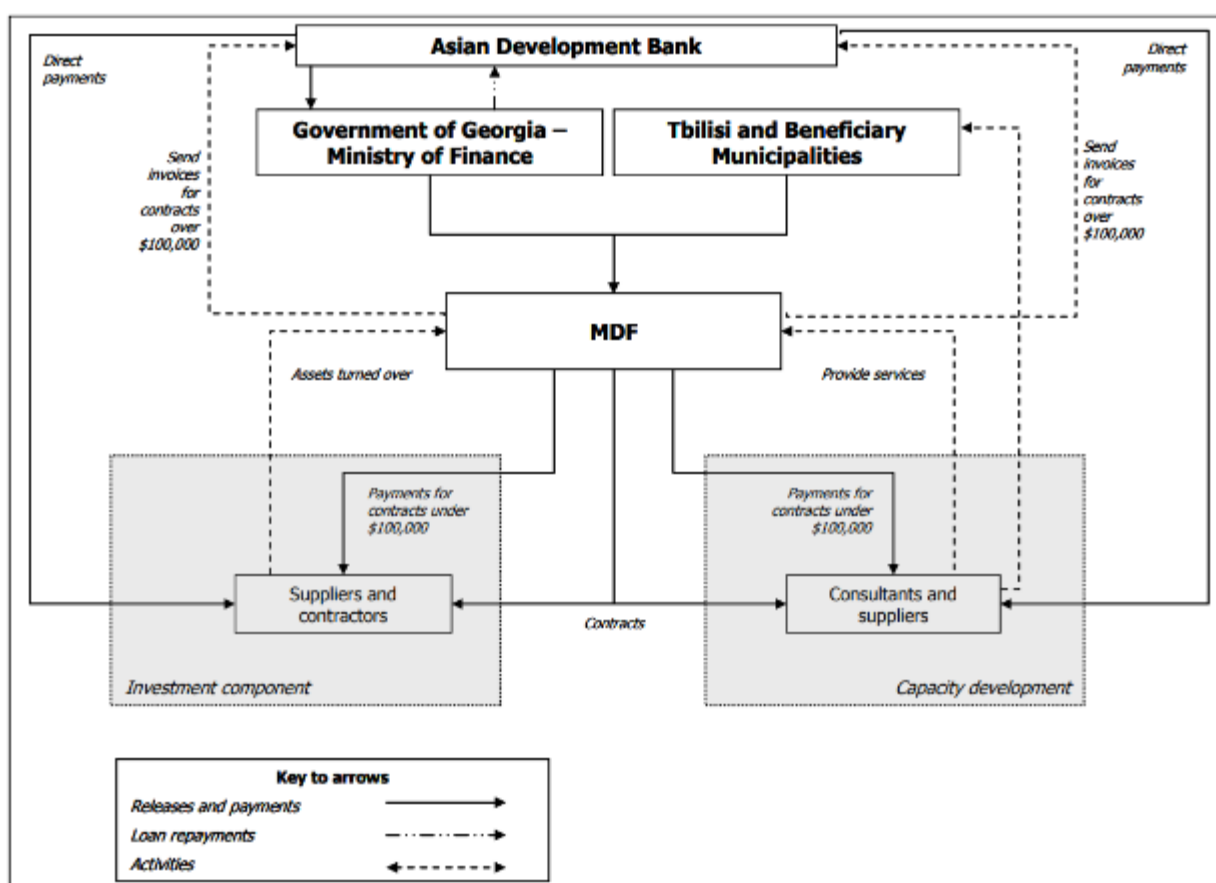
この投資プログラムの一部として、トビリシ地下鉄の整備も実施された（トランシェ 1 及びトランシェ 5）。トランシェ 1 による地下鉄 2 号線の延伸と State University 駅建設は 2017 年に完了し、2017 年 10 月に同駅までの営業が開始された。

表 3-5：ADB 支援による Sustainable Urban Transport Investment Program

Tranche #	融資の概要、対象事業
Tranche 1	L/A：2010 年 8 月、融資承諾額：85 百万 US ドル、完了：2021 年 4 月 借入人：ジョージア政府、実施機関：Municipal Development Fund of Georgia <ul style="list-style-type: none"> <li>● トビリシ地下鉄 2 号線の延伸、及び State University 駅の建設</li> <li>● その他、黒海沿岸のアナクリア（Anaklia）における沿岸保全、メスティア（Mestia）における道路整備等</li> </ul>
Tranche 2	L/A：2012 年 7 月、融資承諾額：65 百万 US ドル、完了：2021 年 5 月 借入人：ジョージア政府、実施機関：Municipal Development Fund of Georgia、Ministry of Regional Development and Infrastructure <ul style="list-style-type: none"> <li>● トビリシールスタヴィ（Rustavi）間の都市道路を含む道路セクターの整備等</li> </ul>

Tranche 3	L/A : 2013 年 12 月、融資承諾額 : 73 百万 US ドル、完了 : 2021 年 4 月 借入人 : ジョージア政府、実施機関 : Municipal Development Fund of Georgia、 Ministry of Regional Development and Infrastructure
	● トビリシールスタヴィ (Rustavi) 間の都市道路整備、黒海沿岸のアナクリア (Anaklia) における沿岸保全等
Tranche 4	L/A : 2015 年 10 月、融資承諾額 : 20 百万 US ドル、完了 : 2021 年 4 月 借入人 : ジョージア政府、実施機関 : Municipal Development Fund of Georgia、 Ministry of Regional Development and Infrastructure
	● 黒海沿岸のバトゥミ (Batumi) における道路整備等
Tranche 5	L/A : 2017 年 12 月、融資承諾額 : 12 百万ユーロ、完了 : 2021 年 6 月 借入人 : ジョージア政府、実施機関 : Ministry of Regional Development and Infrastructure、Municipal Development Fund of Georgia
	● Rehabilitation and improvement of Tbilisi Metro (replacement of low and medium voltage power transmission cabling, rehabilitation of ventilation system) ● TTC の組織強化等

出典：ADB



注：MDF = Municipal Development Fund of Georgia

出典：Sustainable Urban Transport Investment Program -Tranche 1, Project Administration Manual (2013)

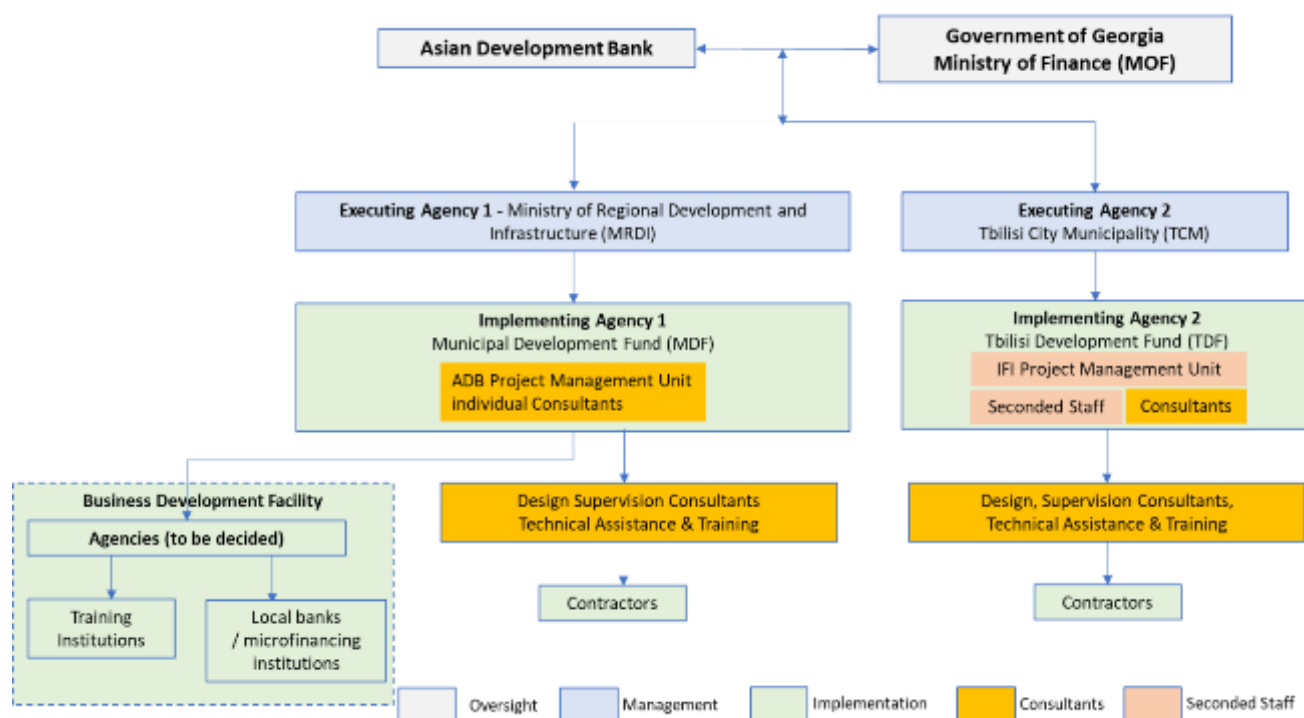
**図 3-1 : Sustainable Urban Transport Investment Program の資金の流れ**

### 3.3.2 Livable Cities Investment Project for Balanced Development

ADB は 2021 年 10 月に、ジョージアに対する Livable Cities Investment Project for Balanced Development への融資を承諾した。同事業は、トビリシを含むジョージアの数地域を対象として、(1)包摂的で気候変動に強い都市インフラのリハビリ・整備、及び都市サービスの改善、(2)国内の観光クラスターにおけるアクセス性・連結性・モビリティの改善、(3)持続可能な都市地域開発のための能力強化を成果（Output）とするものである。事業費総額 180.5 百万 US ドルのうち ADB が 119.9 百万 US ドルを融資し、残りをジョージア政府が手当する。

上記(2)の成果の一部として、トビリシ地下鉄のケーブル敷設、ベンチレーター設置、地下鉄駅へのアクセス改善、地下鉄駅の改良が含まれる。

事業実施体制は下図の通りで、ADB 融資の借入人はジョージア政府（財務省）、トビリシ市に関するサブプロジェクトの実施機関はトビリシ市、Tbilisi Development Fund (TDF) である。



出典：Livable Cities Investment Project for Balanced Development, Project Administration Manual (2021)

図 3-2：Livable Cities Investment Project for Balanced Development の実施体制

### 3.4 地下鉄駅の改修等

TTC は、上記の整備に加えて、TCH の予算により幾つかの地下鉄駅の修繕、補強、装飾等を順次実施している。

### 3.5 地上システムによるメトロ延伸計画

トビリシ地下鉄の将来的な整備として、地上システムによるトビリシ東部への延伸の計画がある。ジョージア国鉄と接続する Line 1 の Samgori 駅から、トビリシの東端に位置する Lilo への延伸と、途中駅から南に分岐しトビリシ国際空港にアクセスする区間を整備する計画である（下図参照）。ただし、この計画の具体化に向けた取組みは、コロナ禍も要因となり中断している。



出典： <https://on.ge/story/29167-კახა-კალაძე-2019-წლიდან-მიწის-ზედა-მეტროს-მშენებლობას-დავიწყებთ> を基に調査団作成

図 3-3：地上システムによるメトロ延伸計画

## 第4章 プロジェクト計画

### 4.1 各技術要素の現況と分析

#### 4.1.1 システム要件

##### (1) 方法論

システム要件を定義するために調査団によって実施されたアプローチは、原（ソース）要件が識別され、補足され、単一の要件に分解されるトップダウンアプローチに基づいている。代表的な一連の要件が確立されると、要件は関連する技術専門家に割り当てられ、レビュー、合意、及びその後の夫々の技術文書への組み込みが行われる。

但し、特定された全ての要件が本調査段階に関連している訳ではないため、関連性のない要件は次の設計段階に延期することができる。これを考慮して、本調査に関連する要件のサブセットが特定された。

更に、本調査に関連する要件のサブセットには、本調査の一部として作成された設計基準、又はインターフェース制御文書に関連しない要件も含まれる場合がある。従って、要件セットは、本調査からの出力に関連する要件にさらにフィルタリング（削減）された。この要件のサブセットは、システム要件仕様（Systems Requirements Specifications (SRS)）として維持されている。

初期要件セットはフィルタリングされているが、全ての要件は、設計段階で管理、及び処理できるようにリレーショナルデータベースに保持されている。

SRS は、出所から要件に対応する夫々の本調査の出力書類まで要件を追跡するために使用された。このプロセスは、関連する全ての要件に対応しているという高いレベルの信頼性を提供し、必要に応じて個別にレビュー、及び評価できる証拠証跡も提供する。

##### (2) 原資料とデータ

要件を特定して取得するための主要な原資料は、TTC が提供する「General Requirements to Metro Cars」である。更に、調査団の専門家、TTC、及び現地専門家の間で開催された会議、及び TTC への情報要求への応答から得られた情報からも要件が導き出された。

##### (3) システム要件仕様 (SRS)

原資料と情報からの要件をレビューして、特異で、測定可能で、達成可能で、現実的で、テスト可能な SMART (singular, measurable, achievable, realistic and testable) 要件を作成した。解析プロセスの一環として、各要件には一連のカテゴリと属性が割り当てられた。カテゴリと属性を割り当てると、管理、操作、及び所有権の割り当てが容易になる。

割り当てられるカテゴリは次のとおりである。

- 機能
- 性能
- 安全性

- 信頼性、可用性、保守性 (Reliability, Availability, Maintainability (RAMS))
- Man-Machine Interface (MMI)
- インターフェース
- 環境
- 不機能
- 非技術的事項 (その他)

割り当てられる属性は次のとおりである。

- ID#
- オリジネーター
- オーナー
- 検証/妥当性確認の意図
- 検証ステータス
- 証明ステータス
- ステージ (FS 又は設計段階のいずれか)

結果として得られる要件セット、つまり、個々の属性が割り当てられた SMART 要件は、SRS を作成するために編集された。SRS はリレーショナルデータベースで管理され、要件セットは Microsoft Excel 形式の要件リストとして出力された。

#### **(4) 追跡可能性**

要件が特定され、原資料と情報から捕捉されると、原資料の詳細も特定され、捕捉される。例えば、書類、章、条項、項目、副項目等である。原資料から情報を取得すると、要件を追跡できる。

設計基準とインターフェース制御文書は調査団の技術専門家によって作成され、これらの書類への要件の包含と満足度は SRS と照合された。これにより、調査団は、各原資料要件が設計基準及び/又はインターフェース制御文書のいずれかによって満たされているという確信を得ることができる。

#### **4.1.2 インターフェース管理及びシステム統合**

##### **(1) 方法論**

新車両は既存のトビリシ地下鉄にシームレスに統合する必要があるため、新車両との全てのインターフェースを識別して管理することが重要である。

新車両へのインターフェースを特定、及び管理するための調査団のアプローチは、インターフェースマトリックス (Interface Matrix (IM)) を作成し、それを使用してインターフェース制御文書を作成することに基づいている。



IM とインターフェース制御文書はどちらも、本調査を通じて定期的に更新される「生きた」文書である。IM とインターフェース制御文書は、設計基準を補足するものであり、それと併せて読んだり使用したりする必要がある。

本調査が完了したら、IM とインターフェース制御文書を車両の基本設計への入力として使用する必要がある。

IM とインターフェース制御文書の作成で実行された一連の活動は次のとおりである。

- 原資料、及びその他の資料を確認して、インターフェースを特定する。
- IM を準備する。
- IM で識別されたインターフェースの事例毎に、インターフェース制御文書を準備する。
- IM とインターフェース制御文書の両方を更新して、本調査期間中に特定された変更を記録する。

## (2) インターフェースマトリックス

IM の範囲には、新車両と他のサブシステムとその外部インターフェース（新車両が動作する環境内）との間の全てのインターフェースが含まれる。IM には、台車や車体等、車両内部のインターフェースは含まれない。

IM は、調査団の経験と専門知識、及び SRS に文書化された要件から導き出された。

IM を作成すると、主要なインターフェースを見逃したり見落とししたりしないという確信が高まる。IM は、インターフェースの可視性を提供する。これにより、インターフェースの管理と説明が確実に行われる。

Microsoft Excel を使用して作成された IM は、2 次元のマトリックスである。「Y」軸は車両、及びその他のシステムとのインターフェースを記録し、「X」軸はインターフェースに関連する詳細を記録する。「X」軸に記録される詳細は次のとおりである。

- システム
- サブシステム
- インターフェースの説明
- 物理的
- 電気
- 機能的
- その他
- 備考

IM の各エントリには ID 番号が割り当てられており、IM は SRS と密接に関連しているため、関連する場合は SRS への相互参照が記録される。

### (3) インターフェース制御文書

新車両、他のサブシステム、及び外部（新車両が動作する環境内）間のインターフェースは、単一のマルチシステムインターフェース制御文書に記録される。この文書に含まれるシステムと要素は次のとおりである。

- 車両と既存施設（線路、駅、トンネル、高架橋、及び地上施設）
- 車両と牽引電力
- 車両と信号
- 車両と通信
- 車両と基地/工場
- 車両と既存列車群
- 車両と環境

インターフェース毎に、インターフェース制御文書は共通の構造を使用してインターフェースのパラメータを定義する。使用されるインターフェースパラメータは次のとおりである。

- 物理的/機械的
- 電気
- 機能的
- 電磁両立性/電磁障害 (Electro Magnetic Compatibility (EMC) / Electromagnetic Interference (EMI))

インターフェース制御文書には、設計段階、及びその他の後続のプロジェクト段階で使用するための状況追跡サインオフシートも含まれている。具体的には、サインオフシートは、インターフェース設計の開発に関連する以下の3つの部分に分かれる。

パート1 - インターフェースの識別

パート2 - インターフェースの定義

パート3 - インターフェースのテスト/検証が行われ、未解決の問題が全て解決

インターフェース制御文書の現在のバージョンは、添付資料1に示されている。

### (4) 設計基準との関係

IM とインターフェース制御文書はどちらも設計基準を補足するものであり、設計基準と併せて読む必要がある。

## (5) システム統合

新車両の導入の成功は、システム統合への構造化され制御されたアプローチを実施するプロジェクトに依存する。システム統合業務は、プロジェクトのライフサイクル全体で管理する必要があり、広く次のように定義される。

- 要件工学
- インターフェース管理
- 人的要因
- EMC 及び EMI
- 動的テスト
- システム統合試験
- 要件の検証

他の国際プロジェクトの経験に基づいて、車両供給者から独立した第三者に、新車両の供給者がシステム統合業務を適切に実行することを監督する責任を割り当てることを推奨する。システム統合の監督の責任は、TTCの設計コンサルタントの範囲内に含めることも、プロジェクトの外部の独立した関係者に割り当てることもできる。

システム統合アプローチ、関連する活動、及び計画されたシステム統合試験は、システムインテグレーターが（車両供給者と連携して）作成し、車両供給者が実施できるように、システム統合計画で定義する必要がある。

独立したシステムインテグレーターは、車両の基本設計が完了する前に、一連のシステム統合試験を定義する必要がある。システム統合試験は、引き渡しと受け入れの前に、新車両の統合試験が成功したことを実証する必要がある。試験は、車両が意図した運用条件下で供給者、システム、サブシステムの境界を越えて試験するように注意深く指定する必要がある。

システム統合試験を正常に完了することは、新車両を収益運転に引き渡し、受け入れるための基本的な前提条件である必要がある。

### 4.1.3 車両

#### (1) 在来車両の現状

トビリシ地下鉄の開業は 1966 年で、開業時の車両こそ無いものの、車齢 30～48 年に達する旧ソ連時代の車両に延命工事を複数回実施しながら使い続けている。旧ソ連の地下鉄車両は、徹底的な標準化が図られており、どの都市の地下鉄もほぼ同様の車両が使われ、車両形式も共通である。最大の車両メーカーは、現在メトロワゴンマッシュと呼ばれているロシアの会社で、車両設計はここが一括して行ってきた。

表 4-1：在来車両の車種・両数・経年は、在来車両の車種・両数・経年を示したもので、合計 192 両の車両が稼働中である。最も古い EM 形は、52 両のうち 44 両が EBRD の資金で新車に置き換えることが決まっており、その車両メーカーはメトロワゴンマッシュであ

る。次に古い 81-502 形は 2 回目の延命工事を実施する予定で、比較的新しい 81-717/714 形（717 は先頭車、714 は中間車）は 1 回目の延命工事を徐々に実施中である。

いずれの車両も日本でいえば昭和の時代の電車、直流電動機を制御する方式は抵抗制御なので、加速中に抵抗器による熱損失が発生する。またブレーキも、現在の日本では当たり前になっている回生ブレーキを採用しておらず、減速中に発生した電力は抵抗器で熱に変えて大気中に捨てている。VVVF インバータ制御の新造車両に置き換えることにより、大幅な省エネルギーが実現できることを、調査団として強く推奨したい。

**表 4-1：在来車両の車種・両数・経年**

車両形式	両数	経年	廃車予定	記事
EM	52	45～48	2024～2027	うち 44 両は EBRD 資金で新車調達 残る 8 両が本件の対象
81-502	27	43	2039	2028～2029 に延命工事計画あり 延命工事を止め本件の対象とすることを推奨
81-717/714	113	30～36	2036～2042	2019～2029 の予定で延命工事中 2021 までに 27 両完了、2022～2026 に 38 両予定 45 両を本件の対象とすることを推奨
合計両数	192			

出典：調査団

図 4-1～図 4-4 は在来車両 81-717/714 形の外観や車内の写真である。軌間 1520mm、第三軌条からの集電で、1 号線・2 号線とも現在は 4 両編成である。運転台は加速用の主幹制御器ハンドル（左側）とブレーキ弁ハンドル（右側）が別置きになっているが、計器やスイッチ類とともにコンソールとしてまとめてある。客室内はロングシートで、冷房はもちろん暖房も付いておらず、これは旧ソ連の地下鉄の流儀で、冬は厳寒のモスクワでも在来車両に暖房が無いことが調べて判明した。先頭車の正面に避難口は無く、中間の連結部には貫通口があるが幌や桟板は付いておらず、通常使用する目的ではなく非常時の避難用と考えられる。



出典：調査団



出典：調査団

**図 4-1：在来車両 4 両編成外観**

**図 4-2：在来車両の運転台**



出典：調査団



出典：調査団

図 4-3：在来車両の車内ロングシート

図 4-4：在来車両の貫通路（幌なし）

図 4-5～図 4-8 は在来車両 81-717/714 形の台車や機器類の写真である。台車側面中央に集電靴を取り付けるため、まくらばねは台車枠の内側に配置され、軸ばねとともにコイルばねが使用されている。軸箱は前後から板ばねで支持されており、基礎ブレーキは両抱き式の踏面（とうめん）ブレーキである。運転台コンソールは今様のデザインだが、その下にある主幹制御器は旧式の大きなものである。台車に取り付ける主電動機・駆動装置は日本の流儀に似ているが、帰線電流（電車からレールを通して変電所に戻る電流）を車軸に落とす接地装置は、ブラシがむき出しのシンプルな設計である。床下には自然通風式の主抵抗器が並んでいる。



出典：調査団



出典：調査団

図 4-5：在来車両の電動台車と集電靴

図 4-6：在来車両の主幹制御器内部





出典：調査団



出典：調査団

図 4-7：在来車両の主電動機・駆動装置と 図 4-8：在来車両の主抵抗器（自然通風）  
接地装置

## (2) 新造車両の構想と在来車両との比較

現地から得た在来車両の情報を整理するとともに、新造車両の構想を具体化することを目的として、表 4-1 表 4-2 の諸元表を作成した。以下に諸元表の主な内容を新旧比較しながら説明する。

### ・ 車両性能

トビリシを含む旧ソ連の地下鉄は加速度が異常に高く、在来車両は  $1.2\text{m/s}^2$  ( $4.32\text{km/h/s}$ ) で、性能上は  $1.38\text{m/s}^2$  ( $5.0\text{km/h/s}$ ) まで出せるようである。日本では  $0.97\text{m/s}^2$  ( $3.5\text{km/h/s}$ ) を超える加速度は実績がほとんどなく、お年寄りや手摺りに掴まらないと転倒してしまう領域である。駅のエスカレーターも助走が必要なくらい速いらしく、それが旧ソ連の価値観のようである。このような高い加速度が実現できるのは、編成中の全ての車両が電動車だからである。

一方、想定される新造車両はイニシャルコストを抑えるために MT 比（電動車と付随車比率）を下げたく、日本では MT 比が 1:1 程度とするのが一般的である。トビリシは 4 両編成なので 2M2T とすると、粘着（車輪・レール間の摩擦）の制限から加速度は  $1.0\text{m/s}^2$  ( $3.6\text{km/h/s}$ ) が限界である。一見性能低下のように見えるが、一定加速度の領域を速度  $45\text{km/h}$  くらいまで広げれば（在来車両の一定加速度領域は速度  $27\text{km/h}$  まで）、極端に距離が短い駅間は除いて、運転時間が延びることはない。

トビリシ側と協議の結果、GOST 規格にも定められている  $1.2\text{m/s}^2$  ( $4.32\text{km/h/s}$ ) が必要という結論になり、編成は 3M1T とすることになった。電動車が 1 両増えることによりイニシャルコストが増加するが、後述する客室空調（冷暖房）不要という結論も同時に得られたので、コストは相殺され財務分析に影響は発生しない。

### ・ 主回路システム

これが新旧車両でいちばん大きく異なるところである。在来車両は直流直巻電動機を抵抗制御（直並列制御・弱め界磁制御を併用）によりコントロールする方式である。一方、新造車両は三相交流誘導電動機を VVVF インバータ制御によりコントロールする方式で、インバータ故障時の冗長性を確保するため制御単位は主電動機2台を想定している。VVVF インバータ制御により停止直前まで回生ブレーキを使用して省エネルギーを図ることができるほか、付随車のブレーキ力の一部も電動車の回生ブレーキが負担するようにして回生率の向上をめざす。また回生ブレーキが失効した時、日本では空気ブレーキが補足する考えが主流だが、ブレーキ抵抗器を設けて回生できない電力を消費させ、バックアップするシステム（EBRD 資金で調達する新造車両と同様）を想定している。

### ・ 補助回路システム

在来車両は簡易な静止形インバータを補助電源として持ち、制御電源としての直流 80V のほか、照明電源としての単相交流 110V 300Hz の出力を得ており、照明電源は第三軌条セクションによる瞬停に備えて蓄電池によりバックアップされている。一方、新造車両は安定した出力が得られる静止形インバータ（CVCF インバータ）とし、制御電源と照明電源としての直流 80V 出力（蓄電池によりバックアップ）のほか、空気圧縮機の電源として三相交流 220V 50Hz の出力を設ける。トビリシ側と協議の結果、客室空調（冷暖房）は設けないことになったのでインバータの容量は小さく、重量・コストともに有利になる。

### ・ 車体構造と寸法

車体材質は在来車両は普通鋼だったのに対し、新造車両はアルミまたはステンレスとし、塗装を省略することが可能なため保守コスト低減につながる。調達範囲（製造可能な車両メーカー）を拡げるため、やむを得ない場合は普通鋼も可とするが、入札評価には配慮を検討すべきである。

貫通路はこれまで非常時の避難用であったが、日本と同様の狭幅の幌と栈板および貫通扉（火災対策）を設け、通常でも通り抜けができるようにする。（幌のスペースを確保するため車体長は若干短くする）

### ・ 乗客用設備

換気冷暖房について、在来車両は強制通風による換気を行っているのみで、冷暖房は一切設けていない。ちなみに 2014 年に日本の技術で機器更新を行ったキエフメトロも、客室冷暖房は設けていない。これは旧ソ連の地下鉄の流儀で、冬な厳寒のモスクワでさえ客室暖房は設けていない。トビリシ側と協議の結果、今回の新造車両も客室空調（冷暖房）は設けないことになった。重量・コストともに有利になる。

### ・ 台車

軽量化のため、新造車両ではボルスタレス式を採用する。また基礎ブレーキにはスラックアジャスタ付きの踏面ブレーキユニットとする。



表 4-2 : トビリシ地下鉄車両諸元表

		代表的な在来車両	想定される新造車両
基本データ	軌間	1520mm	
	電化方式	第三軌条方式 DC750V (550～975V)	
	最急勾配	40/1000	
	最小曲線半径	200m (車両基地内 60m)	
	最大軸重	15t	
	線路条件	地下が大部分	
車両性能			
編成		Mc-M-M-Mc	Mc-M-T-Mc
空車重量 (AW0)		Mc:34t, M:33t	Tc:29t, M:31t, Mc:32t, T:30t
収容乗客数 (70kg/人)	AW1: 着席	Mc:40, M:44	Mc,Tc:40, M,T:44
	AW2: AW1+5/㎡	Mc:190, M:207	Mc,Tc:190, M,T:207
	AW3: AW1+500kg/㎡	Mc:254, M:277	Mc,Tc:254, M,T:277
最高速度		80km/h (設計:90km/h)	80km/h (設計:90km/h)
起動加速度		1.2m/s/s	1.2m/s/s
減速度 (瞬間値)	常用最大ブレーキ	1.2m/s/s	1.2m/s/s
	非常ブレーキ	1.4m/s/s	1.4m/s/s
ブレーキ制御システム		発電ブレーキ併用 自動空気ブレーキ	回生ブレーキ併用 電気指令空気ブレーキ
主幹制御器		力行・ブレーキ別置き	ワンハンドル
制御回路電圧		DC80V	DC80V
非常運転条件		最急勾配上で満車の故障 編成を空車の健全編成が 押し上げられること	最急勾配上で満車の故障 編成を空車の健全編成が 押し上げられること
信号機器		ATP 付キャブシグナル	ATP 付キャブシグナル
主回路機器			
集電靴 (第三軌条下面接触)		台車取付け集電靴	台車取付け集電靴 (折りたたみ可能)
主回路制御機器		抵抗制御 直並列制御 弱め界磁制御	VVVF インバータ制御 (素子 : IGBT) 主電動機 2 台一括制御
主電動機		直流直巻電動機	三相交流誘導電動機
電気ブレーキ		発電ブレーキ	回生ブレーキ (ブレーキ抵抗器付)
補助回路機器			
補助電源装置		静止形インバータ (簡易形) (素子 : サイリスタ)	静止形インバータ (CVCF インバータ) (素子 : IGBT)
補助電源出力		DC80V 単相 AC110V 300Hz	DC80V 三相 AC220V 50Hz
車体構造と寸法			
材質		普通鋼	アルミまたはステンレス 調達範囲 (製造可能なメーカー) を広げるため、

		やむを得ない場合は普通鋼も可
先頭車前面	避難口なし	避難口あり
貫通路	幌なし (折戸のみ)	引き戸付き貫通路 (狭幅貫通路)
車体長	18840mm	18710mm
連結面間距離	19210mm	19210mm
台車中心間距離	12600mm	12600mm
車体幅	2670mm	2670mm
車高 (レール上面から)	3700mm	3700mm
乗客用設備		
側窓	上部開閉可能	上部開閉可能
側扉	方式・片側数量	両開き・片側 4 ヶ所
	開閉装置	空気式
	操作	運転士、乗客、時限
座席	ロングシート	ロングシート
照明	蛍光灯	LED
換気冷暖房	暖房	なし
	換気	強制通風
	冷房	なし
バリアフリー対策	車椅子スペース	車椅子スペース ホームとの段差減少
通信機器		
列車無線システム	指令所運転室間の無線	指令所運転室間の無線
列車情報管理システム	なし	TIMS システム LCD 表示
乗客通報システム	客室運転室間通話	客室運転室間通話
放送システム	自動放送と運転士肉声	自動放送と運転士肉声
車内表示システム	客室天井	側扉上
車外表示システム	先頭正面	先頭正面と側面
監視カメラシステム	客室天井	客室天井と先頭正面
その他の機器		
前灯	電球 (白色)	LED (白色)
尾灯	電球 (赤色)	LED (白色)
空気圧縮機	ピストン式 (DC750V)	スクリー式 または スクロール式 (三相 AC220V 50Hz)
台車		
台車方式	ボルスタ式	ボルスタレス式
軸ばね	コイルばね	コイルばね または ゴム
まくらばね	コイルばね	空気ばね
固定軸距	2100mm	2100mm
車輪径	780mm、725mm(最小)	780mm、725mm(最小)
基礎ブレーキ	踏面ブレーキ (両抱き)	踏面ブレーキユニット スラックアジャスタ付
ブレーキシリンダ数/台車	4	4
駆動装置	平行カルダン駆動	平行カルダン駆動

たわみ継手		歯車継手	歯車継手 または たわみ板継手
連結器	先頭	密着式連結器 空気管付 (Sharfenberg 式)	密着式連結器 空気管付 (Sharfenberg 式)
	中間	半永久連結器	半永久連結器

出典：調査団

### (3) 新造車両の特徴

主回路システムの刷新が新造車両のいちばんの特徴である。VVVF インバータで交流電動機を駆動するシステムにより、加速中の熱損失を無くすとともに、減速中の回生ブレーキにより一旦消費した電力を回収し、大幅な省エネルギーが実現できる。また制御装置・主電動機の保守内容が減少するので、大幅な保守省力化も実現できる。また、車体・台車の軽量化も、省エネルギーの効果を一層高めることにつながる。

また、補助回路システムの刷新も、補助機器の保守省力化につながり、乗客サービス向上にも結び付けることができる。そして列車情報管理システムの導入により、機器の操作や状態監視がやり易くなるとともに、保守の効率化を図ることができる。

図 4-9～図 4-11 は、新造車両で導入する主な機器の写真である。



出典：富士電機カタログ

図 4-9：制御装置（VVVF インバータ）



出典：富士電機カタログ

図 4-10：主電動機（誘導電動機）



出典：富士電機カタログ

図 4-11：補助電源装置（静止形インバータ）

#### (4) 車両置換えによる省エネルギー効果

トビリシ地下鉄の在来車両と想定される新造車両を日本における車両に置き換えてみると、図 4-12 と図 4-13 に示す JR 東日本の車両が代表的なものといえる。103 系はまさにトビリシ在来車両と同年代、209 系は今から約 30 年前に登場した車両ではあるものの、VVVF インバータ制御の基本は最近の車両と変わりなく、比較対象として有効である。



出典：調査団



出典：調査団

図 4-12：トビリシ在来車両に  
相当する国鉄 103 系

図 4-13：新造車両（比較対象）に  
相当する JR 東日本 209 系

表 4-3 は、103 系と 209 系の技術要素を比較したものである。そして、京浜東北線を走行する両者の消費電力実測データをもとに、JR 東日本が電気学会誌に「通勤電車の省エネルギー」と題する論文を発表しており、興味深い結論が示されている。表 4-4 はその部分を抜粋したもので、簡潔に説明すれば、加速中の力行（りきこう）消費電力量が約 3 割減、それに対する回生電力量の割合（回生率）が約 3 割で、総合消費電力量が半減するという結果になっている。また 1 編成の列車が 1km を走行するための消費電力量の数値も示されているので、電力コストを算出することも可能である。

表 4-3：103 系と 209 系の技術比較

車両形式	103 系	209 系
編成（MT 比） （M：電動車、T：付随車）	10 cars 6M4T	10 cars 4M6T
重量（空車）	363.1 t (100%)	249.0 t (69%)
車体材質	普通鋼	ステンレス
制御方式	抵抗制御 （直並列制御、弱め 界磁制御併用）	VVVF インバータ制御 （素子：GTO） 主電動機 4 台一括制御
主電動機	直流直巻電動機	三相交流誘導電動機
電気ブレーキ	発電ブレーキ	回生ブレーキ

出典：調査団

表 4-4 : 103 系と 209 系のエネルギー消費量比較

車両形式	103 系	209 系
力行消費電力量	18.12 kWh/km (100%)	12.97 kWh/km (71%)
回生電力量	なし	4.38 kWh/km
回生率	なし	33.8 %
総合消費電力量	18.12 kWh/km (100%)	8.59 kWh/km (47%)

出典：電気学会誌 Vol.123, No.7, 2003 通勤電車の省エネルギー

この 103 系と 209 系の実測データをトビリシに置き換えてみることにする。JR 東日本の京浜東北線と、トビリシ地下鉄 1・2 号線を比較し、数値に影響すると思われる編成両数、平均駅間距離、走行抵抗についてまとめたのが表 4-5 である。そして、103 系をトビリシ在来車両、209 系をトビリシ新造車両に置き換えて算出した数値を表 4-6 に示す。

表 4-5 : トビリシ地下鉄との走行条件比較

走行路線	JR 東日本 京浜東北線	トビリシ地下鉄 1・2 号線
編成両数	10 cars	4 cars
平均駅間距離	1.77 km	1.30 km
走行抵抗	地上が大部分	地下が大部分

出典：調査団

表 4-6 : トビリシ地下鉄新旧車両の概算エネルギー消費量比較

車両形式	在来車両 (81-717/714)	想定される新造車両
力行消費電力量 x (4/10) x (1.77/1.3) x 1.05	10.36 kWh/km (100%)	7.42 kWh/km (72%)
回生電力量 x (4/10) x (1.77/1.3) x 0.95	なし	2.27 kWh/km
回生率	なし	30.6 %
総合消費電力量	10.36 kWh/km (100%)	5.15 kWh/km (50%)

出典：調査団

## (5) まとめ

以上より、トビリシ地下鉄においても 209 系相当の新造車両を導入すれば、在来車両と比較して総合消費電力は半減するという結論が裏付けられた。約 30 年前の 209 系と比べれば、VVVF インバータの効率も若干改善されているので、この結論は余裕を持っていると考えられる。1 編成の列車が 1km を走行するための消費電力量の数値から、電力コストを算出して比較することが可能である、

また、VVVF インバータ制御や無塗装車体の導入により、約 3 ヶ月毎に実施する検査、及び約 3 年毎に実施する検査（オーバーホール）にて大幅な省力化が実現できる。効果が大きい具体的な項目は以下の通りである。

- VVVF インバータ：有接点の接触器から無接点のインバータに変更し手入りが不要
- 交流電動機：ブラシ・整流子を無くし点検・交換・削正作業が全て不要
- 無塗装車体：車体塗装作業が全て不要、オーバーホール工程も短縮

**5.2 本事業の財務分析**では、大幅な電力コスト削減効果に加えて保守省力化も勘案し、本事業により 2029 年までに新車調達を行った場合、在来車の延命改修を行い新車との置き換え時期を 2039 年まで遅らせた場合と比較して、長期的な視点から財務的に有利との結果に至っている。コストの優位性のみならず、その選択が長期的に地球環境を守ることにもつながるので、VVVF インバータ制御による新造車両を積極的に導入することを提案する。

#### 4.1.4 電力供給

##### (1) 既存設備の状況

トビリシ地下鉄における電力システムの既存設備の状況について述べる。まず、き電システム概要を以下の表に示す。

**表 4-7：トビリシ地下鉄のき電システム概要**

Type	Nominal Voltage[V]	Available Range[V]	Feeder	Contact Type
DC	825	550 - 975	Third Rail	Bottom

出典：調査団

トビリシ地下鉄は開業後、何度かの延伸を重ね、き電変電所はその都度新設されてきた。開業当初に供用開始された変電所は経年が 50 年以上経過しているが、全体的な変電所機器の更新は実施されず、部分的に機器の更新がなされてきた。そのため、1964 年ソ連製の機器と 2015 年中国製の機器が混在する状態となっている。いくつかの機器は使用停止されているようであるが、それらの具体的な状況調査までは実施できなかった。

トビリシ地下鉄には変電所のタイプが複数あり、き電専用の”Traction Substation”、駅舎負荷等専用の”Secondary Substation”、それら両方を含む”Mixed Substation”の 3 種類がある。本調査は車両に係るものであることから、き電に関わる”Traction Substation”と”Mixed Substation”の一覧と変電所間の距離を以下の表に示す。変電所間の距離は、変電所が駅と同位置にあると推定し、線路設備図における Rail I の駅間距離から算出した。

表 4-8：変電所のタイプと一覧

Line 1			Line 2		
Substation	Type	Distance[m]	Substation	Type	Distance[m]
Akhmeteli Theatre	Mixed		Station Square 2	Mixed	
		1296.5			1334.0
Sarajishvili	Mixed		Tsereteli	Mixed	
		1045.9			1244.9
Guramishvili	Mixed		Technical University	Mixed	
		1464.1			1435.0
Grmagele	Mixed		Medical University	Mixed	
		2721.1			1570.8
Gotsiridze	Mixed		Delisi	Mixed	
		4380.6			2185.7
Marjanishvili	Traction		State University	Mixed	
		3703.3			
Avlabari	Traction				
		3278.9			
Samgori	Traction				
		1696.5			
Verketili	Mixed				

出典：線路路線図（トビリシ地下鉄）、調査団



現在稼働中である主たる構成機器の諸元を以下の表に示す。また、外観等を次の図に示す。

**表 4-9 : Samgori Traction Substation の主な機器の諸元**

Name	Purpose, Type	Model	Nominal Power[kVA], Current[A]	Nominal Voltage [kV]	Country, Manufacturer	Production Year
Dry Transformer	Motor Drives of Switch Point	TC-40/0.5A	40 [kVA]	0.38/0.22	Soviet Union, Moscow	1964
Transformer (Oil)	Traction	TMHPIB-5000/10	2962[kVA]	12/6	Soviet Union, URALELEKTROTYAZH MASH	1969
Silicium Diode Rectifier	Rectifier	YBKM-2	3200[A]	0.825	Soviet Union	1969
Current Relay of Grounding Tyre Protection	Current relay	PT-40/20	-	-	Soviet Union	1969
Substation Control And Alarm System Box	Control Relay Circuits	-	-	0.22/0.11	Soviet Union	1969
Transformer (Dry)	Substation Operation	TC3-160/10-65YXJ4	160[kVA]	6/0.4	Soviet Union, Baku Transformer Plant	1987
High Speed Circuit Breaker	Feeder	BAБ-42-6000/10	4000 [A]	1.05	Soviet Union	1989
Accumulator Battery	Control Circuit	4MVR300	-	-	Bulgaria, MONBAT	2011
Vacuum Circuit Breaker	Power Inlets	VS1(ZN63A)	1000[A]	12	China, CHENNUO ELECTRIC	2015

出典：調査団



出典：調査団

**図 4-14 : Samgori Traction Substation の外観**



出典：調査団

図 4-15：直流遮断器（ソ連製）



出典：調査団

図 4-16：12 [kV] 交流遮断器（中国製）

## (2) 互換性

各変電所における整流器容量を以下の表に示す。

表 4-10 : 各変電所の整流器容量

Substation Name	Type	No	Operational Rectifier Capacity [kW] or [A]				Spare Rectifier Capacity [kW] or [A]	
			No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2
Gotsiridze	Mixed	1	1320kW (1600A)	1320kW (1600A)	1320kW (1600A)	1320kW (1600A)	1320kW (1600A)	1320kW (1600A)
Marjanishvili	Traction	2	1320kW (1600A)	1320kW (1600A)	1320kW (1600A)			
Avlabari	Traction	3	2640kW (3200A)	2640kW (3200A)			2640kW (3200A)	
Samgori	Traction	4	2640kW (3200A)	2640kW (3200A)			2640kW (3200A)	
Station Square 2	Mixed	5	1320kW (1600A)				1320kW (1600A)	
Tsereteli	Mixed	6	1320kW (1600A)				1320kW (1600A)	
Technical University	Mixed	7	1320kW (1600A)				1320kW (1600A)	
Medical University	Mixed	8	1320kW (1600A)				1320kW (1600A)	
Delisi	Mixed	9	1320kW (1600A)	1320kW (1600A)			1320kW (1600A)	
Grmagele	Mixed	10	1320kW (1600A)	1320kW (1600A)			1320kW (1600A)	
Guramishvili	Mixed	11	1320kW (1600A)	1320kW (1600A)			1320kW (1600A)	
Sarajishvili	Mixed	12	1320kW (1600A)	1320kW (1600A)				
Akhmeteli heatre	Mixed	13	1320kW (1600A)	1320kW (1600A)			1320kW (1600A)	
Verketili	Mixed	14	1320kW (1600A)	1320kW (1600A)			1320kW (1600A)	
State University	Mixed	15	2000kW (2424A)	2000kW (2424A)	2000kW (2424A)			

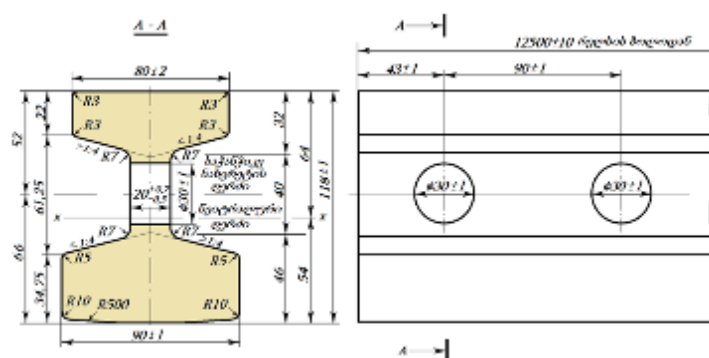
出典：調査団

上記の表に示す変電所容量によって既存車両が走行しているため、現行ダイヤのままであれば、新型車両の最大負荷電流を既存車両のそれと同等以下に設定していれば、電力量不足は想定されない。最大出力は、既存車両は1,884[kW]であるのに対して、新型車両における想定は2,140[kW]であり、約1.13倍となる。大幅な負荷増ではないが、新型車両導入時には変電所容量が十分であるか確認を要する。なお、先行の EBRD loan による車両調達

プロジェクトでは、列車の最大負荷電流を 3200A（825[V]を標準電圧とすると、2,640[kW]と同義）と定義している。

次に、き電回線保護について述べる。き電回線は、各変電所から線別及び起点方終点方に直流用高速度遮断器を介して直流 825V をき電されている。直流高速度遮断器には地絡事故や過電流を検知する機能を有しているが、ほとんどの変電所は外部型の保護継電器を有しておらず、Line 2e の State University Substation のみがデジタル型保護継電器を有する。定格電流値は、Line 1 の各 Substation は 5000[A]、Line 2 においては State University Substation の 3000[A]以外は 4000[A]となっている。しかし、これらは過電流保護のみと推察されるため、短絡電流保護については別途調査が必要となる。また、VVVF 車が走行している場合は抵抗制御車の場合と比較して、変電所での瞬時的な電流上昇値は大きくなるため、直流高速度遮断器の動作について確認が必要である。

次に、電力システムにおける集電装置について述べる。第 3 軌条方式を採用しているため、列車へのき電は線路沿いに敷設されたサードレールより行われる。サードレールには、強度は比較的低いものの高い導電性を持つ低炭素鋼レールが用いられている。サードレールの構造図を以下の図に示す。



出典：調査団

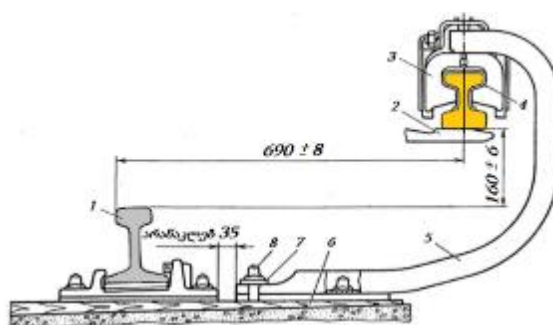
図 4-17：サードレールの構造図

上記のサードレールは、下面集電方式対応となっているため、新型車両も同様に下面集電方式を採用する必要がある。サードレールにおける絶縁装置（デッドセクション）は変電所近傍で起点方及び終点方の回線を区分するために設けられ、その長さは 14m 以上となっている。実際のサードレール及び絶縁装置の様子、集電部の概要図、サードレールの終端部／始端部概要を夫々以下の図に示す。



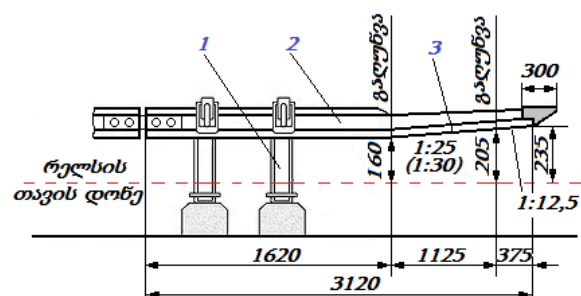
出典：調査団

図 4-18：サードレールと絶縁装置の現場状況



出典：調査団

図 4-19：集電部詳細図



出典：調査団

図 4-20：終端部／始端部 詳細図



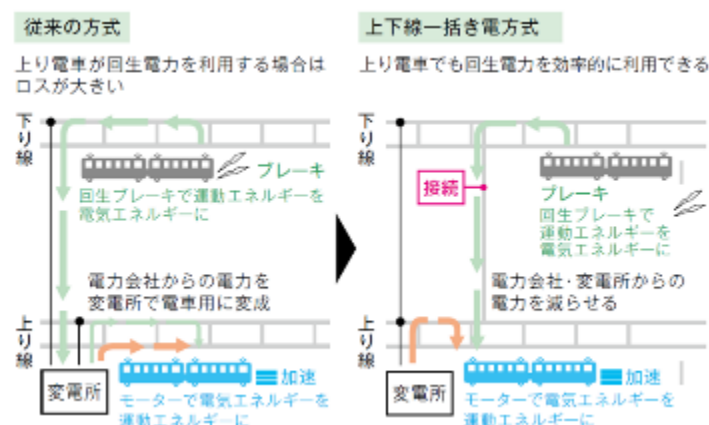
### (3) 回生ブレーキ

新型車両に具備する回生ブレーキは減速時に回生電力を発生させ、集電装置を介して電力システムに戻される。この回生電力を有効活用することで、トビリシ地下鉄全体としてエネルギー使用量の低減、結果として地球環境保護が図られる。

基本的に発生した回生電力は、同一き電区間で力行中の車両にて消費されるが、同一き電区間に力行中の車両が無い場合や十分に消費されない場合には、回生電力は熱エネルギーとして消費されることとなる。トビリシ地下鉄は、3~6分程度の運行間隔、0.9km~1.9kmの駅間距離という条件から、停車する列車、つまり回生電力を生み出す列車、と加速する列車が多く存在し、発生する回生電力は列車間で融通され有効活用される可能性が高い。しかし、回生電力の発生及び活用の程度は、例えば線路勾配やカーブといった現地の状況に左右される他、「1き電区間＝1駅間」となっている区間もあることから列車間で融通されない、または十分に使い切られない可能性もある。そこで、ここでは回生電力をより有効に活用できる方法を述べる。

#### き電上下一括接続

前述の通り、回生ブレーキによって回生電力が生じた場合には同一き電区間で加速する車両で消費されることが望ましい。しかし、同一き電区間では十分な距離が無く、加速する車両では消費されない場合の対策の一つとして、上り線と下り線を短絡線や開閉器を通じて接続し、回生電力が届くき電区間を広げる上下線一括き電方式が挙げられる。一方で、事故が発生した場合は一区間のみではなく、一括接続された広い区間が影響を受ける。本システムの概要図を以下に示す。



出典：KEIHAN Corporate Social Responsibility Report 2013

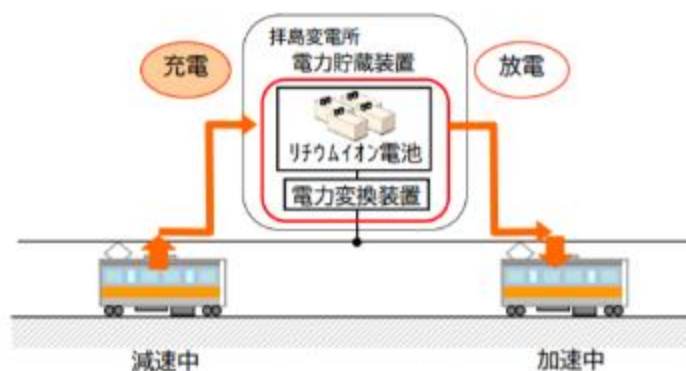
図 4-21：上下線一括き電方式

#### 電池による回生電力貯蔵

他列車で消費されない回生電力を一時的に貯蔵し、他列車が力行をする際には貯蔵された電力を消費し、回生電力の時間差での活用が可能となる。

この方式は、回生電力を生じる列車があるものの、回生電力を消費する列車が近傍にいないような場所に導入されることで、回生電力の有効活用が図られる。つまり、き電区間が狭く、同一き電区間に力行する列車がない場合に、電力が貯蔵されることで熱エネルギーとしての消費を防ぎ、他列車での活用を図ることが出来る。また、変電所故障によりき電停電が発生した場合には、バッテリーを用いて事故区間に在線する列車を近隣の駅まで移動させられるメリットもある。一方で、バッテリーの充放電の際に発生する様々な周波数成分を含んだ高調波ノイズが、軌道回路や ATC の機能に影響を及ぼさないか確認する必要がある。本システムの概要図を以下に示す。

なお、日本発の国際規格として、IEC 62924 “Railway applications - Fixed installations - Stationary energy storage system for DC traction systems” 「鉄道分野ー地上設備ー直流き電システムに使用する地上電力貯蔵システム」が制定されている。



出典：JR 東日本プレスリリース（2012.05.08）

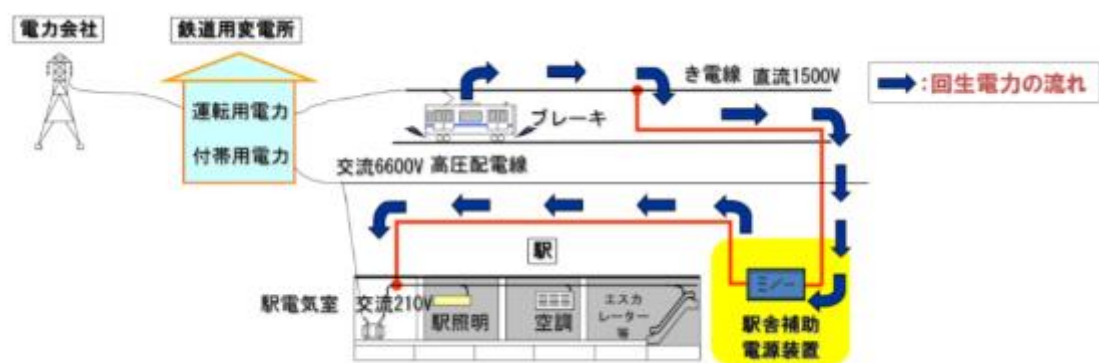
図 4-22：バッテリーによる回生電力蓄電方式

#### 交流変換による駅舎補助電源装置としての活用

回生電力は加速する車両で消費されなかった場合には熱エネルギーとして消費されるが、そのような無駄になってしまうエネルギーを電力として駅施設に供給するものである。トビリシ地下鉄の駅は多くが地下駅であり、昼夜を問わず照明や空調などの駅設備が常時稼働していることから、有効活用が期待される。一方で、AC 変換の際に発生する様々な周波数成分を含んだ高調波ノイズが、軌道回路や ATC の機能に影響を及ぼさないか確認する必要がある。

本装置は、トビリシ地下鉄と同様の都市地下鉄道である東京メトロにおいても導入されている。本システムの概要図を以下に示す。





出典：東京メトロプレスリリース（2012.08.07）

図 4-23：駅舎補助電源装置

### 変電所送り出し電圧の調整

1 つのき電区間が狭い場合、回生電力が発生しても加速する車両がないことが想定される。回生電力がある程度発生する場合、変電所の直流母線を介して、隣接回線（隣のき電区間もしくは上下の別線）に送ることが可能となる。そのためには、変電所の整流器用変圧器の 2 次側電圧を下げることで、変電所からの送り出し電圧を下げ、回生電力が変電所の電圧を乗り越えやすくすることが必要となる。

送り出し電圧を下げることによって、回生電力の有効活用は図られるが、通常時のき電電圧が低下してしまうため、十分な電力が確保できないケースや、事故電流が想定より小さくなってしまい変電所の保護装置で事故が検出できなくなるケース等が想定される。そのため、実際に変電所の送り出し電圧を調整する際には十分な事前検討が必要となる。

## (4) まとめ

電力設備は、部分的に更新がなされているものの全体的に老朽化が進んでいる。しかし、現行車両によって支障無く運行されているのであれば、既存車両の電気性能を確認した上で、(2)で述べた点を考慮して車両設計を実施すれば、電力設備に特段の改修は必要ではないと思われる。

新型車両は、回生電力による消費電力量約 30%削減を含め、運転線区全体での電力消費量を約 50%削減することが出来る(表 4-6 参照)。そのため、新型車両の性能を十分に発揮するためには、回生電力をいかに活用するかが重要となる。

### 4.1.5 信号・通信

#### (1) 既存設備の状況

トビリシ地下鉄の信号通信システムの既存設備の状況について述べる。

まず、Red Line (Akhmeteli - Varketili Line, 19.6km, 16 駅) と Green Line (Saburtalo Line, 7.8km, 7 駅) の全体の列車運行管理は共に、夫々の中央指令で CTC 集中制御されており、

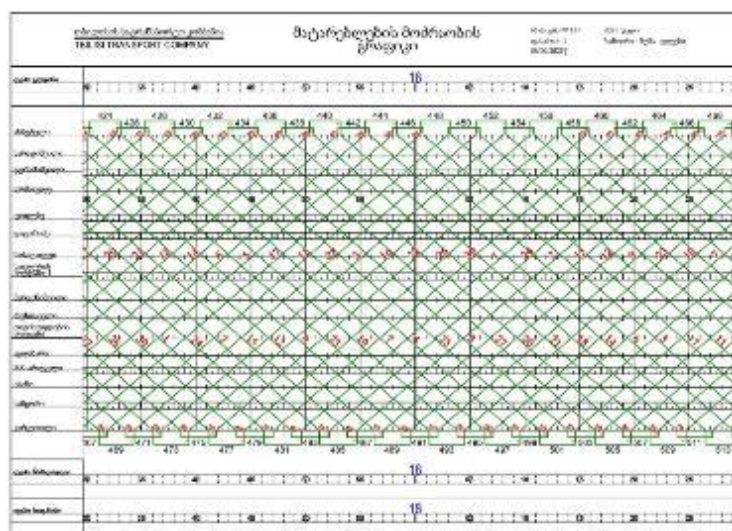
中央指令では列車在線位置や故障情報のリアルタイム表示、主要カメラのモニタ等が確認できる。

ラッシュ時間帯には、最短 3 分未満での列車時隔が実現されており、中央集中による列車運行管理という点では、近代化が進められている。



出典：調査団

図 4-24：中央指令での列車運行管理（Red Line Dispatcher's Office）



出典：TTC

図 4-25：ラッシュ時間帯のダイヤ（18:00）

次に、代表的な地上・現場設備については、以下のとおりである。

## 連動装置

全て旧ソビエト連邦規格による継電連動装置であり、一部の駅では既に経年 50 年以上となっている。メーカー製造は既に中止となっていることから、予備品の枯渇が大きな懸案事項である。

表 4-11 : 連動装置の主な諸元

Line	Location of Interlocking	Number of Points	Interlocking Type	Year of commissioning
Red	Akhmeteli Theatre	2	Relay-based	1989
Red	Guramishvili	4	Relay-based	1985
Red	Didube	3	Relay-based	1966
Red	Gotsiridze	10	Relay-based	1966
Red	Station Square 1	6	Relay-based	1966
Red	300 Aragveli	6	Relay-based	1967
Red	Samgori	2	Relay-based	1971
Red	Varketili	2	Relay-based	1985
Green	Station Square 2	2	Relay-based	1979
Green	Delisi	6	Relay-based	1979
Green	State University	2	Relay-based	2017

出典：調査団



出典：調査団

図 4-26 : 信号機器室 (Station Square 1)

## 転てつ機

電気式が使用されている。

### 列車検知

レール絶縁による低周波軌道回路方式であり、地下区間では 50Hz、地上区間・デポでは 25Hz の周波数を用いている。

### 信号現示

車内信号方式による ATC 速度制御であり、レールを介して 75、125、175、225、275Hz の信号電流を伝送することで、それぞれ 80、70、60、40、0 km/h の制限速度を車上運転台に現示している。



出典：調査団

**図 4-27：地上区間の線路沿線状況**

### 通信伝送網

2006 年以降、両線区沿線には光ケーブルが敷設され、中央指令と全駅・デポ間で IP network が構築・活用されている。

### 列車無線

Green Line 全区間と Red Line の一部区間では TETRA 標準のシステムが導入されているが、Red Line のその他区間ではロシア製の古い列車無線で運用されている。

### 旅客案内

列車運行に関する情報として、各駅ホームへのトンネル入り口上部にはデジタルパネルが設置されているが、その表示内容は現在時刻、次列車到着までの時間、先行列車出発後の経過時間に限定されている。





出典：調査団

図 4-28：旅客案内パネル

## (2) 互換性

車両更新計画において想定される信号通信への影響等について、以下の観点で述べる。

### 信号機・標識等の視認性

運転台（運転士目線）の高さが大きく変化しなければ、見通しが悪化するというリスクはないので、信号機・標識等を改良する必要はないと思われる。

### 車両重量の変化

仮に、極端に重量化される場合は分岐器部分の振動等が激化されることにより、ポイント転換不能防止のため保全周期見直しが必要になる、或いは、極端に軽量化される場合は軌道回路の短絡不良（列車検知不良）が生じる等のリスクが考えられるが、本件では 10% 未満程度の車両軽量化を想定しているので、これらに対処する必要はない。

### 車軸間の距離

本件ではホイールベース及び台車中心間距離は既存車両と同等を想定しているので、既存の軌道回路構成を改良する必要はない。

### 列車運行形態の変更

本件では列車速度の向上や運転時隔の短縮、及び列車編成長（4 両）の変更は想定していないので、閉そく区分や信号現示系統を変更するような信号設備の大幅な改良は必要ない。また、旅客案内設備・内容についても改修する必要はない。（厳密には、車両の加減速度性能が変更になると“次列車到着までの時間”は僅かに変わるかもしれないが、対処すべき本質的な事柄ではないと考える）

### インバータ制御車による帰線電流の変化

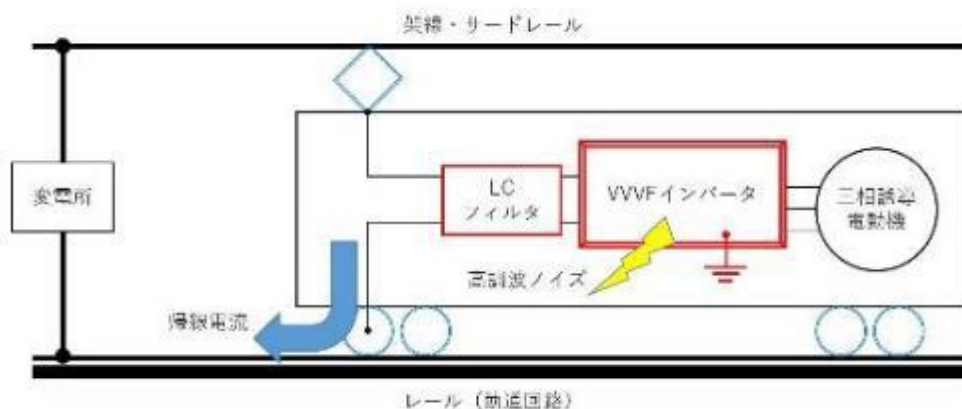
変電所からサードレールを介して車両に供給される電気は、インバータ・電動機と車輪、そしてレールを経由した帰線電流として再び変電所に戻る。一方、鉄道車両駆動に用いられるインバータ制御は、その原理上、様々な周波数成分を含んだ高調波ノイズを発生させる。ここで、帰線電流にそのノイズが含まれると、軌道回路や ATC 速度制御を誤動作させる可能性は否定できない。万が一、軌道回路が非在線となる誤動作や ATC 速度制御が上位

速度を現示する誤動作となった場合には、列車衝突に繋がる恐れのある重大なリスクとなるため、慎重な検証・対策・試験の実施が必要である。

- インバータに起因したノイズの低減対策

代表的な例として、車両主回路への LC フィルタ挿入がある。この LC フィルタの定数は、高調波電流の周波数や短絡事故時の電流抑制効果、インバータ制御の安定性等を考慮して決定される。

その他、車両側制御器筐体の接地や遮蔽も有効な対策である。



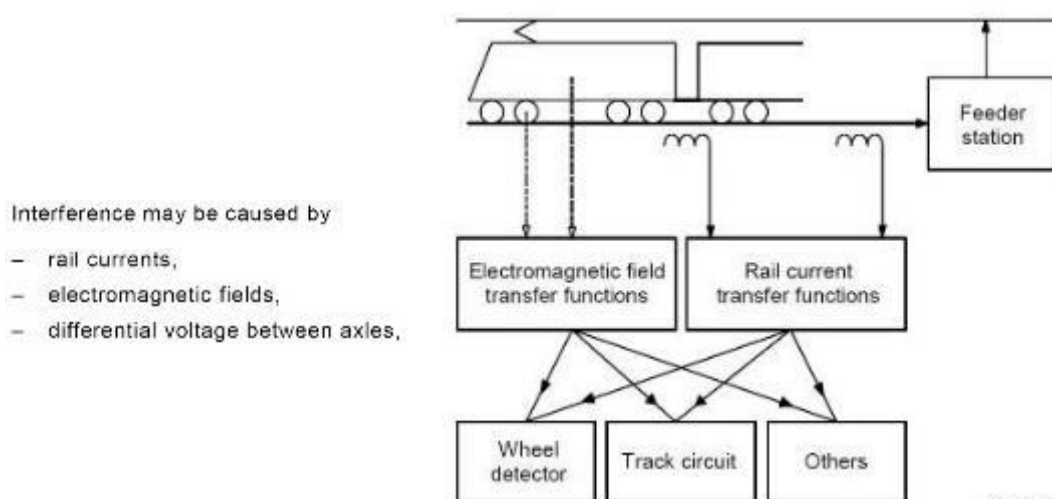
出典：調査団

図 4-29：インバータ制御車のノイズ低減対策例

- 車両と列車検知システムの両立性の実証

帰線電流に高調波が発生するメカニズムはまだ定量的には明らかになっておらず、その具体的・定量的な影響を事前に把握することは困難である。そのため、インバータ制御車両を新規導入する際には、深夜などの営業時間外で試運転走行と各種測定・確認を入念に繰返し実施するのが一般的であり、また計画・初期設計の段階で、試験走行時のデータ取得や影響が発生した場合の対処方法等を検討することが必要となる。

IEC62427 (EN50238) “Compatibility between rolling stock and train detection systems” では、特定線区における特定鉄道車両の運用が、当該線区に整備された列車検知システムを妨害しない保証を確保するプロセスを規定している。（妨害電流の計測方法、列車検知システムの感受性の計測方法、電気車電源の判定、認証手順など）



出典：IEC62427

図 4-30：電磁障害の発生源

### (3) まとめ

信号通信システム・設備は、中央指令での近代化がなされているものの連動装置や現場設備は全体的に老朽化が進んでいる。しかし、現行車両によって支障無く運行されているのであれば、インバータ制御車のノイズ低減について検証・対策・試験を実施すれば、信号通信システム・設備に特段の改修は必要ではないと思われる。

なお、将来の輸送改善計画策定（自動運転化、列車速度向上、運転時間短縮、線路配線変更など）においては、技術が陳腐化し予備品も枯渇している既存の連動装置と ATC 装置を大幅に改修することは極めて困難であり、信号保安設備全体をシステムとして刷新する中長期ビジョンも検討することが望ましい。

信号保安設備全体のシステムを刷新するにあたり、CBTC（Communications Based Train Control）の導入を推奨する。CBTC は、保安機能に加え、自動列車運転装置や運行管理システムを統合したシステムとして IEEE1474.1 で規格化されており、無線式列車制御による地上設備簡素化とライフサイクルコスト低減が期待できるほか、多様な列車運行への柔軟なサポートと他システム（連動装置や旅客情報システムなど）との接続連携も可能である。CBTC は世界的に主流な列車制御システムとして、日本の各メーカー（日立製作所、三菱電機、日本信号、京三製作所）も制作・展開に力を入れている。

#### 4.1.6 車両基地・工場

##### (1) TTC の既存の車両基地・工場の保守機能

1966 年 1 月、全長 27.3km、2 路線 23 駅、2 車両基地のトビリシ地下鉄の運行が開始した。地下鉄車両は、81-717M/714M、Em-3M、Em-508TM、Ema 81-502 の 4 モデルに分かれ、4 両又は 3 両編成で運行した。車両の保守や検査、修繕は Nadzladevi 車両基地と Gldani 車両基地で実施されている。



TTC の車両更新計画に関し、既存の EM モデルのうち 44 車両は 2023 年度から調達される予定である。新規調達車両に係る TTC の既存の車両基地・構内の保守機能を調査するため、TTC より下記情報を入手した。

- Gldani 車両基地の概略レイアウト
- トビリシ地下鉄車両基地の概要及び既存構内の写真
- 地下鉄車両の共通仕様書のための必要要件 (General Requirements to Metro Cars)
- 車両基地における地下鉄車両の中期修繕計画情報 (192 両に関する 2021 年から 2025 年における中期修繕計画)
- 2027 年に耐用年数を迎える 26 EM-3M、及び 26 EM-508TM 車両の更新予定情報
- 車両検査、車両保守、全般 (分解) 検査の周期

調査中に以下を TTC と確認した。

- 地下鉄車両基地とトンネルの修繕は EBRD の Tranche 2 により計画されている。従って、地下鉄車両の新しい保守要件を満たすために必要な車両基地の改善は、Tranche 2 で実施されると予想される
- 古い車両は新規調達車両に置き換えられるため、追加の軌道など車両基地の拡大は考慮不要である
- 新車両全ては既存の車両基地で保守される
- 列車の更新は、既存の車両基地での納品検査、静的試験、動的試験を含む検査活動のための試験場の確保に対応出来るように、列車毎に実施される
- 新列車の動的試験は、非営業時間帯に本線で実施される

## (2) 新車両の保守要件の定義

業界の規範によれば、列車は一定期間毎に検査され (定期的な保守と分解検査)、必要に応じて修理される。定期保守の場合、特定の月次、四半期、半年、及び年次検査が定期検査プログラムにより実施される。全般 (分解) 検査には、簡易と詳細があり、簡易分解検査は約 60 万 km、詳細分解検査は 120 万 km で実施される。修繕は、主に列車の点検と同時期に実施され、部品が交換される。少なくとも、各車両基地には以下の主な施設が必要である

- 定期的な保守で、連結を解く必要のないよう、約 4 両の列車の長さで、レール面より 1.2m 下のサイドピットと 1.55m 下の中央ピットを持つ「スライディングプール」設計の列車検査用の 2 つの検査軌道
- 自動列車洗浄装置
- 車輪の研削を促進するための床下車輪旋盤
- 定期保守エリアにおける列車入換用の可動式スティンガーシステム
- 床面における機材運搬のための電池式フォークリフトトラック

台車の交換、空調/換気システム、及び関連する分解検査等の詳細な保守作業は、Gldani 車両基地の指定の修理場で実施される。以下の主要な施設/設備が最低限必要である。

- フラットフロアと固定リフトシステムを備えた 2 つの分解検査軌道。列車は緊急修理のために、個別または 4 両で持ち上げられる。
- 電機システムの静的試験用牽引電源(静的ステインガー)を備えた改良保全+試験及び引き渡し軌道。なお、レール面から 1.55m 下に中央ピットがあるフラットフロア軌道である。
- 屋根上機器装置を持ち上げ、台車や車輪等の重い列車構成部品を運ぶ場合は、2×10 トンの天井クレーンの設置を推奨する。

部品修理職場は、下記の職場で構成される。

- フレーム、車輪セット、ブレーキ、トラクションモーター、ギアドライブ、車輪ベアリング、一次及び二次サスペンション、ショックアブソーバー、電流補正シューを含む台車
- 空気調節装置
- 連結器
- 圧縮空気システム
- 扉
- 窓
- 電気及び電子部品
- バッテリー
- 機内及び機器の信号及び通信

### (3) 既設の車両基地、工場有能力

現在、TTC は Nadzaladevi 車両基地、及び Gldani 車両基地の 2 つの地下鉄車両基地で、既存の車両の特定検査、保守、分解検査を実施している。保守の種類、及び Em 車両モデルのための車両基地修繕は以下の通りである。

- TM1 – 運行 20 時間後
- TM2 – 4,500 km
- TM3 – 9,000 km
- 車両基地修繕 3 種類 (CR1-60,000 km, CR2 – 175,000 km, and CR3 – 350,000 km)
- 工場修繕 2 種類 (平均修理-1,050,000 km、分解検査保守/修理- 3,150,000 km)

TTC の「Tbilisi Metro Car Depots」情報を参照すると、Nadzaladevi 車両基地は、車両の保守、及び修理活動を実施するために、下記に挙げられる施設/設備で構成されている。

- 各軌道に 120m の列車の台枠検査用の中央ピットがある、各軌道の間隔 15m、長さ 126m の保守作業のための 3 軌道

- その3軌道の隣に、長さ36mの軌道、及び長さ24mの台枠検査用の中央ピットがある車庫
- 長さ126m、幅6mの洗浄ブロー（列車の外側の洗浄に使用される別のコンパートメントを想定）
- 分解保守場に隣接して、倉庫、石油配給所、主要機械部門、工具倉庫、冶金機械部門、自動ブレーキ、ハードウェア、バッテリー、木工、及び溶接部門により構成される修理施設が設置されている
- 車両基地付近に倉庫がある
- エンジンブロック交換部門、及びコンプレッサー部門は別の建物にある

前述の施設では、Nadzaladevi 車両基地を使用し、定期検査等の車両の簡易保守作業や簡易な部品の交換等を実施する必要がある。

Gldani 車両基地は、車両の保守、及び修理活動を実施するために、下記に挙げられる施設/設備で構成されている。

- 長さ66m、スパン24m、高さ9.6mの3本の軌道を備えた修理工場。固定式リフティングジャッキが2組あれば、各軌道は2両の分解検査に対応できると思われる。しかしながら、現地の写真からは、各軌道に対し固定式リフティングジャッキは1組しかないと思われる。
- 修理場には、15/5 トンの容量、スパン22.5m、ショップレールの上からクレーン下部迄の高さ6.94mの電動橋形クレーンが装備されており、フレーム検査で列車の中央ピット、及び固定式リフティングジャッキを備えた2つの軌道がある。

下記の写真を考察すると、1つの軌道に1つの車輪研削用の床下車輪旋盤が装備されていると推測される。



出典：調査団撮影

図 4-31 : Gldani 基地工場の軌道 No. 1



出典：調査団撮影

**図 4-32 : Gldani 基地工場の軌道 No. 2**

- 3つの軌道の後ろには、2,592平方メートルの面積の修理工場があり、台車、旋盤、車輪、機械式ベンチ作業、試験所、主任整備士部門、資材、及び予備部品用の保管室に使用されており、容量10トン、スパン22.5m、ショップレール上部からクレーン下部迄の高さ6.94mの電動橋形クレーンを備えている。



出典：調査団撮影

**図 4-33 : Gldani 基地修繕職場 No. 1**



出典：調査団撮影

図 4-34 : Gldani 基地修繕職場 No. 2

- スパン 12m、高さ 6m の修理工場の横には、地下鉄車両を塗装するための塗装ブースを備えた塗装準備職場、石油配給施設、木工工事用キャビネット、列車の無線接続修理職場、施設、工具置き場、自動システムセクション、操作、アキュムレータ、溶接、ボーリング、及び複雑な作業班のための部屋があり、2 階には、試験、自動運転、速度自動制御のための職場がある。
- 4 つの軌道は、スパン 24m、長さ 210m、高さ 4.5m の既存の修理場の隣にあり、各軌道は 2x5 両編成の列車に対応可能である。これらの軌道は定期的な保守に使用されていると思われる。また、8 本の列車に対応するために 8 つの保守職場がある。
- 軌道の 2 つの各セクションは、スパン 24m、長さ 210m、高さ 4.5m の 5 つの軌道で構成され、各軌道は 2 x 5 両編成の列車を留置でき、合計 20 x 5 両編成の列車を留置できる。これらの軌道が全 48 本の列車を収容するには不十分であるため、Nadzaladevi 車両基地には別の留置線があると考えられる。そうでない場合、一部の列車は本線の側線に留置することになる。
- 長さ 150m、幅 6m、高さ 6.5m の洗浄ブロー（列車の外側の洗浄に使用される別のコンパートメントを想定）

上記の保守施設/設備を備えた Gldani 車両基地は、定期検査、部品の分解検査、交換などの主要な車両保守作業を実行するために使用される必要がある一方、Nadzaladevi 車両基地は、日常の軽保守と留置に使用されるべきである。

#### (4) 基地、工場の改善要件

新車両用の 2 つの車両基地における、既存の車両保守施設/設備の多くは 30 年以上使用されていることが分かった。これらの運用は、新車両でも使用可能かもしれないが、既存

設備の効率性は疑わしく、新車両の効率的かつ効果的な保守の提供のためには、監理システムの変更及び/又は改良が必要であると思われる。下記に挙げられている保守機器は、最低限、変更、又は更新されることが望ましい。これらの費用の見積もりは実施されるが、財務分析には含まれない。

#### Gldani 車両基地

保守機器の汎用利用：

- 軌道 2 の 4 台の固定リフトシステムを軌道 1 に移動し、2 台同時に車体上げと分解検査を実施可能にする。
- 2 両用に、移動式リフト(8 x 10 トンジャッキ)を 1 組調達する。この移動式リフトは同期機能が付随しており 2 台同時に車体上げすることができ、作業効率を向上させる。
- 床下車輪旋盤の状態と効率を評価し、新規列車の保守の有効性と効率性が達成されているか確認する必要がある。
- 車輪旋盤の交換が予定されていない場合、新車両の車輪を研削するために、既存の床下と地上の車輪旋盤の新規保持装置が必要になる。この費用は通常、新車両調達プロジェクトで負担することになる。
- 自動列車洗浄プラントの状態と効率を評価し、新車両の洗浄の有効性と効率性を確認する必要がある。乗客の列車の清潔さに関する期待値は、40 年前とは異なる。
- 車両基地の入り口にある車両基地、及び保守管理システムへの自動詳細故障データのダウンロードがサポートされている必要がある。故障データの転送は、新車両調達プロジェクトが提供することになる。

#### Nadzaladevi 車両基地

保守機器の汎用利用：

- 乗客の列車の清潔さへの期待に応えるため、新しい自動列車洗浄プラント 1 基の調達を推奨する。通常、列車外部は 2-3 日毎に洗浄されるため、Gldani 車両基地での列車洗浄プラント 1 基では不十分である。
- 特に、重大な故障や長期にわたる機器の大規模な分解検査下における既存の車輪旋盤作業への負担を軽減するために、床下車輪旋盤 1 基の調達を推奨する。

本プロジェクトで車両供給者が提供する新車両の特殊保守機材は下記のとおりである。

- ブレーキユニット試験装置 1 台
- ドアコントロールユニット試験機器 1 台
- 空気圧縮機試験装置 1 台
- トラクションモーター無負荷試験装置 1 台
- トラクションインバータ試験装置 1 台

- 補助インバータ試験装置 1 台
- 車輪プロファイル測定装置 1 台
- 列車の故障診断を容易にするラップトップ付き保守ターミナル 1 組

#### (5) 新しい基地設備の調達にかかる推定費用

参考として、トビリシ地下鉄で使用されている列車と同様の列車構成の最近のプロジェクトの価格データに基づいて、本報告書で提案されている車両基地機器の調達にかかる推定コストを以下の表に示した。この費用は、本事業には含まれない。なお、以下の費用は目安であり、価格は機器の供給者から提供される最終見積もりとは異なる場合がある。

表 4-12 : 新しい基地設備の調達にかかる推定費用

Equipment	Description	Estimated Cost for Manufacture & Installation (USD)
Automatic Train Wash Plant	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capable of Washing 4-car trainset.</li> <li>• Capable of Detergent Wash and Water Wash</li> <li>• Automatic and Manual Washing</li> <li>• Comprise of One Pre-Wash Station, Two Detergent Wash Station, One Cab End Wash Station, Rinse stations and Final rinse station.</li> </ul>	\$ 815,000
Underfloor Wheel Lathe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consists of CNC under-floor wheel lathe, Chip conveyor system (CCS) and Electric Shunter (ES)</li> <li>• Capable of re-profiling wheels and brake discs on all types of Tbilisi Metro, railway vehicles, including passenger trains and works trains</li> </ul>	\$ 1,510,000
Mobile Lifting Jack (2 sets)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Each set consists of 4 lifting jacks and a control Console.</li> <li>• Suitable for one person to move, position and operate the jacks.</li> </ul>	\$ 266,000 for two sets
Brake Tester	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consists of Brake Actuator Tester, Brake System Control Tester, Maintenance PC with Software</li> </ul>	\$ 205,000
Door Tester	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nil</li> </ul>	\$ 22,700
Compressor Tester	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nil</li> </ul>	\$ 115,000
Traction Motor Tester	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nil</li> </ul>	\$ 150,000
Auxiliary Converter Tester	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Only software required</li> </ul>	\$ 5,800
Wheel Profile Measurement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nil</li> </ul>	\$ 17,000
Maintenance Terminal with Laptop	<ul style="list-style-type: none"> <li>• For Fault Diagnosis of Train, compatible with the Train Management System</li> <li>• Maintenance PC with Software</li> </ul>	\$ 17,000

出典：調査団



#### 4.1.7 車両維持管理計画

##### (1) 既存の保守周期

車両検査、車両保守、分解検査周期に基づき、3 種類の技術保守（TM1/TM2/TM3）、3 種類の修理（CR1/CR2/CR3）、2 種類の分解検査（分解検査 1/分解検査 2）があると理解している。

表 4-13：トビリシ地下鉄の既存の保守周期

Type of Maintenance	Nominal Mileage (km)	Maintenance Time
TM1	Daily	10 minutes
TM2	4,500 km	≥ 20 minutes
TM3	9,000 km	≥ 25 minutes
CR1	60,000 km	≥ 10 hours
CR2	175,000 km	≥ 3 days
CR3	350,000 km	≥ 7 days
Overhaul 1	1,050,000 km	≥ 25 days
Overhaul 2	3,150,000 km	≥ 32 days

出典：Information from TTC (Rolling Stock Inspection Cycle 03.09.2020)

##### (2) 提案される新車両の保守周期

新車両の耐用年数は 45 年、最低 450 万 km との情報を基に、年間走行距離は約 10 万 km と想定される。なお、この情報は、「Requirements for General specification of Metro Cars」に記載されている。

新車両の定期保守を専門とする新しい定期保守チームを設置し、一部の保守要員は、既存のチームから新しいチームに異動させ、新チームには必要な研修を実施し、新チームが新車両の保守に精通するよう確実にする。地下鉄の維持管理の産業規範に準じ、以下の維持管理の種類を提案する。

表 4-14：提案される新車両の保守周期

Type of Maintenance	Nominal Mileage (km)	Approximate Days	Nominal Maintenance Time
RM1	Daily	Daily	10 minutes
RM2	8,500 km	Monthly	4 hours
RM3	25,500 km	Quarterly	6 hours
RM4	51,000 km	Half-Yearly	8 hours
RM5	102,000 km	Yearly	16 hours (2 shifts)
RM6	306,000 km	3 Years	16 hours (2 shifts)
Overhaul 1	612,000 km	6 Years	14 Days
Overhaul 2	1,224,000 km	12 Years	28 Days

出典：調査団

提案する新車両の保守間隔は、信頼可能かつ安全な保守産業規範を考慮した。費用対効果のために隔週の確認は削除し、柔軟性を高めるための四半期毎の検査を追加した。走行距離による大規模な検査は、以前の小規模な検査の走行距離の数倍であり、人員配置にとっても重要である。

**表 4-15 : 新しい車両の代表的な保守作業**

Type of Maintenance	Estimated Mileage	Estimated Time	Typical Activities
RM1	Daily	Daily	- Functional Check before Train Departure
RM2	8,500 km	1 month	- Inspection of wheel, current collector, underfloor equipment - Inspection of Intersections and Couplers - Clean air filters
RM3	25,500 km	3 months	- Replace flange lubrication if wear limit reached - Wheel Profile measurement - Estimated interval for air filter replacement - Safety functional test of doors
RM4	51,000 km	6 months	- Brake pad and brake disc wear measurement (assumed the train is regenerative braking) - Functional checks of spring applied brakes - Current collector shoe gear inspection and replacement if wear limit is reached
RM5	102,000 km	1 year	- Wheel lathing depending on condition - Inspection of brake caliper, brake panel pneumatic system, traction container - Compressor parts replacement (filter etc.) - Traction motor greasing - Gearbox oil change - Battery voltage check and water topping up - Inspection of rain gutters on carbody roof - Grease door parts
RM6	306,000 km	3 years	- Inspect earthing - Battery re-conditioning - CPU battery exchange - Wheelset ultrasonic test
Overhaul 1	612,000 km	6 years	- Inspect vehicle body - Perform overhaul of bogie, coupler, traction motor, current collector, high speed circuit breaker, traction motor/ coupling/ gearbox, auxiliary power supply, battery, compressor, brake - Replace wheelset bearing depending on condition - Overhaul of door operator components, door leaves - Replace brake disc depending on condition
Overhaul 2	1,224,000 km	12 years	- Wheelset bearing replacement depending on condition - Replacement of battery cell blocks, - LED modules of interior and exterior lighting, - Overhaul of doors operator components - Coupler heavy maintenance

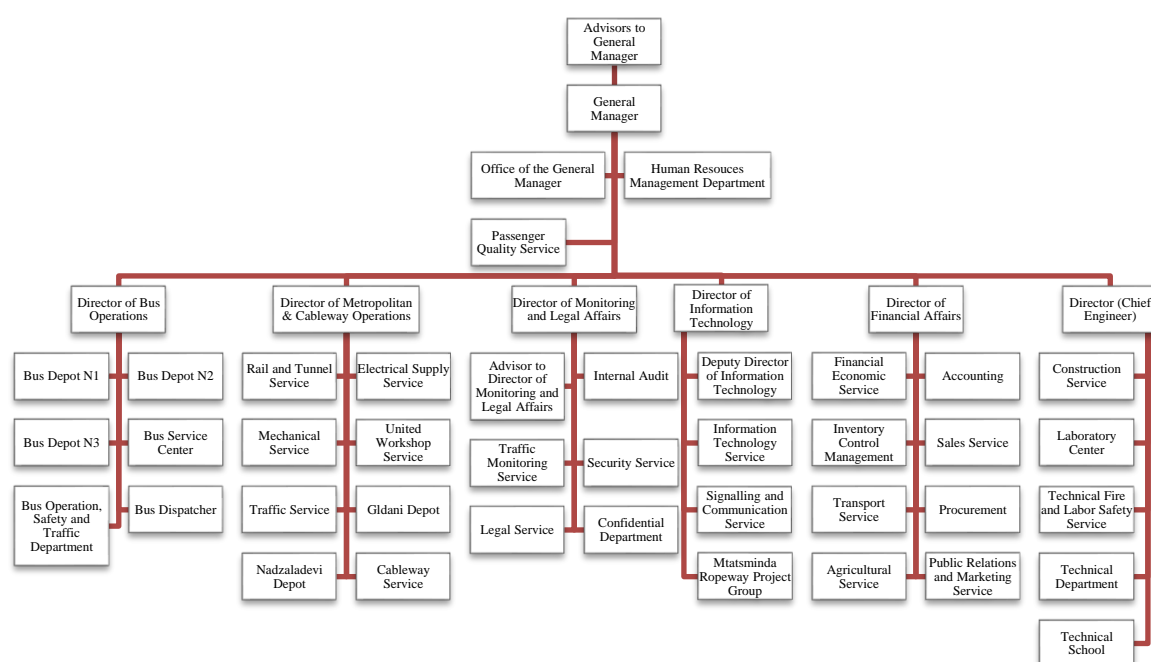
出典：調査団 (Maintenance Information of Other Similar Rolling Stock Type)

予防保守間隔においては、下記の前提条件が適用される。

- 上位保守の作業には下位保守の作業が全て包含される
- 幾つかの機材の分解検査は独自の特定の間隔で実施される
- 車輪の機械加工/交換は必要に応じて実施される
- 主な分解検査（1.5 百万 km）間での、連結器、主電動機、インバータ等の交換のような、主要機器の交換は不要である

### (3) 既存の保守組織

下記の組織図は、TTC のウェブサイトより取得し、英語に翻訳した会社全体の組織図である。



出典：<http://ttc.com.ge/en/report-scheme> (translated to English using Google Translate)

図 4-35：TTC の全体組織図

本報告書の目的は、列車の維持管理に関連する維持管理組織を評価することであり、「管理」等の他の支援チームは評価しない代わりに「Gldani 車両基地」及び「Nadzaladevi 車両基地」により着目する。なお、新車両調達のための新保守基準の設定には、TTC が現在の保守組織の最小限の再構築を行う必要があると思われる。

### (4) 新車両保守のための保守組織案

新車両の保守に対応するために、車両基地・工場の保守部門における保守組織のみに着目する。新列車のための保守班は、以下の保守部門で構成されるものを提案する。

- 列車予防保守部門
- 列車修繕保守部門
- 重保守部門

概算で、毎月 11 回の検査（11 シフト）、四半期毎の検査 4 回（4 シフト）、半年毎の検査 2 回（2 シフト）、年次検査 1 回（2 シフト）があり、毎月合計 19 シフトの定期検査が実施される。また、新列車の車両維持のために、毎月 21 から 22 の保守シフトを担う予防保守は 1 班で十分であると試算している。産業基準によると、予防保守班の規模は、技術者 6 名と管理監督者 1 名で構成される。

修繕保守班に関し、明朝の運転迄に列車を運行可能な状態に調整するために、運行時間全体をカバーするために 3 交代制を採り、運行後の列車の欠陥を迅速かつ包括的に解決する必要がある。3 シフトをカバーするためには、改善保守班は 4 つ必要であると試算する。なお、各改善保守班は技術者 3 名と管理監督者 1 名で構成される。

重保守班に関し、新列車の分解検査だけのための専任班を割り当てることができない。これは 6 年に一回の分解検査のために分解検査班を展開することができないためである。重保守職場の軌道、及び施設を使用するが、短期間で分解検査が完了されるなら、重保守班は次回の分解検査迄手空き状態となる。列車の信頼性と安全性を維持するために、分解検査間隔が 1,050,000km から 612,000km に短縮されるため、新車両の分解検査量は旧車両の約 2 倍になる。新列車の重保守と分解検査活動のための追加労働要件を満たすためには、2 つのシフトが必要であると見積もられる。

## (5) 新しい車両の保守トレーニング

調達車両に計画されているライフサイクルを満たすためには、運営者、保守者、及び運行管理に対する経験、知識、専門的技術の移転への取り組みが重要である。

研修は、トレーナーが重要であり、保守組織の主要な指導員がその役を担うべきである。また、研修は主に以下の 2 つの方法で実施される。

- 概念理解のための座学研修
- 実際のタスクを実施する実践研修

研修の基本単位は以下の構成となる：

### 一般研修

- 新車両概要
- 本線での車両分離

### 定期保守

- 予防保全（日常点検、月次点検、四半期点検、半期点検、年次点検、3 年次点検）
- 修繕及び問題解決

- 床下車輪旋盤の車輪研削
- 列車救助及び脱線復旧

#### 分解検査

- 重機器の解体・組立（例：台車、トラクションインバータ、補助インバータ、空気圧縮機等）
- ドアシステム分解検査
- ブレーキシステム分解検査
- 台車システム分解検査
- 連結器及び貫通路の分解検査
- 電力及び牽引システムの分解検査
- 通信装置分解検査
- 分解検査後の試験及び試運転

### **(6) 保守計画及びトレーニング専門家**

#### 保守計画専門家

新しい車両の運行、及び保守の最初の 2 年は保守計画専門家が必要である。同専門家は新車両の全保守作業と活動の計画を担当し、様々なレベルの保守作業計画を策定し、保守チームの最適化を提案し、新チームの研修及び能力を監督し、車両供給者から保守組織への知識の移行を確認する。

同専門家は、新列車要件、運行戦略、及び業界のベストプラクティスに基づき、保守計画を立案する。トビリシ地下鉄の新車両調達のために、一般要求事項、保守戦略、保守のための組織、及び活動、障害管理、及び事故回復手段を策定する。また以下を確実にする。

- 保守要件が理解され、計画されること
- 後続フェーズにおけるコスト増を回避するために、新車両の全ての規定は運行、及び保守計画との互換性があること

同専門家は、信頼性、可用性、保守性、安全性、及び運行に関する一般的な要件を確実に満たすように、新車両の保守活動について TTC に助言を行う。また、同専門家は、安全や保守の手順、システムの保守の手順等の詳細な書類を作成するための雛形と構成を提供する。更に、同専門家は独自の保守管理システムを確立するための構成を TTC に提供する。

保守計画専門家にかかる成果物（案）は以下の通りである。

- 保守組織設立
- 保守マニュアルの作成
- 保守計画
- 作業手順

## 研修担当専門家

研修のスコープに関しては、研修専門家を監督コンサルタントが割り当て、車両供給者による TTC の職員への研修の実施を監督することが可能である。研修専門家は、最先端の技術を通じた教育方法を効率的に活用また刷新しながら、技術と能力移転を目的とした研修が達成されることを確実にする。又、同研修専門家は、有名な地下鉄における国際経験を有する必要がある。更に、同専門家は、安全上重要な業務を実行する職員の人的ミス、又は不適格による新車両の運行、及び保守における職員、乗客、及び第三者のリスクを軽減するための重要な安全システムとしての能力管理システムの設計、及び実施に責任を負う。

ベストプラクティスを確実にするために、同研修専門家は、車両供給者による研修の実施を確認、及び監督する。これには、研修ニーズ分析の実施、研修の提供と研修、及び評価資料の策定のための適切な方法の選択が含まれる。研修コースの実施のために選定された指導者は、認定資格と経験を有する必要がある、研修の実施を監視、及び監査するための質の高いプロセスが設定される必要がある。最終的な目的は、供給者が以下の点で一貫した研修資料を作成することを確実にすることである。

- 様式
- 内容
- 図表
- 用語
- 重要情報
- 品質管理

また同専門家は、下記の情報を編集する責任がある。

- 新車両の供給者が遵守するトレーニング哲学とアプローチ
- 新車両の供給者が提出しなければならない研修資料の種類と手順
- 新車両の供給者が遵守しなければならない各種研修資料の内容要件
- 研修資料の仕様要件
- 研修資料で使用される用語

研修専門家にかかる成果物（案）は以下の通りである。

- 研修計画及び仕様書
- 研修ニーズ分析

### 4.1.8 設計基準

本調査の技術的成果の一つは、新しい車両の設計基準である。設計基準は、新しい車両が準拠しなければならない緊要な/最も重要なパラメータを取得するために作成された。

設計基準は、このプロジェクトの次の段階で基本設計を開始するためのベースラインとして機能することを目的としている。

設計基準の目的は、新車両が準拠しなければならない重要なパラメータのみを指定することである。

本質的に、設計基準は、新車両の実行と統合を成功させるために重要な特定の技術要件を定義する。重要ではない新車両のアイテムについては、本調査の一部としてそれらを指定することに利点はない。そうすることは、車両供給者の選択を制限し、潜在的に車両調達費用を増加させる。そのため、そのような要素は設計基準に含まれていない。

逆に、本プロジェクトでは、新車両を既存のトビリシ地下鉄の施設、運用、及び車両群に統合する必要があるため、選択に任せることができない幾つかの設計要素（基準）がある。設計段階でのリスクを軽減するために、そのような要素は設計基準に含まれる。設計基準には、以下の組み合わせから導き出された設計パラメータと要件が含まれる。

- TTC の文書「General Requirements to Metro Cars」のレビュー
- 本調査の技術専門家によって開発された SRS
- TTC、及び本調査団の現地専門家との技術会議、及びデータ
- 国際的なベストプラクティス

設計基準で扱われる車両設計要素には、次のものがある。

- 列車構成
- 列車荷重
- 動作モード
- 列車の性能
- 列車のサブシステム
- 通信システム
- 信頼性、可用性、保守性 (RAMS)
- 安全性
- 人的要因
- 環境
- テスト、引き渡し、受け入れ
- 保守とトレーニング

設計基準にはインターフェース設計要件は含まれていない。これらはインターフェース制御文書で扱われている。

設計基準の現在のバージョンは、添付資料 2 に示されている。

#### 4.1.9 牽引電力の検討

TTC によって指導され、現地専門家によって実施された現地調査によって検証されたように、既存の牽引電力システムの多くは 60 年代にまでさかのぼる。牽引電力給電ケーブル



が腐食と湿度の影響を受けているという証拠がある。システムの多くは大規模なオーバーホール、修理、交換が必要と考えられる。牽引電力の変圧器/整流器と開閉装置は、それらを動作状態に維持することが困難になりつつある。

これらの問題を念頭に置いて、新車両の導入が牽引電力システムの運用に影響を与える可能性があるというリスクがある。具体的には、牽引電力システムには、新車両の運用をサポートするのに十分な容量、又は容量の柔軟性がない場合がある。

既存の牽引電力システムが運用をサポートできるかどうかを判断するために、本調査には、牽引電力シミュレーションが含まれている。TTC から提供された情報を使用して、Line 1 の既存の牽引電力システムの電気モデルが構築された。このモデルは、既存の車両のベースラインに対して新しい車両の動作をシミュレートするために使用されている。

シミュレーションの主な内容/パラメータは次のとおりである。

以下の決定：

- 最大消費電力
- 最大電力需要、電圧及び電流
- 回生ブレーキ電流
- フィーダーケーブル電流
- 路線の二つの終端駅間の移動時間
- 150 秒の運転間隔をサポートする機能
- 1 つの牽引変電所が稼働していない状態で、新しい車両の運用をサポートする機能
- 牽引電力供給ケーブルへの負荷と、電力需要をサポートする能力
- 既存の車両のベースラインに対する新車両の比較

シミュレーションでは、既存のトビリシ牽引電力システムが、150 秒の運転間隔で新しい車両の運転をサポートできると結論付けられた。既存の牽引電力システムが、1 つの牽引電力変電所が稼働していない時に、新しい車両の運用をサポートするのに十分な堅牢性を備えていることも判明した。同シミュレーションでは、新車両によって生成される回生エネルギーにより、牽引電力変電所の電圧が上昇し、変電所の過電圧を引き起こす可能性があることも判明した。そのため、牽引電力システムに対する回生ブレーキの影響をさらに評価することを推奨する。この評価を基本設計の作業の一部として含めることが賢明である。

牽引電力シミュレーションの結果を添付資料 3 に示す。

#### 4.1.10 システムの保証、受け入れ、及び安全性の認証

##### (1) 前書き

トビリシ地下鉄の新車両を受け入れるための現在のプロセスと手順は不明である。従って、アプローチは、新車両の引き渡し、受け入れ、安全性に関連するリスクを軽減するた

めに、国際的なベストプラクティスを採用した。本調査団の計画されたアプローチは、次のように EN50126 規格で定義された原則に基づいている。

- 新車両には安全事例が必要である。
- 独立安全評価者(Independent Safety Assessor (ISA))が任命され、新車両に関連する設計及び安全文書をレビューする。
- 安全事例が承認されるまで、新車両の引き渡しと受け入れは行なわれない。
- 車両供給者は、安全事例を準備し、サブシステム供給者からの関連する全ての入力/文書を調整する責任がある。
- 安全事例の準備は、TTC の設計・監督コンサルタントによって監督される。
- 安全事例は、欧州規格 EN50126 で定義されている原則に従って作成される。

## (2) 原則

EN50126 は、安全へのシステムアプローチを定めており、安全要件とその安全完全性レベル、及び様々なサブシステムへの配分を導き出す方法を提供する。

EN50126 で定義されているように、新車両の供給者は、安全へのアプローチと、以下を含む安全事例の開発を実施する必要がある。

- システム定義を作成
- 危険の特定、リスク分析、リスク評価等のリスク評価を実施
- システム要件仕様の作成
- 安全要件の特定
- 危険/リスク軽減策を特定して実施
- コンプライアンス準拠証明（適合性証明）

安全事例は、設計の最初から始まり、新車両の引き渡しと収益運転への受け入れで終了するプロジェクト期間全体で作成する必要がある。安全事例を構成する文書と証拠は、プロジェクトの進行に合わせて段階的に作成する必要がある。

安全事例の文書と証拠は、その開発全体を通して定期的に評価する必要がある。評価は、車両供給者のシステム保証マネージャーと独立安全評価者(ISA)の両方が実行する必要がある。これらの評価から特定される可能性のある問題は、特定された時点で修正する必要がある。これにより、新車両の収益運転への引き渡し、及び受け入れ時に安全事例が承認されないリスクが軽減される。

## (3) システム定義

システム定義は、設計及び供給される新車両に固有の安全事例を開発するために重要である。そのため、設計コンサルタントのシステム保証マネージャーと車両供給者のシステム保証チームは、提案された新車両のシステム定義を作成して維持する必要がある。

システム定義には、操作コンテキスト、操作モード（常時、異常時）、及び新車両との人間の相互作用が含まれる。システム定義は、機能の内訳を展開して作成する必要がある。

機能の内訳には、新車両の設計に影響を与える利害関係者、第三者、境界、物理的、及び機能的なインターフェース等主要な外部要因を含める必要がある。

システム定義は、プロジェクトのライフサイクル全体で発生する可能性のある変更に応じて、最新の状態に保ち、改訂及び修正する必要がある。

#### (4) リスク評価

リスク評価は、車両設計の最初から開始され、引き渡しと承認までの設計ライフサイクル全体で更新される反復プロセスである必要がある。定性的評価と定量的評価の両方を実行する必要がある。

危険特定ワークショップを実施して、予測可能な全ての危険を特定し、関連するリスクを特定し、関連する緩和策を定義する必要がある。危険は、危険ログを使用して記録、及び管理する必要がある。危険ログは、プロジェクトのライフサイクル全体を通じて更新、及び最新の状態に保つ必要がある。

課せられる安全対策の要件を決定する際には、合理的に実行可能な限り低い ALARP (as low as reasonably practicable) の原則を使用する必要がある。

#### (5) システム要件仕様 (SRS)

車両供給者は、新車両とそのサブシステムが満たすべき全ての関連要件を特定し、それらを SRS に記録、及び管理する必要がある。SRS 内で管理される要件を分解して、個別に検証、及び妥当性を確認できる単一の要件を作成する必要がある。SRS の各要件には、管理を容易にするために 4.1.1 (3)節に記載されたカテゴリと関連する属性を割り当てる必要がある。

SRS の要件は、それが派生した原資料（親）及び要件を満たす書類/節/条項/文章（子）に結び付けられ、追跡可能である必要がある。

定期的な検証と妥当性確認の評価は、プロジェクトのライフサイクル全体で実行して、要件が原資料から文書に追跡可能であるという証拠と、要件を満たすテスト証拠を提供する必要がある。識別された問題は、識別された時点で修正する必要がある。プロジェクト全体での小規模で頻繁な修正は、引き渡し/受け入れ時の単一の主要な修正よりも効果的/効率的である。

#### (6) 安全要件 (Safety Integrity Level (SIL))

安全関連の全てのシステム/サブシステムには、SIL を割り当てる必要がある。必要に応じて、SIL を基礎となる各サブシステムに割り当てる必要がある。SIL 属性 (SIL 4 が最も高く、SIL 1 が最も低い) は、EN50126 で定義されている関連する表に従う必要がある。SIL レベルが割り当てられているシステム/サブシステムには、許容機能障害率 (Tolerable Functional Failure Rate (TFFR)) を割り当てる必要がある。安全性の完全性の証明は、定性的、及び定量的測定の両方を通じて提供する必要がある。

## (7) 危険軽減と危険ログ

危険軽減の目的は、リスクを許容可能なレベル（許容可能なリスク）に減らすことである。リスク許容カテゴリは、EN50126 の付録 C に示されているアプローチに従う必要がある。

危険ログは、EN50126 の付録 C で定義されているように、各危険の発生頻度と重大度を記録する必要がある。

- 固有の危険 ID #
- 所有者
- システム
- サブシステム
- 危険の説明
- 危険の原因
- 安全防御
- 重大度
- 頻度
- 初期リスク（緩和策を適用しない場合）
- 安全要件の特定
- 緩和策
- 残留リスク（緩和策の適用後）
- 状態（開始/終了）
- 変更（変更の説明と日付）

危険ログに記録された危険は、危険の軽減を提供する設計文書、又はその他の文書（操作手順等）まで追跡可能である必要がある。

## (8) 安全事例と準拠証明（適合性証明）

新車両供給者調達契約には、新車両の安全事例を準備し、それへの準拠を実証するための要件を含める必要がある。

安全事例は、車両とそれに関連する全てのサブシステムが指定された安全要件に準拠しているという証拠を提供する。安全事例は EN50126 規格の要件であり、新しい車両が安全で目的に適合していることを実証するための正式で体系的な方法である。安全事例は、プロジェクトのライフサイクル全体を通じて段階的に開発され、独立した安全評価者によって定期的に評価される必要がある。安全事例の承認は、新しい車両を収益サービスに引き渡し、受け入れるための前提条件である。そのため、安全事例で定義されている安全性評価は、車両が受け入れられる前に完了する必要がある。

EN50126 に従って、安全事例には次のものが含まれている必要がある。

- 車両の定義（システム定義）
- 品質管理報告書 - 活動と証拠

- 安全管理報告書 - 活動と証拠
- 技術的安全性報告書 - 障害、エラー、障害、及び外部からの悪影響が発生した場合の安全性の保証
- 関連する全ての車両サブシステムに関連する安全事例（該当する場合）
- 車両がその意図された目的に対して安全であるという声明を含む結論

## (9) システムの受け入れ

新車両の収益運用を開始する前に、システムの承認は、車両がその使用目的（運用特性）に対して十分に安全であることを実証する必要がある、以下に基づく必要がある。

- 車両が EN50126 に従って開発、検証、及び妥当性が確認されたという証拠
- EN50126 に従って、指定された安全要件が満たされている

システムの受け入れを証明する文書には、次のものが含まれている必要がある。

- システム定義と運用特性
- 安全要件及び関連するリスク分析を含む、システム要件及び特性
- 安全事例
- 独立した安全性評価報告書

TTC、及びその他の関連する利害関係者によるシステムの受け入れは、安全事例で示され、独立して評価された安全な受け入れの全ての条件が満たされた場合にのみ提供する必要がある。

## 4.2 提案プロジェクトの内容

提案プロジェクトの内容を以下に示す。ISA とコンサルタントの業務の概要は、6.2 事業実施スケジュールに示す。

No	Items	Unit	Quantity
1	Rolling Stock	Car	80
2	ISA	LS	1
3	Supervision Services	LS	1

出典：調査団

調達車両数は以下の事由により 80 両を提案する。

- TTC は、進行中の EBRD 入札の下で 44 両を調達する。
- 2.5 節及び 4.1.3 (5)で記載したように、2029 年迄に全ての車両（ $8+62+51+8+19=148$  両）の Refurbishment を行う必要がある。

- 4.1.3 節で述べるように Refurbishment を行った車両とエネルギー効率の良い新車両の電力消費量及び保守費用の差は、5.2 節で述べるように TTC にとり財務的に妥当性があり、Refurbishment を行わずに新車を調達することが望ましい。
- 148 両を調達することが望ましいが、具体的な資金の検討はこれからである。
- 最低調達車両数は 40 と考えるが、供給者にとって入札参加意欲がより高まる 80 両を 2029 年迄に調達することを提案する。内訳は、EM-3M と EM-508TM の 8 両、製造年のより古い 27 両の Ema 81-502 及び 81-717M の中から状態のより悪い 45 両の合計 80 両である（以下の図を参照）。

No. of Cars	Type	Procurement by:	Year of Medium Repair with Modernization	Final Expiry Year
192	81-717M (cab) (62) 81-717M (w/o cab) (51)	Future Plan 68	2019-2029	2036-2042
79	Ema 81-502 (cab) (8) Ema 81-502 (w/o cab) (19)	Proposed by the Project 80	2028-2029	2039
52	EM-3M (26) EM-508TM (26)	EBRD 44	2015-2018	2024-2027

図 4-36 の注釈: 車両のライフサイクルと更新計画。図は、車両のタイプ、調達方法、更新年、および最終廃止年を示しています。車両の数は、更新年と最終廃止年の間に示されています。更新年と最終廃止年の間の車両数は、更新年と最終廃止年の間の車両数です。更新年と最終廃止年の間の車両数は、更新年と最終廃止年の間の車両数です。

出典：調査団

図 4-36：調達車両数

## [参考]

なお、2029 年迄に更新できない車両については、出来るだけ早期の更新が望ましいが、本事業の対象とするには、以下の事由により現実的ではない。これらは、TTC の計画通りに Refurbishment を行えば良いと思料する。

- Refurbishment を行えば、2039 年迄は使用可能なので、Refurbishment を行った車両を前倒して廃車にして、新車を調達する理由は乏しい。
- 2029 年迄に Refurbishment を行った車両は、それ以後新車調達しか選択肢が無く、その調達時期は 2036-2042 の中央年 2039 位。
- 2039 年に納車するためには、2035 年に請負者の選定を開始、2036-2039 に製造すればよいので投資が 15 年以上先になり本事業に含めるのは現実的ではない。



### 4.3 事業費

算出した事業費を以下の表に示す。

表 4-16 : 事業費 (2022 年 1 月現在価格)

No	Items	Unit	Quantity	Amount		
				LC (GEL)	FC (US\$)	Total in US\$
1	Rolling Stock	Car	80	-	108,000,000	108,000,000
2	ISA	LS	1	-	635,360	635,360
3	Supervision Services	LS	1	4,979,375	8,501,340	10,107,590
4	Sub-total 1-3	-	-	4,979,375	117,136,700	118,742,950
5	Contingency (5% of 4)	-	-	248,969	5,856,835	5,937,148
6	Sub-total 4+5	-	-	5,228,344	122,993,535	124,680,098
7	VAT (18% of 6)	-	-	941,102	22,138,836	22,442,417
8	Total 6+7			6,169,446	145,132,371	147,122,515

出典：調査団

#### 予備費

- 全ての項目に 5%の予備費を考慮する。国が課す税金や関税は次のとおりである。
  - VAT : 18% (車両調達、コンサルティングサービス)
  - 輸入関税 : EBRD 44 両には課されないため本事業でも考慮しない

以下は、事業費には直接関係しないが、事業実施時の契約には考慮する必要がある。

- 所得税 : 20%
- 年金拠出金 : 6% (国、会社、従業員が夫々2%を支払う。外国人 (非居住者) については、年金制度は適用されない)
- 利益税 : 15% (会社が配当金を支払う場合)



## 第5章 財務分析

### 5.1 TTC の財務状況

#### 5.1.1 財務諸表分析

TTC の 2017 年から 2020 年の監査済み財務諸表を入手し、TTC の財務構造・財務状況の把握を行った。

#### (1) 貸借対照表

下表に TTC の貸借対照表を示す。特筆すべき点として下記がある。

- TTC の設備投資は、TTC を 100%所有するトビリシ市の資金により実施されている。この点は、資産の部（Assets）における Non-current Assets の大部分は固定資産であり、トビリシ市が提供する株主資本（Equity）により賄われていることに反映されている。
- 負債の部（Liabilities）における Non-current Liabilities は、銀行融資等の資金調達によるものではなく、TTC が実施した長期サービスの入札に関する TTC の受取額や政府から無償譲渡された管理ビル等に対応するものである。
- 発行済資本金（Issued Capital）が Non-current Assets の金額を超えており、累積損失（Accumulated Losses）が積みあがっていることから分かるように、トビリシ市は TTC の設備投資に加え、運営に対しても資金負担を行っている。この点については、後述の損益計算書の項で記す。

表 5-1 : TTC 貸借対照表（2017–2020）

（単位：1,000 GEL）

	2017	2018	2019	2020
<b>Assets</b>				
Non-current Assets	217,070	231,582	325,507	447,646
Current Assets	71,070	192,676	80,481	83,770
Total Assets	288,140	424,258	405,988	531,416
<b>Equity</b>				
Issued Capital	332,113	521,126	554,210	850,603
Accumulated Losses	(84,234)	(138,500)	(209,793)	(359,587)
Total Equity	247,879	382,626	344,417	491,016
<b>Liabilities</b>				
Non-current Liabilities	25,408	22,675	30,720	28,131
Current Liabilities	14,853	18,957	30,851	12,269
Total Liabilities	40,261	41,632	61,571	40,400
Total Equity and Liabilities	288,140	424,258	405,988	531,416

出典：TTC

- 2019 年の Non-current Assets の増加は、EBRD 支援により調達された新製バス車両の追加を含む。この調達のためのトビリシ市による資金提供が 2018 年に計上されたことが影響し、2018 年の株主資本（Equity）及び流動資産（Current Assets）が大幅増となった。
- EBRD 支援によるバス車両の調達は 2020 年にも行われ、これが 2020 年の Non-current Assets 増加の主因である。また、ADB 支援によるケーブル更新、換気システム改修等の投資も 2020 年の固定資産増に含まれる。
- 2020 年は、上記の設備投資に加え、コロナ禍により TTC の収入が大きく落ち込み、多額の運営費補助が必要となった。この状況に対してトビリシ市は、2020 年中に、TTC に対して総額で約 290 百万 GEL の支出を行った。これらの状況は、2020 年の発行済資本金（Issued Capital）及び累積損失（Accumulated Losses）の増加に反映されている。

## (2) 損益計算書

次表以下に TTC の損益計算書、輸送モード別の収入割合、営業利益率を示す。主要点として以下がある。

- 2019 年までの傾向として、輸送サービスからの収入は増加を示している。また、輸送モード別の収入割合に示す通り、2019 年の地下鉄の割合は、若干ながらバスを上回っている。第 2 章のトビリシ地下鉄利用客数の推移で示した通り、2010 年代における地下鉄利用客は増加しており、2020 年に入りコロナ禍により乗客数の不連続な落ち込みを経験したものの、感染が収束すれば、収入の増加傾向は回復することが期待される。
- 2018 年 4 月に、トビリシにおける駐車管理業務がトビリシ市から TTC に移管され、この業務からの収入が TTC の収入の一部となった。
- TTC の営業利益率（売上高営業利益率）は大幅な赤字となっている。2020 年の業績はコロナ禍のため例外的として、2017 年、2018 年、2019 年において、それぞれ、55%、40%、47%の損失を計上している。
- 一方で、公共交通サービスは多額の設備・インフラが必要であり、トビリシがそうであるように、運賃を低く抑えつつ、設備・インフラについては公共投資により整備するとの方針も妥当と考えられる。この点を考慮し、減価償却（Depreciation and Amortization）と減損損失（Impairment of Property, Plant and Equipment）（共に非資金費用項目）を純損失額に足し戻した場合の営業利益率を算出すると、2017 年が 12%、2018 年・2019 年が 11%の損失となった。
- 経費の上昇幅がかなり大きい傾向が見られ、運賃値上げの有無に拘わらず、経費の圧縮や設備更新による運営維持管理費用の節減の必要性は高いと考えられる。

表 5-2 : TTC 損益計算書 (2017-2020)

(単位 : 1,000 GEL)

	2017	2018	2019	2020
Revenue				
Revenue from Transportation Service	123,028	131,867	139,441	72,222
Revenue from Parking	-	1,766	5,650	5,621
Other Income	4,750	7,005	7,783	8,049
Total Revenue	127,778	140,638	152,874	85,892
Expenses				
Salaries and Other Employee Benefits	(90,705)	(99,557)	(118,983)	(117,636)
Impairment of Property, Plant and Equipment	(39,448)	(23,916)	(33,963)	(26,432)
Fuel Expenses	(18,704)	(21,388)	(24,013)	(18,990)
Depreciation and Amortization	(15,467)	(16,488)	(21,137)	(32,827)
Electricity Expenses	(10,003)	(12,178)	(13,462)	(11,010)
Materials and Consumables	(8,160)	(8,914)	(9,933)	(7,474)
Tax and Related Expenses	(5,217)	(1,192)	(3,202)	(1,946)
Insurance Expenses	(2,447)	(1,293)	(1,316)	(1,232)
Other Operating Expenses	(11,973)	(20,133)	(19,187)	(14,282)
Interest Income	3,418	6,822	19,081	3,897
Other Non-operating (Expense)/Income, Net	410	1,813	1,948	(7,754)
Total Expenses	(198,296)	(196,424)	(224,167)	(235,686)
Loss before Income Tax	(70,518)	(55,786)	(71,293)	(149,794)
Income Tax	-	-	-	-
Loss for the Year	(70,518)	(55,786)	(71,293)	(149,794)

出典 : TTC

表 5-3 : 輸送モード別の収入割合

(単位 : 1,000 GEL)

モード	2017		2018		2019		2020	
	収入	割合	収入	割合	収入	割合	収入	割合
地下鉄	55,974	45%	61,906	47%	67,851	49%	34,253	47%
バス	63,650	52%	65,401	50%	66,802	48%	37,449	52%
ロープウェイ	3,404	3%	4,560	3%	4,788	3%	520	1%
合計	123,028	100%	131,867	100%	139,441	100%	72,222	100%

注 : 上記収入は、運賃割引分及び運賃無料分に対するトビリシ市からの補填を含む。

出典 : TTC

表 5-4 : TTC 営業利益率 (2017-2020)

項目	2017	2018	2019	2020
(a) Total Revenue (1,000 GEL)	127,778	140,638	152,874	85,892
(b) Loss before Income Tax (1,000 GEL)	(70,518)	(55,786)	(71,293)	(149,794)
(b) / (a)	-55%	-40%	-47%	-174%
(c) (b) + 減価償却 + 減損損失 (1,000 GEL)	(15,603)	(15,382)	(16,193)	(90,535)
(c) / (a)	-12%	-11%	-11%	-105%

出典 : TTC 損益計算書を基に調査団算出

## 5.2 本事業の財務分析

### 5.2.1 分析の方法論

本事業の財務分析として、下記の With-Project ケースと Without-Project ケースの費用を比較することにより、本事業の財務的な評価を行った。

- With-Project ケース（With ケース）：EBRD 支援による車両調達に続いて新車 80 両の調達を、第 6 章 6.2 節に示す実施スケジュールに従って実施する場合
- Without-Project ケース（Without ケース）：本事業で置き換えを行う想定 of 在来車 80 両について、延命改修を実施することにより使用を継続し、TTC の車両延命計画に沿って 2039 年までに 80 両の新車を調達し、既存車両との置き換えを行う場合

#### (1) 前提条件

以下の前提条件の下でキャッシュフローを作成し、財務的内部収益率（Financial Internal Rate of Return：FIRR）を算出した。

- 評価期間は、2022 年から、Without ケースにおいて新車納入を想定する 2039 年の翌年である 2040 年までとした。
- With ケースの費用として、車両調達費用、サービス費用（コンサルタント費及び Independent Safety Assessor 費）、消費電力コストを含めた。
- Without ケースの費用として、車両延命改修費用、消費電力コスト、車両保守費用の With ケースとの差額分、2039 年に納入を想定する新車の調達費用及びサービス費用（コンサルタント費と Independent Safety Assessor 費）を含めた。
- With ケースと Without ケースの財務的な比較を行うことを主眼とし、融資や金利等のファイナンス、税金、及びインフレは考慮していない。（なお、ファイナンスの検討については第 6 章 6.3 節で記載）
- キャッシュフローは USD で表示し、為替レートは USD 1 = GEL 3.1 を用いた。

#### (2) 費用算出に係る設定

With・Without ケースの上記費用を推計するため、以下の通り設定を行った。

- With ケースの事業費として第 4 章 4.3 節で示した金額を用い、支払いスケジュールについては、第 6 章 6.2 節の実施スケジュールに沿って設定した。
- 第 4 章 4.1.3 節における推計に従い、在来車の 1 km 走行当たりの電力消費量を 10.36 kWh/km、新車の電力消費量を 5.15 kWh/km（約 50%の節減）とした。また、電力価格は、TTC からの情報に基づき、GEL 0.3/kWh を用いた。
- TTC から提供されたトビリシ地下鉄の運転情報を用いて、80 両分の年間走行距離を 2,399,510 km/年と推計した。この推計値と上記の電力消費量原単位から、With・Without ケースのそれぞれについて、80 両分の年間の消費電力費用を推計した。



- Without ケースの在来車 80 両の延命改修は、2022 年から 2029 年までの 8 年間に、毎年 10 両ずつ実施すると仮定した。在来車 1 両の改修費用は、TTC による実績を参考にして、0.26 百万 USD／車両と設定した。
- Without ケースと With ケースの間の車両保守費用の差額分（新車に置き換えれば発生しない費用）については、第 4 章 4.1.3 節で記した約 3 か月毎の検査、及び約 3 年毎の検査（オーバーホール）に要する費用を想定し、在来車 1 両当たりの 3 か月毎の検査費用を 400 USD／車両（材料費含む）、3 年毎のオーバーホールの費用を 20,000 USD／車両（材料費含む）と設定した。これらを用いて、1 両あたりの年間平均の差額を 8,267 USD／車両／年と設定した。
- Without ケースの新車調達に係る費用の金額は With ケースと同一とし、支払いスケジュールについては、2039 年に納入を想定し設定した。
- 新車両の経済的耐用年数を 40 年と設定し、With・Without ケース共に、2040 年に残存価値を足し戻した。

## 5.2.2 分析結果

以上の設定の下、キャッシュフロー分析を行い、FIRR を算出した。次表に示す通り、FIRR は+1.0%（正の値）となり、本事業により 2028 年までに新車調達を行った場合、在来車の延命改修を行い新車との置き換え時期を 2039 年まで遅らせた場合と比較して、長期的な視点から財務的に有利との推計結果となった。

また、先述の財務諸表分析において経費の上昇幅がかなり大きい傾向が見られ、ジョージアのコロナ後の経済成長等に伴い、人件費やその他の経費の更なる上昇が予想される。TTC の厳しい財務状況に鑑みれば、経費の圧縮や設備更新による運営維持管理費用の節減の必要性は高いと考えられ、この意味でも、消費電力や車両保守費用の節減に寄与する車両更新を早期に実施する意義は高いと考えられる。

なお、感度分析として、新車の費用が 10%増加した場合、新車調達による電力消費量の節減が 40%となった場合の FIRR を推計した。新車費用が 10%増加した場合の FIRR は +0.6%、新車費用が 10%増加し且つ電力消費量の節減が 40%となった場合の FIRR は +0.4% と、正の値となっており、2028 年までに新車調達を行う場合の方が依然として、長期的な視点から財務的に有利との推計結果となった。

表 5-5 : 本事業の財務分析結果

(単位 : 1,000 USD)

年	With-Project ケース			Without-Project ケース					ネット キャッシュ フロー
	調達車両 費用	サービス 費用	消費電力 費用	車両延命 改修費用	消費電力 費用	車両保守 費用差額	調達車両 費用	サービス 費用	
2022			2,406	2,600	2,406				2,600
2023		564	2,406	2,600	2,406				2,036
2024		2,030	2,406	2,600	2,406				570
2025	22,680	2,030	2,406	2,600	2,406				-22,110
2026	28,350	2,030	2,406	2,600	2,406				-27,780
2027	28,350	2,030	2,406	2,600	2,406				-27,780
2028	28,350	2,030	1,801	2,600	2,406	331			-26,844
2029	2,835	282	1,196	2,600	2,406	661			1,354
2030	2,835	282	1,196		2,406	661			-1,246
2031			1,196		2,406	661			1,871
2032			1,196		2,406	661			1,871
2033			1,196		2,406	661			1,871
2034			1,196		2,406	661		564	2,435
2035			1,196		2,406	661		2,030	3,901
2036			1,196		2,406	661	22,680	2,030	26,581
2037			1,196		2,406	661	28,350	2,030	32,251
2038			1,196		2,406	661	28,350	2,030	32,251
2039			1,196		1,801	331	28,350	2,030	31,315
2040	-79,380		1,196		1,196	0	-104,895	564	-24,951

**FIRR = +1.0%**

出典 : 調査団

## 第6章 事業実施体制、実施スケジュール、ファイナンスの検討

### 6.1 事業実施体制

#### 6.1.1 事業の調達方法

##### (1) 調達方法の比較

複雑な鉄道プロジェクトを管理するために一般的に実施される調達方法を以下に述べる。

建設調達方法（設計施工分離方式）：請負業者は雇用主によって提供された設計に従って工事を建設する。例、地下構造物、高架橋、駅等の土木工事。

これは、設計、入札、施工の 3 つの段階からなる。設計段階で施主はコンサルタントエンジニアに設計と入札書類の作成を行わせる。入札段階では、施主は建設会社を招き、入札書類を配布し、材料の量、建設方法、建設費に関する入札を求める。コンサルタントは、工事の施工管理を行う。

設計・施工調達方法（デザイン・ビルド方式）：請負業者は、施主の要件に従って、プラント及び/又はその他の作業を設計及び製造する。これには、土木、機械、電気の活動の任意の組み合わせが含まれる場合がある。例、信号、通信、車両等のシステム。

設計と施工が一緒に発注され、請負業者が設計と施工に責任を持つ。請負業者は、契約の技術仕様を達成するために、方法論を自由に選択し、システム全体の設計を準備し、数量と費用を算出する。コンサルタントは、請負業者の設計・施工提案を安全性、統合性、実行性から評価し、施主に助言する。

一般的なデザイン・ビルドによる工事を次表に示す。

**表 6-1：一般的なデザイン・ビルド工事**

工事内容	受注者
軌道工事	軌道工事業者
信号設備の製造・設置	信号設備製造業者
通信設備の設置	通信設備設置業者
電力設備（受変電設備、電車線）の設置	電設業者
E&M の設置	E&M 設置業者
車両の製造搬入	車両製造業者

出典：調査団

デザイン・ビルドは、メトロや都市鉄道の車両や E&M システムの調達で最も採用されている契約方式である。本プロジェクトでもデザイン・ビルド方式で実施することを提案する。本方式による実施に係る留意事項を以下に記載する。

## (2) デザイン・ビルド契約の長所と短所

デザイン・ビルドの主な長所と短所を次の表に示す。

表 6-2：デザイン・ビルド契約の長所と短所

長所	短所
より速い進捗 — 設計/建設を並行して進めることができる。請負業者は、より経済的な設計を選択し、見積もりを少なくすることができる	施主のコントロールが欠如する可能性がある
最終的なコストの確実性がある	施主による早期の準備が必要 — 例えば入札前の Employer's Requirements と Performance Specifications 等
請負業者による設計 — 建設の妥当性に問題がない	施主は、様々な請負業者から提出された安全性/耐久性と経済的な入札のための方法論を評価する必要がある
最も経済的で適切な方法が入札者の間で利用可能になる	入札評価 — 評価基準を標準化しながら、さまざまな設計対応を評価する
請負業者によるイノベーションの機会	リスク及び不測の事態に伴うコスト増の可能性はある
予想されるリスクの殆どは、請負業者の義務に含まれる	入札者は、ないかもしれないリスクを金額に上乗せする可能性がある
施主への直接責任	請負業者に依存する品質管理

出典：調査団

## (3) デザイン・ビルド契約の課題

デザイン・ビルド契約にありがちな問題として、請負業者の設計施工が施主の高い期待と合致しないことがある。この場合、施主と請負業者の双方に不満が生じ、意見調整のための管理業務が増加する。この問題は、入札時に施主から提示する Employer's Requirements と Performance Specifications が明確でないことから生じることが多い。

入札時にパフォーマンス仕様であるとの説明があっても、実際には順守すべき基準規格が羅列され、請負業者側の裁量に制約があることが多い。これは請負業者が最適な設計/技術を提供できるというデザイン・ビルドの利点を損なう。

その他の問題が生じる例として、次のようなものがある。

- 不適切な資格基準 (Inappropriate qualification criteria)
- 請負業者の提案が契約/技術仕様書に準拠していない。
- Employer's Requirements の不十分な定義
- 仕様書がパフォーマンスや機能に基づかず、詳細な基準規格を指定する。
- 請負業者による品質管理の悪さ
- システム統合が不十分
- システム間の接続が不十分
- ソフトウェア開発の低成熟度（供用前の不十分な試験、特に列車制御システムで問題となる）

- デザイン・ビルド契約の調達に伴う複雑さに対する認識の欠如

#### (4) デザイン・ビルドの課題の改善点

上記の問題の改善方策としては、経験豊富なコンサルタントを用いるのが有効である。有能なコンサルタントは、必要な管理プロセスに精通しており、デザイン・ビルド契約のもとでそれらを実施し、プロセスを通じて請負業者を管理できる。

- プロジェクトを正常に完了するための最も重要な書類となる適切な Employer's Requirements を準備する。
- 入札前に Employer's Requirements の熟度と明確度が妥当であることを確認する。
- 入札前に、パフォーマンススペースの仕様書の確実性を確認する（変更可能性や恣意性のないこと）。
- 明確に定義されたマイルストーンを含む、包括的プロジェクト全体工程を準備する。
- 施主は、デザイン・ビルド契約の経験を持つコンサルタントを雇用する。
- 施主の組織は、契約を管理するために十分に経験豊富な人材を持つ。
- 施主の組織に経験豊富なシステム統合チームを含める。
- 施主の管理下にあるインターフェース管理手段と文書を作成する。
- 施主が厳格な変更管理システムを確立し、それを使用する。
- 請負業者が、全体的インターフェースを適切かつ厳密に調整することを期待しない。
- 請負業者による履行を確実にするため、損害賠償制度を導入する。
- リスクを特定し、リスクレジスターを早期に確立し、プロジェクトのライフサイクル全体を通じて更新し続ける。

#### 6.1.2 調達ガイドライン

ジョージア法、第1条 - 法の範囲、第4項は、公共調達に関する調達手続きが世界銀行（WB）、国連機関、アジア開発銀行（ADB）、ドイツ復興信用銀行（KfW）、欧州復興開発銀行（EBRD）が決定した調達手続きが、これらの組織が調達の実施に関連する法的関係に関与している場合、公共調達を実施する際に適用される場合があること、及びこれらの組織が調達の実施に関連する法的関係に関与していない場合、これらの組織および他の組織の調達手順は、ジョージア国政府の法令によってのみ適用される場合があることを示している。

EBRD 車両調達プロジェクトは、ジョージアのガイドラインを使用しておらず、EBRD のガイドラインを使用している。この調達は、EBRD の 2 段階調達規則に基づいて行われる。TTC は、EBRD に雇用されているコンサルタントを支援しており、コンサルタントは、TTC が契約に署名するまで調達プロセスを支援している。TCH はプロジェクトの監督者である。

以上から、本事業でも、事業資金を融資する機関が定めている調達ガイドラインを使用することを提案する。

### 6.1.3 工事契約約款

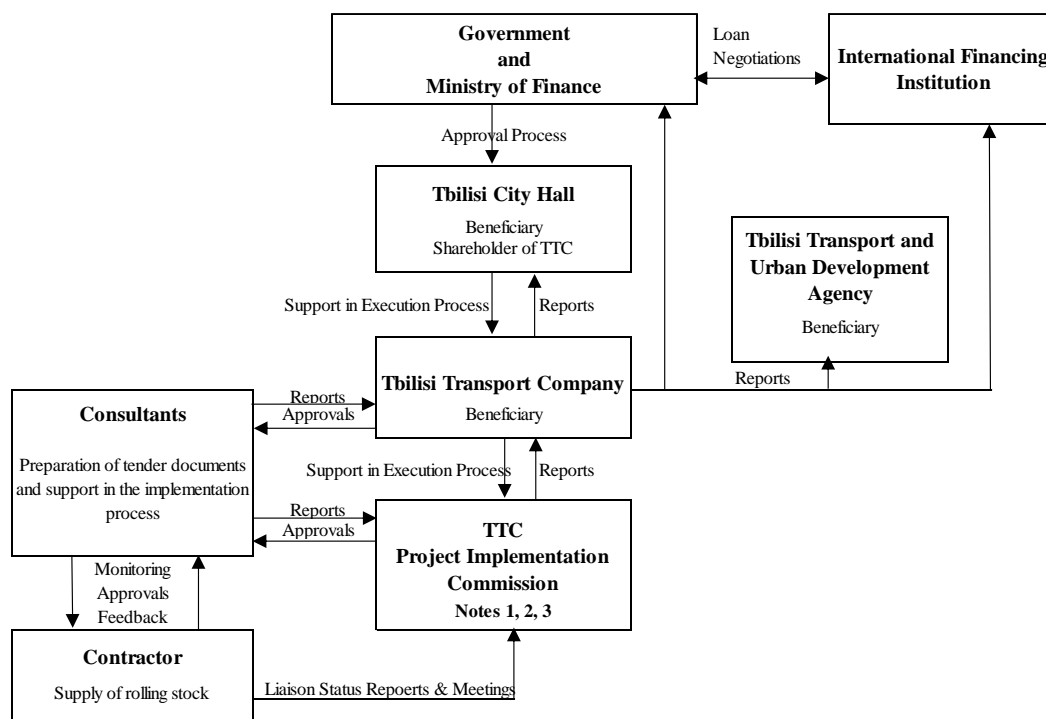
FIDIC は、建設業界やコンサルティング業界の国際標準として長く使われている。車両の調達には、プラント及びデザイン・ビルドの FIDIC 契約条件（FIDIC イエローブック）が推奨される。以下に FIDIC Yellow Book 及び参考として FIDIC Red Book についても説明する。

イエローブック：請負業者によって設計された電気、及び機械プラントのプラント及び設計と建設、及び建築工事の契約条件（1999 年第 1 版）。これは、電気及び/又は機械プラントの提供、及び建築又はエンジニアリング作業の設計と実行に推奨される。請負業者は、施主の要件に従って、プラント及び/又はその他の作業を設計及び提供する。

レッドブック：施主によって設計された建築、及びエンジニアリング工事の建設契約条件（1999 年第 1 版）。これは、施主又はその代表者であるエンジニアによって設計された建築、又はエンジニアリング作業に推奨される。請負業者は、施主から提供された設計に従って工事を行う。但し、工事には、請負業者が設計した建設工事が含まれる場合がある。

### 6.1.4 実施体制・組織

調査団は、TTC が提供する EBRD 車両調達プロジェクトの情報をもとに、以下のようなプロジェクト実施組織を提案する。



Notes: 1 Implementation of bid evaluation with support of consultants.  
 2 Preparations to sign a contract.  
 3 Receiving rolling stock after commissioning with the support of consultants.

出典：調査団

図 6-1：プロジェクト実施組織



関係機関の役割

国際融資機関：	プロジェクト資金の供与
政府及び財務省：	ファイナンス承認（ソブリン保証）
Tbilisi City Hall (TCH)：	TCH は、TTC の所有者であり、プロジェクトの監督者
Tbilisi Transport Company (TTC)：	TTC はメトロの運営者、かつプロジェクトの実施に責任を有する実施機関
コンサルタント：	工事施工管理
請負者：	車両製作・納入

TTC の組織図を図 4-35 に、鉄道部門の職員数を以下に示す。鉄道部門の職員から事業に従事する要員が選定されると思われるが、事業に専従する要員である必要がある。

**表 6-3：TTC の鉄道部門の職員数**

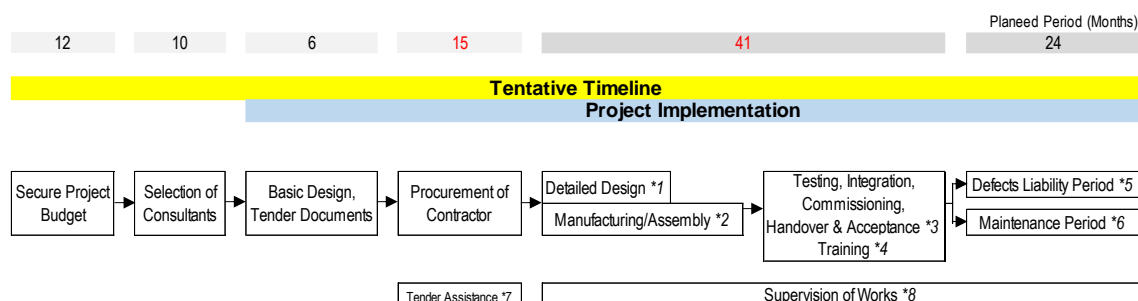
部署	職員数
Rail and Tunnel Constructions Department	353
Electric Mechanical Department	503
Electric Power Supply Department	239
United Workshops	98
Traffic Division	541
Depot Gldani	373
Depot Nadzaladevi	158
Metro Operation Department	76
Total	2,341

出典：TTC

## 6.2 実施スケジュール

### 6.2.1 事業のフロー

本事業の予算獲得から瑕疵期間の終わりまでの流れを以下の概念図に示す。



出典：調査団

Notes:

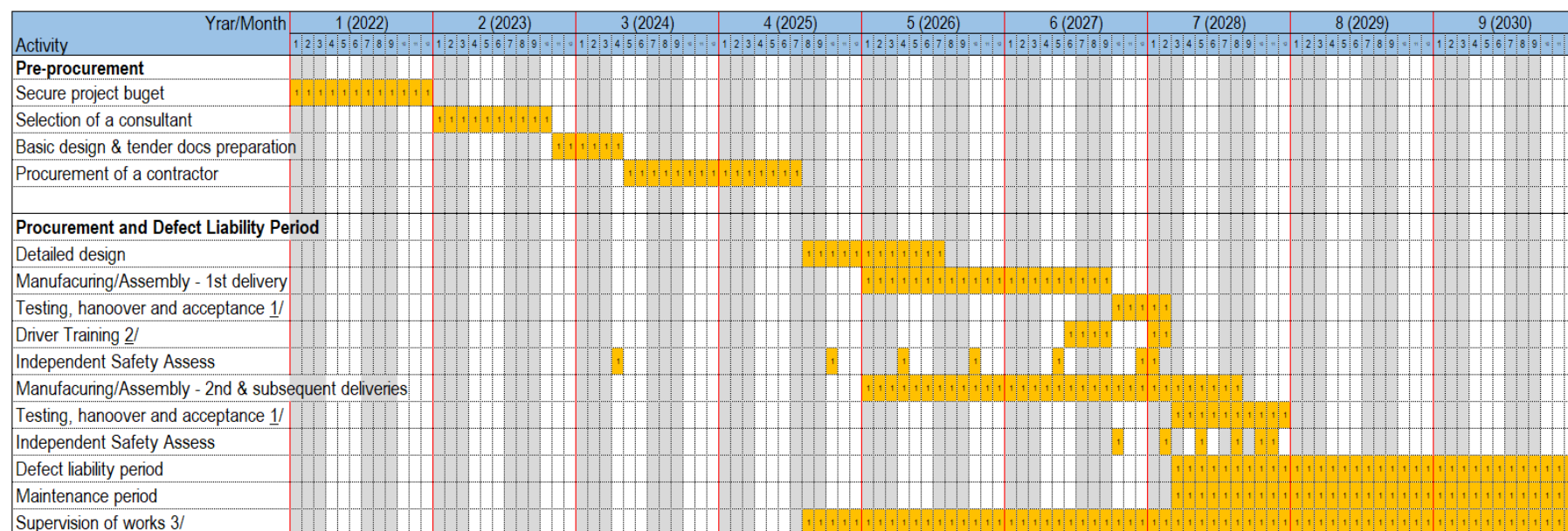
- \*1: 列車の詳細設計は、契約開始日から 12 暦月以内に完了するものとする。
- \*2: 列車の製造、配送、テスト、試運転。
  - 契約開始日から 26 暦月以内に少なくとも 2 編成の列車を完成させるものとする。
  - 残りの列車は配送され、最終受入証明書は契約開始日から 41 暦月以内に発行されるものとする。
- \*3: 分離契約による、許容可能なレベルの安全性を確保するための独立した安全評価者 (independent safety assessor (ISA)) の任命が必要である。
- \*4: 請負業者によるドライバー、保守及び運用要員のトレーニング。
- \*5: 2 年間の瑕疵保証期間 (defects liability period (DLP)) が提供される。
- \*6: 2 年間の収益運用のための資本予備部品と消耗品が提供される。
- \*7: 入札プロセスの管理。
- \*8: 詳細設計、製造/組み立て、テスト、引き渡し、受け入れ、DLP の管理。

図 6-2：プロジェクトの流れ

### 6.2.2 事業実施スケジュール

事業実施スケジュールを以下に示す。主な活動は以下の通りである。

資金調達：	2022 年 12 月
コンサル選定：	10 カ月間
基本設計、入札図書作成：	6 カ月間
コントラクター選定：	15 カ月間
車両契約の締結：	2025 年 8 月
詳細設計：	2025 年 8 月～2026 年 7 月（12 カ月間）
車両設計・製作・納入期間：	2025 年 9 月～2028 年 12 月（41 カ月間）
車両納入時期：	2027 年 10 月～2028 年 8 月
瑕疵保証期間：	24 カ月
プロジェクト完了：	2030 年 12 月



出典：調査団

記事：

1/ 以下の活動を含む。

テスト・トラック — 理想的には、試運転線が車両製造者の敷地で利用出来ることが望ましい。そうでない場合は、TTC と協力して、非営業時間帯に本線の一部区間を使用する。

静的及び動的テスト — 理想的には、テストは車両製造者の施設で実施され、配送後に基地で繰り返される。

2/ ドライバー・トレーニング — 最初の列車の配送に間に合うように、ドライバーのグループをトレーニングする必要がある。

3/ DLP における障害の追跡、問題の解決、スペアの管理、及び障害の修正を行うために必要な要員は僅かである。

図 6-3：事業実施スケジュール

### 6.2.3 コンサルタント業務

調査団が提案するコンサルタント業務の TOR の概要を次の表に示す。

**表 6-4 : コンサルタント業務の概要**

Item	Contents								
1. Scope of Services	<p>Time-Based Contract for rolling stock procurement under the design-build method. Main role of the work supervisor is to conduct independent and professional monitoring and checksof the quality, cost-efficiency and timeliness of the construction works done by the Contractor up to the completion of the project. Main activities of the work supervisor are as follows:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Prepare the Basic Design for the new Rolling Stock</li> <li>2) Prepare the safety case for the new Rolling Stock and work with the Independent Safety Assessor (ISA) to gain approval and acceptance by TTC of the new Rolling Stock including liaison with the ISA</li> <li>3) Manage the interfacing/integration of the new Rolling Stock into the existing Tbilisi Metro</li> <li>4) Provide assistance in preparation of bidding and PQ documents</li> <li>5) Provide assistance during the Bidding phase</li> <li>6) Manage the design process - a) Manage schedule, b) Manage design document submittals, c) Review design documents and make comments, d) Track the close-out of review comments, e) Manage the Safety Case, f) Manage the interfaces and integration</li> <li>7) Provide assistance/supervision services during construction (manufacture, assembly and delivery) of the new Rolling Stock - a) Review construction schedule and manage it, b) Progress reporting, c) Quality reviews and audits, d) Factory inspection and oversight to ensure build quality</li> <li>8) Provide assistance during the testing of the new Rolling Stock - a) Review the test plan, b) Review test procedures and test reports, c) Define systems integration tests, d) Oversee systems testing</li> <li>9) Manage driver training for the new Rolling Stock</li> <li>10) Provide assistance during the handover and acceptance of the new Rolling Stock - a) Define and manage the handover process, b) Prepare handover/acceptance criteria, c) Prepare and manage handover/acceptance certification, d) Manage readiness reviews</li> <li>11) Review as-built drawings, issue comments and oversee close-out of comments</li> <li>12) Provide assistance during the defects liability period - a) Defect reporting, b) Oversight of spares management, c) Oversight of failure/issues management - response and rectification of failures, d) Failure trend analysis</li> <li>13) Provide O&amp;M training</li> <li>14) Provide technology transfer</li> </ol>								
2. Expected Schedule	<p>Basic design and tender documentation – 6 months  Assistance in tender – 15 months  Construction supervision (incl. testing, commissioning, and handover) – 41 months  Defects liability period – 24 months  Refer to the 6.2.2 Project Implementation Schedule</p>								
3. Expertise Required	<p>Total number of staff and person-month:  International - 13 experts with 230 person-month  Local – 10 experts with 203 person-month  <u>International Experts</u></p> <table> <tr> <td>Team Leader (RS Electrical)</td><td>Contract Expert</td></tr> <tr> <td>Interface Manager</td><td>Systems Assurance Manager</td></tr> <tr> <td>Requirements Manager</td><td>RS (Mechanical)</td></tr> <tr> <td>RS Testing &amp; Commissioning Expert 1</td><td>Factory QA Inspector 1</td></tr> </table>	Team Leader (RS Electrical)	Contract Expert	Interface Manager	Systems Assurance Manager	Requirements Manager	RS (Mechanical)	RS Testing & Commissioning Expert 1	Factory QA Inspector 1
Team Leader (RS Electrical)	Contract Expert								
Interface Manager	Systems Assurance Manager								
Requirements Manager	RS (Mechanical)								
RS Testing & Commissioning Expert 1	Factory QA Inspector 1								

Item	Contents
	Traction Power Supply Expert 1      Signalling and Communications 1 Depot/Workshop Expert 1      O&M Expert <u>Local Experts</u> Deputy Team Leader (RS Electrical)      Assistant Interface Specialist RS (Mechanical)      RS Testing and Commissioning Expert 2 Factory QA Inspector 2      Traction Power Supply Expert 2 Signalling and Communications 2      Depot/Workshop Expert 2 Document Controller      Safety and Health Expert
4. Reporting	<u>Basic Design and Tender Documentation</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Design definition report, presenting the design criteria and standards.</li> <li>• Draft outline design report, presenting detailed engineering design.</li> <li>• Final design report including cost estimate, bid plan, pre-qualification and technical evaluation criteria and bidding documents.</li> </ul> <u>Tender Assistance</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pre-qualification evaluation report</li> <li>• Technical evaluation report</li> <li>• Tender evaluation report</li> </ul> <u>Supervision Services</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Inception report</li> <li>• Monthly progress report</li> <li>• Project completion report</li> <li>• Rolling Stock Operations training report</li> </ul> <u>Factory inspection/testing report</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Quality inspection reports</li> <li>• Defect identification and resolution report</li> <li>• Defects Reporting &amp; Corrective Actions (DRACAS)</li> </ul> <u>Interfacing, Integration and Handover &amp; Acceptance</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Periodic Integration Status Reports</li> <li>• Review of As-built drawings</li> <li>• Final Integration Test Report</li> <li>• Handover &amp; Acceptance Report</li> </ul>

出典：調査団

## 6.2.4 独立安全評価者 - (Independent Safety Assessor (ISA))

TTC の提供資料「The Requirements for General Specification of Metro Cars」が、示すように鉄道の設計、開発、又は運用担当（TTC）とは別に Independent Safety Assessor（ISA）が任命されるべきである。独立安全性とは、車両の安全要件が目的の用途に適切かつ十分であり、新しい車両と運用、及び維持管理（O&M）方法は、これらの安全要件に準拠していることを意味する。つまり、ISA の責任は、関連する全ての技術的、及び運用上の危険が許容可能な程度まで軽減されていることを確認することである。

以下に示す ISA の業務概要を、他のプロジェクトの経験と業界のベストプラクティスに基づいて提案する。近年、業界のベストプラクティスでは、車両供給者が安全コンプライアンスの評価に単独で責任を負うべきではないことが判明している。この業務は ISA に割り当てる必要があり、以下の業務範囲が ISA との契約で必要となる典型的なものである。

- 1) Perform the independent safety assessment of the new Rolling Stock evaluating the Rolling Stock supplier's conformity to EN50126

- 2) Prepare and submit an Independent Safety Assessment Plan
- 3) Conduct periodic safety assessments throughout the design, manufacture/assembly, testing, handover & acceptance phases of the project
- 4) Conduct periodic Safety Assessment audits
- 5) Evaluate the Rolling Stock supplier's Quality Management System
- 6) Evaluate the competency of the Rolling Stock supplier's staff and organization
- 7) Evaluate the Rolling Stock supplier's Change Management System for evidence of use and application
- 8) Review specifications, drawings, schedules, plans, reports, and other Safety Case documentation as required to establish an independent assessment
- 9) Review Hazard Identification documents including the PHA, IHA, OSHA and SSHA
- 10) Review and assess the Hazard Log, risk assessments, risk mitigations and other safeguards
- 11) Review the assignments and calculation of Tolerable Hazard Rates (for safety-related hazards)
- 12) Review and assess the identification, apportionment, and management of safety-related requirements
- 13) Review SIL allocation and apportionment
- 14) Evaluate the verification and validation of safety-related requirements
- 15) Review RAM analysis, failure analysis and methods
- 16) Review the Safety Case documentation
- 17) Prepare and submit ISA audit reports
- 18) Prepare and submit monthly ISA reports
- 19) Prepare an interim Independent Safety Assessment Report at the completion of the Design Phase
- 20) Prepare an interim Independent Safety Assessment Report prior to delivery of the first 2 trains
- 21) Prepare an interim Independent Safety Assessment Report prior to handover of the first 2 trains
- 22) Prepare a final Independent Safety Assessment Report following handover of the last train

## **6.3 ファイナンスの検討**

### **6.3.1 潜在的オプション**

本事業は、道路交通に比べて環境負荷の低い公共交通システムの改善に寄与することに加え、省エネ効果が高く耐久性に優れる製品を用いた車両を調達することにより、温室効果ガスの排出削減への直接的な貢献が期待される。この意味で、譲許性の高いソフトローン等、海外からの比較的有利な条件のファイナンスを得られる可能性は高いと考えられる。潜在的なオプション例として下記がある。

- トビリシ都市交通に対する支援を近年実施している EBRD、ADB を始めとする国際開発金融機関からの融資
- 日本の省エネ効果及び耐久性に優れた製品の導入の可能性を念頭に置いた、日本の支援スキームの活用
- その他の二国間援助機関からの融資

本調査の結果を基に、TCH・TTC により本事業の実施に向けた検討が行われ、早期実施が必要との結論が出された場合、ジョージア中央政府における財務省（Ministry of Finance）や経済・持続的発展省（Ministry of Economy and Sustainable Development）等との本事業の実施に係る協議が行われるものと理解している。その際に、資金ソースのオプションについても具体的な検討がなされることが重要である。

### 6.3.2 日本の支援スキーム

本事業に対する潜在的な日本の支援スキームとして、日本政府が100%出資する政策金融機関である株式会社国際協力銀行（JBIC）による輸出金融、及び日本の政府開発援助（ODA）の主要実施機関である独立行政法人国際協力機構（JICA）が実施している有償資金協力（円借款供与）がある。ただし、円借款については、既存鉄道システムの車両更新を主体とする事業への円借款供与の実績不足から、本事業の資金ソースオプションとして適するか否かは不透明と言える。この点、及び本調査開始以前にジョージア側関係機関がJBIC 融資に関心を示していたことを考慮し、一例として、JBIC の輸出金融の概要、及びJBIC 輸出金融を想定した返済キャッシュフローの試算を以下に示す。

#### (1) JBIC 輸出金融

国際協力銀行（JBIC）による輸出金融は、日本企業や日系現地法人等の機械・設備や技術等の輸出・販売を対象とした融資で、バイヤーズ・クレジット（B/C）或いはバンクローン（B/L）が、外国の輸入者又は金融機関等に対して直接融資される仕組みである。下図にJBIC 輸出金融のスキームを示す。融資先が輸入者の場合をバイヤーズ・クレジット、金融機関等の場合をバンクローンと呼ぶ。JBIC は通常、一般の金融機関と協調して必要な資金を融資する。

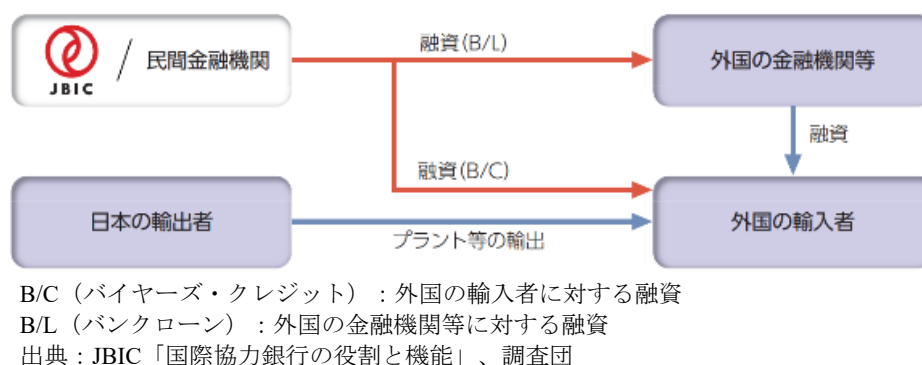


図 6-4：JBIC による輸出金融スキーム



輸出金融の融資条件は、OECD 公的輸出信用アレンジメントに基づき決定される。下表に主な条件を示す。

**表 6-5 : JBIC 輸出金融の主な条件**

項目	条件																			
輸出企業	日本企業、日系現地法人																			
融資先（鉄道案件の場合）	当該国政府等（注：JBIC の事例に基づく）																			
支払い条件	海外コスト総額の最低 15%を頭金として支払う。																			
カバレッジ	<ul style="list-style-type: none"><li>● 海外コスト（日本・第三国による商品・サービス）：海外コスト総額の最大 85%までの支援</li><li>● ローカルコスト（現地で調達される商品・サービス）：高所得 OECD 国以外では、海外コスト総額の最大 50%までの支援</li></ul>																			
融資通貨	円以外の通貨（米ドル、ユーロ等）による貸付も可能																			
融資期間	事業毎に異なる。																			
償還期間（鉄道案件の場合）	高所得 OECD 国以外では、最長 14 年（注：OECD 公的輸出信用アレンジメント・鉄道セクター了解に基づく）																			
返済方法	半年毎、元本均等返済																			
融資割合	JBIC の融資割合は 6 割程度																			
金利：JBIC 分	<div>CIRR（市場貸出基準金利）＋ OECD リスクプレミアム</div> <div><ul style="list-style-type: none"><li>● 2021 年 12 月 15 日～2022 年 1 月 14 日までの CIRR の例：</li></ul></div> <table><tr><th rowspan="2">通貨</th><th colspan="3">償還期間</th></tr><tr><th>5 年以内</th><th>5 年超～8.5 年以内</th><th>8.5 年超～</th></tr><tr><td>日本円</td><td>0.88%</td><td>0.91%</td><td>0.94%</td></tr><tr><td>米ドル</td><td>1.82%</td><td>2.20%</td><td>2.45%</td></tr><tr><td>ユーロ</td><td>0.28%</td><td>0.43%</td><td>0.58%</td></tr></table> <div>出典：JBIC ウェブサイト（2021 年 12 月末に参照）</div> <div><ul style="list-style-type: none"><li>● OECD リスクプレミアムは OECD 公的輸出信用アレンジメントに基づいて設定される。</li></ul></div>	通貨	償還期間			5 年以内	5 年超～8.5 年以内	8.5 年超～	日本円	0.88%	0.91%	0.94%	米ドル	1.82%	2.20%	2.45%	ユーロ	0.28%	0.43%	0.58%
通貨	償還期間																			
	5 年以内	5 年超～8.5 年以内	8.5 年超～																	
日本円	0.88%	0.91%	0.94%																	
米ドル	1.82%	2.20%	2.45%																	
ユーロ	0.28%	0.43%	0.58%																	

注：CIRR = Commercial Interest Reference Rate

出典：JBIC ウェブサイト、OECD 公的輸出信用アレンジメント（OECD Arrangement on Officially Supported Export Credits）を基に調査団作成

## (2) 返済キャッシュフローの試算

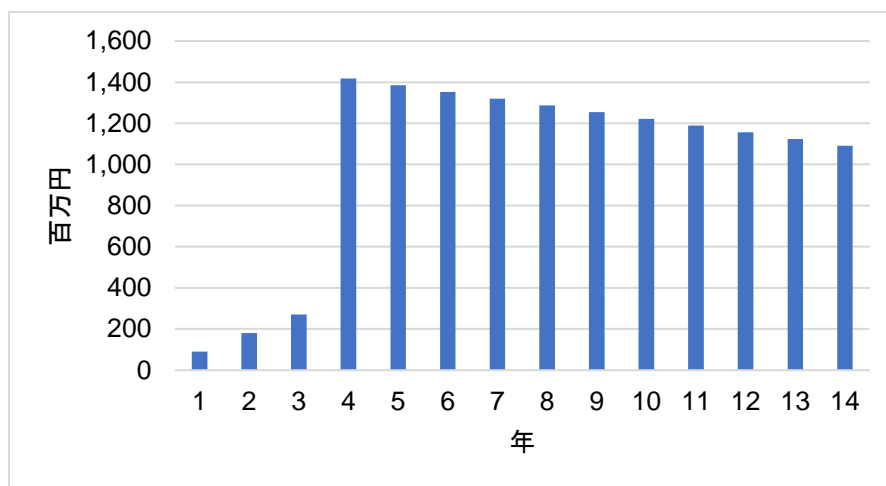
上記のJBIC 輸出金融の条件を参考にしつつ、下表の条件設定を行い、輸出金融を想定した場合の返済キャッシュフローの試算を行った。融資額は本事業の事業費を参考に、120億円と設定した。次図に返済キャッシュフローの試算結果を示す。

**表 6-6：輸出金融を想定した返済キャッシュフローの試算に用いた条件**

項目	輸出金融の想定条件
融資額	120 億円
金利	3.0%
償還期間	14 年（11 年均等返済）
据置期間	3 年
貸付回数	4 回（融資開始年より融資額の 25%ずつを各年で貸付）

出典：調査団による設定

据置期間以降の返済金額は年間 11～14 億円であり、非常に大きな財政負担にはならないものと考えられる。また、輸出金融の大きな利点は、日本企業や日系現地法人等の機械・設備や技術等の輸出・販売を対象とした融資であり、調達のための入札が必要とされず、調達が迅速に行い得る点である。勿論、競争入札を経ない調達が貸付先の国で可能か否かは、当該国の制度や関係者間の交渉等による。



**図 6-5：輸出金融を想定した返済キャッシュフローの試算結果**



## 第7章 環境改善効果・環境社会面の影響等

### 7.1 環境社会面における現状分析

#### 7.1.1 大気質

プロジェクト周辺地域における大気汚染物質として、浮遊粒子状物質（PM10、PM2.5）、オゾン（O<sub>3</sub>）、二酸化窒素（NO<sub>2</sub>）、ベンゼン（N<sub>6</sub>O<sub>6</sub>）を示したものである。車両交通由来と考えられる、PM10 と二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)には、国内基準の基準値を越えた値が見られる。トビリシ都市圏において、車両所有数は増加傾向にあり、車両交通量は今後さらに増加することが予測されており、大気質は悪化する可能性がある。

表 7-1 トビリシ市の浮遊粒子状物質の状況（2018-2020）

Pollutants	PM10 ( mg / m <sup>3</sup> )			PM2.5 ( mg / m <sup>3</sup> )		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Location of the Monitoring Station						
Akaki Tsereteli Avenue 105	51	49	39	23	24	20
Al. Kazbegi Avenue, near red park	42	37	33	17	17	16
Varketili 3, I Micro, nearby the Building №2	38	39	33	19	20	17
Marshal Gelovani Avenue 6	36	35	-	17	19	-
*D. Agmashenebeli Avenue 73a “Ilia’s Park”	-	-	41	-	-	22
Georgian standard	40			25		
WHO standard*	25			10		

出典：トビリシ市

註：WHO Air quality guideline 2005, Guidance Value

事業内の大気質に関しては、地下鉄駅及び駅を結ぶトンネルで適切な空気循環を提供するために、空調設備が設置されている。2017年のFSレポート”Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade”によると、これらの空調設備は、57 台の換気設備を備えているが、最大 11 台の機器（約 20%）が故障しており、機能していない状態である<sup>26</sup>。構内で大気質の観測が行われおらず、この問題が地下鉄駅の大気質に与える影響は不明であり、地下鉄駅の現在の大気質が大気質基準に適合していないとは必ずしも断定できないが、重大な問題を起こす可能性がある。この問題の解決のために、ADB ローン Tranche 5 Rehabilitation and Improvement of Tbilisi Metro で上記換気設備の復旧工事が行われている。

<sup>26</sup> Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade, Final Report, November 2017

表 7-2 トビリシ市の大気の状態（オゾン、二酸化窒素、ベンゼン）（2020）

単位（Mcg/m<sup>3</sup>）

青：非常に良い、緑：良好、黄：平均、ピンク：悪い、赤：非常に悪い

<b>Ground-level ozone (O3)</b>					
<b>Margin mcg / m3</b>	<b>0-80</b>	<b>80-120</b>	<b>120-180</b>	<b>180-240</b>	<b>240-600</b>
<b>Nitrogen dioxide (NO2)</b>					
<b>Margin mcg / m3</b>	<b>0-26</b>	<b>26-40</b>	<b>40-75</b>	<b>75-200</b>	<b>200-1000</b>
<b>Benzene (C6H6)</b>					
<b>Margin mcg / m3</b>	<b>0-2</b>	<b>3-5</b>	<b>5-7</b>	<b>7-10</b>	<b>10 - 32</b>

N	Address	NO2					O3					C6H6				
		I	II	III	IV	Average annual	I	II	III	IV	Average annual	I	II	III	IV	Average annual
1	Tbilisi, Rustaveli Avenue 6	109.12	84.91	80.95	76.03	87.75										
2	Tbilisi, Melikishvili Avenue N2	86.32	64.70	58.93	65.83	68.95						1.9	1.6	2.0	3.2	2.18
3	Tbilisi, Ushangi Chkheidze Str. N9	50.34	39.90	41.87	48.12	45.06										
4	Tbilisi, Joane Petritsi Str.	42.87	38.23	39.83	46.95	41.97										
5	Tbilisi, Tianeti Highway N29	41.39	29.78	31.15	38.76	35.27										
6	Tbilisi, Tsotne Dadiani Str. N275	73.53	62.12	63.49	59.08	64.56										
7	Tbilisi, Tsereteli Avenue N 60	78.30	68.61	64.09	54.25	66.31						2.0	1.9	2.6	3.8	2.58
8	Tbilisi, Abashidze Str. N 27	74.92	51.78	53.62		60.11										
9	Tbilisi, Pekini Avenue N 21	69.87		60.58	53.52	61.32										
10	Tbilisi, Ketevan Tsamebuli Avenue N 80	97.23	78.53	80.01	75.22	82.75										
11	Tbilisi, Varketili, Javakheti Str. N5	86.13	67.29	66.31		73.24						1.9	1.9	2.7	3.8	2.58
12	Tbilisi, Qiziki Str. N 13	48.41	40.11	40.35	37.10	41.49										
13	Tbilisi, Digomi Park	24.37	24.99	25.91	32.17	26.86										
14	Tbilisi, Lisi Lake	9.74	10.37	14.00	22.44	14.14	84.33	94.4	41.85	39.20	64.95					
15	Tbilisi, Veteran Park	36.11	30.80	28.53	37.91	33.34										
16	Tbilisi, Zoo	40.96	35.18	35.89	44.88	39.23										
17	Tbilisi, Dedaena Park	35.37	29.93	31.23	41.48	34.50										
18	Tbilisi, 9 April Park	38.27	33.37	33.39	44.70	37.43										
19	Tbilisi, Komarov School	25.5	23.24	29.14	38.70	29.15										
20	Tbilisi, Gldani Park	63.07	62.01	34.35		53.14	81.19		85.13		83.16					
21	Tbilisi Adjacent to Trinity Church	38.89	31.21	32.58	43.28	36.49										
22	Tbilisi, Mushtaidi Park	39.82	34.80	33.44	40.13	37.05										
23	Tbilisi, Krtsanisi Park	24.43	22.58	25.10	34.10	26.55										
24	Tbilisi, Didi Digomi, Public School N186	29.93	23.01	26.98	34.13	28.51										
25	Tbilisi, Navtlugi, Sergi Tsuladze Str.	35.76	31.15		36.85	34.59										
26	Tbilisi, Turtle Lake						132.89	111.9	96.6	66.34	101.93					
27	Botanical Garden						76.89		64.67		70.78					

出典：トビリシ市

### 7.1.2 騒音・振動

トビリシ地下鉄は、いくつかの地下鉄駅と連結するトンネルを除いて、全線がかなり深い場所にあり、その運行に起因する騒音や振動は、隣接する地域に住む人々に影響を与えることは考えにくい<sup>27</sup>。地下鉄運営側は、地下鉄営業開始以来長年の間、迷惑な騒音や振動のために住民から書面および/または口頭での苦情は提出されていないとしている<sup>28</sup>。

ただし、地下鉄システム内の 17025 基準に沿って国家認定を取得している研究所は、関連する分析を毎年計画的に行っている。地下鉄の列車内の現在の騒音レベルは、新しい列車車両に推奨される通常の値を遥かに上回る。

振動の測定は、地下鉄駅及び連結するトンネルの両方で年に 1 回測定される。地上振動はどの計画でも測定されていない。ただ、地下鉄 Delisi 駅（最も深い駅）の領域では、数回測定されており、これまでのところ違反は確認されていない。騒音の測定は、関連計画の下で、年に 1 回、地下鉄駅及び連結するトンネルの両方で実施されている<sup>29</sup>。

### 7.1.3 生態系

#### (1) 地域の概要

トビリシ市の土地利用では、森林やレクリエーション用地が半数近くを占め自然環境が豊富である（7.1.7 土地利用参照）。事業地域はこれらの緑地ではなく、市街地エリアを通過する。事業の東側にトビリシ貯水池、事業の北側にトビリシ国立公園が広がる。

#### (2) トビリシ海（トビリシ貯水池）

トビリシ海（Tbilisi Sea）は、長さ 8.75km、幅 2.85 km の 1953 年にオープンした人口湖である。水量は 3 億 800 万 m<sup>3</sup>、最大深度は 45m、平均深度は 26.6m である。近年、ヨットクラブ、屋内外のプールとフィットネス施設などのスポーツ施設や観光スポットが隣接し、トビリシ市民の人気のレクリエーションスポットとなっている。また、小崖が近接しており、良好な景観スポットを形成している。都市近郊の水系生態系を形成しているため、ある程度の重要性は見られるが、貴重生物の生息情報はない。

#### (3) トビリシ国立公園

図 7-1 で示すように、事業北端の Akhmeteli 駅から 4.4 km にトビリシ国立公園が位置している。同公園は、2007 年 12 月 3 日、ジョージア国議会は「トビリシ国立公園に関するジョージア国法」によって制定され、この地域に典型的な貴重種の植物と森林生態系の保護、生物と景観の多様性の保護、生態系保護、レクリエーションの発展、中央部のトビリシ国立公園の自然部分でのエコツーリズムと環境教育活動を推進することを目標に掲げている。同取り決めはジョージア国環境法の原則に基づく環境と生物多様性の保護に関連するジョージア国が締結した国際条約にも合致している。

<sup>27</sup> Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade, Final Report, November 2017

<sup>28</sup> Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade, Final Report, November 2017

<sup>29</sup> Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade, Final Report, November 2017



出典：Google map より作成

図 7-1：トビリシ国立公園から北端の Akhmeteli 駅までの距離

トビリシ国立公園は、コーカサスの主要な尾根の南斜面のサグラモ-ヤルノ尾根と、海拔 600～1766m の斜面に位置し 「Mtkvari」 川から「ToIora」 川までの水系を含む。東西に 30km、南北に 14km を占める総面積は 21,031 ヘクタール (210.3km<sup>2</sup>) の広大な土地で、同公園の事務所はムツヘタ市内にある。図 7-2 は、国立公園の概要を示したものである。広大な敷地を持つ公園であるため、厳重保護区域 (赤)、散策区域 (黄)、伝統的利用区域 (緑)、歴史文化区域 (青) というようなゾーン分けをして管理を行っている。加えて、散策道 (ピンク線) 自転車専用道 (青線) など整備されている。





図 7-2 : トビリシ国立公園の概要

森林に生息する木々は、海拔によって異なる特徴を持つ。海拔 600m まではジュニパー、セージブラシ、その他の低木である。海拔 600 m から 1000 m まで落葉樹のブナ科コナラ属の森林が続き、オーク、コブカエデ、シデなどが主である。海拔 1000 m から 1600m では、ブナ科の森林が続き、ブナ、カエデに代表される。

トビリシ市とムツヘタ市にトビリシ国立公園が存在することで、絶滅の危機に瀕している生物多様性の保全、次世代ジョージア国の公園エリアの保護・復元・保全が可能となり、周辺住民のレクリエーション及び環境意識の向上に役立っている。さらに、トビリシ国立公園は、東ヨーロッパの野生生物の宝庫であるジョージア国の豊かな自然遺産であり、生態学的回廊を介して同国の他の保護地域に接続され、統一されたネットワークを形成する。

公園は生物多様性にあふれており、250 種の鳥類、24 種の哺乳類、14 種の爬虫類、両生類が生息している。また、国立公園の植物は、草花や樹木の種の総数は 688 種が確認されており、これらの内訳は、木-27 種、低木-76 種、木本植物-103 種、多年生-381 種、隔年草 45 種、一年草-159 種、その他 581 種である。

表 7-3 は同国立公園に生息する哺乳類と鳥類を示したものである。鳥類では、IUCN で NT (近危急種) や LC (低危険種) が多くみられる表 7-4 に示す哺乳類では、ジョージア国内分類による貴重種が 3 種生息している。同事業は、地下鉄の車両交換であり地上への影響は予測されない。本事業では、工事期にもアクセス道路、借用エリア、建設キャンプ等の利用予定はないため、事業による同保護区への影響は予測されない。

表 7-3：トビリシ国立公園で見られる主な鳥類

No.	目 (Order)	科 (family)	化学名称	通称	ジョージア国分類	IUCN 分類
1	ACCIPITRIFORMES	Accipitridae	<i>Milvus milvus</i>	Red Kite	Cas	NT
2	GRUIFORMES	Rallidae	<i>Crex crex</i>	Corncrake	BB, M	LC
3	PASSERIFORMES	Sittidae	<i>Sitta krueperi</i>	Krüper's Nuthatch	YR-R	LC
4	FALCONIFORMES	Falconidae	<i>Falco tinnunculus</i>	Common Kestrel	YR-R, M	LC
5	ACCIPITRIFORMES	Accipitridae	<i>Aquila chrysaetos</i>	Golden Eagle	YR-R	LC
6	ACCIPITRIFORMES	Accipitridae	<i>Gypaetus barbatus</i>	Bearded Vulture (Lammergeier)	YR-R	NT
7	ACCIPITRIFORMES	Accipitridae	<i>Buteo rufinus</i>	Long-legged Buzzard	YR-R, M	LC
8	ACCIPITRIFORMES	Accipitridae	<i>Circus cyaneus</i>	Hen (or Northern) Harrier	WV, M	LC
9	FALCONIFORMES	Falconidae	<i>Falco biarmicus</i>	Lanner Falcon	YR-R, M	LC

出典：調査団

註：NT Near threatened 近危急種、LC Least Concern 低危険種

表 7-4：トビリシ国立公園で見られる主な貴重種（哺乳類）

No.	英和名	化学名称	地元での貴重性	ジョージア国レッドリストの分類	IUCN 分類
1	Deer アカシカ	<i>Cervus elaphus</i> Linnaeus	珍しい	CR－絶滅危惧種	LC 低危険種
2	lynx オオヤマネコ	<i>Lynx lynx</i> Linnaeus	珍しい	CR－絶滅危惧種	LC 低危険種
3	Brown Bear ユーラシアヒグマ	<i>Ursus arctos</i> Linnaeus	珍しい	CR－絶滅危惧種	LC 低危険種

出典：調査団

### 7.1.4 水質

ジョージア国は水資源が豊富な国である。1人当たり水資源賦存量は、ヨーロッパでも有数であり、15,821.0 m<sup>3</sup>/人・年（2018）となっている<sup>30</sup>。これは、世界平均 7,254 m<sup>3</sup>/人・年(2019)と比較しても大幅に大きい<sup>31</sup>。

トビリシ市の表層水の状況は、ジョージア国環境農業省によるジョージア国環境白書（2014-2017）に示されている<sup>32</sup>。同書でトビリシ市内にあり、比較的事業に近接する Kura 川、Vere 川、Dighmula 川の状況を見てみると、これらの川では、富栄養化によりプランクトンが異常増殖し、水質の悪化を招くアンモニア性窒素（NH<sub>4</sub><sup>+</sup>）の増大が課題となっている。例えば、ジョージア国法による最大許容濃度 0.390mg/l に対し、Vere 川では 4.7 倍、Dighmula 川では 2.4 倍、Vakhushti 橋近くの Kura 川では 2.0 倍となっており、市内での事業においては、水質の状況に十分注意する必要がある。ただし、今回の事業スコープでは、洗浄水等の排水はスコープ外であり、水質の悪化などは予測されない。

トビリシ市の水道は Georgian Water and Power（GWP）によって管理・供給される。GWP はジョージア国と南コーカサスの水道市場の中核的な企業であり、トビリシ市とムツヘタ市の住民だけでなく、行政組織、産業、商業に水を提供している。GWP によると、飲料水は 53 の対象物質に従って検査され、対象物質のチェックは、国の規制による時間と期間を含む詳細な手順によるものである。ほとんどの対象物質は時間単位あるいは週単位の制御対象物質であり、厳しく監視されている。その他の対象物質は、月次または年次ベースでのみ検査される。同検査によると対象物質は全て、最大許容濃度よりも大幅に低くなっている。水質は、人口の安全のために首都の給水ネットワークで絶えず検査されている<sup>33</sup>。

トビリシ地下鉄の全ての駅とその補助インフラは、市の中央排水システムに接続されている。現在、第 1 と第 2 の車両基地における車両洗浄エリアから発生する廃水に課題が見られる<sup>34</sup>。

Saburtalo ラインと 1 日に少なくとも 2 つの列車セットにサービスを提供する「Nadzaladevi」（車両基地 #1）の車両洗浄エリアは、1 日に最低 4 トンの水を使用する。排水は、洗浄エリアの床に設置された集水器から回収される。洗浄エリアの管理者によると、未処理の廃水（汚染度が高い可能性が高い）は Mtkvari 川に直接排出される。状況は、Gldani-Varketili ラインにサービスを提供する「Gldani」（車両基地 #2）でもほぼ同じである。

その規模に続いて、車両基地では、1 日に 6 又は 7 車両のセットが提供され、その洗浄エリアは、集水装置を介して中央の排水システムに直接 12～14 トンの汚染水を排出する。どちらの洗浄エリアでも廃水の機械的または生物学的処理は行われておらず、廃水の成分の分析もない。よって現在の手順では、水質汚染の程度は高いと考えられる。特に深刻なのは、廃水が Mtkvari 川に直接排出される車両基地 #1 の状況である。将来的に燃料と潤滑油が廃水から分離されるように、最初に沈砂池を設計して設置する必要があるが、EBRD ローン Tranche 2 for rehabilitation of a depot and tunnel で車両基地の改善が行われると

<sup>30</sup> <https://knoema.com/atlas/Georgia/topics/Water/Total-Renewable-Water-Resources/Renewable-water-resources-per-capita>

<sup>31</sup> FAO（国連食糧農業機関）「AQUASTAT」2019 年

<sup>32</sup> National Report on State of Environment of Georgia 2014-2017

<sup>33</sup> Georgian Water and Power 2021

<sup>34</sup> Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade, Final Report, November 2017

思慮される。

### 7.1.5 廃棄物

下表はトビリシ市の家庭系一般廃棄物量の状況をまとめたものである。トビリシ市では 2014 年から 2019 年まで総家庭系一般廃棄物量は増加傾向にあるものの 2020 年に減少となった。また一人当たりの年間発生量を見ると 2018 年をピークに減少している。一人当たり一日発生量 (g/人日) で見ると 2020 年は 899.7g/人日、2021 年は 917.1 g/人日 (予測値) で、日本国 (全国 918 g/人日、東京都 877g/人日、2019 年) とほぼ同水準となっている。

表 7-5 : トビリシ市の廃棄物量 (2014-2021)

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021 予測値*
年間総廃棄物量 (トン)	368.7	360.4	380.3	397.5	416.7	411.7	379.1	392.3
トビリシ市の人口 (千人)	1071.2	1085.6	1101.7	1115.1	1128.4	1140.7	1154.3	1172.0
一人当たり年間 (kg)	344.2	331.9	345.2	356.5	369.3	360.9	328.4	334.7
一人当たり一日 (g)	943.1	909.4	945.8	976.6	1011.7	988.9	899.7	917.1

資料 : Tbilsservice group Ltd./ <https://www.geostat.ge/en/modules/categories/93/regional-statistics>

註 : 廃棄物値は 2021 年 1 月～11 月までの実測値 (359.6 トン) を 12 カ月に予測計算して行ったもの。人口は geostat の値。

本事業は、車両更新事業であり旧車両の廃棄処分等はスコープ外のため、工事期の廃棄物の発生は考えにくい。また、供用時においても、駅舎や車両基地の管理は事業スコープ外のため、廃棄物の発生は考えにくい。

### 7.1.6 文化遺跡

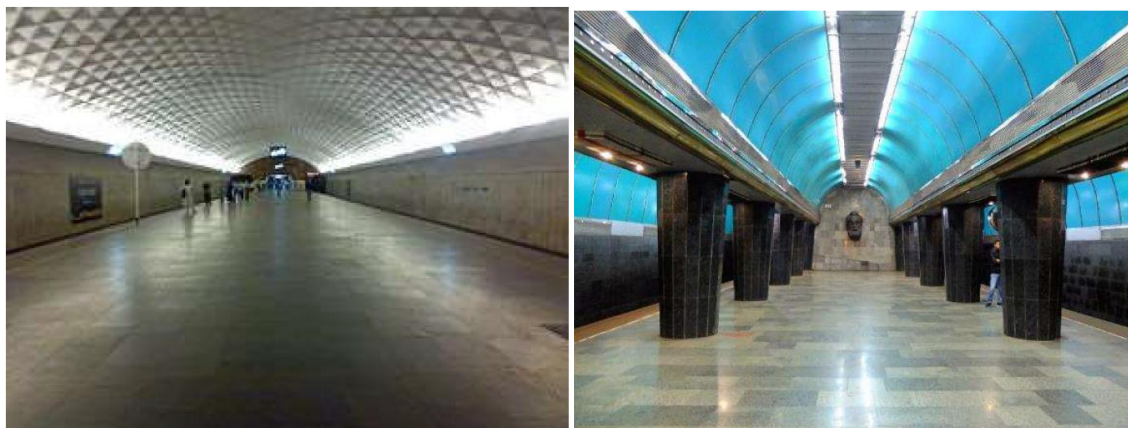
トビリシ市には、トビリシ歴史地区が UNESCO の世界文化遺産として存在する。トビリシ市にはジョージア国の都市遺産として、何世紀にもわたって外国の影響を受けてきた興味深いプロセスと、伝統的なジョージア国特有の住居への創造的な変革と他国様式の適応などに特徴がある。主な要因として、ヨーロッパとアジアの交差点にあるジョージアの地政学的な位置と歴史的条件があり、これらは 15 世紀にわたって首都であり続けているトビリシに劇的な影響を与えてきた<sup>35</sup>。

建築物の層は、封建時代の自発的に開発された都市構造、19 世紀の定期的な計画、および「スターリン時代」の建物とともに、紀元後 6 世紀の同都市創設時代にも遡る壮大なものである<sup>36</sup>。伝統的な南部の住居の特徴的な要素であるバルコニーと中庭は、トビリシの住居の特徴である。この「オープン住居」といわれる「トビリシアン」モデルは、中庭とバルコニーと通りとの接続が絶妙で、木とレンガという均質な建築材料で造成されている。これらの建物群は、既に運行する地下鉄の影響をうけておらず、車両更新のみの本プロジェクトによる負の影響は考えにくい。

<sup>35</sup> UNESCO World Heritage Centre 2021

<sup>36</sup> 同上

一方、地下鉄駅の特定のデザインに歴史的関心を持つ人々もいる。事業内に存在する駅は適切な清潔さを保ち、定期的なメンテナンスがなされていて、かつ、大規模な改修が何年も行われたことがないため、殆どの駅は旧ソ連当時のデザインのままだ。特に、Teknikuri 駅及び Tsereteli 駅のデザインを生かすことに関心が高い人々も存在する<sup>37</sup>。



出典：Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade, Final Report, November 2017

図 7-3：旧ソ連時代をそのまま残す地下鉄駅のデザイン

#### 7.1.7 土地利用

下表はトビリシ市の土地利用の状況である。森林やレクリエーション用地が半数近くを占めると状況となっている。自然環境が豊かなエリアであることがうかがえる。

表 7-6：トビリシ市の土地利用

分類カテゴリ	面積 (km <sup>2</sup> )	割合 (%)
総市街地	55.01	20.70%
景観	15.39	3.07%
森林	124.46	24.79%
衛生	0.44	0.09%
総レクリエーション	122.46	24.39%
総特別地区	17.53	3.49%
総工業地	22.74	4.53%
農業地帯	29.39	5.85%
総輸送	32.02	6.38%
総業務用地	15.56	3.02%
その他	19.01	3.69%
総土地利用	454.01	96.31%

出典：トビリシ市

<sup>37</sup> Pre-Feasibility Study for Tbilisi Metro Upgrade, Final Report, November 2017

## 7.2 プロジェクトの実施に伴う環境改善効果

### 7.2.1 自然・生活環境

- 地下鉄構内での騒音減少

騒音に関しては、現在の車両の騒音が大きいという結果がでているが、新車両への転換によって改善されることが予測される。

- 温室効果ガスの発生減少

エネルギー効率の高い車両を導入することによって温室効果ガスの発生減少が予測される。

### 7.2.2 社会環境

- 基本計画、地域/都市計画

供用後、維持された地下鉄の状態によって、将来の開発の選択肢の幅が保たれる。

- 社会インフラや社会サービス

供用後、維持された地下鉄の状態によって、社会インフラやサービスへのアクセスは引き続きよい状況が保たれる。

- 地域経済と生活・生計

維持されたインフラネットワークは、引き続き地域外の人口流入と経済発展に繋がる可能性がある。

## 7.3 プロジェクトの実施に伴う環境社会面への影響

### 7.3.1 プロジェクトの建設・運営に伴う環境面への影響

- 生活環境

車両調達後、敷地内での試験が行われるが、騒音、振動、大気汚染、水質汚濁などは想定されない。

- 自然環境

事業北端の Akhmeteli 駅から 4.41 km にトビリシ国立公園（保護区）があるが、工事期・供用時ともに本事業での影響はない。

- 社会環境

本事業は、事業敷地内で行われるため、用地取得関連の課題はない。

### 7.3.2 プロジェクトの建設・運営に伴う社会面への影響

特になし。

## 7.4 相手国の環境社会配慮関連法規の概要.

### 7.4.1 プロジェクト実施の際に関係する環境関連法規の概要

ジョージアの環境影響評価実施の枠組みは、以下二つの法律により形成されている。

- ジョージア国環境影響許可法 The Law on Environmental Impact Permits (EIP) (2007)
- 環境影響評価規制 (2013)

「ジョージア国環境影響許可法」は、ジョージア国内において環境評価審査および環境影響許可の取得が義務付けられている 21 種類の活動、および、同許可の取得法を定義している。地下鉄道の建設は、環境影響許可の取得が必要な活動として 13 番目に記載されているが、地下鉄車両の交換のみである本事業は、対象に含まれない<sup>38</sup>。

EIA の手続きと要項は「環境影響評価規制」にて定義され、EIA 実施後、ジョージア国環境保全・農林省 (MoENRP) にその報告書を提出し、審査を通過する必要がある。今回事業はその対象ではない。

### 7.4.2 プロジェクト実施に必要となる相手国の EIA の内容

#### (1) ジョージア国における状況

ジョージア国では、地下鉄事業には EIA が適用されるが、車両の更新のみの本事業では適用されない。

#### (2) JBIC、JICA、EBRD、ADB における当該事業のカテゴリ分類

本事業では国際金融機関、日本の支援スキーム、またはその他二国間援助からの支援が期待される。本節ではそれぞれのスキームにおける本事業の環境カテゴリ分類についてみると共に、要求事項について確認する。

#### JBIC

JBIC の事業は、次の 4 つの環境カテゴリに分類される。

#### カテゴリ A

環境への重大で望ましくない影響のある可能性を持つようなプロジェクトはカテゴリ A に分類される。また、影響が複雑であったり、先例がなく影響の見積もりが困難であったりするような場合もカテゴリ A プロジェクトに分類される。影響は、物理的工事が行われるサイトや施設の領域を越えた範囲に及びうる。カテゴリ A には、原則として、影響を及ぼしやすいセクターのプロジェクト、影響を及ぼしやすい特性を持つプロジェクト及び影響を受けやすい地域あるいはその近傍に立地するプロジェクトが含まれる。環境管理計画 (EMP) を含む環境影響評価 (EIA) が必要である。

<sup>38</sup> LAW OF GEORGIA ON ENVIRONMENTAL IMPACT PERMITS



### カテゴリ B

提案されたプロジェクトの潜在的な環境への悪影響は、サイト固有のものであり、それらのいずれかが不可逆的であるとしてもごくわずかであり、ほとんどの場合、緩和策はカテゴリ A プロジェクトよりも簡単に設計できる。EMP を含む初期環境検査（IEE）が必要である。

### カテゴリ C

提案されたプロジェクトは、環境への悪影響が最小限であるか、全くない可能性がある。

- ① JBIC が支援する金額が 10 百万 SDR（特別引出権）相当円以下のプロジェクト
- ② 通常特段の環境影響が予見されないセクター及びプロジェクト  
（例：国際収支支援、既存設備のメンテナンス、追加設備投資を伴わない権益取得）
- ③ 特定プロジェクトと関連のない機器等の単体輸出入やリース等、プロジェクトに対する借入人もしくは当行の関与が小さく、当行が環境レビューを行う意義に乏しいと合理的に考えられる場合

EIA または IEE は必要ない。スクリーニング以降の環境レビューも省略される。

### カテゴリ FI

融資等が、金融仲介者等に対して行われ、融資承諾後に、金融仲介者等が具体的なサブプロジェクトの選定や審査を実質的に行い、当行の融資承諾（或いはプロジェクト審査）前にサブプロジェクトが特定できない場合であり、かつ、そのようなサブプロジェクトが環境への影響を持つことが想定される場合、カテゴリ FI に分類される。金融仲介業者は、すべての金融仲介業者の事業活動に環境への影響やリスクが最小限または全くない場合を除き、環境および社会的管理システムを適用および維持する必要がある。

この事業は環境カテゴリ「C」に分類されると予測される。

## JICA

JICA の事業は、次の 4 つの環境カテゴリに分類される。

### カテゴリ A

環境や社会への重大で望ましくない影響のある可能性を持つようなプロジェクトはカテゴリ A に分類される。また、影響が複雑であったり、先例がなく影響の予測が困難であるような場合、影響範囲が大きかったり影響が不可逆的である場合もカテゴリ A に分類される。影響は、物理的工事が行われるサイトや施設の領域を超えた範囲に及びうる。カテゴリ A には、原則として、影響を及ぼしやすいセクターのプロジェクト、影響を及ぼしやすい特性を持つプロジェクト及び影響を受けやすい地域あるいはその近傍に立地するプロジェクトが含まれる。影響を及ぼしやすいセクター・特性や影響を受けやすい地域の例示は示されている。

### カテゴリ B

環境や社会への望ましくない影響が、カテゴリ A に比して小さいと考えられる協力事業はカテゴリ B に分類される。一般的に、影響はサイトそのものにしか及ばず、不可逆的影響は少なく、通常の方策で対応できると考えられる。

### カテゴリ C

環境や社会への望ましくない影響が最小限かあるいはほとんどないと考えられる協力事業。

### カテゴリ FI

JICA の融資等が、金融仲介者等に対して行われ、JICA の融資承諾後に、金融仲介者等が具体的なサブプロジェクトの選定や審査を実質的に行い、JICA の融資承諾（或いはプロジェクト審査）前にサブプロジェクトが特定できない場合であり、かつ、そのようなサブプロジェクトが環境への影響を持つことが想定される場合、カテゴリ FI に分類される。

この事業は環境カテゴリ「C」に分類されると予測される。

## EBRD

EBRD の事業は、次の 3 つの環境カテゴリに分類される。

### 「A」レベルのプロジェクト

リストでは、大型で大規模な影響を及ぼすと思われる施設が 26 例挙げられている。具体的には石油精製所、発電所、原子力に関する施設、製鉄所、化学工場、各種道路、燃料輸送用パイプライン、港湾、廃棄物処理場などである。このリストの施設における「グリーンフィールド(未開発の土地)」・主要な拡張プロジェクト・EBRD が資金提供するプロジェクトの変革・転換に適用される。

### 「B」レベルのプロジェクト

「A」レベルのプロジェクトのリストに含まれていないすべての「グリーンフィールド」事業、主要な拡張または変革プロジェクトは、プロジェクトの場所、規模、その他の特性、または潜在的な特性がない限り、プロジェクト固有の「B」レベルの環境分析の対象となる。環境への影響には、「A」レベルの環境影響評価を実施する必要がある。

### 「C」レベルのプロジェクト

「A」レベルの環境影響評価または「B」レベルの環境分析のいずれも必要としないプロジェクトは、カテゴリ「C」で選別される。環境影響評価の「A」、「B」、または「C」の分類に関係なく、プロジェクトでは環境監査が必要になる場合がある。

この事業は「C」レベルのプロジェクトに分類されると予測される。

## **ADB**

ADB の事業は、次の 4 つの環境カテゴリに分類される。

### **カテゴリ A**

提案された事業は、不可逆的、多様、または前例のない重大な環境への悪影響をもたらす可能性がある場合、カテゴリ A に分類される。これらの影響は、物理的な作業の対象となるサイトまたは施設よりも広いエリアに影響を与える可能性がありうる。環境影響評価-EIA が必要となる。

### **カテゴリ B**

提案された事業が、その潜在的な環境への悪影響がカテゴリ A 事業よりも悪影響が少ない場合、カテゴリ B に分類される。これらの影響はサイト固有であり、不可逆的なものであるがごくわずかであり、ほとんど緩和策はカテゴリ A 事業よりも容易に設定できる。初期環境調査—IEE が必要である。

### **カテゴリ C**

提案された事業が、環境への悪影響が最小限または全くない可能性が高い場合、カテゴリ C に分類される。環境への影響を検討する必要があるが、環境影響評価-EIA は必要ない。

### **カテゴリ FI**

提案された事業が、金融仲介機関 financial intermediaries (FI) からの、または FI を通じた ADB 資金の投資を伴う場合、カテゴリ FI に分類される。

この事業は環境カテゴリ「C」に分類されると予測される。

## **7.4.3 プロジェクトの実現のために当該国がなすべき事柄**

本事業の環境社会配慮に与える影響は僅少で、様々な支援スキームの活用に際しても対象機関からの環境社会配慮上の要求は少ないことが予測される。

## 第8章 我が国企業の技術面等での優位性

日本の得意分野は主回路システムをはじめとする高度な電気機器であり、特に本案件では在来車両に対して消費エネルギーを半減するなど大きなメリットを生み出す最重要ポイントである。単に車両性能を満たすだけなら海外メーカーでも可能であるが、国内メーカーは高い機器効率を実現するとともに保守作業軽減に細やかな配慮をしている。たとえば装置の冷却方式は、欧州ではブロワーを使った強制風冷が主流なのに対し、日本ではヒートパイプなどを使った自然冷却で、清掃作業がほとんど不要である。また各コンポーネントの構成も、点検や交換が容易にできるよう配慮されている。

鉄道車両の輸出となると、最終製品である完成車両が脚光を浴びることが多いが、鉄道車両の製造は労働集約的な工程で、人件費が比較的高い日本で完成車両を製造しても、条件次第では価格競争力という意味では厳しい現実がある。「オールジャパン」としての完成車両を目指す一方で、対象国への輸出における地理的要因（優位性）や有望車両メーカーの有無などを踏まえ、車両を構成する基幹システムを日本製とする「コアジャパン」を確保することも重要で、ジョージア周辺国をはじめとして海外の車両メーカーとの協業を広く検討すべきと考える。サブコンとして複数の応札者（車両メーカー）と協業できれば、受注可能性を上げて堅実なビジネスを展開することが可能である。

具体的には下記のシステム及び機器が対象であり、下記 3 つのシステムで車両価格の約 3 割を占めるものと考えられる。

### 主回路システム

制御装置（VVVF インバータ）、主電動機（三相交流誘導電動機）  
断流機、リアクトルなどの付帯機器

### 補助回路システム

補助電源装置（静止形インバータ）、変圧器、蓄電池などの付帯機器

### 列車情報管理システム

運転制御・機器情報管理・空調制御・案内表示制御などを統括

上記 3 つのシステム（電気機器）は海外プロジェクトで多くの実績を有している。これらに加え、主回路システムと密接なインターフェースを持つ空気ブレーキシステム（下記の機器）も日本製とし、車両走行に関わる全てのシステムを日本の技術で固めることができれば、「コアジャパン」を強くアピールすることが可能になる。

### 空気ブレーキシステム

電気指令空気ブレーキ装置、基礎ブレーキ（ユニットブレーキ）、空気圧縮機等



## 第9章 事業実現に向けたアクションプラン

### 9.1 借款の要請

EBRD 借款に続く、車両調達の必要性には疑いの余地がない。本事業で提案している 80 両の調達は、2029 年迄に完了する必要がある。本調査で提案している実施スケジュールでは、2023 年 1 月の事業開始を想定しており、資金調達のための期間として 1 年間をみている。コンサルタントの雇用と車両調達のための資金は、同じ資金でなくてもコンサルタント業務は実施可能なため、TCH/TTC が基本設計と入札図書作成のための資金をまず自己資金とし、施工監理の費用は、同じく自己資金、又は車両調達資金と同じ資金、とすることも可能と料する。

TCH/TTC は、本調査の技術・財務的な結果を確認し、評価報告書をトビリシ市長及び副市長に説明し、ジョージア国政府に提出すると推察するが、コロナによる財政への影響もあり、同政府が速やかに借款獲得に向けた融資機関との協議に進めるかは現時点では明らかではない。TCH/TTC としては、本調査を基に借入れの準備を進めていくものと推察される。

### 9.2 アクションプラン

本調査の完了後、次の段階である基本設計、及び入札図書の作成が開始される迄の期間に、以下に述べる支援を行うことが肝要である。

- 日本政府の補助金等により本調査完了後に、本事業を促進するための、コンサルタントや独立安全評価者(ISA)の業務の内容を深度化する等の支援
- 車両引き渡し後の維持管理計画についても深度化するための支援
- 借款を早期に獲得するために、必要な要請資料の作成を支援

なお、6.2 節に記載したように、事業着手後のマイルストーンは以下の通りである。

資金調達：	2022 年 12 月
コンサルタント選定：	10 ヶ月間
基本設計、入札図書作成：	6 ヶ月間
コントラクター選定：	15 ヶ月間
車両契約の締結：	2025 年 8 月
詳細設計：	2025 年 8 月～2026 年 7 月（12 ヶ月間）
車両設計・製作・納入期間：	2025 年 9 月～2028 年 12 月（41 ヶ月間）
車両納入時期：	2027 年 10 月～2028 年 8 月
瑕疵保証期間：	24 ヶ月
プロジェクト完了：	2030 年 12 月

### 9.3 課題

EBRD 支援による 44 両の車両調達事業の請負者との契約調印が 2022 年 1 月に予定されており、本事業の先行案件としての位置づけとなる。このため、日本側としては、EBRD 事業の進捗を適時適切に把握し、ジョージア国政府による借款獲得に向けた TCH/TTC の準備作業を支援することが望ましい。

特に、コンサルタント業務と車両調達の実施資金は、同一の借款でなくても進めることができるため、TCH/TTC の準備に向けた動向に注視する必要がある。



# 添 付 資 料



**The Study on the Procurement of Rolling Stock for Tbilisi Metro in Georgia**  
**Interface Control Document**

**Rolling Stock to Multi Sub-systems**

**Document Number TBL1-FSRS-SEI-INT-0001**

<b>Revision</b>	<b>Date</b>
Draft	26/11/21
Draft 1 – Section 7 (Environmental) edited, I/F requirements added	3/12/21
Draft 2 – Sections 1 to 6 added	6,7,8/12/21
Rev. 1.0 – Comments from Tanoue-san and Tsujiura-san added	14/12/21
Rev. 1.1 – General update to bring in line with other recent works	5/6/1/22
Rev. 1.2 – Comments from Tanoue-san added	17/1/22
Rev. 2 – Update based on cross-check with Requirements List and comments from Johnny-san. Cross-checked to Requirements List and amended as necessary	18/1/22

**Date: 18/1/2022**

## TABLE OF CONTENTS

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
1.1 General .....	4
1.2 Rolling Stock Contractor (Lead) .....	4
1.3 Other Systems (Followers) .....	4
1.4 Interface Requirements .....	4
1.5 Interface Classification .....	5
1.6 Monitoring Progress and Close-out .....	5
<b>2. ABBREVIATIONS.....</b>	<b>7</b>
<b>3. ROLLING STOCK - INFRASTRUCTURE INTERFACE .....</b>	<b>8</b>
3.1 Scope .....	8
3.2 Physical/Mechanical Interface .....	8
3.3 Electrical (Not Used) .....	14
3.4 Functional (Not Used) .....	14
3.5 Electromagnetic Compatibility (Not Used) .....	14
<b>4. ROLLING STOCK – TRACTION POWER INTERFACE .....</b>	<b>15</b>
4.1 Scope .....	15
4.2 Physical/Mechanical Interface .....	15
4.3 Electrical .....	15
4.4 Functional .....	16
4.5 Electromagnetic Compatibility .....	16
<b>5. ROLLING STOCK – SIGNALLING INTERFACE .....</b>	<b>17</b>
5.1 Scope .....	17
5.2 Physical/Mechanical Interface .....	17
5.3 Electrical .....	17
5.4 Functional .....	18
5.5 Electromagnetic Compatibility .....	18
<b>6. ROLLING STOCK – COMMUNICATIONS INTERFACE .....</b>	<b>20</b>
6.1 Scope .....	20
6.2 Physical/Mechanical Interface .....	20
6.3 Electrical .....	20
6.4 Functional .....	21
6.5 Electromagnetic Compatibility .....	22
<b>7. ROLLING STOCK – DEPOT/WORKSHOP INTERFACE .....</b>	<b>23</b>
7.1 Scope .....	23
7.2 Physical/Mechanical Interface .....	23
7.3 Electrical .....	24
7.4 Functional .....	24

7.5	Electromagnetic Compatibility .....	25
<b>8.</b>	<b>ROLLING STOCK – EXISTING ROLLING STOCK FLEET INTERFACE .....</b>	<b>26</b>
8.1	Scope .....	26
8.2	Physical/Mechanical Interface .....	26
8.3	Electrical .....	26
8.4	Functional .....	27
8.5	Electromagnetic Compatibility .....	27
<b>9.</b>	<b>ROLLING STOCK – ENVIRONMENTAL INTERFACE .....</b>	<b>29</b>
9.1	Scope .....	29
9.2	Physical Interface – Not Used .....	30
9.3	Mechanical Interface – Not Used .....	30
9.4	Electrical – Not Used .....	30
9.5	Functional – Not Used .....	30
9.6	Electromagnetic Compatibility .....	30
<b>10.</b>	<b>VERIFICATION &amp; TESTING.....</b>	<b>31</b>
10.1	General .....	31
10.2	Integrated Test.....	31
<b>11.</b>	<b>SCHEDULE.....</b>	<b>31</b>
11.1	Not used in this version. ....	31
Figure 1 - Clearance Diagram for Track in Circular Tunnels.....		10
Figure 2 - Clearance Diagram for Rectangular Tunnels, Above Ground & underground Structures.		11
Figure 3 - Clearance Diagram within Stations.....		12
Figure 4 - Clearance Diagram M Stock – Illustration 5 (Kinematic), Illustration 6 (Static) .....		13

## APPENDIX 1 – AGREEMENT AND SIGN-OFF SHEET

## **1. INTRODUCTION**

### **1.1 General**

- 1.1.1 This Interface Control Document (ICD) is prepared under the technical scope of the Feasibility Study for the procurement of new Rolling Stock for Tbilisi Metro. This document has been developed early in the project lifecycle, as part of the Feasibility Study works, to ensure that all interfaces are identified and documented so that they can be managed as soon as the Design Phase commences.
- 1.1.2 The ICD is a 'living' document that is to be updated throughout the project lifecycle until handover and acceptance by TTC of the new Rolling Stock.
- 1.1.3 The purpose of this DRAFT version of the ICD is to identify interfaces and based on data obtained during the Feasibility Study and document relevant interface information/data that is to be exchanged between the interfacing parties. Subsequent updates of this ICD will increase the level of interface detail, define a schedule for exchange of interface information and include Sign-off sheets that record each interface parties agreement to exchange the defined interface details, define the interfaces and test/verify them.
- 1.1.4 To simplify the ICD at this Feasibility Study project phase, this document includes interfaces between the new Rolling Stock and ALL other interfacing parties. Once design commences, and the level of interfacing detail increases, it may be necessary to create individual ICDs between each interface pair and thus creating several individual ICDS.

### **1.2 Rolling Stock Contractor (Lead)**

- 1.2.1 This ICD assumes that the supplier of the new Rolling Stock is the 'Lead' interfacing party. The assignment of the Lead role, requires the Rolling Stock supplier to be responsible for preparing, issuing and updating the ICD and managing the exchange of interface details between the new Rolling Stock and ALL interface parties as described in this ICD.

### **1.3 Other Systems (Followers)**

- 1.3.1 This ICD assumes that all other systems/interface parties, as defined in this ICD, are the 'Follower' interfacing party. The assignment of the Follower role, requires each interface party to proactively provide the interface details defined and to support the Rolling Stock supplier with the preparation, updating and sign-off of the ICD and all other related interfacing tasks. Other systems (followers) defined in this ICD are Infrastructure, Traction Power, Signalling, Communications, Depot/Workshop, Existing Rolling Stock fleet and Environmental.

### **1.4 Interface Requirements**

- 1.4.1 Prior to preparing this ICD an Interface Matrix was developed to identify interfaces

between the new Rolling Stock and other sub-systems and parties. The Interface Matrix is therefore an input to this ICD. As necessary, the Interface Matrix will be updated as and when new interfaces or interface parties are identified.

- 1.4.2 Interface requirements defined in this document are derived from interface details contained in the Study Team's System Requirements Specification (SRS) and the experience and expertise of the Rolling Stock, Power, Signalling/Communications, Depot/Depot Workshop, Environmental and Systems technical experts assigned to the Feasibility Study.

## 1.5 Interface Classification

- 1.5.1 To improve the clarity of interface data, and facilitate more efficient management, the interface information in this ICD uses the following classifications of the interface data:

Physical/Mechanical – Examples of interface data allocated to this classification include, information relating to size, dimensions, clearances or mechanical fixing details etc.

Electrical – Examples of interface data allocated to this classification include, information related to electrical characteristics, voltage, current, power etc.

Functional – Examples of interface data allocated to this classification include, information related to the system/sub-system function that the interface is required to support, for example, train braking, acceleration, alarm generation, transmission of information/data and presentation of information/data etc.

EMC/EMI - Interface data allocated to this classification relates to the new Rolling Stocks potential to generate electromagnetic interference that has the potential to impact other sub-systems or systems external to Tbilisi metro.

## 1.6 Monitoring Progress and Close-out

- 1.6.1 Appendix A of this ICD includes sign-off sheets between the interface parties. Interface sign-off and monitoring is based on a 3-part process. Each part is defined as follows:

- (1) Part 1 – Interfaces Identified: This stage on the interface design is defined as complete when all interface parties have identified and updated the ICD with the complete set of interface information to be exchanged between themselves AND each interface party has signed Part-1 of the ICD Sign-off sheet.
- (2) Part 2 – Interfaces Defined: This stage on the interface design is defined as complete when all interface parties have fully defined the interface e.g. it's Physical/Mechanical, Electrical, Functional and EMC/EMI characteristics and

updated the ICD with this data AND each interface party has signed Part-2 of the ICD Sign-off sheet.

- (3) Part 3 – Interfaces Tested/Verified/Closed: This stage on the interface design is defined as complete when all interface parties have completed the necessary testing/verification of the interface AND Closed-out any open issues AND each interface party has signed Part-3 of the ICD Sign-off sheet.



## 2. ABBREVIATIONS

ATC	Automatic Train Control
ATO	Automatic Train Operation
ATP	Automatic Train Protection
CC	Cab Car
CCTV	Closed Circuit Television
EMC	Electro-magnetic Compatibility
EMI	Electro-magnetic Interference
EN	European Norm
GOST	Gosudarstvenny Standart (state standard/government standard)
IC	Intermediate Car
ICD	Interface Control Document
MMI	Man Machine Interface
OCC	Operations Control Centre
PA	Public Address
SRS	Systems Requirement Specification
RST	Rolling Stock
TCMS	Train Control & Management System
TTC	Tbilisi Transport Company

### **3. ROLLING STOCK - INFRASTRUCTURE INTERFACE**

#### **3.1 Scope**

- 3.1.1 The scope of the Rolling Stock-Infrastructure interface includes the existing Track, Stations, Tunnel, Viaduct, At-grade sections of the Tbilisi metro.

#### **3.2 Physical/Mechanical Interface**

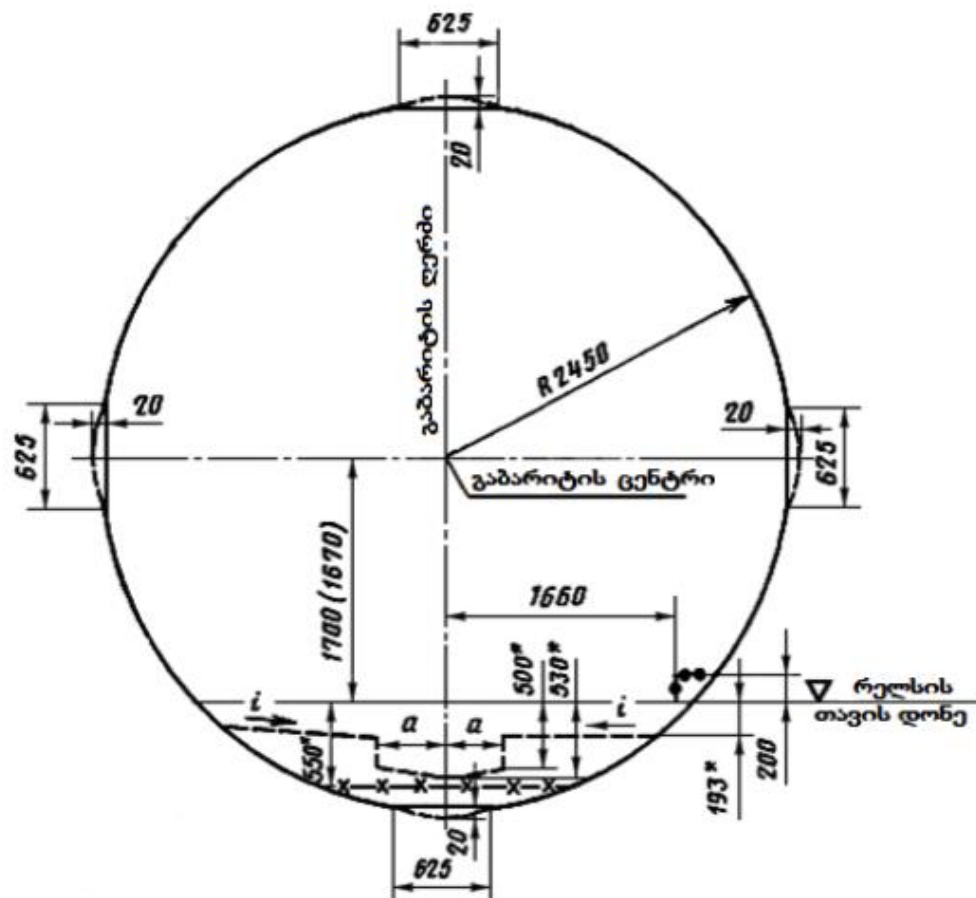
- 3.2.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for Infrastructure as a minimum:

- (1) Axle weight (new Rolling Stock);
- (2) Maximum weight (empty) CC/IC 34t/32/5t;
- (3) Minimum vertical curve that can be safely negotiated by the new Rolling Stock;
- (4) Minimum horizontal curve that can be safely negotiated by the new Rolling Stock;
- (5) Clearance dimensions for existing platforms and confirmation that no modifications are required to the existing platforms;
- (6) Rolling Stock static loads;
- (7) Flange lubrication arrangements; and
- (8) Confirmation that the new Rolling Stock does not exceed the maximum body width of 2,700mm

- 3.2.2 TTC's Engineers responsible for Infrastructure shall supply/verify the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Rail Type – P65 and P50;
- (2) Track gauge 1,520mm;
- (3) Typical friction coefficient for the rails under typical seasonal operating conditions;
- (4) Horizontal curve mainline – minimum 300m;
- (5) Horizontal curve depot – minimum 150m;
- (6) Vertical curve mainline – minimum 150m;
- (7) Maximum height (for new Rolling Stock) – 3,695mm;
- (8) Nominal floor height (for new Rolling Stock) – 1,110mm;
- (9) Maximum gradient – 0.04%;

- (10) Maximum cant – 120mm (nominal);
- (11) Axle weight – 15t maximum;
- (12) Minimum turnout radius (mainline) – 200m / 1:9;
- (13) Minimum turnout radius (depot) – 65m / 1:5;
- (14) Maximum Operating Speed – 80km/h;
- (15) Nominal station platform length – 100m;
- (16) Nominal station platform height – 1100mm, also see Figure 3.0;
- (17) Buffer stop types; and
- (18) Clearance Diagrams (see figures 1.0, 2.0, 3.0 and 4.0).



**Illustration 2. Clearance Diagram C – for line tracks in circular tunnel**

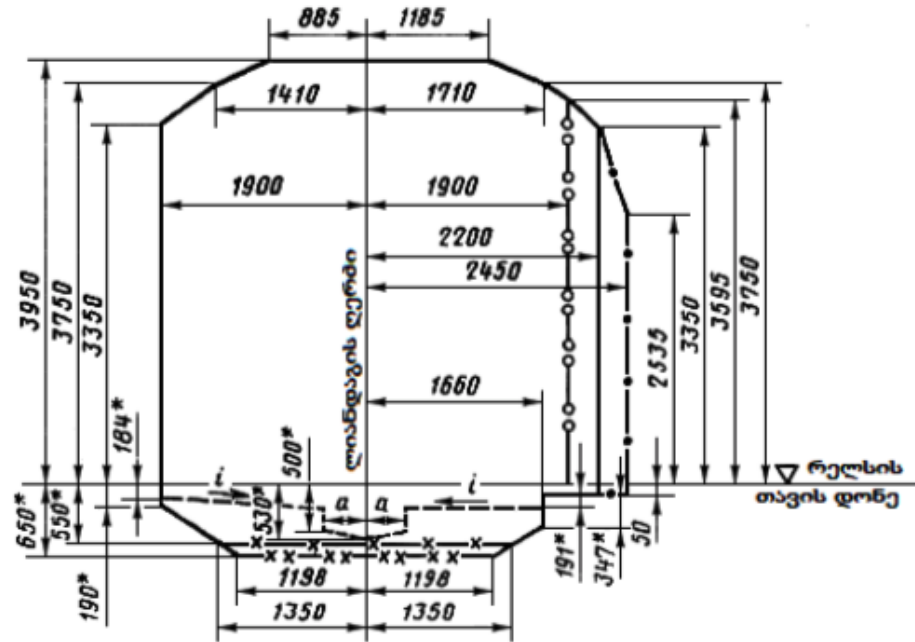
\* Clearance increases by 30 mm in case of laying P65 type rails.

—●—●—●— Service Staff pedestrian path clearance line;

— — — Water diversion ditch clearance line;

—x—x— Rail bottom clearance line.

**Figure 1 - Clearance Diagram for Track in Circular Tunnels**



**Illustration 3. Clearance Diagram C – for rectangular tunnels, above-ground and underground structures in the line track**

\* Clearance increases by 30 mm in case of laying P65 type rails.

— ○ ○ — Column clearance line;

— · · · — Clearance line of railings and bearing walls on bridges and viaducts on above ground line tracks;

— — — water diversion ditch clearance line in the case of laying the upper structure of the rails on the concrete slab;

—X—X— rail base clearance line in the case of laying on the concrete slab;

—XX— rail base clearance line on the gravel ballast.

**Figure 2 - Clearance Diagram for Rectangular Tunnels, Above Ground & underground Structures**

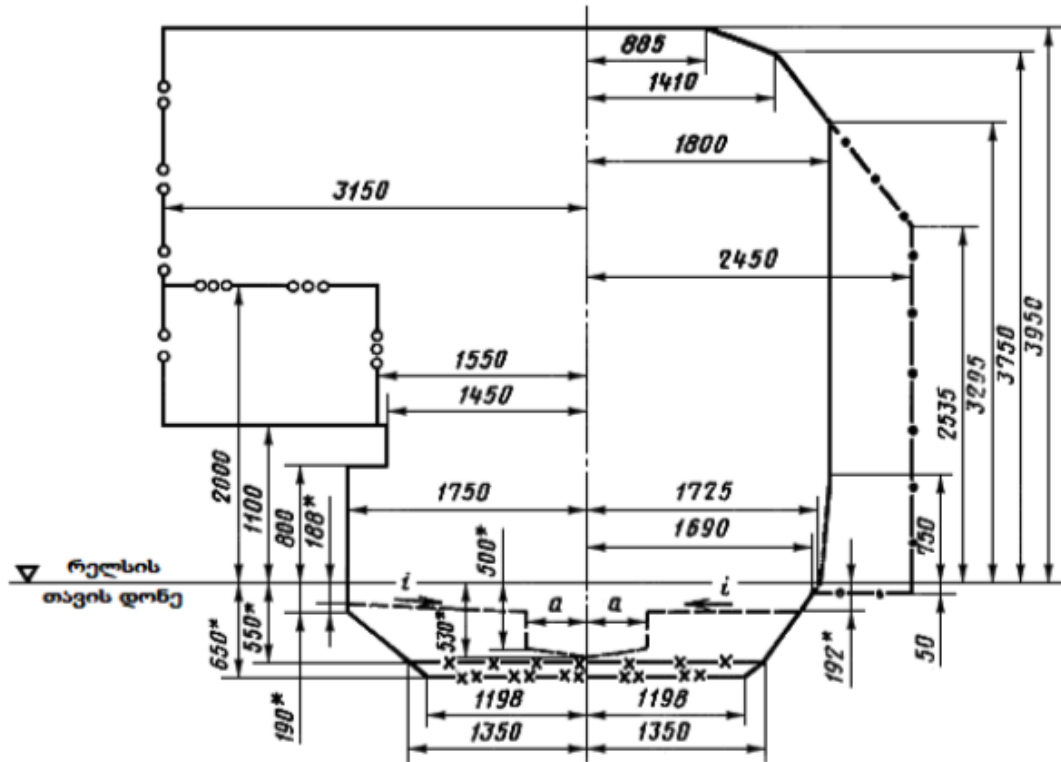


Illustration 4. Clearance Diagram C – within the scope of the station

\* Clearance increases by 30 mm in case of laying P65 type rails.

— · — · — Clearance line of railings and bearing walls on bridges and viaducts on above ground line tracks;

—X—X— rail base clearance line in the case of laying on the concrete slab

—XX— rail base clearance line on the gravel ballast;

— o o o — clearance lines of railings on platforms;

— — — water diversion ditch clearance line in the case of laying the upper structure of the rails on the concrete slab;

— o o — Column clearance line;

Figure 3 - Clearance Diagram within Stations

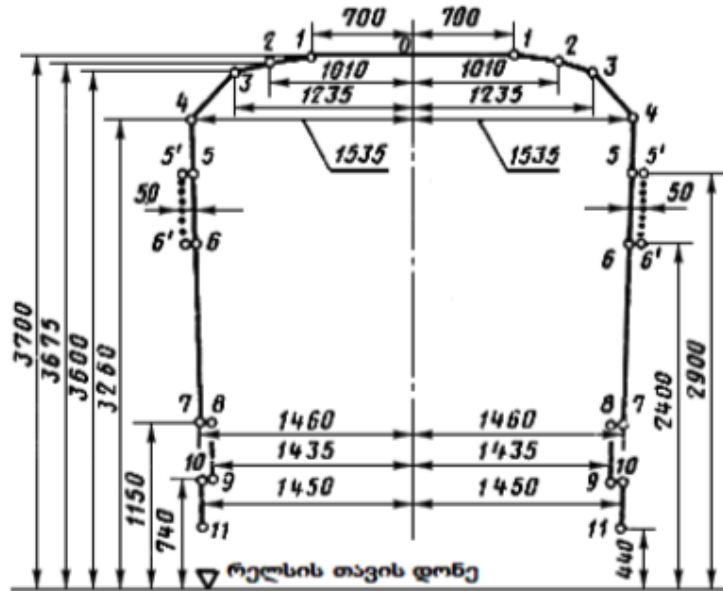


Illustration 5. Layout of Clearance M of Rolling Stock

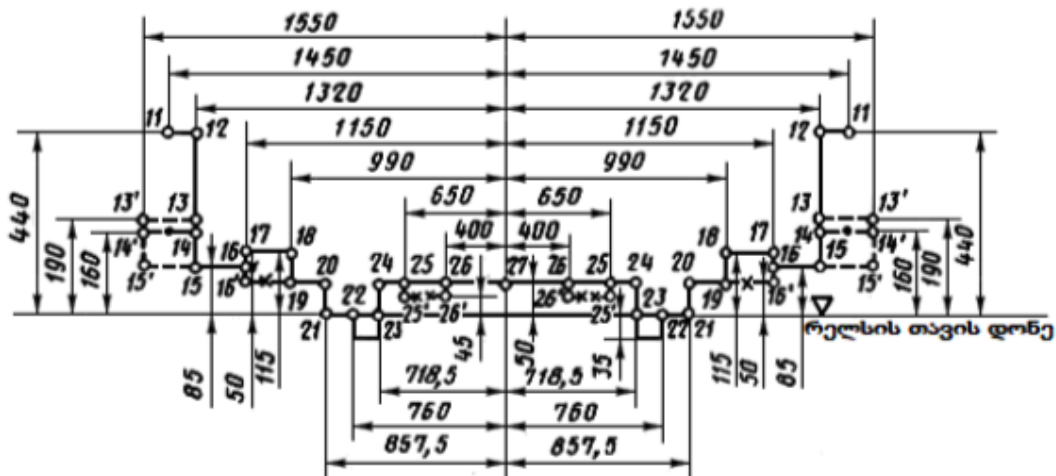


Illustration 6. Layout of Clearance M of Rolling Stock

- — — For power receiver and automotive inductor the distance from rail top to the surface of the automotive inductor shall be no more than 137 mm;
- · — for the power receiver in an operational mode;
- X>— only for auto-stop bracket;
- XX— only for the trunk of reduction gear.

Figure 4 - Clearance Diagram M Stock – Illustration 5 (Kinematic), Illustration 6 (Static)

3.3 Electrical (Not Used)

3.4 Functional (Not Used)

3.5 Electromagnetic Compatibility (Not Used)



## **4. ROLLING STOCK – TRACTION POWER INTERFACE**

### **4.1 Scope**

- 4.1.1 The scope of the Rolling Stock-Traction Power interface includes the interface to the traction power substations, 3<sup>rd</sup> Rail and Regenerative Braking Receptivity system (if fitted) for the Tbilisi metro.

### **4.2 Physical/Mechanical Interface**

- 4.2.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for Traction Power as a minimum:

- (1) Collector shoe numbers, position and fixing arrangements;
- (2) Collector shoe height adjustment arrangements; and
- (3) Depot stinger connection arrangements (Rolling stock side of the interface).

- 4.2.2 TTC's Engineers responsible for Traction Power shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Conductor rail (3<sup>rd</sup> Rail) arrangements;
- (2) Location of gaps in the 3<sup>rd</sup> Rail and their length; and
- (3) Depot stinger connection arrangements (Depot power, stinger side of the interface).

### **4.3 Electrical**

- 4.3.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for Traction Power as a minimum:

- (1) Rolling Stock (RST) nominal voltage;
- (2) RST maximum voltage;
- (3) RST minimum voltage; and
- (4) Coordination of overvoltage protection.

- 4.3.2 TTC's Engineers responsible for Traction Power shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Traction power voltage, 825v nominal,
- (2) Traction power voltage, 975v maximum,
- (3) Traction power voltage, 550v minimum; and
- (4) Traction power maximum not to exceed 3,200A/train.

#### 4.4 Functional

4.4.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for Traction Power as a minimum:

- (1) Collector shoe manual operation function;
- (2) Collector shoe pneumatic operation function; and
- (3) Collector shoe adjustment function.

4.4.2 TTC's Engineers responsible for Traction Power shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Evaluation of the feeding circuits to confirm is suitable for regenerative braking;
- (2) The new rolling stock shall be operated under the existing substation capacity; and
- (3) Regenerative storage unit functionality, if any.

#### 4.5 Electromagnetic Compatibility

##### 4.5.1 General

4.5.2 Both the Rolling Stock Contractor and TTC's Engineers responsible for Traction Power shall exchange all necessary information concerning EMC/EMI in the respective systems to ensure compatibility in the design of systems. The information includes, but not be limited to, the operation frequencies, the associated maximum radiated emission levels of each subsystem and the locations of their transmissions.

##### 4.5.3 EMC/EMI Test

4.5.4 Both the Rolling Stock Contractor and TTC's Engineers responsible for Traction Power shall jointly develop a test plan detailing how the electromagnetic compatibility between the Systems will be verified.

4.5.5 The Rolling Stock Contractor shall supply, as appropriate, EMC compliance certificates for relevant components.

## 5. ROLLING STOCK – SIGNALLING INTERFACE

### 5.1 Scope

5.1.1 The scope of the Rolling Stock-Signalling interface includes the On-board signalling, wayside signalling and Signalling/Rolling Stock interfaces with regard to transmission/presentation of data/alarms to the OCC.

### 5.2 Physical/Mechanical Interface

5.2.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for Signalling as a minimum:

- (1) Available space (size, width, depth) to mount the existing TTC signalling equipment;
- (2) Location of the available spaces to mount the existing signalling equipment;
- (3) Space provisions (size, width, depth) to mount the future ATP/ATO/CBTC signalling equipment in the driver's cab, saloon and under frame;
- (4) Location of the available spaces to mount the future signalling equipment; and
- (5) Cabling arrangements.

5.2.2 TTC's Engineers responsible for Signalling shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Driver/driving cab MMI arrangements;
- (2) Space provision (size, width, depth) required in the Rolling Stock driver's cab to house the current signalling system;
- (3) Required space provision, size, width, depth of cubicles etc. to mount the future ATP/ATO/CBTC signalling equipment in the driver's cab, saloon and under frame; and
- (4) Lineside signal sighting details as relevant to the Rolling Stock driving cab and driver's seating position.

### 5.3 Electrical

5.3.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for Signalling as a minimum:

- (1) Connection arrangements between the Rolling Stock TCMS and existing on-board signalling system (Rolling Stock side of the interface);

- (2) Connection arrangements between the Rolling Stock TCMS and future ATP/ATO/CBTC on-board signalling system (Rolling Stock side of the interface);
- (3) Provisions for wiring & connection arrangements between the TCMS and on-board signalling equipment;
- (4) Power supply details; and
- (5) Earthing and protection arrangements.

5.3.2 TTC's Engineers responsible for Signalling shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Connection arrangements between the Rolling Stock TCMS and existing on-board signalling system (Signalling side of the interface);
- (2) Connection arrangements between the Rolling Stock TCMS and future ATP/ATO/CBTC on-board signalling system (Signalling side of the interface);
- (3) On-board signalling equipment power supply requirements; and
- (4) On-board signalling equipment earthing and protection requirements.

## 5.4 Functional

5.4.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for Signalling as a minimum:

- (1) Arrangements and functionality of the existing signalling system;
- (2) TCMS functionality; and
- (3) Protocols and standards for communication/data exchange between Rolling Stock TCMS and on-board signalling equipment.

5.4.2 TTC's Engineers responsible for Signalling shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Door control functionality, e.g. open/close/interlocking;
- (2) Signalling data and functionality to be displayed on the Driver's MMI, e.g. target speed, actual speed, distance to next red aspect etc.;
- (3) Signalling alarm information to be displayed on the Driver's MMI; and
- (4) Signalling alarm information to be transmitted from the Rolling Stock and presented at the Operations Control Centre.

## 5.5 Electromagnetic Compatibility

### 5.5.1 General

- 5.5.2 Both the Rolling Stock Contractor and TTC's Engineers responsible for Signalling shall exchange all necessary information concerning EMC/EMI in the respective systems to ensure compatibility in the design of systems. The information includes, but not be limited to, the operation frequencies, the associated maximum radiated emission levels of each subsystem and the locations of their transmissions.
- 5.5.3 EMC/EMI Test
- 5.5.4 Both the Rolling Stock Contractor and TTC's Engineers responsible for Signalling shall jointly develop a test plan detailing how the electromagnetic compatibility between the Systems will be verified.
- 5.5.5 In the event of a failed test, both Rolling Stock Contractor and TTC's Engineers responsible for Signalling shall work together to investigate the cause of the failure and jointly develop the corrective actions necessary to resolve the failed test.
- 5.5.6 Any test that has failed shall be repeated until a satisfactory test result is achieved.
- 5.5.7 The Rolling Stock Contractor shall supply, as appropriate, EMC compliance certificates for relevant components.

## 6. ROLLING STOCK – COMMUNICATIONS INTERFACE

### 6.1 Scope

6.1.1 The scope of the Rolling Stock-Communications interface includes the on-board communication systems (Radio, Public Address, CCTV), wayside communication systems (Radio) and Rolling Stock/Station communications e.g. CCTV and Public Address. The scope also includes the transmission and presentation of data/information from the communications systems to the OCC.

### 6.2 Physical/Mechanical Interface

6.2.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for Communications as a minimum:

- (1) Available space (size, width, depth) of cubicles etc. inside the Rolling Stock to mount the existing TTC communications equipment (CCTV, Radio, PA);
- (2) Location of available space to mount the existing TTC communications equipment;
- (3) Available space on the roof of the Rolling Stock, coordinates thereof and fixing constraints to mount the existing TTC Radio antennas;
- (4) Cabling arrangements; and
- (5) Confirmation that the communications systems are mounted in both cabs for redundancy purposes.

6.2.2 TTC's Engineers responsible for Communications shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Driver/Driving cab MMI arrangements;
- (2) Space provision (size, width, depth) required in the Rolling Stock driver's cab to house the current communications equipment (CCTV, Radio, PA);
- (3) Space provision on the roof of the Rolling Stock required to mount TTCs existing radio communications antenna; and
- (4) Radio antenna fixing arrangements.

### 6.3 Electrical

6.3.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for Communications as a minimum:

- (1) Connection arrangements between the Rolling Stock TCMS and existing on-board communications equipment (CCTV, Radio, PA) for the Rolling Stock side of the interface;

- (2) Provisions for wiring & connection arrangements between the TCMS and on-board communications equipment (CCTV, Radio, PA) for the Rolling Stock side of the interface;
- (3) Power supply details; and
- (4) Earthing and protection arrangements.

6.3.2 TTC's Engineers responsible for Communications shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Connection arrangements between the Rolling Stock TCMS and existing on-board communications equipment (CCTV, Radio, PA) for the communications side of the interface; and
- (2) Provisions for wiring & connection arrangements between the TCMS and on-board communications equipment (CCTV, Radio, PA) for the communications side of the interface.

#### 6.4 Functional

6.4.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for Communications as a minimum:

- 1) Confirmation that the communication system provided for the new Rolling Stock is fully compatible with the existing radio communications systems;
- 2) TCMS functionality; and
- 3) Protocols and standards for communication/data exchange between Rolling Stock TCMS and on-board communications equipment (CCTV, Radio, PA).

6.4.2 TTC's Engineers responsible for Communications shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Details of the functionality of the existing communications systems;
- (2) OCC to Rolling Stock radio communication functionality;
- (3) OCC rolling stock vehicle monitoring/tracking functionality;
- (4) Existing standards and protocols used to transmit/transport communications information to the OCC;
- (5) Passenger driver communications functionality;
- (6) Functionality related to the driver/station PA to enable the driver to make announcements from the train to passengers on the station platforms;
- (7) Rolling Stock saloon CCTV coverage requirements;

- (8) Driver's control functions for the on-board communications equipment (CCTV, Radio, PA);
- (9) Communications data (CCTV, Radio, PA) to be displayed on the Driver's MMI
- (10) Communications system (CCTV, Radio, PA) alarm information to be displayed on the Driver's MMI; and
- (11) Communications system (CCTV, Radio, PA) alarm information to be transmitted and presented at the Operations Control Centre.

## 6.5 Electromagnetic Compatibility

### 6.5.1 General

6.5.2 Both the Rolling Stock Contractor and TTC's Engineers responsible for Communications shall exchange all necessary information concerning EMC/EMI in the respective systems to ensure compatibility in the design of systems. The information includes, but not be limited to, the operation frequencies, the associated maximum radiated emission levels of each subsystem and the locations of their transmissions.

### 6.5.3 EMC/EMI Test

6.5.4 Both the Rolling Stock Contractor and TTC's Engineers responsible for Communications shall jointly develop a test plan detailing how the electromagnetic compatibility between the Systems will be verified.

6.5.5 The Rolling Stock Contractor shall supply, as appropriate, EMC compliance certificates for relevant components.



## **7. ROLLING STOCK – DEPOT/WORKSHOP INTERFACE**

### **7.1 Scope**

7.1.1 The scope of the Rolling Stock-Depot/Workshop interface includes Lifting, Jacking, Underframe Inspection, removal of components and parts from the Rolling Stock for Inspection/Maintenance, Roof Inspection, Stinger, Stabling, Train Wash, Interior Cleaning)

### **7.2 Physical/Mechanical Interface**

7.2.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for the Depot/Workshop as a minimum:

- (1) Stabling requirements for the new Rolling Stock including stabling track length, and number of tracks;
- (2) The location, dimensions and physical/mechanical characteristics of jacking points;
- (3) Marking/indication scheme for to identify the location of the jacking points;
- (4) The location, dimensions and physical/mechanical characteristics of lifting points for both workshop cranes and mobile cranes;
- (5) Marking/indication scheme for to identify the location of the lifting points for both workshop cranes and mobile cranes; and
- (6) Current TTC maintenance/inspection scope e.g. parts removed and inspected/maintained at the maintenance facility and parts sent off-site for 3<sup>rd</sup> party inspectors/maintainers.

7.2.2 TTC's Engineers responsible for the Depot/Workshop shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Details of existing workshop jacking points, capacity, max loading, dimensions and design;
- (2) Details of existing workshop cranes, capacity, max loading, dimensions and design;
- (3) Details of existing mobile cranes, capacity, max loading, dimensions and design;
- (4) Access platforms/methods for access to train interior for train cleaning and rubbish removal;
- (5) Details/dimensions/clearance and location of inspection pits for underframe inspections/maintenance of the new Rolling Stock;

- (6) Details/dimensions/clearance and location of overhead access platforms to inspect and maintain the roof of the new Rolling Stock; and
- (7) Details/dimensions/clearance of the existing train wash facilities.

### 7.3 Electrical

7.3.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for the Depot/Workshop as a minimum:

- (1) Specification of Rolling Stock on-board equipment that requires a power supply whilst stabled to energize on-board systems (if any);
- (2) Connection arrangements and electrical specification of the connection to the stinger system (Rolling Stock side of the interface);
- (3) Requirements for data download of Rolling Stock data to TTC's maintenance management system;
- (4) Connection arrangements and electrical specification of the connection of train domestic supplies for train cleaning; and
- (5) Earthing and protection requirements.

7.3.2 TTC's Engineers responsible for the Depot/Workshop shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Electrical connection at each stabling track for train interior cleaning; and
- (2) Connection arrangements and electrical specification of the connection to the existing workshop stinger system.

### 7.4 Functional

7.4.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for the Depot/Workshop as a minimum:

- (1) Details of the new Rolling Stock's diagnostic system;
- (2) Data, data types, data structure for the failure/maintenance information to be transmitted to the existing maintenance management system; and
- (3) Functional requirements, standards, protocols and file/data types related to failure and maintenance data that can be downloaded from the Rolling Stock data to TTC's maintenance management system.
- (4) Train wash train control mode(s).

7.4.2 TTC's Engineers responsible for the Depot/Workshop shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Format, protocols, standards, file/data types, related to uploading Rolling Stock failure and maintenance data to TTC's existing asset management system; and
- (2) Available wash mode(s) and functionality of the train wash system.

## 7.5 Electromagnetic Compatibility

### 7.5.1 Not Used.

## **8. ROLLING STOCK – EXISTING ROLLING STOCK FLEET INTERFACE**

### **8.1 Scope**

- 8.1.1 The scope of the Rolling Stock-Existing Fleet interface includes coupling, lighting and rescue of failed trains.

### **8.2 Physical/Mechanical Interface**

- 8.2.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for the existing Rolling Stock Fleet as a minimum:

- (1) New Rolling Stock – Front-end coupler arrangements;
- (2) Confirmation that the couplers are compatible with all generations of the existing Rolling Stock;
- (3) New Rolling Stock – Inter-carriage coupler arrangements;
- (4) New Rolling Stock – Air brake hose arrangements;
- (5) New Rolling Stock – Headlight arrangements; and
- (6) New Rolling Stock – Taillight arrangements.

- 8.2.2 TTC's Engineers responsible for the existing Rolling Stock Fleet shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Existing Fleet - Front-end coupler dimensions and related drawings
- (2) Existing Fleet - Inter-carriage coupler dimensions and related drawings;
- (3) Existing Fleet - Airbrake hose connection details and related drawings;
- (4) Existing Fleet - Headlight arrangements, specification and related drawings;
- (5) Existing Fleet - Tail light arrangements, specification and related drawings;
- (6) Details of the Tbilisi Metro track geometry, including maximum gradient and location(s) and minimum radius curve and location(s);
- (7) Coupling arrangements under emergency conditions; and
- (8) Maximum weight of a fully loaded existing rolling stock;

### **8.3 Electrical**

- 8.3.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC's Engineers responsible for the existing Rolling Stock Fleet as a minimum:

- (1) New Rolling Stock - Front-end coupler electrical connection details and specification;

- (2) New Rolling Stock - Inter-carriage coupler electrical connection details and specification;
- (3) New Rolling Stock – Available ‘trainlines’ and safety loop;
- (4) New Rolling Stock - Headlight electrical specification; and
- (5) New Rolling Stock - Taillight electrical specification.

8.3.2 TTC’s Engineers responsible for the existing Rolling Stock Fleet shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Existing Fleet - Front-end coupler electrical connection details and specification;
- (2) Existing Fleet - Inter-carriage coupler electrical connection details and specification;
- (3) Existing Fleet – Details of the ‘trainlines’, interconnections between cars and the safety loop;
- (4) Existing Fleet - Headlight electrical specification; and
- (5) Existing Fleet - Tail light electrical specification.

#### 8.4 Functional

8.4.1 The Rolling Stock Contractor shall supply the following information to TTC’s Engineers responsible for the existing Rolling Stock Fleet as a minimum:

- (1) New Rolling Stock - Coupler function during train rescue;
- (2) New Rolling Stock - Coupler function during normal coupling; and
- (3) New Rolling Stock - Headlight and tail light functionality and operation.

8.4.2 TTC’s Engineers responsible for the existing Rolling Stock Fleet shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Existing Fleet - Coupler function during train rescue;
- (2) Existing Fleet - Coupler function during normal coupling; and
- (3) Existing Fleet - Headlight and tail light functionality and operation.

#### 8.5 Electromagnetic Compatibility

##### 8.5.1 General

8.5.2 Both the Rolling Stock Contractor and TTC’s Engineers responsible for the existing Rolling Stock fleet shall exchange all necessary information concerning EMC/EMI in the respective systems to ensure compatibility in the design of systems. The information includes, but not be limited to, the operation frequencies, the associated maximum

radiated emission levels of each subsystem and the locations of their transmissions.

8.5.3 EMC/EMI Test

8.5.4 Both the Rolling Stock Contractor and TTC's Engineers responsible for the existing Rolling Stock fleet shall jointly develop a test plan detailing how the electromagnetic compatibility between the Systems will be verified.

8.5.5 The Rolling Stock Contractor shall supply, as appropriate, EMC compliance certificates for relevant components.

## 9. ROLLING STOCK – ENVIRONMENTAL INTERFACE

### 9.1 Scope

9.1.1 The scope of the Rolling Stock-Environmental interface includes internal and external noise and potential EMC/EMI impact to hospitals and local housing adjacent to the metro.

9.1.2 The Rolling Stock Contractor's Engineers responsible for EMC/EMI and environmental issues shall supply the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) Describe the EMC/EMI concept to be adopted by the new Rolling Stock;
- (2) Identify the related EMC/EMI standards that the new Rolling Stock will be compliant with, e.g. EN50121, GOST 33436.3-1;
- (3) External noise levels at standstill and at 60km/h; and
- (4) Internal (driver's cab and passenger saloon) noise levels at standstill and 60km/h.

9.1.3 TTC's Engineers responsible for the environmental issues shall verify the following information to the Rolling Stock Contractor as a minimum:

- (1) External Noise level limits
  - i. Train at standstill, driver's and passenger saloon air conditioning/ventilation operating at maximum normal power  $\leq [70\text{dB/})\text{A}]$ ;
  - ii. Train operating at 60km/h driver's and passenger saloon air conditioning/ventilation operating at maximum normal power  $\leq [79\text{dB/})\text{A}]$ ;
- (2) Internal Noise level limits
  - i. Train at standstill, passenger compartment air conditioning/ventilation operating at maximum normal power  $\leq [70\text{dB/})\text{A}]$ ;
  - ii. Train at operating at 60km/h, passenger compartment air conditioning/ventilation operating at maximum normal power  $\leq [76\text{dB/})\text{A}]$  measured 1.5m above floor level;
  - iii. Train at standstill, driver's cab, air conditioning/ventilation operating at maximum normal power  $\leq [68\text{dB/})\text{A}]$ ;
  - iv. Train at operating at 60km/h, driver's cab air conditioning/ventilation operating at maximum normal power  $\leq [74\text{dB/})\text{A}]$ ;
- (3) Ambient weather conditions observed in Tbilisi; and
- (4) National and/or local standards related to EMC/EMI to be adopted e.g. EN50121 of GOST 33436.3-1.

9.2 Physical Interface – Not Used

9.3 Mechanical Interface – Not Used

9.4 Electrical – Not Used

9.5 Functional – Not Used

9.6 Electromagnetic Compatibility

9.6.1 General

9.6.2 The Rolling Stock Contractor and the parties responsible for the Environmental issues shall exchange all necessary information concerning EMC/EMI in the respective systems to ensure compatibility in the design of systems. The information includes, but not be limited to, the operation frequencies, the associated maximum radiated emission levels of each subsystem and the locations of their transmissions.

9.6.3 EMC/EMI Test

9.6.4 The Rolling Stock Contractor and the parties responsible for the Environmental issues shall jointly develop a test plan detailing how the electromagnetic compatibility of the Rolling Stock with the Environmental conditions will be verified.

9.6.5 The Rolling Stock Contractor shall supply, as appropriate, EMC compliance certificates for relevant components.



## **10. VERIFICATION & TESTING**

### **10.1 General**

- 10.1.1 Each Contractor shall carry out independent tests, communication protocol tests and integrated system functional tests to verify all aspects of the interface.
- 10.1.2 The Rolling Stock Contractor shall take the lead role in planning and coordinating the execution of the testing and commissioning of the interface.
- 10.1.3 Each Contractor shall provide all resources necessary to complete the tests. This shall include having staff to attend the tests that are capable of fully diagnosing all interface problems with respect to their own contract equipment and systems.
- 10.1.4 Each Contractor shall provide all resources necessary to rectify faults identified during testing.

### **10.2 Integrated Test**

- 10.2.1 The integrated tests shall verify the successful integration of the systems and that jointly they provide the overall system integrated functions. The Rolling Stock contractor shall develop the integration test procedures and methods. Other contractors shall assist the Rolling Stock contractor, as needed, to develop the integration test procedures. The Rolling Stock contractor shall be responsible for leading the integrated tests. The outcome of the integration tests will be recorded in a Test report. Successful integration test outcomes will be used to validate fulfilment of the Subsystem and System requirements.

## **11. SCHEDULE**

- 11.1 Not used in this version.

## Appendix 1 – Agreement and Sign-off Sheet

Interface Control Document – Sign-off Sheet	
<b>Part 1 – Interfaces Identified</b>	
We, the undersigned agree that this document accurately records that all the relevant interface information has been identified and documented.	
Rolling Stock – Infrastructure	Rolling Stock:
	Infrastructure:
Date:	
Rolling Stock – Traction Power	Rolling Stock:
	Traction Power:
Date:	
Rolling Stock – Signalling	Rolling Stock:
	Signalling:
Date:	
Rolling Stock – Communications	Rolling Stock:
	Communications:
Date:	
Rolling Stock – Depot/Depot Workshop	Rolling Stock:
	Depot/Depot Workshop:
Date:	
Rolling Stock – Existing Rolling Stock Fleet	Rolling Stock:
	Existing Rolling Stock Fleet:
Date:	
Rolling Stock – Environmental	Rolling Stock:
	Environmental:
Date:	

Interface Control Document – Sign-off Sheet	
<b>Part 2 – Interfaces Defined</b>	
We, the undersigned agree that this document accurately records that all the relevant interface information has been defined.	
Rolling Stock – Infrastructure	Rolling Stock:
	Infrastructure:
Date:	
Rolling Stock –Traction Power	Rolling Stock:
	Traction Power:
Date:	
Rolling Stock – Signalling	Rolling Stock:
	Signalling:
Date:	
Rolling Stock – Communications	Rolling Stock:
	Communications:
Date:	
Rolling Stock – Depot/Depot Workshop	Rolling Stock:
	Depot/Depot Workshop:
Date:	
Rolling Stock – Existing Rolling Stock Fleet	Rolling Stock:
	Existing Rolling Stock Fleet:
Date:	
Rolling Stock – Environmental	Rolling Stock:
	Environmental:
Date:	

<b>Interface Control Document – Sign-off Sheet</b>	
<b>Part 3 – Interfaces Tested/Verified/Closed</b>	
We, the undersigned agree that this document records that all the relevant interfaces have been tested/verified and that any open issues have been closed out.	
<b>Rolling Stock – Infrastructure</b>	<b>Rolling Stock:</b>
	<b>Infrastructure:</b>
<b>Date:</b>	
<b>Rolling Stock –Traction Power</b>	<b>Rolling Stock:</b>
	<b>Traction Power:</b>
<b>Date:</b>	
<b>Rolling Stock – Signalling</b>	<b>Rolling Stock:</b>
	<b>Signalling:</b>
<b>Date:</b>	
<b>Rolling Stock – Communications</b>	<b>Rolling Stock:</b>
	<b>Communications:</b>
<b>Date:</b>	
<b>Rolling Stock – Depot/Depot Workshop</b>	<b>Rolling Stock:</b>
	<b>Depot/Depot Workshop:</b>
<b>Date:</b>	
<b>Rolling Stock – Existing Rolling Stock Fleet</b>	<b>Rolling Stock:</b>
	<b>Existing Rolling Stock Fleet:</b>
<b>Date:</b>	
<b>Rolling Stock – Environmental</b>	<b>Rolling Stock:</b>
	<b>Environmental:</b>
<b>Date:</b>	

## **Tbilisi - Feasibility Study Procurement of New Rolling Stock**

### **Rolling Stock Design Criteria**

**Document Number TBL1-FSRS-GEN-DEC-0001**

<b>Revision</b>	<b>Date</b>
Draft	14/12/21
Rev.1	20/12/21
Rev.1.1 – Draft sections assigned to KJG prepared	22,23,24/12/21
Rev.2 Updates from Tsujimura-san added. Cross-checked to Requirements List and amended as necessary	18/1/22
Rev.2.1 Missing requirements related to Passenger Doors added by Tsujimura-san.	19/1/22

**Date: 19/1/2022**

## TABLE OF CONTENTS

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
1.1 Purpose .....	4
1.2 Scope .....	5
1.3 Interfaces.....	6
1.4 References.....	6
<b>2. ABBREVIATIONS.....</b>	<b>7</b>
<b>3. TRAIN CONFIGURATION .....</b>	<b>8</b>
3.1 Train Weight .....	8
3.2 Consist .....	8
3.3 Train Length.....	8
<b>4. TRAIN LOADING .....</b>	<b>9</b>
4.1 Seating Arrangements.....	9
4.2 Capacity.....	9
<b>5. OPERATING MODES .....</b>	<b>10</b>
5.1 Normal Operation .....	10
5.2 Degraded Operation.....	10
5.3 Emergency Operation .....	10
5.4 Train Rescue .....	10
<b>6. TRAIN PERFORMANCE .....</b>	<b>11</b>
6.1 Acceleration .....	11
6.2 Braking (Service Brake).....	11
6.3 Braking (Emergency Brake) .....	11
6.4 Regenerative Braking .....	11
6.5 Speed (Design Speed, Operating Speed).....	12
<b>7. TRAIN SUB-SYSTEMS .....</b>	<b>13</b>
7.1 Carbody .....	13
7.2 Bogies .....	14
7.3 Couplers .....	15
7.4 Propulsion .....	15
7.5 Traction.....	16
7.6 Auxiliary Power .....	17
7.7 TCMS .....	18
7.8 Event Recorder .....	18
7.9 Future Provisions for GoA3/4.....	18
7.10 Passenger Doors.....	19
<b>8. COMMUNICATIONS &amp; PASSENGER INFORMATION SYSTEMS.....</b>	<b>22</b>
8.1 Radio .....	22

8.2	Public Address .....	23
8.3	CCTV .....	23
8.4	Passenger Information Systems .....	23
<b>9.</b>	<b>RELIABILITY, AVAILABILITY &amp; MAINTAINABILITY .....</b>	<b>25</b>
9.1	General .....	25
9.2	Mean Distance Between Failures (MDBF) .....	25
9.3	Maintainability .....	26
<b>10.</b>	<b>SAFETY &amp; QUALITY .....</b>	<b>27</b>
10.1	Hazard Management .....	27
10.2	Safety Case .....	28
10.3	Fire Protection .....	28
10.4	Quality .....	29
<b>11.</b>	<b>HUMAN FACTORS .....</b>	<b>30</b>
11.1	Ergonomics .....	30
11.2	Driver's Cab .....	30
11.3	Saloon .....	31
<b>12.</b>	<b>ENVIRONMENTAL CONDITIONS .....</b>	<b>32</b>
12.1	Ambient Conditions .....	32
12.2	Noise .....	32
12.3	EMC/EMI .....	33
<b>13.</b>	<b>TESTING, HANDOVER &amp; ACCEPTANCE .....</b>	<b>34</b>
13.1	Testing .....	34
13.2	Test Documentation .....	34
13.3	Handover & Acceptance .....	36
<b>14.</b>	<b>MAINTENANCE &amp; TRAINING .....</b>	<b>37</b>
14.1	Maintenance .....	37
14.2	Maintenance Concept .....	37
14.3	RAMS Requirements .....	37
14.4	Interchangeability .....	39
14.5	Washing and Cleaning .....	40
14.6	Anti-Vandalism Concept .....	40

## **1. INTRODUCTION**

### **1.1 Purpose**

- 1.1.1 The Design Criteria has been prepared as part of the technical studies under the Feasibility Study for the Procurement of New Rolling Stock for Tbilisi Metro, Georgia.
- 1.1.2 This Design Criteria is intended as a key input document to the Basic Design phase that is planned to follow-on from the Feasibility Study phase. This Design Criteria should be used as a basis from which to commence the Basic Design for the new Rolling Stock.
- 1.1.3 The purpose of the Design Criteria is to establish and document the critical design elements that the new Rolling Stock must comply with in order for the new Rolling Stock to be integrated into the existing Tbilisi Metro and operated in conjunction with the existing systems and rolling stock.
- 1.1.4 Seamless integration and operation of the new Rolling Stock on Tbilisi Metro is a key factor and consideration of the Feasibility Study's technical experts. To realize the full benefit of procuring the new Rolling Stock, it must be specified, designed, constructed, tested and accepted into revenue service with minimal impact to Tbilisi Metro's existing operation.
- 1.1.5 Due to the age and condition of Tbilisi Metro, it is likely that to achieve seamless integration of the new Rolling Stock, some of the Tbilisi Metro's legacy systems and facilities, for example Depot Workshop equipment, will need to be modified or upgraded. Modifications and upgrades that may be required are not included in this Design Criteria but are described in the Feasibility Report prepared by the study team.
- 1.1.6 This Design Criteria has been developed early in the process and it has been based on:
  - 1) Review of the source documentation provided by Tbilisi Transport Corporation (TTC);
  - 2) Technical review meetings with local experts and TTC;
  - 3) Padeco's technical team's expertise and experience.



## 1.2 Scope

### 1.2.1 The scope of this Design Criteria includes:

- 1) The Rolling Stock and its primary subsystems;
- 2) Performance;
- 3) Configuration;
- 4) Capacity & loading;
- 5) Operational modes;
- 6) On-board communications systems;
- 7) Safety; and
- 8) Reliability.

1.2.2 This Design Criteria also includes key considerations related to Human Factors specifically related to the ergonomic design of the driver's cab such that it can accommodate both the existing controls and equipment as well as provisioning for the planned future upgrade of the Train Control system (signalling) to GoA3/GoA4.

1.2.3 Human Factors related to the passenger saloon is also included within this Design Criteria, specifically with regard to the arrangement of saloon, safe access and egress and provisions for disabled passengers.

1.2.4 Environmental considerations are included in this Design Criteria as they apply to passenger comfort (e.g. interior noise levels) and impact on passengers waiting at platforms and other close neighbors (e.g. external noise).

1.2.5 Environmental considerations as they apply to the impact of the new Rolling Stock on the environment that surrounds Tbilisi's Metro are addressed in the study team's Feasibility Report.

1.2.6 Testing, handover and acceptance is briefly considered within this Design Criteria from the point of view of identifying key considerations that require early implementation. Examples include a Test Track on which to conduct dynamic testing and safety assurance documentation that is critical to handover and acceptance.

1.2.7 Maintainability and training that are important to handover and the on-going maintenance are also addressed briefly in this Design Criteria.

### 1.3 Interfaces

1.3.1 Interfaces between the new Rolling Stock and other sub-systems, for example Traction Power, Signalling and Track etc. are not included in this Design Criteria.

1.3.2 Interfaces are defined in a specific rolling stock Interface Control Document (ICD) that has also been developed as part of this Feasibility Study. Collectively, this Design Criteria and the ICD form the technical description and outline requirements for the design of the new Rolling Stock, therefore they must be read and implemented in conjunction with each other.

1.3.3 For interfacing details refer to the current revision of the following document: Interface Control Document – Rolling Stock to Multi Sub-systems, document number TBL1-FSRS-SEI-INT-0001.

### 1.4 References

1.4.1 Reference was made to the following items in the development of this Design Criteria:

- 1) TTC General Requirements to Metro Cars;
- 2) Requirements List (developed for this study by Padeco);
- 3) Risk Register (developed for this study by Padeco);
- 4) Interface Control Document – Rolling Stock to Multi Sub-systems;
- 5) Responses from TTC to various Request for Information;
- 6) Technical data and materials provided by Padeco's local experts; and
- 7) Information/data obtained from technical meetings with TTC and others.

## 2. ABBREVIATIONS

AC	Alternating Current
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
ASC	Automatic Speed Control
ATO	Automatic Train Operation
CC	Cab Car
CCTV	Closed Circuit Television
EMC	Electro-magnetic Compatibility
EMI	Electro-magnetic Interference
EN	European Norm
GoA	Grade of Automation
GOST	Gosudarstvenny Standart (state standard/government standard)
IC	Intermediate Car
ICD	Interface Control Document
IHA	Interface Hazard Analysis
ISO	International Standards Organization
MDBF	Mean Distance Between Failures
OSHA	Operational Safety Hazard Analysis
PA	Public Address
PHA	Preliminary Hazard Analysis
RAM	Reliability, Availability, Maintainability
SSHA	Sub-system Hazard Analysis
TCMS	Train Control & Management System
TTC	Tbilisi Transport Company
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
UIC	International Union of Railways

### **3. TRAIN CONFIGURATION**

#### **3.1 Train Weight**

##### **3.1.1 Static Loads**

Static loads shall be calculated according to applicable EN or GOST standards.

##### **3.1.2 Maximum Axle Load**

The maximum static load per wheelset (axle) shall not exceed 15 t.

##### **3.1.3 Deviation of Static Loads among Wheelsets**

Deviations of static loads among wheels shall not lead to safety critical situations at any point of the line and the depot. Maximum acceptable decreasing of wheel load shall be  $\leq 5\%$ .

Safety against derailment shall be assured under all operating conditions and maximum possible wear and tear and tolerances of trackwork and vehicle.

##### **3.1.4 Weight**

To minimize energy consumption, then cost, great importance shall be placed on achieving practical design of minimum weight whilst meeting all specified structural and performance requirements.

For client's information specific weight reducing solutions shall be highlighted in the proposal, which shall not subject of evaluation.

#### **3.2 Consist**

The trains shall consist in the basic configuration of 4 cars with 2 bogies for each car. Trains shall be bi-directional, with doors on both sides and identical driver's cabs at each end.

All vehicles shall be equipped with Inter-Carriage Gangways to the next car of maximum possible width and height. The two types of cars (cab car / CC and intermediate car / IC) shall be used.

Future extension of an additional intermediate car for a 5-car train configuration shall be considered, technically prepared and proposed as an option.

#### **3.3 Train Length**

There are compatibility requirements with the existing train for train length and door arrangement because platform length and platform screen door in future.

## **4. TRAIN LOADING**

### **4.1 Seating Arrangements**

All passenger seats are arranged in longitudinal position for maximization of standing spaces. Seats shall be convenient and easy to clean, maintain and replace.

Seat design and colours will be determined by the Purchaser, in combination with the vehicle exterior and interior design.

Adequate handrails shall be easy to reach and shall enable safe passenger movements from and to the nearest passenger door.

Tip-up and fold-down seats, if used, shall be safe in any position.

### **4.2 Capacity**

Rolling stock capacity shall be specified according to the following definitions of the operational load and specified main characteristics:

- AW0: Empty Load with driver
- AW1: AW0 + all fixed and folding seats occupied
- AW2: AW1 + 5 passengers per m<sup>2</sup> standing area (for operational calculation)
- AW3: All seats occupied and a load of 500 kg/m<sup>2</sup> for standing areas (crush load)
- AW4: Specified according to applicable standards only for structural design and loading tests of car body.

EN 15663 & EN 12663 or GOST 50850-96 & STO SDS OPZT-05-2010 are to be considered.

## 5. OPERATING MODES

### 5.1 Normal Operation

Regular driving mode includes manual operation by driver under signal conditions. Platform dispatch is only by the driver with support of train borne camera system.

Cameras shall be positioned on the cab ends of trains on both sides. The cameras shall allow full supervision of the passenger's boarding by the driver in any case of weather, temperature and light conditions.

### 5.2 Degraded Operation

In case of signalling failure driving in line of sight is applied with a speed restriction of 20 km/h.

In case of a door failure the defect door will be isolated and mechanically locked in a mechanically secure and absolutely reliable manner. By locking the door the green loop is closed.

### 5.3 Emergency Operation

In case of fire or terrorist attack during train operation, train should reach next station without stopping in the tunnel for easy passenger evacuation.

### 5.4 Train Rescue

It shall be possible at any location of the line and the depot and under all ambient conditions to

- rescue an inoperable train (existing trains and new trains) in the maximum gradient at straight and curved sections and under consideration of lowest friction coefficient caused by humidity, dripping water, dust and other chemical films on the rail by push or pull action by an empty train, uphill and downhill, and
- to hold in the maximum gradient an inoperable train with fully released or inoperable brakes by an empty train.

The above shall include rescue of and rescue by existing trains. Full compatibility for mechanical coupling and the pneumatic brake system is required.

Neither damage to rolling stock, track or fixed installations, nor any risk of derailment shall arise from such operations at any section of the system, including any type of activated braking.

## 6. TRAIN PERFORMANCE

### 6.1 Acceleration

Starting acceleration is  $\leq 1,2 \text{ m/s}^2$  (adjustable) up to dense crush load condition AW3, and jerk limit is  $0.65 \text{ m/s}^3$ .

### 6.2 Braking (Service Brake)

Service braking is used to reduce speed in regular conditions in compliance with comfort criteria for all revenue load conditions. This braking must not cause regular and intensive stressing of wearing elements.

Maximum service brake deceleration is  $1,2 \text{ m/s}^2$  up to dense crush load condition AW3.

Service braking performances shall be achieved with only electro-dynamic braking from top speed to low speed, in all conditions of line receptivity up to 100% (maximum regenerative brake). At low speed (3 - 6 km/h) electro-dynamic braking shall be blended with the mechanical braking to stop the train, wheel slip protection being active.

In partial receptive condition, the full electrical braking effort is achieved with rheostat braking in complement. The dimensioning of the rheostats should ensure full availability during service without temperature restrictions.

If dynamic braking is restricted the mechanical air brake shall support the operational braking. The tenderer shall describe the limitations (run-time, speed) for different proportions of air brake support.

### 6.3 Braking (Emergency Brake)

Emergency braking mode is provided to stop the train in case of safety reasons, detected failure condition or signal system commands. Emergency brake is also applied if the safety loop is opened and maintained until complete stop ( $v=0 \text{ km/h}$ ).

Emergency brake deceleration is  $1,4 \text{ m/s}^2$  up to dense crush load condition AW3.

Emergency braking uses primarily all the electro-dynamic brake and/or all friction brakes to bring the train to complete stop from any operation speed. Wheel slip protection shall be active, exceptions are to be nominated in the brake concept.

### 6.4 Regenerative Braking

Trains shall comply with the existing power supply and traction system. Trains shall use regenerative braking. Tenderers shall familiarize themselves with the relevant conditions. Regenerated energy shall be used only for train operation within the DC system

## 6.5 Speed (Design Speed, Operating Speed)

The design speed is 90 km/h, and the operation speed is 80 km/h.

Performance requirements are based on Power supply at nominal value, running on straight and flat track and half worn wheels.

### Maximum operational speed

In AW3 load conditions, the train shall be capable of reaching its maximum operation speed with residual acceleration of  $\geq 0.13 \text{ m/s}^2$  in order to keep a steady maximum speed for all operational needs.

### Reverse speed

Reverse speed for movements of a train in the depot or on the line for a specific operation, shall be provided and automatically limited to 35 km/h.

### Washing machine speed

A special speed regulation shall be provided for passing a washing machine with around 3.5 km/h (1 m/s).

Change of the values for both speeds named above and other values for dynamic behaviour shall be possible for the client without restrictions by using supplied free hard and software.



## **7. TRAIN SUB-SYSTEMS**

### **7.1 Carbody**

#### **7.1.1 General**

Vehicles shall be compliant with the requirements of EN 12663-1 or GOST 50850-96 & STO SDS OPZT-05-2010.

#### **7.1.2 Crash protection**

Vehicles shall be compliant to EN 15227 or STO SDS OPZT-05-2010.

For client's information, which shall not be part of the evaluation process and is required only for Client's information, tenderers shall describe the installed crash protection systems and the collision impact which can be absorbed by the structure of the proposed vehicle.

#### **7.1.3 Front Design**

The front design shall present a unique appearance of the metro system to the City of Tbilisi.. Surfaces shall be free of edges and protruding elements and easy to clean.

#### **7.1.4 Roof**

The roof shall not carry technical equipment and shall therefore enable only for walking on designated areas if required.

#### **7.1.5 Intersection - Inter-Carriage Gangways**

The intersections shall require minimum maintenance and sustain the ambient and climate conditions of Tbilisi. They shall provide noise protection and thermal insulation and sustain the design life of the vehicle with not more than regular maintenance.

Intersections shall allow fast decoupling of vehicles in the depot and on the line in case of vehicle rescue or re-railing actions. The maximum time for decoupling of vehicles by two persons must not exceed 20 minutes.

Actions for complete decoupling incl. the bellows shall be described easily and shall be stated as information, which shall not be part of the evaluation process and is required only for Client's information.

## 7.2 Bogies

### 7.2.1 Bogie Design

All bogies shall be identical and fully interchangeable. The assembling into the opposite direction at the same position in case of unequal wear of wheels and flanges must be possible with lowest adaptations. The Tenderers shall describe necessary action and amount of working hours for the latter. This is for client information only and is not for use in tender evaluation.

The Contractor shall verify this during maintainability demonstration. During service life, no cracks shall appear anywhere in the bogie frame. Bogie frames shall be of a service-proven design.

Bogie to car body connection shall be by a centre pin. The bogie connection shall include features to enable lifting the bogie together with the car body. When the car body is lifted, bogies shall raise together with the car body, without disengaging any part of the suspension system.

### 7.2.2 Wheelsets

Wheels of monobloc types with a sufficient radial wear allowance of  $\geq 40$  mm in radius shall be used.

Axles and wheels shall be designed and verified according to UIC and EN or GOST Standards.

The Contractor shall define and verify an optimal wheel tyre profile according to the rail profile used.

### 7.2.3 Flange Lubrication

Leading bogies at cab end cars of half of all supplied trains shall be equipped with flange lubrication for liquid, semi liquids and/or solid compounds.

Tenderers shall describe their provisions for flange lubrication devices. This is for client information only and is not for use in tender evaluation.

### 7.2.4 Axle Bearings

Axle / wheelset bearings shall transmit all necessary forces under all operating conditions, shall support noise and vibration minimisation and shall provide connectivity for traction return current.

If the vehicle body is lifted or jacked, bogies / underframes shall not unintentionally separate from the body.

### 7.2.5 Suspension

Vehicles should have two suspension levels:

- primary suspension (between bearings and underframe / bogie frame)
- secondary suspension (between bogie frame and car body).

Tender shall explain the technical solution comparing to the maintenance efforts. This is for client information only and is not for use in tender evaluation.

#### 7.2.6 Couplings

Couplings used in running gear (between gearbox and traction motor) must be oil-free and maintenance-free.

#### 7.2.7 Third rail current collector

Third rail current collector is fixed before primary suspension and must be height adjustable.

### 7.3 Couplers

#### 7.3.1 Front - End Coupler

It shall be possible to connect two trains, if one is in degraded condition, mechanically and pneumatically at any section of the mainline. Coupling shall be possible without any manual assistance and intervention.

The tenderer shall propose a coupling concept considering rescue actions with existing train generations and also for train positions in curves and s-curves.

Couplers shall be operable under any ambient condition. The coupler shall be at usual height, to enable mechanical coupling with all generation rolling stock.

The actual fleet is using coupler type 717 and 714 (Scharfenberg design).

#### 7.3.2 Intermediate Couplers

Coupling between cars of a train (intermediate coupling) may be by specific mechanical short-couplers as proven connection (semi-permanent couplers).

Coupling and decoupling may be executed with specific tools. For damping and crash protection specific devices shall be installed. Electrical connections are separated. An uncoupling on the mainline shall be considered for rescue actions and adaptors for shunting should be provided.

### 7.4 Propulsion

#### 7.4.1 General conditions

The performance requirements are based on a maximum adhesion coefficient of 0.16.

#### 7.4.2 Nominal Performances

The nominal performances are given in AW2 load condition and with all motor bogies in service:

- Average acceleration rate up to 40 km/h:  $\geq 1,26 \text{ m/s}^2$
- Jerk limit nominal:  $0.65 \text{ m/s}^3$  (adjustable from 0.6 to  $0.9 \text{ m/s}^3$ )

#### 7.4.3 Fall back operation

With power being reduced to any kind of failure equal in consequence to  $\geq 25\%$  of motor bogies failure and with the train in AW3 condition, it shall be capable of starting at an acceleration of  $0.2 \text{ m/s}^2$  at any section of the line.

For power reduce of  $\geq 0\%$  and  $\leq 25\%$  the train shall be capable to operate under regular service conditions and AW2 for unlimited time till end of revenue service. Potential restrictions should be listed by the tenderer.

### 7.5 Traction

#### 7.5.1 Traction System & Interfaces

The traction system shall sustain revenue operation over more than a full operating day at full capacity, and shall be safe under all ambient and operating conditions in Tbilisi.

The supplier shall coordinate the traction system, earthing and overvoltage protection of the vehicle with the traction power system supply by the third rail.

#### 7.5.2 Failed Vehicles

The traction system shall enable to rescue failed trains at least until the depot or a siding is reached, from any point of the line.

#### 7.5.3 Current Collection

On each motor bogie there are installed 2 pick-ups on each side of the vehicle which ensure the connection to the traction power supply of the third rail.

The collector is of retractable (hinged) type, with pneumatic and manual operation functionality.

For train power supply in the workshop and stabling areas connecting devices to stingers are required.

#### 7.5.4 Traction Motors

Three-phase AC motors shall be used.

No danger shall arise from currents generated by traction motors during any push or pull operation.

### 7.5.5 Brake Resistors

Braking energy if not returned to the power rail shall primarily be used for heating/cooling of the vehicle interior and for other on-board systems. If and when necessary, and the remaining energy shall be released to the environment by resistors. Continuous operation without restrictions shall however also be possible with rheostat braking only.

### 7.5.6 Return Current

Traction current return through rails shall be reliable and safe under all operating and ambient conditions.

## 7.6 Auxiliary Power

### 7.6.1 General Requirements

The tenderer shall present a common used low voltage concept, designed and installed in similar trains.

The low voltage system shall at least support

- all necessary on-board functions during revenue operation,
- all necessary control and communication functions under degraded operation,
- interior and exterior lighting including emergency lighting and
- passenger doors.

Radio communication shall still remain possible when all other systems are not operational.

A 230 V AC system shall include 230 V AC sockets in the passenger compartment for cleaning and testing purposes. The 230 V plugs shall be isolated during revenue service.

### 7.6.2 Degraded Conditions

All functions which are safety critical and/or essential for operation shall remain available under degraded conditions and traction power failure at least until the depot is reached.

### 7.6.3 Battery

The battery shall be designed to provide 30 min ventilation, with 50% performance.

Battery charging of complete discharged batteries shall be possible directly from traction power and without supply of external energy/voltage.

Tenderers shall specify their battery type / technology. The provided specifications shall not be used for the evaluation purposes and are required only for Client's information.

## 7.7 TCMS

### 7.7.1 On-Board Information System

Vehicles shall enable and support an on-board information system controlled from driver cab units (e. g. IBIS system). An open system shall be used.

Visual and audible information systems as well as automatic vehicle location shall be fully supported. Details will be specified at a later design stage.

Information shall not be lost when driver's cabs are shut down or during reversing at termini.

Data read-out and downloading shall be easily possible by the operator's personnel without proprietary equipment.

Tenderers shall propose the wireless communication between the trains and information transfer devices on the mainline and in the depot area for automatic status transfers and data updating.

### 7.7.2 Fault Detection System

A fault detection system shall indicate faults on the driver display and shall distinguish at least between

- safety critical
- critical to operation and
- non-critical events.

Automatic detailed failure data downloading to a depot and maintenance management system at the entrance of the depot zone system shall be supported.

## 7.8 Event Recorder

Safety critical action by the driver shall be recorded and stored with the corresponding data (time, distance, location, type of action) for evaluation by both the operating company and the authorities involved. Data storage shall be safe and easily accessible in case of accidents including collisions ('black box'). Driver access to the data shall not be possible. Storage capacity shall be for one week operation.

## 7.9 Future Provisions for GoA3/4

Design, construction and operation of Tbilisi's metro system is actually based on GOST and SNiP standards and their subordinate regulations. Upgrading of the metro system is however under way, with a transition largely to European Standards.

Both operated lines have conventional signalling systems, Line 2 is upgraded with a Tetra based

installation. A modernization and harmonization for both lines is in preparation and expected in mid-term future.

ATO up to GOA 3 / 4 shall be considered for later future and preparations for additional control equipment shall be considered in the proposal. For driver's convenience an integrated ASC system is required.

## 7.10 Passenger Doors

### 7.10.1 Doors arrangements

All cars shall have 4 passenger doors per side in symmetrical distances and arrangements. Each door shall have two door leaves. Plug slide doors shall be proposed.

Malfunction of the suspension or low position of the vehicle shall not interfere the door opening in any case. A failure of one door system shall not affect operation of the other systems.

Change of the parameters for door opening and reacting times shall be possible for the client without restrictions by using supplied free hard- and software.

### 7.10.2 Door Operation

The following modes for revenue operation are foreseen:

- 1.1 All Doors of a train side can be opened by the driver. No passenger actuation will be used.
- 1.2 Doors can be closed by driver command.
- 2.1 All Doors of a train side can be released by the driver. Passengers can open the door by pressing push buttons outside or inside of the train.
- 2.2 Doors are closing 3 - 5 seconds after no passenger transfer in the doorways is detected.
- 2.3 Doors are closing after driver cancels the door release.

For all regular modes above doorway supervision by minimum 2 red-light bars or comparable devices and optical and acoustical signals before moving of the blades is mandatory.

- 3.0 Forced closure of doors by the driver with increased optical and/or acoustical warning to passengers. Only the protection against trapping in the doorways shall then remain active. Re-opening distance is limited and door closing forces shall be increased.

Doors of one side shall be locked against simultaneous opening of doors of the other side, during revenue operation. For revenue service the passenger doors shall be supervised for opening in stations only on the platform side.

Specific modes:

- 4.0 It shall be possible to open and close dedicated doors by cleaning personnel and drivers,

also when the vehicle is in fully shut down condition and/or the battery empty.

- 5.0 It shall be possible to de-activate and lock mechanically passenger doors by the driver from inside or outside, and continue revenue operation. Deactivated door is signaled for passengers outside and inside the train. For driver's locking a safety key device shall be used.

Warning indicators (visual / audio) to indicate imminent door closure should be agreed by the client and programmable.

Door safety mechanisms shall have sensitive edges to protect passengers against injury. Small items (i.e. dog leash) locked between the closed door leaves shall be detected after door closing and a warning signal given to the driver. Risks of injuries shall be minimized.

Tenderers shall describe the door safety system(s) they propose to use in their vehicle.

#### 7.10.3 Equipment

Doors shall protect against weather and excessive sunlight and prevent penetration of the vehicle interior by humidity and dirt.

Moveable parts to minimize horizontal and/or vertical gaps between vehicle floor and station platform shall not be used.

#### 7.10.4 Door Space

Adequate space shall be provided opposite and/or adjacent to passenger doors to facilitate rapid boarding and alighting, crush loading and conveying of wheelchairs, prams, bulky luggage and the like. Vertical handrails shall not restrict the door width.

#### 7.10.5 Doorways

Doorways shall facilitate reliable door operation and efficient passenger movements. Minimum free opening width should be 1300 mm.

#### 7.10.6 Passenger emergency installations

Each door is fitted inside with a mechanical egress handle for passengers. If the handle is pulled, the door shall plug out and can be opened manually by passengers. Both leaves are mechanically connected and open simultaneously. If the train is in movement the door closing gear will be activated for forcing the door into close position.

Each car is fitted with an 2 intercom for passenger - driver communication (microphone/loudspeaker multiplex combo) and an emergency passenger alarm push button, which is covered by a glass / plexi screen.



#### 7.10.7 Mechanical Lock

Each door is fitted inside with a mechanical lock by a safety key. By locking the door the safety loop is closed.

## 8. COMMUNICATIONS & PASSENGER INFORMATION SYSTEMS

### 8.1 Radio

The delivered trains must be fully compatible with existing equipment for radio as described below.

There are forty three "PTC-A24M" stationary radio stations located on both sides of the metro line, which are installed at 10 stations, namely: Samgori, 300 Aragveli, Liberty Square, Station Square 1, Guramishvili, Akhmeteli Theater, Station Square 2, Tsereteli, Medical University and Vazha-Pshavela.

For the two-way radio communication link between the driver's cab and the traffic dispatcher, there is a 4 mm "BCM-1" bimetallic wire (waveguide) located on the brackets installed on the arch of the metro tunnel. As for the Rolling Stock, on the roofs of the cab cars, there is a longitudinal bimetallic wire of 13 m long, 8 ÷ 10 mm in diameter. Frequency of 2444 kHz is used on the main line, and 2644 kHz for Saburtalo line. In the cab cars, in the technical room behind the driver's cab, there is a "42PTM" type radio station manufactured in the Russian Federation, c. Novosibirsk, JSC "Zavod Elektrosignal".

On Saburtalo line, State University - Station Square 2 as well as on the main line, Station Square 1 – Grma Ghele portal and Depot Nadzaladevi Station section in parallel with the old radio transmission system, operates TETRA Standard Radio Broadcasting System, using 411.725MHz, 421.725MHz, 413.325 MHz, 423.325 MHz, 413.750, 423.750 MHz, 414.150 MHz and 424.150 MHz, frequencies.

For the radio communication purposes on the Saburtalo line, a console with Hytera software has been installed in the Traffic Dispatcher and the stations are installed with TETRA standard Hytera base stations, "TS-9200 350M" type, "BDA Local" and "TS-9200" type "BDA Remote" with dual amplifiers to be connected via coaxial cables:

Stations State University - Vazha Pshavela and stations Vazha Pshavela - Delisi first-line 7/8 " leaky waveguides (leaky feeders), and as for the other stations next to the "TDJ-400Z8 400 to 480 MHz" type antennas.

For Saburtalo line, in the driver's cabs, there is a "MT680 Plus" mobile radio station adopted with "TETRA standard" produced by Hytera. For the reception and transmission of digital radio signals, "OmPlecs®-TOP 200 AMR 0.7-B -2" antennas are mounted on the roofs of the driver's cabs, which are interconnected by coaxial cable.

## 8.2 Public Address

The public address system shall allow communication between driver and passengers. Pre-recorded announcements of stations shall be automatically activated. Activation and preparation of other languages in addition to the Georgian language shall be possible by the operator.

The driver shall have the ability to address passengers at stations.

Audible information shall duplicate optical information, in line with universal design principles, shall be anticipated.

## 8.3 CCTV

Each and every component/equipment of the CCTV system installed in the metro cars shall be compliant with the following railway standards: railway standards EN 50155, EN 50121-3-2 (EMC), EN 60068 (temperature/climate), EN 61373 (shock/vibration), EN 45545 (fire protection).

- 1 camera shall supervise line (shall be installed either on the windscreen in the driver's cab or on front of the driver's cab).
- The number of cameras required for the saloon supervision of each car shall be agreed with the Purchaser, depending on the design of the car and the characteristics of the cameras. A full coverage is required.
- Each camera shall be digital: minimum 2 Mp, minimum: 12 shots per second and with H.264, H265 standard support or equivalent.
- Record and store data for a pre-defined period, not less than 2 weeks / 336 hours per each recorder equipment.
- Records shall be stored at least on 2 recording equipment (1 recorder unit).
- Each metro car shall be equipped with redundancy cable network, connected to the commutators and placed on pre-defined areas. Also at least 2 units of network ports shall be reserve in each metro car.
- At least 2 redundancy network cables shall be laid between the metro cars.
- CCTV system shall be separated from other systems and CCTV equipment shall be independent from other systems equipment.
- Manufacturer's name of the camera or any camera feature shall not be identifiable for passengers.
- 2 units of video recording equipment shall be installed in the driver's cab and connection shall be made with authentication protocols.

## 8.4 Passenger Information Systems

### 8.4.1 Exterior Displays and Audible Installations

Route, destination and train order displays shall be provided on the front end. Displays shall be

readable under all ambient conditions in Tbilisi. Readability of displays shall be coordinated with exterior, esp. nose design.

When shut-down for reversing, information displays shall remain active.

#### 8.4.2 Interior Displays

Interior displays shall be provided in reasonable numbers and size which shall at least:

- Be dedicated for special transportation vehicle (vandal proof, vibration proof, water and dust resistant);
- Enable the operator to select from Pad/Monitor the next station, previous station. In addition all station names shall be listed and upon the selection of each station all monitors shall visualize respective video and synchronized audio signal. This information shall be synchronized and delay for announcement shall not exceed 1 second. Video and audio signals shall not be interrupted and or lost;
- Be easily editable the station data by the personnel (name, video image and audio file)
- indicate the next stop whilst the vehicle is in motion, and the route number and destination whilst the vehicle is stationary in a station;
- split-screen or by changing frames advertisement;
- Display Georgia/English fonts

#### 8.4.3 Voice and Data Radio

The voice radio system shall enable communication at least

- between the operation control centre and the vehicle/driver (voice and data radio).

The data radio system shall support automatic vehicle monitoring by the operation control centre. Details will be specified at a later stage.

#### 8.4.4 External Loudspeakers

For vocal passenger information and warning loudspeakers shall be installed close to the passenger doors. The system should have automatic level control to adjust ambient noise level.

#### 8.4.5 Passenger Intercom

An intercom between passengers and the driver shall be provided adjacent and/or opposite to each 2<sup>nd</sup> doorway. Communication shall be controlled by the driver.

#### 8.4.6 Passenger Emergency Device

A passenger emergency device shall be provided adjacent and/or opposite to each doorway.

Passenger emergency brakes and emergency door handles shall be in the same place, where applicable.

## 9. RELIABILITY, AVAILABILITY & MAINTAINABILITY

### 9.1 General

9.1.1 Reliability, Availability and Maintainability (RAM) figures used in this Design Criteria have been derived from the source documents provided by TTC. Specifically, the figures provided in the document “General Requirements to Metro Cars” have been used. These figures are indicative only and should be verified as part of the Basic Design stage.

### 9.2 Mean Distance Between Failures (MDBF)

9.2.1 MDBF is a key metric that measures the overall reliability of the new Rolling Stock, it is a metric used by many other similar metros worldwide. To optimize the rolling stock design and avoid over-designing non-critical components, the MDBF figure is typically considered in conjunction with the impact/consequence of failures. This approach allows failures or events that could potentially cause unsafe situations or major impacts to train operation to be specified at greater mean distances than those events or failures that cause minimal impact. A common method of classifying impact of failures is to assign a range of categories to a range of failure types.

#### 9.2.2 Categories of failures

9.2.3 For this Design Criteria, the categories and definitions provided in the “General Requirements to Metro Cars” have been used:

- 1) Category A (highest, most stringent): Failures that have the potential to affect safety;
- 2) Category B: Failures that have the potential to affect operational reliability;
- 3) Category C: Failures that have the potential to affect passenger comfort; and
- 4) Category D (lowest, least stringent): Failures that have the potential to cause no immediate loss of function.

#### 9.2.4 MDBF – Category A & B

For category A&B failures, the new Rolling Stock shall have a MDBF of 500,00km

#### 9.2.5 MDBF – Category C

For category C failures, the new Rolling Stock shall have a MDBF of 100,00km

#### 9.2.6 MDBF – Category D

For category D failures, the new Rolling Stock shall have a MDBF of 50,00km

### 9.3 Maintainability

9.3.1 Subject to any modifications and improvements identified in the Feasibility Team's Feasibility Study Report, the new Rolling Stock should be able to be maintained by trained staff at the existing maintenance facilities and workshop.

9.3.2 As the supplier of the new Rolling Stock has not yet been identified and since the maintainability of Rolling Stock is unique to each supplier, it is not appropriate to include maintainability figures in this Design Criteria. In place of maintainability figures, this Design Criteria specifies the following:

- 1) The successful supplier of the new Rolling Stock should conduct a maintainability analysis that demonstrates that the availability/reliability figures, as expressed as Mean Distance Between Failures above, is achieved by their rolling stock.

## **10. SAFETY & QUALITY**

### **10.1 Hazard Management**

#### **10.1.1 The purpose of Hazard Management is to:**

- 1) Identify safety risks associated with the procurement, design, assembly, manufacture, testing, handover and acceptance of the new Rolling Stock;
- 2) Generate safety requirements;
- 3) Apportion safety control measures or mitigations to systems, people, processes and organizations to ensure safe operation of the new Rolling Stock; and
- 4) Provide a means to demonstrate safety compliance.

#### **10.1.2 Identification of hazards is fundamental to safety management. Where hazards are not identified, they cannot be managed and, as necessary, designed out or mitigated. Therefore, it is crucial to the design of the new Rolling Stock that all potential hazards are identified, recorded and managed in a project specific Hazard Log.**

#### **10.1.3 Hazard management should consider all stages of the project lifecycle and include people, processes as well as the Rolling Stock and it's associated systems and subsystems.**

#### **10.1.4 Hazard management should address the risk to the existing system and to the metro environment within which the new Rolling Stock will be operated.**

#### **10.1.5 All hazards should be recorded in the Hazard Log. The Hazard Log is to be implemented as part of the future Basic Design at the outset of the procurement of the new Rolling Stock. The Hazard log should be maintained (and updated as necessary) throughout its design, manufacture, assembly, testing, handover and acceptance.**

#### **10.1.6 Key activities related to hazard management that should be conducted in parallel to preparation of the Basic Design are:**

- 1) Preliminary hazard identification;
- 2) Preliminary Hazard Analysis (PHA);
- 3) Interface Hazard Analysis (IHA);
- 4) Operational Safety Hazard Analysis (OSHA); and
- 5) Sub-system Hazard Analysis (SSHA).

#### **10.1.7 Hazards identified should be assessed to determine the risk of the hazard in terms of its likelihood and consequences. All risks should be assessed and reduced to as Low As Reasonably Practicable (ALARP). The Hazard Log should be updated as hazards are**

assessed and mitigations defined or as new hazards are identified and assessed. Implementation of the principles, approach and processes set out in EN50126 is recommended.

10.1.8 The outcome of the Hazard Management process, and evidence created throughout its implementation is essential to support the Safety Case.

## 10.2 Safety Case

10.2.1 The Safety Case provides formal and documented evidence that the new Rolling Stock is safe for its intended operation on the existing Tbilisi metro. The Safety Case relies upon the collation of evidence, performance of tasks and the creation of a comprehensive set of documentation that is incrementally prepared throughout the project lifecycle. As a consequence, work on establishing the Safety Case should commence at the time of procurement of the new Rolling Stock and continue throughout its design, manufacture, assembly, testing, handover and acceptance.

10.2.2 The European Standard EN50126 provides guidelines for developing the Safety Case and as such it is recommended that this standard be adopted and followed.

10.2.3 Review and approval of the Safety Case is likely to require involvement of the various authorities in Tbilisi in addition to TTC. To ensure that the Safety Case meets all stakeholders' requirements, it is crucial to identify all relevant stakeholders at the commencement of the project, establish their needs and requirements and include them in the task to develop the Safety Case.

10.2.4 Further information on the Safety Case, the approach to its development and safety certification is included in the Study Team's Feasibility Report.

## 10.3 Fire Protection

10.3.1 The fire-safety protection, evacuation and rescue design concept for passengers shall be in accordance with the current EU standards e.g. NPB 109-96 or equivalent for metro trains.

10.3.2 The train and its components shall be designed, verified and validated according to EN 45545-1-7 or GOST 50850-96 & NPB 109-96 standards.



- 10.3.3 Materials shall be of low flammability and non-toxic. Fire loads shall be reasonably minimized with regard to operation in tunnels. All materials used in the vehicles interior shall be tested in accordance with respective test procedures relevant fire safety standard and must comply with the performance criteria.
- 10.3.4 The floor assembly, including supports, penetrations with fasteners, conduits, pipes and floor to wall connections, shall perform as a fire separation barrier for a minimum period of 30 minutes after an under car fire has started.
- 10.3.5 Roof fire resistance shall be verified in accordance with ISO 834-1 or NPB 109-96.
- 10.3.6 The fire alarm system shall be designed in accordance with EN 45545 or NPB 109-9..
- 10.4 Quality
  - 10.4.1 All work shall be managed in accordance with EN ISO9001
  - 10.4.2 The Rolling Stock supplier shall prepare and submit a Quality Management Plan that sets out their approach to quality and application of the EN ISO9001 quality system.

## 11. HUMAN FACTORS

### 11.1 Ergonomics

11.1.1 Ergonomic design of the cab is crucial to the safe and efficient operation of the rolling stock. Therefore, the new Rolling Stock should be designed in accordance with European Health & Safety regulations and guidelines. During preparation of the Basic Design the application of the following standards should be considered and assessed:

- 1) EN 547-3 Safety of Machinery – Human Body measurements – Part 3: Anthropometric data.
- 2) EN 894 Safety of Machinery – Ergonomic requirements for the design of displays and control actuators
- 3) UIC 651 (E) Layout of Driver's cabs in locomotives, railcars multiple unit trains and driving trailers

### 11.2 Driver's Cab

11.2.1 The design of the driver's cab of the new Rolling Stock should be in accordance with the following principles:

- 1) The position of the driving desk should be the same as the existing Tbilisi Mtero rolling stock;
- 2) Enable the driver to pay attention to the lineside signal aspects and their interpretation;
- 3) Enable the driver to perform all train operations without being distracted from observing the lineside signals;
- 4) The driver's seat should be designed such that it allows the driver to undertake all normal driving functions in the seated position;
- 5) The driver's seat should be designed in accordance with the anthropometric data applicable to the Georgian population;
- 6) Safety related and/or frequently used equipment should be located between the minimum and maximum of the radius of the anthropometric accessibility of the driver;
- 7) Information provided to the driver should be within the recommended field of vision.

11.2.2 The design of the driving console of the new Rolling Stock should, as far as possible follow the general layout of the existing rolling stock. However, where possible, the following principles should be followed:

- 1) All displays should have a similar user interface;
- 2) Information that is not essential for driving should only be presented if it has an impact on operation (e.g. state of the train, failure etc.);
- 3) Elements that are not needed during driving should not be located on the driver's control desk;
- 4) Operating elements of the same function should be grouped together;
- 5) Each action of the driver should have some form of feedback, e.g. visual, audio or kinesthetic. The driver should be confident of the function activated;
- 6) Shape, colour and location should be used to distinguish different functions;
- 7) Key elements related to driving, e.g. speed, traction, braking and signalling information shall be located within the driver's main field of vision.

### 11.3 Saloon

11.3.1 The design of the saloon of the new Rolling Stock should be in accordance with the following principles:

- 1) Allow safe access and egress from the train under both normal and emergency conditions;
- 2) Provide at least 1 space in each car for wheelchairs;
- 3) Provide at least 1 multi-purpose area per car;
- 4) Provide a passenger emergency device adjacent to each doorway;
- 5) Provide a passenger intercom between the passenger and driver, located adjacent to each 2<sup>nd</sup> doorway;

#### 11.3.2 Floor height

Height difference from platform should be as small as possible in order to realize smooth getting on/off of wheelchair. Air suspension of bogie has leveling function to keep constant floor height, height difference is only caused by primary spring of bogie based on load condition.

## 12. ENVIRONMENTAL CONDITIONS

### 12.1 Ambient Conditions

#### 12.1.1 Climatic conditions

Information about temperature ranges for operation and stabling is as follows.

Temperature range of operation:  $+45^{\circ}\text{C} / -25^{\circ}\text{C}$

Temperature range of stabling:  $+45^{\circ}\text{C} / -25^{\circ}\text{C}$

Future increases of annual mean temperatures shall be considered.

Ambient conditions for service in Tbilisi shall be considered as extremely aggressive, in particular for the tunnel sections with ingress of sulphurous waters. This will require specific corrosion protection measures.

Massive snowfall and rainfall shall not affect operation.

Unlimited outdoor stabling shall be possible without any damage, and shall not affect operation. Tenders shall state any special provisions or on-board systems which need to remain active for outdoor stabling under the expected ambient conditions in Tbilisi.

For client's information tenderers shall describe their corrosion protection measures including consideration of sulphurous waters in tunnels.

#### 12.1.2 Other Conditions

The system is operated in tunnels and elevated sections. Potentially reduced friction coefficients between rails and wheel due to humidity in tunnels and leaves on wet rails on surface sections shall be addressed.

Sanding is generally not permitted for the whole metro system.

12.1.3 For client's information tenderers shall describe their specific friction detection and propulsion control system.

### 12.2 Noise

The Tenderer shall propose an acoustic concept and shall verify the defined parameters during commissioning of the trains in accordance with ISO 3095 and ISO 3381 or GOST 50850-96 and the requirements below.

Tenderers shall propose verification methods.

## Noise Level Limits

Location and Conditions	Maximum noise level [dB(A)]
Inside, passenger compartment; standstill ventilation working at maximum normal power	$\leq 70$
Inside, passenger compartment, moving at 60 km/h constant speed, 1.5 m above car floor, ventilation working at maximum normal power	$\leq 76$
Inside driver's cab standstill and air conditioning working at maximum normal power	$\leq 68$
Inside driver's cab, 60 km/h and air conditioning working at maximum normal power	$\leq 74$
Outside, standstill, driver's air conditioning and passenger compartment ventilation working at maximum normal power	$\leq 70$

## 12.3 EMC/EMI

The tenderer shall provide an EMC concept assigning an EMC responsible person resolving all EMC related matters regarding electrical and structural equipment of the rolling stock, including the measures required to comply with the EMC requirements and the applicable standards, such as EN 50121 or GOST 33436.3-1.

The EMC concept shall reflect all EMC relevant data and evaluation. The EMC Concept shall particularly provide all arrangements to be made for compliance with signalling and telecommunication equipment.

## **13. TESTING, HANDOVER & ACCEPTANCE**

### **13.1 Testing**

13.1.1 To mitigate integration risks related to the new Rolling Stock, existing signalling system and traction power the new Rolling Stock must undergo a series of static and dynamic tests prior to acceptance and operation on the existing Tbilisi metro. Whilst static testing can be performed at the manufacturer's facilities, dynamic tests, by their very nature, require a length of track (test track) that allows the rolling stock to be driven and operated as close to normal operating speeds as possible.

13.1.2 To facilitate early integration testing between the Rolling Stock and other subsystems and dynamic testing a length of test track needs to be made available. It is ideal if this test track is available at the manufacturer's facilities and this requirement should be considered when selecting a supplier to manufacture/assemble the new Rolling stock.

13.1.3 In the event that a test track is not available at the manufacturer/assembly facilities, then arrangements need to be made with TTC to allow dynamic testing of the new Rolling Stock using a section of the existing metro.

### **13.2 Test Documentation**

13.2.1 Documentation to plan and record the outcome of tests is required. This documentation should include:

- 1) Test Schedule;
- 2) Test Plan;
- 3) Test Procedures;
- 4) Test Reports; and
- 5) Master Test List.

- 13.2.2 Test documentation is not a set of static documentation, the test documentation should be considered as active documents. As active documents, they should be kept up-to-date and amended (as necessary) in response to the execution of the tests and any circumstances that cause change to the testing.
- 13.2.3 The Test Schedule should set out the planned testing activities, sequence of tests, planned duration of each test and inter-dependency of testing activities together with key dates, milestones.
- 13.2.4 The scope of the Test Schedule should include static tests, dynamic tests as well as system integration tests that are required to verify the integration of the new Rolling Stock.
- 13.2.5 Should dynamic tests require the use of the operational metro (or a section thereof), the management, safety, access, test execution and scheduling of the tests should be coordinated with TTC.
- 13.2.6 The Test Plan should describe the approach to testing, the test organization, responsibilities, test evidence and verification of tests against requirements. The Test Plan should include the Test Schedule.
- 13.2.7 The Test Procedures should be prepared for each planned test. The Test Procedure should describe the test method(s), test steps, the pass/fail criteria, test environment & conditions and method for recording the test outcome.
- 13.2.8 Test Records are required as evidence to support the Safety Case, handover and acceptance. Test records for all tests (static & dynamic) should be produced to record the outcome of each test.
- 13.2.9 The Test Record should record the test environment and conditions at the time of the test, the personnel responsible for performing the test, test equipment, date, time and test outcome.
- 13.2.10 The Test Record should include a method to link/trace the test to the requirement(s) that the test satisfies together with a method for the test personnel to verify that the test fulfills the overarching requirement(s).
- 13.2.11 A Master Test List should be maintained to record and track the status of the planned tests and respective outcomes.

### 13.3 Handover & Acceptance

13.3.1 Handover and acceptance of the new Rolling Stock must be planned sufficiently in advance of the planned delivery. This is to provide sufficient time to prepare and assemble the necessary supporting document. It is anticipate that a minimum of 18 months will be required. Supporting documentation should include:

- 1) Safety case completed and approved;
- 2) Evidence of successful test outcomes;
- 3) Resolution of any major outstanding items;
- 4) Completion of training and proof of training;
- 5) Availability of spare parts and materials;
- 6) Completion of modifications (as necessary) to the Depot/Workshop needed to maintain the new Rolling Stock; and
- 7) Handover and acceptance documentation, approved and signed by TTC and any other relevant parties.



## 14. MAINTENANCE & TRAINING

### 14.1 Maintenance

For client's information tenderers shall provide maintenance / replacement intervals for the following components, which shall not be evaluated:

- Wheelsets and components
- Braking systems and components
- Lubricants
- Intersection and Couplers Components
- Dampers
- Wearing parts of doors
- Filters

Tenderers shall propose additional maintenance arrangements based on availability criteria and describe corresponding references and experience.

Tenderers shall determine and propose the set of capital spare parts necessary to fulfil the proposed availability and specify cost and delivery time.

To allow proper maintenance a state-of-the-art diagnostic system is to be provided. Remote information transfer shall be included.

### 14.2 Maintenance Concept

The tenderer shall provide a specific concept for preventive and corrective maintenance of the new trains which shall fulfil the applicable legal regulations and technical standards, and satisfy the availability criteria.

### 14.3 RAMS Requirements

#### 14.3.1 Mean Distance Between Failures (MDBF)

The following MDBF figures [train km] shall be achieved as a minimum:

- A+B- Category: 500,000 km
- C - Category: 100,000 km
- D - Category: 20,000 km.

The categories are specified as:

- Category A: Failures that can affect safety.
- Category B: Failures that affect operational reliability.
- Category C: Failures that affect passenger comfort.
- Category D: Failures that cause no immediate loss of function.

Special attention shall be paid to the following components and assembly groups:

- Drive and brake control unit
- Traction motors
- Compressor for air-supply and
- Passenger Doors.

#### 14.3.2 Availability

Tbilisi Metro requires trains that are of mature design. Untried and/or untested technology is not acceptable. Mature design means that all designs of components, technology, and software in the offered train must have been in revenue-earning service for a minimum of six months prior to the offer. The tenderer shall provide written evidence of these facts that shall include the quantity of similar cars already in service with the same components, technology and software and their locations and the names of the owning railway entities.

#### 14.3.3 Maintainability

The Tenderer shall undertake maintainability analyses to assess the preliminary maintainability targets of the trains.

The Contractor shall state the maintainability requirements, and demonstrate that maintainability is sufficient to support the required train availability and reliability.

The Contractor shall demonstrate that maintenance errors have been considered, and, as far as practicable, appropriate engineering has mitigated the risk of maintenance-induced faults.

To optimise corrective maintenance, techniques employing automatic diagnostics tests and efficient rapid repair procedures shall be described and established. Maintainability is not part of the evaluation process and is required only for Client's information.

#### 14.3.4 Safety Requirements

Trains shall present a safe, hazard-free environment to passengers, staff and the public.

Passengers and staff shall not be exposed to tripping hazards, sharp points and edges, lethal or injurious voltages, toxic materials, abrupt or unexpected accelerations, or similar hazards.

Location, illumination levels, colours, graphics, and surface finishes shall be selected to enhance visibility of trip edges, windscreens, controls, and other potential hazards with which the passengers and staff come into contact.

Normal and emergency equipment and controls that passengers or staff may be required to operate shall be clearly identified, and where required, operating procedures shall be presented in

adequate manner.

Operating and maintenance manuals, procedures, and training shall explain the correct handling, storage, and disposal of hazardous materials. Exposure of maintenance personnel to lethal or injurious voltages shall be reduced through compartmentalisation, interlocks, and similar measures.

All equipment shall be free from sharp points and edges. All equipment containing hazardous materials, lethal or injurious voltages, or other risks shall be clearly marked on both the outside and inside of the equipment in adequate manner.

#### 14.4 Interchangeability

All aggregates, components and wearing parts shall be interchangeable between vehicles without modification. In order to keep the operational and maintenance costs as low as possible, the application of non-variable parts is of great significance.

Interchangeability is not part of evaluation process and is required only for Client's information.

Time required to change the following components (including putting into service and adjustments) shall be stated by the Tenderer:

- Bogie
- Wheelset incl. motor
- Brake pads
- Brake actuators
- Traction inverter
- Auxiliary inverter
- Pick-up
- Air-Con unit for driver's cab
- Windscreen
- Lateral windows
- Passenger door system
- Passenger door leave
- Passenger door drive/controller
- Passenger seat
- Driver's seat
- Windscreen wiper
- Windscreen wiper drive and motor
- Coupling and Decoupling of intersections

If required by the Purchaser, these times shall be demonstrated on site by the Supplier.

#### 14.5 Washing and Cleaning

The vehicle exterior shall be suitable for mechanical washing with existing equipment.

The vehicle interior shall facilitate easy interior cleaning. Edges where dirt, litter and water can collect, shall be avoided. Floor covering should be continued up into side panels without interruption, to prevent water leaking into the body structure.

#### 14.6 Anti-Vandalism Concept

The vehicle interior and exterior shall be vandalism resistant and enable easy graffiti removal and component replacement. The tenderer shall propose its specific protection methods.

## **Tbilisi - Feasibility Study Procurement of New Rolling Stock**

### **Rolling Stock Design Criteria**

**Document Number TBL1-FSRS-GEN-DEC-0001**

<b>Revision</b>	<b>Date</b>
Draft	14/12/21
Rev.1	20/12/21
Rev.1.1 – Draft sections assigned to KJG prepared	22,23,24/12/21
Rev.2 Updates from Tsujimura-san added. Cross-checked to Requirements List and amended as necessary	18/1/22

**Date: 18/1/2022**

## TABLE OF CONTENTS

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
1.1 Purpose .....	4
1.2 Scope .....	5
1.3 Interfaces .....	6
1.4 References .....	6
<b>2. ABBREVIATIONS .....</b>	<b>7</b>
<b>3. TRAIN CONFIGURATION .....</b>	<b>8</b>
3.1 Train weight .....	8
3.2 Consist .....	8
3.3 Train Length .....	8
<b>4. TRAIN LOADING .....</b>	<b>9</b>
4.1 Seating Arrangements .....	9
4.2 Capacity .....	9
<b>5. OPERATING MODES .....</b>	<b>10</b>
5.1 Normal Operation .....	10
5.2 Degraded Operation .....	10
5.3 Emergency Operation .....	10
5.4 Train Rescue .....	10
<b>6. TRAIN PERFORMANCE .....</b>	<b>11</b>
6.1 Acceleration .....	11
6.2 Braking (Service Brake) .....	11
6.3 Braking (Emergency Brake) .....	11
6.4 Regenerative Braking .....	11
6.5 Speed (Design Speed, Operating Speed) .....	12
<b>7. TRAIN SUB-SYSTEMS .....</b>	<b>13</b>
7.1 Carbody .....	13
7.2 Bogies .....	14
7.3 Couplers .....	15
7.4 Propulsion .....	15
7.5 Traction .....	16
7.6 Auxiliary Power .....	17
7.7 TCMS .....	18
7.8 Event Recorder .....	18
7.9 Future Provisions for GoA3/4 .....	18
<b>8. COMMUNICATIONS &amp; PASSENGER INFORMATION SYSTEMS .....</b>	<b>20</b>
8.1 Radio .....	20
8.2 Public Address .....	21

8.3	CCTV.....	21
8.4	Passenger Information Systems.....	22
<b>9.</b>	<b>RELIABILITY, AVAILABILITY &amp; MAINTAINABILITY.....</b>	<b>24</b>
9.1	General .....	24
9.2	Mean Distance Between Failures (MDBF) .....	24
9.3	Maintainability.....	25
<b>10.</b>	<b>SAFETY &amp; QUALITY.....</b>	<b>26</b>
10.1	Hazard Management .....	26
10.2	Safety Case .....	27
10.3	Fire Protection .....	27
10.4	Quality .....	28
<b>11.</b>	<b>HUMAN FACTORS .....</b>	<b>29</b>
11.1	Ergonomics .....	29
11.2	Driver's Cab .....	29
11.3	Saloon.....	30
<b>12.</b>	<b>ENVIRONMENTAL CONDITIONS.....</b>	<b>31</b>
12.1	Ambient Conditions.....	31
12.2	Noise.....	31
12.3	EMC/EMI .....	31
<b>13.</b>	<b>TESTING, HANDOVER &amp; ACCEPTANCE .....</b>	<b>32</b>
13.1	Testing.....	32
13.2	Test Documentation .....	32
13.3	Handover & Acceptance .....	34
<b>14.</b>	<b>MAINTENANCE &amp; TRAINING .....</b>	<b>35</b>
14.1	Maintenance .....	35
14.2	Maintenance Concept .....	35
14.3	RAMS Requirements.....	35
14.4	Interchangeability.....	37
14.5	Washing and Cleaning .....	38
14.6	Anti-Vandalism Concept .....	38

## **1. INTRODUCTION**

### **1.1 Purpose**

- 1.1.1 The Design Criteria has been prepared as part of the technical studies under the Feasibility Study for the Procurement of New Rolling Stock for Tbilisi Metro, Georgia.
- 1.1.2 This Design Criteria is intended as a key input document to the Basic Design phase that is planned to follow-on from the Feasibility Study phase. This Design Criteria should be used as a basis from which to commence the Basic Design for the new Rolling Stock.
- 1.1.3 The purpose of the Design Criteria is to establish and document the critical design elements that the new Rolling Stock must comply with in order for the new Rolling Stock to be integrated into the existing Tbilisi Metro and operated in conjunction with the existing systems and rolling stock.
- 1.1.4 Seamless integration and operation of the new Rolling Stock on Tbilisi Metro is a key factor and consideration of the Feasibility Study's technical experts. To realize the full benefit of procuring the new Rolling Stock, it must be specified, designed, constructed, tested and accepted into revenue service with minimal impact to Tbilisi Metro's existing operation.
- 1.1.5 Due to the age and condition of Tbilisi Metro, it is likely that to achieve seamless integration of the new Rolling Stock, some of the Tbilisi Metro's legacy systems and facilities, for example Depot Workshop equipment, will need to be modified or upgraded. Modifications and upgrades that may be required are not included in this Design Criteria but are described in the Feasibility Report prepared by the study team.
- 1.1.6 This Design Criteria has been developed early in the process and it has been based on:
  - 1) Review of the source documentation provided by Tbilisi Transport Corporation (TTC);
  - 2) Technical review meetings with local experts and TTC;
  - 3) Padeco's technical team's expertise and experience.



## 1.2 Scope

### 1.2.1 The scope of this Design Criteria includes:

- 1) The Rolling Stock and its primary subsystems;
- 2) Performance;
- 3) Configuration;
- 4) Capacity & loading;
- 5) Operational modes;
- 6) On-board communications systems;
- 7) Safety; and
- 8) Reliability.

1.2.2 This Design Criteria also includes key considerations related to Human Factors specifically related to the ergonomic design of the driver's cab such that it can accommodate both the existing controls and equipment as well as provisioning for the planned future upgrade of the Train Control system (signalling) to GoA3/GoA4.

1.2.3 Human Factors related to the passenger saloon is also included within this Design Criteria, specifically with regard to the arrangement of saloon, safe access and egress and provisions for disabled passengers.

1.2.4 Environmental considerations are included in this Design Criteria as they apply to passenger comfort (e.g. interior noise levels) and impact on passengers waiting at platforms and other close neighbors (e.g. external noise).

1.2.5 Environmental considerations as they apply to the impact of the new Rolling Stock on the environment that surrounds Tbilisi's Metro are addressed in the study team's Feasibility Report.

1.2.6 Testing, handover and acceptance is briefly considered within this Design Criteria from the point of view of identifying key considerations that require early implementation. Examples include a Test Track on which to conduct dynamic testing and safety assurance documentation that is critical to handover and acceptance.

1.2.7 Maintainability and training that are important to handover and the on-going maintenance are also addressed briefly in this Design Criteria.

### 1.3 Interfaces

- 1.3.1 Interfaces between the new Rolling Stock and other sub-systems, for example Traction Power, Signalling and Track etc. are not included in this Design Criteria.
- 1.3.2 Interfaces are defined in a specific rolling stock Interface Control Document (ICD) that has also been developed as part of this Feasibility Study. Collectively, this Design Criteria and the ICD form the technical description and outline requirements for the design of the new Rolling Stock, therefore they must be read and implemented in conjunction with each other.
- 1.3.3 For interfacing details refer to the current revision of the following document: Interface Control Document – Rolling Stock to Multi Sub-systems, document number TBL1-FSRS-SEI-INT-0001.

### 1.4 References

- 1.4.1 Reference was made to the following items in the development of this Design Criteria:
  - 1) TTC General Requirements to Metro Cars;
  - 2) Requirements List (developed for this study by Padeco);
  - 3) Risk Register (developed for this study by Padeco);
  - 4) Interface Control Document – Rolling Stock to Multi Sub-systems;
  - 5) Responses from TTC to various Request for Information;
  - 6) Technical data and materials provided by Padeco's local experts; and
  - 7) Information/data obtained from technical meetings with TTC and others.

## 2. ABBREVIATIONS

AC	Alternating Current
ALARP	As Low As Reasonably Practicable
ASC	Automatic Speed Control
ATO	Automatic Train Operation
CC	Cab Car
CCTV	Closed Circuit Television
EMC	Electro-magnetic Compatibility
EMI	Electro-magnetic Interference
EN	European Norm
GoA	Grade of Automation
GOST	Gosudarstvenny Standart (state standard/government standard)
IC	Intermediate Car
ICD	Interface Control Document
IHA	Interface Hazard Analysis
ISO	International Standards Organization
MDBF	Mean Distance Between Failures
OSHA	Operational Safety Hazard Analysis
PA	Public Address
PHA	Preliminary Hazard Analysis
RAM	Reliability, Availability, Maintainability
SSHA	Sub-system Hazard Analysis
TCMS	Train Control & Management System
TTC	Tbilisi Transport Company
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
UIC	International Union of Railways

### **3. TRAIN CONFIGURATION**

#### **3.1 Train weight**

##### **3.1.1 Static Loads**

Static loads shall be calculated according to applicable EN or GOST standards.

##### **3.1.2 Maximum Axle Load**

The maximum static load per wheelset (axle) shall not exceed 15 t.

##### **3.1.3 Deviation of Static Loads among Wheelsets**

Deviations of static loads among wheels shall not lead to safety critical situations at any point of the line and the depot. Maximum acceptable decreasing of wheel load shall be  $\leq 5\%$ .

Safety against derailment shall be assured under all operating conditions and maximum possible wear and tear and tolerances of trackwork and vehicle.

##### **3.1.4 Weight**

To minimize energy consumption, then cost, great importance shall be placed on achieving practical design of minimum weight whilst meeting all specified structural and performance requirements.

For client's information specific weight reducing solutions shall be highlighted in the proposal, which shall not subject of evaluation.

#### **3.2 Consist**

The trains shall consist in the basic configuration of 4 cars with 2 bogies for each car. Trains shall be bi-directional, with doors on both sides and identical driver's cabs at each end.

All vehicles shall be equipped with Inter-Carriage Gangways to the next car of maximum possible width and height. The two types of cars (cab car / CC and intermediate car / IC) shall be used.

Future extension of an additional intermediate car for a 5-car train configuration shall be considered, technically prepared and proposed as an option.

#### **3.3 Train Length**

There are compatibility requirements with the existing train for train length and door arrangement because platform length and platform screen door in future.

## 4. TRAIN LOADING

### 4.1 Seating Arrangements

All passenger seats are arranged in longitudinal position for maximization of standing spaces. Seats shall be convenient and easy to clean, maintain and replace.

Seat design and colours will be determined by the Purchaser, in combination with the vehicle exterior and interior design.

Adequate handrails shall be easy to reach and shall enable safe passenger movements from and to the nearest passenger door.

Tip-up and fold-down seats, if used, shall be safe in any position.

### 4.2 Capacity

Rolling stock capacity shall be specified according to the following definitions of the operational load and specified main characteristics:

- AW0: Empty Load with driver
- AW1: AW0 + all fixed and folding seats occupied
- AW2: AW1 + 5 passengers per m<sup>2</sup> standing area (for operational calculation)
- AW3: All seats occupied and a load of 500 kg/m<sup>2</sup> for standing areas (crush load)
- AW4: Specified according to applicable standards only for structural design and loading tests of car body.

EN 15663 & EN 12663 or GOST 50850-96 & STO SDS OPZT-05-2010 are to be considered.

## **5. OPERATING MODES**

### **5.1 Normal Operation**

Regular driving mode includes manual operation by driver under signal conditions. Platform dispatch is only by the driver with support of train borne camera system.

Cameras shall be positioned on the cab ends of trains on both sides. The cameras shall allow full supervision of the passenger's boarding by the driver in any case of weather, temperature and light conditions.

### **5.2 Degraded Operation**

In case of signalling failure driving in line of sight is applied with a speed restriction of 20 km/h.

In case of a door failure the defect door will be isolated and mechanically locked in a mechanically secure and absolutely reliable manner. By locking the door the green loop is closed.

### **5.3 Emergency Operation**

In case of fire or terrorist attack during train operation, train should reach next station without stopping in the tunnel for easy passenger evacuation.

### **5.4 Train Rescue**

It shall be possible at any location of the line and the depot and under all ambient conditions to

- rescue an inoperable train (existing trains and new trains) in the maximum gradient at straight and curved sections and under consideration of lowest friction coefficient caused by humidity, dripping water, dust and other chemical films on the rail by push or pull action by an empty train, uphill and downhill, and
- to hold in the maximum gradient an inoperable train with fully released or inoperable brakes by an empty train.

The above shall include rescue of and rescue by existing trains. Full compatibility for mechanical coupling and the pneumatic brake system is required.

Neither damage to rolling stock, track or fixed installations, nor any risk of derailment shall arise from such operations at any section of the system, including any type of activated braking.

## 6. TRAIN PERFORMANCE

### 6.1 Acceleration

Starting acceleration is  $\leq 1,2 \text{ m/s}^2$  (adjustable) up to dense crush load condition AW3, and jerk limit is  $0.65 \text{ m/s}^3$ .

### 6.2 Braking (Service Brake)

Service braking is used to reduce speed in regular conditions in compliance with comfort criteria for all revenue load conditions. This braking must not cause regular and intensive stressing of wearing elements.

Maximum service brake deceleration is  $1,2 \text{ m/s}^2$  up to dense crush load condition AW3.

Service braking performances shall be achieved with only electro-dynamic braking from top speed to low speed, in all conditions of line receptivity up to 100% (maximum regenerative brake). At low speed (3 - 6 km/h) electro-dynamic braking shall be blended with the mechanical braking to stop the train, wheel slip protection being active.

In partial receptive condition, the full electrical braking effort is achieved with rheostat braking in complement. The dimensioning of the rheostats should ensure full availability during service without temperature restrictions.

If dynamic braking is restricted the mechanical air brake shall support the operational braking. The tenderer shall describe the limitations (run-time, speed) for different proportions of air brake support.

### 6.3 Braking (Emergency Brake)

Emergency braking mode is provided to stop the train in case of safety reasons, detected failure condition or signal system commands. Emergency brake is also applied if the safety loop is opened and maintained until complete stop ( $v = 0 \text{ km/h}$ ).

Emergency brake deceleration is  $1,4 \text{ m/s}^2$  up to dense crush load condition AW3.

Emergency braking uses primarily all the electro-dynamic brake and/or all friction brakes to bring the train to complete stop from any operation speed. Wheel slip protection shall be active, exceptions are to be nominated in the brake concept.

### 6.4 Regenerative Braking

Trains shall comply with the existing power supply and traction system. Trains shall use regenerative braking. Tenderers shall familiarize themselves with the relevant conditions. Regenerated energy shall be used only for train operation within the DC system

## 6.5 Speed (Design Speed, Operating Speed)

The design speed is 90 km/h, and the operation speed is 80 km/h.

Performance requirements are based on Power supply at nominal value, running on straight and flat track and half worn wheels.

### Maximum operational speed

In AW3 load conditions, the train shall be capable of reaching its maximum operation speed with residual acceleration of  $\geq 0.13 \text{ m/s}^2$  in order to keep a steady maximum speed for all operational needs.

### Reverse speed

Reverse speed for movements of a train in the depot or on the line for a specific operation, shall be provided and automatically limited to 35 km/h.

### Washing machine speed

A special speed regulation shall be provided for passing a washing machine with around 3.5 km/h (1 m/s).

Change of the values for both speeds named above and other values for dynamic behaviour shall be possible for the client without restrictions by using supplied free hard and software.



## **7. TRAIN SUB-SYSTEMS**

### **7.1 Carbody**

#### **7.1.1 General**

Vehicles shall be compliant with the requirements of EN 12663-1 or GOST 50850-96 & STO SDS OPZT-05-2010.

#### **7.1.2 Crash protection**

Vehicles shall be compliant to EN 15227 or STO SDS OPZT-05-2010.

For client's information, which shall not be part of the evaluation process and is required only for Client's information, tenderers shall describe the installed crash protection systems and the collision impact which can be absorbed by the structure of the proposed vehicle.

#### **7.1.3 Front Design**

The front design shall present a unique appearance of the metro system to the City of Tbilisi.. Surfaces shall be free of edges and protruding elements and easy to clean.

#### **7.1.4 Roof**

The roof shall not carry technical equipment and shall therefore enable only for walking on designated areas if required.

#### **7.1.5 Intersection - Inter-Carriage Gangways**

The intersections shall require minimum maintenance and sustain the ambient and climate conditions of Tbilisi. They shall provide noise protection and thermal insulation and sustain the design life of the vehicle with not more than regular maintenance.

Intersections shall allow fast decoupling of vehicles in the depot and on the line in case of vehicle rescue or re-railing actions. The maximum time for decoupling of vehicles by two persons must not exceed 20 minutes.

Actions for complete decoupling incl. the bellows shall be described easily and shall be stated as information, which shall not be part of the evaluation process and is required only for Client's information.

## 7.2 Bogies

### 7.2.1 Bogie Design

All bogies shall be identical and fully interchangeable. The assembling into the opposite direction at the same position in case of unequal wear of wheels and flanges must be possible with lowest adaptations. The Tenderers shall describe necessary action and amount of working hours for the latter. This is for client information only and is not for use in tender evaluation.

The Contractor shall verify this during maintainability demonstration. During service life, no cracks shall appear anywhere in the bogie frame. Bogie frames shall be of a service-proven design.

Bogie to car body connection shall be by a centre pin. The bogie connection shall include features to enable lifting the bogie together with the car body. When the car body is lifted, bogies shall raise together with the car body, without disengaging any part of the suspension system.

### 7.2.2 Wheelsets

Wheels of monobloc types with a sufficient radial wear allowance of  $\geq 40$  mm in radius shall be used.

Axles and wheels shall be designed and verified according to UIC and EN or GOST Standards.

The Contractor shall define and verify an optimal wheel tyre profile according to the rail profile used.

### 7.2.3 Flange Lubrication

Leading bogies at cab end cars of half of all supplied trains shall be equipped with flange lubrication for liquid, semi liquids and/or solid compounds.

Tenderers shall describe their provisions for flange lubrication devices. This is for client information only and is not for use in tender evaluation.

### 7.2.4 Axle Bearings

Axle / wheelset bearings shall transmit all necessary forces under all operating conditions, shall support noise and vibration minimisation and shall provide connectivity for traction return current.

If the vehicle body is lifted or jacked, bogies / underframes shall not unintentionally separate from the body.

### 7.2.5 Suspension

Vehicles should have two suspension levels:

- primary suspension (between bearings and underframe / bogie frame)

- secondary suspension (between bogie frame and car body).

Tender shall explain the technical solution comparing to the maintenance efforts. This is for client information only and is not for use in tender evaluation.

#### 7.2.6 Couplings

Couplings used in running gear (between gearbox and traction motor) must be oil-free and maintenance-free.

#### 7.2.7 Third rail current collector

Third rail current collector is fixed before primary suspension and must be height adjustable.

### 7.3 Couplers

#### 7.3.1 Front - End Coupler

It shall be possible to connect two trains, if one is in degraded condition, mechanically and pneumatically at any section of the mainline. Coupling shall be possible without any manual assistance and intervention.

The tenderer shall propose a coupling concept considering rescue actions with existing train generations and also for train positions in curves and s-curves.

Couplers shall be operable under any ambient condition. The coupler shall be at usual height, to enable mechanical coupling with all generation rolling stock.

The actual fleet is using coupler type 717 and 714 (Scharfenberg design).

#### 7.3.2 Intermediate Couplers

Coupling between cars of a train (intermediate coupling) may be by specific mechanical short-couplers as proven connection (semi-permanent couplers).

Coupling and decoupling may be executed with specific tools. For damping and crash protection specific devices shall be installed. Electrical connections are separated. An uncoupling on the mainline shall be considered for rescue actions and adaptors for shunting should be provided.

### 7.4 Propulsion

#### 7.4.1 General conditions

The performance requirements are based on a maximum adhesion coefficient of 0.16.

#### 7.4.2 Nominal Performances

The nominal performances are given in AW2 load condition and with all motor bogies in service:

- Average acceleration rate up to 40 km/h:  $\geq 1,26 \text{ m/s}^2$
- Jerk limit nominal:  $0.65 \text{ m/s}^3$  (adjustable from 0.6 to  $0.9 \text{ m/s}^3$ )

#### 7.4.3 Fall back operation

With power being reduced to any kind of failure equal in consequence to  $\geq 25\%$  of motor bogies failure and with the train in AW3 condition, it shall be capable of starting at an acceleration of  $0.2 \text{ m/s}^2$  at any section of the line.

For power reduce of  $\geq 0\%$  and  $\leq 25\%$  the train shall be capable to operate under regular service conditions and AW2 for unlimited time till end of revenue service. Potential restrictions should be listed by the tenderer.

### 7.5 Traction

#### 7.5.1 Traction System & Interfaces

The traction system shall sustain revenue operation over more than a full operating day at full capacity, and shall be safe under all ambient and operating conditions in Tbilisi.

The supplier shall coordinate the traction system, earthing and overvoltage protection of the vehicle with the traction power system supply by the third rail.

#### 7.5.2 Failed Vehicles

The traction system shall enable to rescue failed trains at least until the depot or a siding is reached, from any point of the line.

#### 7.5.3 Current Collection

On each motor bogie there are installed 2 pick-ups on each side of the vehicle which ensure the connection to the traction power supply of the third rail.

The collector is of retractable (hinged) type, with pneumatic and manual operation functionality.

For train power supply in the workshop and stabling areas connecting devices to stingers are required.

#### 7.5.4 Traction Motors

Three-phase AC motors shall be used.

No danger shall arise from currents generated by traction motors during any push or pull operation.

#### 7.5.5 Brake Resistors

Braking energy if not returned to the power rail shall primarily be used for heating/cooling of the vehicle interior and for other on-board systems. If and when necessary, and the remaining energy shall be released to the environment by resistors. Continuous operation without restrictions shall however also be possible with rheostat braking only.

#### 7.5.6 Return Current

Traction current return through rails shall be reliable and safe under all operating and ambient conditions.

### 7.6 Auxiliary Power

#### 7.6.1 General Requirements

The tenderer shall present a common used low voltage concept, designed and installed in similar trains.

The low voltage system shall at least support

- all necessary on-board functions during revenue operation,
- all necessary control and communication functions under degraded operation,
- interior and exterior lighting including emergency lighting and
- passenger doors.

Radio communication shall still remain possible when all other systems are not operational.

A 230 V AC system shall include 230 V AC sockets in the passenger compartment for cleaning and testing purposes. The 230 V plugs shall be isolated during revenue service.

#### 7.6.2 Degraded Conditions

All functions which are safety critical and/or essential for operation shall remain available under degraded conditions and traction power failure at least until the depot is reached.

#### 7.6.3 Battery

The battery shall be designed to provide 30 min ventilation, with 50% performance.

Battery charging of complete discharged batteries shall be possible directly from traction power and without supply of external energy/voltage.

Tenderers shall specify their battery type / technology. The provided specifications shall not be used for the evaluation purposes and are required only for Client's information.

## 7.7 TCMS

### 7.7.1 On-Board Information System

Vehicles shall enable and support an on-board information system controlled from driver cab units (e. g. IBIS system). An open system shall be used.

Visual and audible information systems as well as automatic vehicle location shall be fully supported. Details will be specified at a later design stage.

Information shall not be lost when driver's cabs are shut down or during reversing at termini.

Data read-out and downloading shall be easily possible by the operator's personnel without proprietary equipment.

Tenderers shall propose the wireless communication between the trains and information transfer devices on the mainline and in the depot area for automatic status transfers and data updating.

### 7.7.2 Fault Detection System

A fault detection system shall indicate faults on the driver display and shall distinguish at least between

- safety critical
- critical to operation and
- non-critical events.

Automatic detailed failure data downloading to a depot and maintenance management system at the entrance of the depot zone system shall be supported.

## 7.8 Event Recorder

Safety critical action by the driver shall be recorded and stored with the corresponding data (time, distance, location, type of action) for evaluation by both the operating company and the authorities involved. Data storage shall be safe and easily accessible in case of accidents including collisions ('black box'). Driver access to the data shall not be possible. Storage capacity shall be for one week operation.

## 7.9 Future Provisions for GoA3/4

Design, construction and operation of Tbilisi's metro system is actually based on GOST and SNiP standards and their subordinate regulations. Upgrading of the metro system is however under way, with a transition largely to European Standards.

Both operated lines have conventional signalling systems, Line 2 is upgraded with a Tetra based

installation. A modernization and harmonization for both lines is in preparation and expected in mid-term future.

ATO up to GOA 3 / 4 shall be considered for later future and preparations for additional control equipment shall be considered in the proposal. For driver's convenience an integrated ASC system is required.

## 8. COMMUNICATIONS & PASSENGER INFORMATION SYSTEMS

### 8.1 Radio

The delivered trains must be fully compatible with existing equipment for radio as described below.

There are forty three "PTC-A24M" stationary radio stations located on both sides of the metro line, which are installed at 10 stations, namely: Samgori, 300 Aragveli, Liberty Square, Station Square 1, Guramishvili, Akhmeteli Theater, Station Square 2, Tsereteli, Medical University and Vazha-Pshavela.

For the two-way radio communication link between the driver's cab and the traffic dispatcher, there is a 4 mm "BCM-1" bimetallic wire (waveguide) located on the brackets installed on the arch of the metro tunnel. As for the Rolling Stock, on the roofs of the cab cars, there is a longitudinal bimetallic wire of 13 m long, 8 ÷ 10 mm in diameter. Frequency of 2444 kHz is used on the main line, and 2644 kHz for Saburtalo line. In the cab cars, in the technical room behind the driver's cab, there is a "42PTM" type radio station manufactured in the Russian Federation, c. Novosibirsk, JSC "Zavod Elektrosignal".

On Saburtalo line, State University - Station Square 2 as well as on the main line, Station Square 1 – Grma Ghele portal and Depot Nadzaladevi Station section in parallel with the old radio transmission system, operates TETRA Standard Radio Broadcasting System, using 411.725MHz, 421.725MHz, 413.325 MHz, 423.325 MHz, 413.750, 423.750 MHz, 414.150 MHz and 424.150 MHz, frequencies.

For the radio communication purposes on the Saburtalo line, a console with Hytera software has been installed in the Traffic Dispatcher and the stations are installed with TETRA standard Hytera base stations, "TS-9200 350M" type, "BDA Local" and "TS-9200" type "BDA Remote" with dual amplifiers to be connected via coaxial cables:

Stations State University - Vazha Pshavela and stations Vazha Pshavela - Delisi first-line 7/8 " leaky waveguides (leaky feeders), and as for the other stations next to the "TDJ-400Z8 400 to 480 MHz" type antennas.

For Saburtalo line, in the driver's cabs, there is a "MT680 Plus" mobile radio station adopted with "TETRA standard" produced by Hytera. For the reception and transmission of digital radio signals, "OmPlecs®-TOP 200 AMR 0.7-B -2" antennas are mounted on the roofs of the driver's cabs, which are interconnected by coaxial cable.



## 8.2 Public Address

The public address system shall allow communication between driver and passengers. Pre-recorded announcements of stations shall be automatically activated. Activation and preparation of other languages in addition to the Georgian language shall be possible by the operator.

The driver shall have the ability to address passengers at stations.

Audible information shall duplicate optical information, in line with universal design principles, shall be anticipated.

## 8.3 CCTV

Each and every component/equipment of the CCTV system installed in the metro cars shall be compliant with the following railway standards: railway standards EN 50155, EN 50121-3-2 (EMC), EN 60068 (temperature/climate), EN 61373 (shock/vibration), EN 45545 (fire protection).

- 1 camera shall supervise line (shall be installed either on the windscreen in the driver's cab or on front of the driver's cab).
- The number of cameras required for the saloon supervision of each car shall be agreed with the Purchaser, depending on the design of the car and the characteristics of the cameras. A full coverage is required.
- Each camera shall be digital: minimum 2 Mp, minimum: 12 shots per second and with H.264, H265 standard support or equivalent.
- Record and store data for a pre-defined period, not less than 2 weeks / 336 hours per each recorder equipment.
- Records shall be stored at least on 2 recording equipment (1 recorder unit).
- Each metro car shall be equipped with redundancy cable network, connected to the commutators and placed on pre-defined areas. Also at least 2 units of network ports shall be reserve in each metro car.
- At least 2 redundancy network cables shall be laid between the metro cars.
- CCTV system shall be separated from other systems and CCTV equipment shall be independent from other systems equipment.
- Manufacturer's name of the camera or any camera feature shall not be identifiable for passengers.
- 2 units of video recording equipment shall be installed in the driver's cab and connection shall be made with authentication protocols.

## 8.4 Passenger Information Systems

### 8.4.1 Exterior Displays and Audible Installations

Route, destination and train order displays shall be provided on the front end. Displays shall be readable under all ambient conditions in Tbilisi. Readability of displays shall be coordinated with exterior, esp. nose design.

When shut-down for reversing, information displays shall remain active.

### 8.4.2 Interior Displays

Interior displays shall be provided in reasonable numbers and size which shall at least:

- Be dedicated for special transportation vehicle (vandal proof, vibration proof, water and dust resistant);
- Enable the operator to select from Pad/Monitor the next station, previous station. In addition all station names shall be listed and upon the selection of each station all monitors shall visualize respective video and synchronized audio signal. This information shall be synchronized and delay for announcement shall not exceed 1 second. Video and audio signals shall not be interrupted and or lost;
- Be easily editable the station data by the personnel (name, video image and audio file)
- indicate the next stop whilst the vehicle is in motion, and the route number and destination whilst the vehicle is stationary in a station;
- split-screen or by changing frames advertisement;
- Display Georgia/English fonts

### 8.4.3 Voice and Data Radio

The voice radio system shall enable communication at least

- between the operation control centre and the vehicle/driver (voice and data radio).

The data radio system shall support automatic vehicle monitoring by the operation control centre. Details will be specified at a later stage.

### 8.4.4 External Loudspeakers

For vocal passenger information and warning loudspeakers shall be installed close to the passenger doors. The system should have automatic level control to adjust ambient noise level.

### 8.4.5 Passenger Intercom

An intercom between passengers and the driver shall be provided adjacent and/or opposite to each 2<sup>nd</sup> doorway. Communication shall be controlled by the driver.

#### 8.4.6 Passenger Emergency Device

A passenger emergency device shall be provided adjacent and/or opposite to each doorway.

Passenger emergency brakes and emergency door handles shall be in the same place, where applicable.

## 9. RELIABILITY, AVAILABILITY & MAINTAINABILITY

### 9.1 General

9.1.1 Reliability, Availability and Maintainability (RAM) figures used in this Design Criteria have been derived from the source documents provided by TTC. Specifically, the figures provided in the document “General Requirements to Metro Cars” have been used. These figures are indicative only and should be verified as part of the Basic Design stage.

### 9.2 Mean Distance Between Failures (MDBF)

9.2.1 MDBF is a key metric that measures the overall reliability of the new Rolling Stock, it is a metric used by many other similar metros worldwide. To optimize the rolling stock design and avoid over-designing non-critical components, the MDBF figure is typically considered in conjunction with the impact/consequence of failures. This approach allows failures or events that could potentially cause unsafe situations or major impacts to train operation to be specified at greater mean distances than those events or failures that cause minimal impact. A common method of classifying impact of failures is to assign a range of categories to a range of failure types.

#### 9.2.2 Categories of failures

9.2.3 For this Design Criteria, the categories and definitions provided in the “General Requirements to Metro Cars” have been used:

- 1) Category A (highest, most stringent): Failures that have the potential to affect safety;
- 2) Category B: Failures that have the potential to affect operational reliability;
- 3) Category C: Failures that have the potential to affect passenger comfort; and
- 4) Category D (lowest, least stringent): Failures that have the potential to cause no immediate loss of function.

#### 9.2.4 MDBF – Category A & B

For category A&B failures, the new Rolling Stock shall have a MDBF of 500,00km

#### 9.2.5 MDBF – Category C

For category C failures, the new Rolling Stock shall have a MDBF of 100,00km

#### 9.2.6 MDBF – Category D

For category D failures, the new Rolling Stock shall have a MDBF of 50,00km

#### 9.3 Maintainability

9.3.1 Subject to any modifications and improvements identified in the Feasibility Team's Feasibility Study Report, the new Rolling Stock should be able to be maintained by trained staff at the existing maintenance facilities and workshop.

9.3.2 As the supplier of the new Rolling Stock has not yet been identified and since the maintainability of Rolling Stock is unique to each supplier, it is not appropriate to include maintainability figures in this Design Criteria. In place of maintainability figures, this Design Criteria specifies the following:

- 1) The successful supplier of the new Rolling Stock should conduct a maintainability analysis that demonstrates that the availability/reliability figures, as expressed as Mean Distance Between Failures above, is achieved by their rolling stock.

## 10. SAFETY & QUALITY

### 10.1 Hazard Management

#### 10.1.1 The purpose of Hazard Management is to:

- 1) Identify safety risks associated with the procurement, design, assembly, manufacture, testing, handover and acceptance of the new Rolling Stock;
- 2) Generate safety requirements;
- 3) Apportion safety control measures or mitigations to systems, people, processes and organizations to ensure safe operation of the new Rolling Stock; and
- 4) Provide a means to demonstrate safety compliance.

10.1.2 Identification of hazards is fundamental to safety management. Where hazards are not identified, they cannot be managed and, as necessary, designed out or mitigated. Therefore, it is crucial to the design of the new Rolling Stock that all potential hazards are identified, recorded and managed in a project specific Hazard Log.

10.1.3 Hazard management should consider all stages of the project lifecycle and include people, processes as well as the Rolling Stock and it's associated systems and subsystems.

10.1.4 Hazard management should address the risk to the existing system and to the metro environment within which the new Rolling Stock will be operated.

10.1.5 All hazards should be recorded in the Hazard Log. The Hazard Log is to be implemented as part of the future Basic Design at the outset of the procurement of the new Rolling Stock. The Hazard log should be maintained (and updated as necessary) throughout its design, manufacture, assembly, testing, handover and acceptance.

10.1.6 Key activities related to hazard management that should be conducted in parallel to preparation of the Basic Design are:

- 1) Preliminary hazard identification;
- 2) Preliminary Hazard Analysis (PHA);
- 3) Interface Hazard Analysis (IHA);
- 4) Operational Safety Hazard Analysis (OSHA); and
- 5) Sub-system Hazard Analysis (SSHA).

10.1.7 Hazards identified should be assessed to determine the risk of the hazard in terms of its likelihood and consequences. All risks should be assessed and reduced to as Low As Reasonably Practicable (ALARP). The Hazard Log should be updated as hazards are

assessed and mitigations defined or as new hazards are identified and assessed. Implementation of the principles, approach and processes set out in EN50126 is recommended.

- 10.1.8 The outcome of the Hazard Management process, and evidence created throughout its implementation is essential to support the Safety Case.

## 10.2 Safety Case

- 10.2.1 The Safety Case provides formal and documented evidence that the new Rolling Stock is safe for its intended operation on the existing Tbilisi metro. The Safety Case relies upon the collation of evidence, performance of tasks and the creation of a comprehensive set of documentation that is incrementally prepared throughout the project lifecycle. As a consequence, work on establishing the Safety Case should commence at the time of procurement of the new Rolling Stock and continue throughout its design, manufacture, assembly, testing, handover and acceptance.
- 10.2.2 The European Standard EN50126 provides guidelines for developing the Safety Case and as such it is recommended that this standard be adopted and followed.
- 10.2.3 Review and approval of the Safety Case is likely to require involvement of the various authorities in Tbilisi in addition to TTC. To ensure that the Safety Case meets all stakeholders' requirements, it is crucial to identify all relevant stakeholders at the commencement of the project, establish their needs and requirements and include them in the task to develop the Safety Case.
- 10.2.4 Further information on the Safety Case, the approach to its development and safety certification is included in the Study Team's Feasibility Report.

## 10.3 Fire Protection

- 10.3.1 The fire-safety protection, evacuation and rescue design concept for passengers shall be in accordance with the current EU standards e.g. NPB 109-96 or equivalent for metro trains.
- 10.3.2 The train and its components shall be designed, verified and validated according to EN 45545-1-7 or GOST 50850-96 & NPB 109-96 standards.
- 10.3.3 Materials shall be of low flammability and non-toxic. Fire loads shall be reasonably minimized with regard to operation in tunnels. All materials used in the vehicles interior

shall be tested in accordance with respective test procedures relevant fire safety standard and must comply with the performance criteria.

10.3.4 The floor assembly, including supports, penetrations with fasteners, conduits, pipes and floor to wall connections, shall perform as a fire separation barrier for a minimum period of 30 minutes after an under car fire has started.

10.3.5 Roof fire resistance shall be verified in accordance with ISO 834-1 or NPB 109-96.

10.3.6 The fire alarm system shall be designed in accordance with EN 45545 or NPB 109-9..

#### 10.4 Quality

10.4.1 All work shall be managed in accordance with EN ISO9001

10.4.2 The Rolling Stock supplier shall prepare and submit a Quality Management Plan that sets out their approach to quality and application of the EN ISO9001 quality system.



## **11. HUMAN FACTORS**

### **11.1 Ergonomics**

**11.1.1** Ergonomic design of the cab is crucial to the safe and efficient operation of the rolling stock. Therefore, the new Rolling Stock should be designed in accordance with European Health & Safety regulations and guidelines. During preparation of the Basic Design the application of the following standards should be considered and assessed:

- 1) EN 547-3 Safety of Machinery – Human Body measurements – Part 3:  
Anthropometric data.
- 2) EN 894 Safety of Machinery – Ergonomic requirements for the design of displays and control actuators
- 3) UIC 651 (E) Layout of Driver's cabs in locomotives, railcars multiple unit trains and driving trailers

### **11.2 Driver's Cab**

**11.2.1** The design of the driver's cab of the new Rolling Stock should be in accordance with the following principles:

- 1) The position of the driving desk should be the same as the existing Tbilisi Metro rolling stock;
- 2) Enable the driver to pay attention to the lineside signal aspects and their interpretation;
- 3) Enable the driver to perform all train operations without being distracted from observing the lineside signals;
- 4) The driver's seat should be designed such that it allows the driver to undertake all normal driving functions in the seated position;
- 5) The driver's seat should be designed in accordance with the anthropometric data applicable to the Georgian population;
- 6) Safety related and/or frequently used equipment should be located between the minimum and maximum of the radius of the anthropometric accessibility of the driver;
- 7) Information provided to the driver should be within the recommended field of vision.

11.2.2 The design of the driving console of the new Rolling Stock should, as far as possible follow the general layout of the existing rolling stock. However, where possible, the following principles should be followed:

- 1) All displays should have a similar user interface;
- 2) Information that is not essential for driving should only be presented if it has an impact on operation (e.g. state of the train, failure etc.);
- 3) Elements that are not needed during driving should not be located on the driver's control desk;
- 4) Operating elements of the same function should be grouped together;
- 5) Each action of the driver should have some form of feedback, e.g. visual, audio or kinesthetic. The driver should be confident of the function activated;
- 6) Shape, colour and location should be used to distinguish different functions;
- 7) Key elements related to driving, e.g. speed, traction, braking and signalling information shall be located within the driver's main field of vision.

### 11.3 Saloon

11.3.1 The design of the saloon of the new Rolling Stock should be in accordance with the following principles:

- 1) Allow safe access and egress from the train under both normal and emergency conditions;
- 2) Provide at least 1 space in each car for wheelchairs;
- 3) Provide at least 1 multi-purpose area per car;
- 4) Provide a passenger emergency device adjacent to each doorway;
- 5) Provide a passenger intercom between the passenger and driver, located adjacent to each 2<sup>nd</sup> doorway;

#### 11.3.2 Floor height

Height difference from platform should be as small as possible in order to realize smooth getting on/off of wheelchair. Air suspension of bogie has leveling function to keep constant floor height, height difference is only caused by primary spring of bogie based on load condition.

## 12. ENVIRONMENTAL CONDITIONS

### 12.1 Ambient Conditions

### 12.2 Noise

The Tenderer shall propose an acoustic concept and shall verify the defined parameters during commissioning of the trains in accordance with ISO 3095 and ISO 3381 or GOST 50850-96 and the requirements below.

Tenderers shall propose verification methods.

#### Noise Level Limits

Location and Conditions	Maximum noise level [dB(A)]
Inside, passenger compartment; standstill ventilation working at maximum normal power	$\leq 70$
Inside, passenger compartment, moving at 60 km/h constant speed, 1.5 m above car floor, ventilation working at maximum normal power	$\leq 76$
Inside driver's cab standstill and air conditioning working at maximum normal power	$\leq 68$
Inside driver's cab, 60 km/h and air conditioning working at maximum normal power	$\leq 74$
Outside, standstill, driver's air conditioning and passenger compartment ventilation working at maximum normal power	$\leq 70$

### 12.3 EMC/EMI

The tenderer shall provide an EMC concept assigning an EMC responsible person resolving all EMC related matters regarding electrical and structural equipment of the rolling stock, including the measures required to comply with the EMC requirements and the applicable standards, such as EN 50121 or GOST 33436.3-1.

The EMC concept shall reflect all EMC relevant data and evaluation. The EMC Concept shall particularly provide all arrangements to be made for compliance with signalling and telecommunication equipment.

### **13. TESTING, HANDOVER & ACCEPTANCE**

#### **13.1 Testing**

- 13.1.1 To mitigate integration risks related to the new Rolling Stock, existing signalling system and traction power the new Rolling Stock must undergo a series of static and dynamic tests prior to acceptance and operation on the existing Tbilisi metro. Whilst static testing can be performed at the manufacturer's facilities, dynamic tests, by their very nature, require a length of track (test track) that allows the rolling stock to be driven and operated as close to normal operating speeds as possible.
- 13.1.2 To facilitate early integration testing between the Rolling Stock and other subsystems and dynamic testing a length of test track needs to be made available. It is ideal if this test track is available at the manufacturer's facilities and this requirement should be considered when selecting a supplier to manufacture/assemble the new Rolling stock.
- 13.1.3 In the event that a test track is not available at the manufacturer/assembly facilities, then arrangements need to be made with TTC to allow dynamic testing of the new Rolling Stock using a section of the existing metro.

#### **13.2 Test Documentation**

- 13.2.1 Documentation to plan and record the outcome of tests is required. This documentation should include:
- 1) Test Schedule;
  - 2) Test Plan;
  - 3) Test Procedures;
  - 4) Test Reports; and
  - 5) Master Test List.

- 13.2.2 Test documentation is not a set of static documentation, the test documentation should be considered as active documents. As active documents, they should be kept up-to-date and amended (as necessary) in response to the execution of the tests and any circumstances that cause change to the testing.
- 13.2.3 The Test Schedule should set out the planned testing activities, sequence of tests, planned duration of each test and inter-dependency of testing activities together with key dates, milestones.
- 13.2.4 The scope of the Test Schedule should include static tests, dynamic tests as well as system integration tests that are required to verify the integration of the new Rolling Stock.
- 13.2.5 Should dynamic tests require the use of the operational metro (or a section thereof), the management, safety, access, test execution and scheduling of the tests should be coordinated with TTC.
- 13.2.6 The Test Plan should describe the approach to testing, the test organization, responsibilities, test evidence and verification of tests against requirements. The Test Plan should include the Test Schedule.
- 13.2.7 The Test Procedures should be prepared for each planned test. The Test Procedure should describe the test method(s), test steps, the pass/fail criteria, test environment & conditions and method for recording the test outcome.
- 13.2.8 Test Records are required as evidence to support the Safety Case, handover and acceptance. Test records for all tests (static & dynamic) should be produced to record the outcome of each test.
- 13.2.9 The Test Record should record the test environment and conditions at the time of the test, the personnel responsible for performing the test, test equipment, date, time and test outcome.
- 13.2.10 The Test Record should include a method to link/trace the test to the requirement(s) that the test satisfies together with a method for the test personnel to verify that the test fulfills the overarching requirement(s).
- 13.2.11 A Master Test List should be maintained to record and track the status of the planned tests and respective outcomes.

### 13.3 Handover & Acceptance

- 13.3.1 Handover and acceptance of the new Rolling Stock must be planned sufficiently in advance of the planned delivery. This is to provide sufficient time to prepare and assemble the necessary supporting document. It is anticipated that a minimum of 18 months will be required. Supporting documentation should include:
- 1) Safety case completed and approved;
  - 2) Evidence of successful test outcomes;
  - 3) Resolution of any major outstanding items;
  - 4) Completion of training and proof of training;
  - 5) Availability of spare parts and materials;
  - 6) Completion of modifications (as necessary) to the Depot/Workshop needed to maintain the new Rolling Stock; and
  - 7) Handover and acceptance documentation, approved and signed by TTC and any other relevant parties.

## **14. MAINTENANCE & TRAINING**

### **14.1 Maintenance**

For client's information tenderers shall provide maintenance / replacement intervals for the following components, which shall not be evaluated:

- Wheelsets and components
- Braking systems and components
- Lubricants
- Intersection and Couplers Components
- Dampers
- Wearing parts of doors
- Filters

Tenderers shall propose additional maintenance arrangements based on availability criteria and describe corresponding references and experience.

Tenderers shall determine and propose the set of capital spare parts necessary to fulfil the proposed availability and specify cost and delivery time.

To allow proper maintenance a state-of-the-art diagnostic system is to be provided. Remote information transfer shall be included.

### **14.2 Maintenance Concept**

The tenderer shall provide a specific concept for preventive and corrective maintenance of the new trains which shall fulfil the applicable legal regulations and technical standards, and satisfy the availability criteria.

### **14.3 RAMS Requirements**

#### **14.3.1 Mean Distance Between Failures (MDBF)**

The following MDBF figures [train km] shall be achieved as a minimum:

- A+B- Category: 500,000 km
- C - Category: 100,000 km
- D - Category: 20,000 km.

The categories are specified as:

- Category A: Failures that can affect safety.
- Category B: Failures that affect operational reliability.
- Category C: Failures that affect passenger comfort.

- Category D: Failures that cause no immediate loss of function.

Special attention shall be paid to the following components and assembly groups:

- Drive and brake control unit
- Traction motors
- Compressor for air-supply and
- Passenger Doors.

#### 14.3.2 Availability

Tbilisi Metro requires trains that are of mature design. Untried and/or untested technology is not acceptable. Mature design means that all designs of components, technology, and software in the offered train must have been in revenue-earning service for a minimum of six months prior to the offer. The tenderer shall provide written evidence of these facts that shall include the quantity of similar cars already in service with the same components, technology and software and their locations and the names of the owning railway entities.

#### 14.3.3 Maintainability

The Tenderer shall undertake maintainability analyses to assess the preliminary maintainability targets of the trains.

The Contractor shall state the maintainability requirements, and demonstrate that maintainability is sufficient to support the required train availability and reliability.

The Contractor shall demonstrate that maintenance errors have been considered, and, as far as practicable, appropriate engineering has mitigated the risk of maintenance-induced faults.

To optimise corrective maintenance, techniques employing automatic diagnostics tests and efficient rapid repair procedures shall be described and established. Maintainability is not part of the evaluation process and is required only for Client's information.

#### 14.3.4 Safety Requirements

Trains shall present a safe, hazard-free environment to passengers, staff and the public.

Passengers and staff shall not be exposed to tripping hazards, sharp points and edges, lethal or injurious voltages, toxic materials, abrupt or unexpected accelerations, or similar hazards.

Location, illumination levels, colours, graphics, and surface finishes shall be selected to enhance visibility of trip edges, windscreens, controls, and other potential hazards with which the passengers and staff come into contact.



Normal and emergency equipment and controls that passengers or staff may be required to operate shall be clearly identified, and where required, operating procedures shall be presented in adequate manner.

Operating and maintenance manuals, procedures, and training shall explain the correct handling, storage, and disposal of hazardous materials. Exposure of maintenance personnel to lethal or injurious voltages shall be reduced through compartmentalisation, interlocks, and similar measures.

All equipment shall be free from sharp points and edges. All equipment containing hazardous materials, lethal or injurious voltages, or other risks shall be clearly marked on both the outside and inside of the equipment in adequate manner.

#### 14.4 Interchangeability

All aggregates, components and wearing parts shall be interchangeable between vehicles without modification. In order to keep the operational and maintenance costs as low as possible, the application of non-variable parts is of great significance.

Interchangeability is not part of evaluation process and is required only for Client's information.

Time required to change the following components (including putting into service and adjustments) shall be stated by the Tenderer:

- Bogie
- Wheelset incl. motor
- Brake pads
- Brake actuators
- Traction inverter
- Auxiliary inverter
- Pick-up
- Air-Con unit for driver's cab
- Windscreen
- Lateral windows
- Passenger door system
- Passenger door leave
- Passenger door drive/controller
- Passenger seat

- Driver's seat
- Windscreen wiper
- Windscreen wiper drive and motor
- Coupling and Decoupling of intersections

If required by the Purchaser, these times shall be demonstrated on site by the Supplier.

#### 14.5 Washing and Cleaning

The vehicle exterior shall be suitable for mechanical washing with existing equipment.

The vehicle interior shall facilitate easy interior cleaning. Edges where dirt, litter and water can collect, shall be avoided. Floor covering should be continued up into side panels without interruption, to prevent water leaking into the body structure.

#### 14.6 Anti-Vandalism Concept

The vehicle interior and exterior shall be vandalism resistant and enable easy graffiti removal and component replacement. The tenderer shall propose its specific protection methods.

# **The Study of the Procurement of Rolling Stock for Tbilisi Metro in Georgia**

## **Traction Power Simulation**

### **Tbilisi Metro Line 1**

#### **Comparison of Operations with New & Existing Train Fleets**

**Document Number: TBL1-FSRS-REP-TRP-0001**

<b>#</b>	<b>Revision</b>	<b>Date</b>
01	Draft Report	8/1/22
01.1	Minor edits to fix typos	14/1/22
02	Final Report	25/1/22

**Date: 25<sup>th</sup> January, 2022**

## TABLE OF CONTENTS

<b>EXECUTIVE SUMMARY .....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>4</b>
<b>2. DATA COLLECTION AND INTERPRETATION .....</b>	<b>4</b>
2.1. Route data .....	5
2.1.1. Station information .....	5
2.1.2. Gradient .....	5
2.1.3. Speed limit .....	8
2.2. Rolling stock data (3 fleets) .....	10
2.3. Operation data .....	13
2.4. Power network data .....	14
<b>3. TRAIN MOTION SIMULATION RESULTS .....</b>	<b>15</b>
3.1. Akhmeteli Theatre to Varketili (up-direction) results.....	15
3.1.1. Speed profile (3 trains) .....	15
3.1.2. Mechanical power profile (3 trains).....	17
3.1.3. Acceleration profile (3 trains) .....	19
3.2. Varketili to Akhmeteli Theatre (down-direction) results.....	21
3.2.1. Speed profile (3 trains) .....	21
3.2.2. Mechanical power profile (3 trains).....	23
3.2.3. Acceleration profile (3 trains) .....	25
3.3. Results comparison .....	27
3.3.1. Akhmeteli Theatre to Varketili (up-direction) results.....	27
3.3.2. Varketili to Akhmeteli Theatre (down-direction) results.....	28
<b>4. TRACTION POWER NETWORK SIMULATION .....</b>	<b>30</b>
4.1. Substation results .....	30
4.1.1. ET .....	30
4.1.2. NT1 .....	32
4.1.3. NT2 .....	34
4.2. Train results .....	36
4.2.1. ET .....	36
4.2.2. NT1 .....	38
4.2.3. NT2 .....	40
4.3. Feeder cable loading .....	42
4.4. Substation loading percentage .....	44
4.5. Fault simulation, mid-line .....	45
4.6. Fault simulation, end-line .....	47
4.7. Off-peak time simulation .....	49
4.8. Summary result comparison.....	50
<b>5. CONCLUSIONS &amp; RECOMMENDATIONS .....</b>	<b>51</b>
<b>6. APPENDIX .....</b>	<b>52</b>
6.1. Tbilisi Metro - General Description & Station Locations .....	52
6.2. Tbilisi Rolling Stock Data_for Simulation 2022.01.09.....	53
6.3. Tbilisi Metro - Inter-station run and dwell times .....	54
6.4. TTC Substation Capacity .....	55
6.5. VI Curve & Diode Data .....	55

## EXECUTIVE SUMMARY

Performance of the existing traction power system for Line 1 of the Tbilisi Metro (Akhmeteli Theatre – Varketili) was simulated for three different fleets of 4-car trains with similar dimensions and passenger loading (AW2):

- Existing Trains (ET) – 134t empty mass, 4 motored cars, no regeneration
- New Trains type 1 (NT1) – 120t empty mass, 2 motored cars, 127% of ET power, with regeneration
- New Trains type 2 (NT2) – 125t empty mass, 3 motored cars, 113% of ET power, with regeneration

The objective was to assess whether the existing traction power infrastructure could support the new fleet configurations. Operating headways of 150s and identical round trip times were assumed for all fleets. The existing traction power supply network was found to be robust and capable of supplying the ET, NT1 and NT2 fleets.

To simulate maximum stress on the traction power infrastructure, the trains in each fleet were operated at full acceleration, using coasting to achieve schedule adherence. In actual service passenger comfort considerations would be applied. Failure of a single substation, one mid-line and one end-line, was also studied. The simulation of the ET fleet was used as a baseline for a comparative analysis of the NT fleets. Key points:

1. The mechanical power requirements for the individual train types were almost identical.
2. The most significant difference between the traction power performance for the ET and the NT fleets was due to regeneration. The NT trains were capable of higher peak power demands. However, at the headway studied, overall energy requirements were reduced to about 65-67% of the ET fleet levels because of regeneration.
3. The existing substations are capable of supplying ET, NT1 and NT2 fleets. At the peak-time headway of 150s, the substation with the highest loading peak power, substation 4 Guramishvili, had a peak power of 87%, 103% and 88% of its rated load for the ET, NT1 and NT2 fleets, respectively.
4. At peak headway of 150s, the average loading at all substations is below 50%. The substation with the highest average loading was substation 6 Marjanishvili and its average load was 51%, 32%, and 32% of its rated load for the ET, NT1 and NT2 fleets, respectively. The average loading using NT1 and NT2 is lower than using ET.
5. A failure of the mid-line substation 5 Gotsiridze causes more overloading than the outage of the end-line substation 9 Varketili. With substation 5 failed the peak loading at substations 4 and 6 increased to 136% of their rated power capacity. The longest duration for continuous overloading (>100%) is 9 seconds which is more than acceptable for traction power systems.
6. Regeneration can add additional voltage and current stresses to the system. The substation voltage can be up to 1000V using NT1 and NT2. The overvoltage protection may be considered when using NTs. The highest feeder current is 4479A, 4602A, and 4925A for ET, NT1 and NT2 fleets respectively. The NT1 and NT2 fleets increased the highest feeder current by 2.7% and 9.9%, respectively.

## 1. INTRODUCTION

This document provides the findings from a power simulation study of Line 1 of Tbilisi Metro (Akhmeteli Theatre – Varketili). The objective is to assess the ability of the current traction power infrastructure to support operation with new trains. Three different fleets of 4-car trains with similar dimensions and passenger loading (AW2) are studied:

- Existing Trains (ET) – 134t empty mass, 4 motored cars, no regeneration
- New Trains type 1 (NT1) – 120t empty mass, 2 motored cars, 127% of ET power, with regeneration
- New Trains type 2 (NT2) – 125t empty mass, 3 motored cars, 113% of ET power, with regeneration

Operating headways of 150s and identical round trip times were assumed for all fleets. To simulate maximum stress on the traction power infrastructure, the trains in each fleet were operated at full acceleration, using coasting to achieve schedule adherence. Under normal conditions passenger comfort would be a consideration and the driving approach is unlikely to be as aggressive. The simulation examines the network under maximum operating stress.

## 2. DATA COLLECTION AND INTERPRETATION

Line 1 of Tbilisi Metro (Akhmeteli Theatre – Varketili) is a 19.6 km straight line with 16 stations. The total journey time is around 30 min. **Figure 1** shows Tbilisi Metro. Line 1 is from Akhmeteli Theatre to Varketili (shown in red).



Figure 1 Diagram of Tbilisi Metro

## 2.1. ROUTE DATA

### 2.1.1. Station information

The distance of the stations are shown in Table 1. The data is collected in the 'Tbilisi Metro - General Description & Station Locations' shown in Appendix 6.1.

**Table 1a Location of the stations (up)**

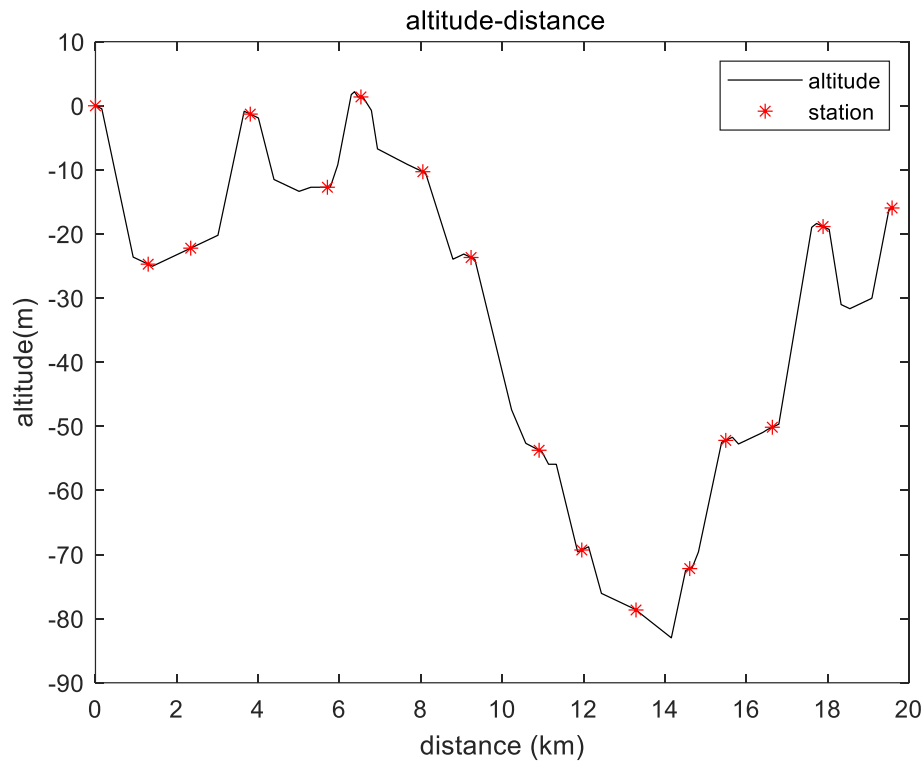
	Station	Location (m)
1	Akhmeteli Theatre	0
2	Sarajishvili	1296.5
3	Guramishvili	2342.4
4	Ghrmaghele	3806.5
5	Didube	5702.8
6	Gotsiridze	6527.6
7	Nadzaladevi	8049.6
8	Station Square 1	9235.4
9	Marjanishvili	10908.2
10	Rustaveli	11957.6
11	Freedom Square	13290.8
12	Avlabari	14611.5
13	300 Aragveli	15497.6
14	Isani	16642.8
15	Samgori	17890.4
16	Varketili	19586.9

**Table 1b Location of the stations (down)**

	Station	Location (km)
1	Varketili	0
2	Samgori	1.7097
3	Isani	2.9517
4	300 Aragveli	4.1322
5	Avlabari	5.0182
6	Freedom Square	6.3368
7	Rustaveli	7.6857
8	Marjanishvili	8.7727
9	Station Square 1	10.4119
10	Nadzaladevi	11.6079
11	Gotsiridze	13.1173
12	Didube	13.9459
13	Grmagele	15.8452
14	Guramishvili	17.3083
15	Sarajishvili	18.353
16	Akhmeteli Theatre	19.6536

### 2.1.2. Gradient

The altitude along the Tblisi Metro Line1 line from Akhmeteli Theatre to Varketili (up) is shown in, **Figure 2** assuming the altitude at the start point is 0. The associated gradient data along this line from Akhmeteli Theatre to Varketili (up) is shown in **Table 2**, which is collected from the route gradient data Section 1-5.



**Figure 2 Altitude-Distance (up)**

**Table 2 Gradient data of line 1(up)**

Location(m)	Gradient(‰)	Location(m)	Gradient(‰)
0	-3	10.97804	-12
0.1575	-30	11.1418	0
0.92879	-3	11.3319	-26
1.40304	3	11.85764	3
1.907	3	12.12511	-23
3.01295	30	12.4418	-3
3.6575	-3	13.26952	-5
4.007	-25	14.16061	30
4.39017	-3	14.51011	3
5.007	2.2	14.67645	16
5.29809	0	14.82695	30
5.77433	19	15.39625	3
5.95863	33	15.6616	-7
6.29031	5.625	15.8111	3
6.37051	-9.6	16.40615	4
6.45566	0	16.521	3
6.57546	-10	16.80318	38
6.78536	-40	17.6111	5
6.93586	-3.3	17.7319	-3
7.67645	-3	18.0418	-40
8.11803	-20	18.33487	-3
8.79031	3	18.54972	3
9.05764	-3	19.0913	33
9.32992	-26	19.5111	3
10.2319	-15	19.5869	3
10.5811	-3.3	-	-

The altitude of the Tbilisi Metro Line 1 from Varketili to Akhmeteli Theatre (down) is shown in **Figure**



3, assuming the altitude at the start point is 0. The associated gradient data along this line from Varketili to Akhmeteli Theatre (down) is shown in Table 3. This data is calculated according to line 1 (up). The start point of the gradient data is coincident with the start point of the station information (the centre of station Varketili).

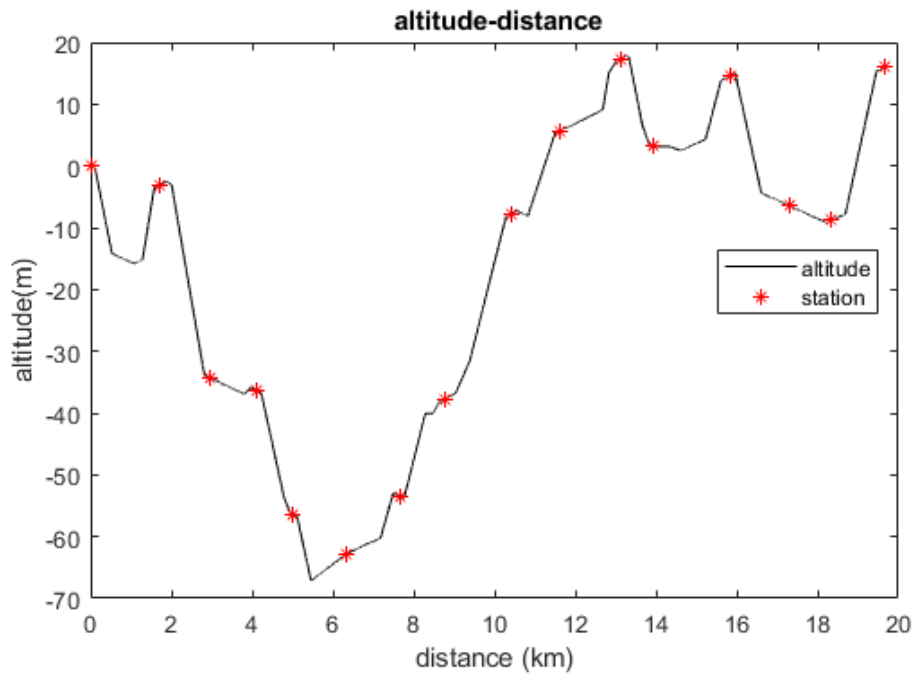


Figure 3 Altitude-Distance(down)

Table 3 Gradient data of line 1(down)

Location(m)	Gradient(‰)	Location(m)	Gradient(‰)
0	-3	9.3891	26
0.1099	-33	10.291	3
0.5297	-3	10.563	-3
1.0713	3	10.831	20
1.2861	40	11.503	3
1.5792	3	11.945	3.3
1.8891	-5	12.685	40
2.0099	-38	12.836	10
2.8178	-3	13.046	0
3.1	-4	13.165	9.6
3.2149	-3	13.25	-5.625
3.8099	7	13.331	-33
3.9594	-3	13.662	-19
4.2248	-30	13.847	0
4.7941	-16	14.323	-2.2
4.9446	-3	14.614	3
5.1109	-30	15.231	25
5.4604	5	15.614	3
6.3515	3	15.964	-30
7.1792	23	16.608	-3
7.4959	-3	17.714	-3
7.7634	26	18.218	3
8.2891	0	18.692	30
8.4792	12	19.464	3
8.643	3.3	19.654	3
9.0399	15	-	-

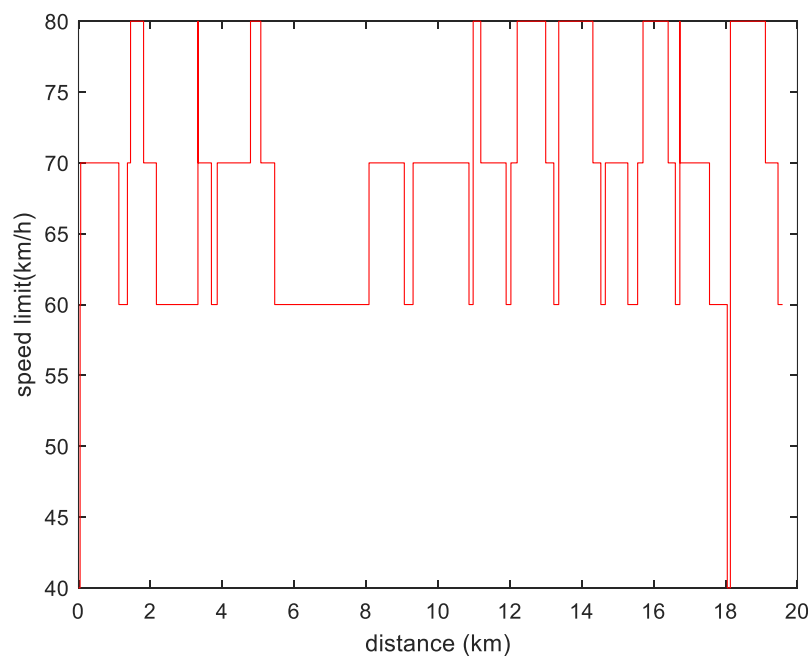
### 2.1.3. Speed limit

The speed limit data of Tbilisi Metro line 1 from Akhmeteli Theatre to Sarajishvili (up) is shown in Table 4, which is collected in 'Tbilisi Metro - Track Speed Limits'.

**Table 4 Speed limit of line 1 (up)**

Location(m)	Speed limit	Location(m)	Speed limit
0	40	10.979	80
0.045	60	11.191	70
0.061	70	11.896	60
1.123	60	12.029	70
1.361	70	12.204	80
1.448	80	12.997	70
1.811	70	13.223	60
2.167	60	13.36	80
2.261	60	14.31	70
3.323	80	14.531	60
3.21	70	14.656	70
3.698	60	15.282	60
3.86	70	15.555	70
4.7855	80	15.704	80
5.0726	70	16.404	70
5.458	60	16.604	60
5.56	60	16.729	80
5.774	60	16.354	70
6.629	60	17.554	60
7.796	60	18.048	40
8.082	70	18.135	80
9.064	60	19.109	70
9.308	70	19.46	60
10.263	70	19.5869	40
10.863	60	-	-

The speed limit along this upline is shown in **Figure 4**.



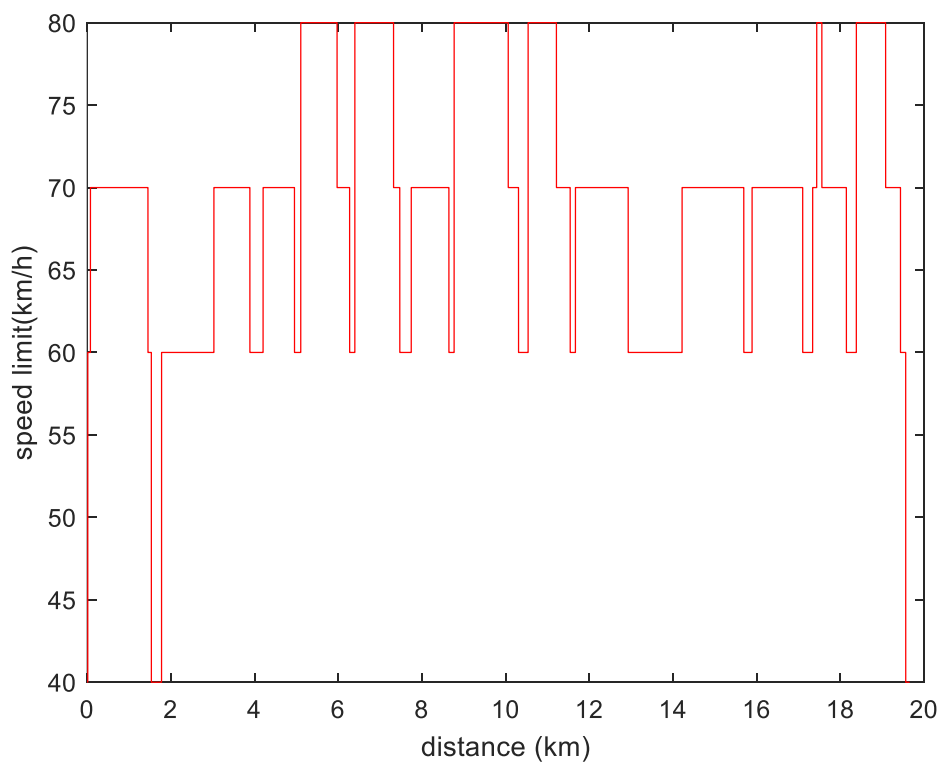
**Figure 4 Speed limit-Distance(up)**

The speed limit data of Tbilisi Metro line 1 from Varketili to Akhmeteli Theatre (down) is shown in **Table 5**.

**Table 5 Speed limit of line 1 (down)**

Location(m)	Speed limit	Location(m)	Speed limit
0	40	10.442	60
0.012	60	10.536	80
0.07	60	11.213	70
0.075	70	11.542	60
0.812	70	11.667	70
1.45	60	12.928	60
1.531	40	13.173	60
1.775	60	13.913	60
3.026	70	13.977	60
3.735	70	14.216	70
3.886	60	15.691	60
4.202	70	15.889	70
4.952	60	17.099	60
5.102	80	17.337	70
5.97	70	17.434	80
6.27	60	17.557	70
6.395	80	17.834	70
7.32	70	18.143	60
7.469	60	18.381	80
7.743	70	19.081	70
8.643	60	19.436	60
8.768	80	19.561	40
10.061	70	19.6536	40
10.307	60	-	-

The speed limit for this downline is shown in **Figure 5**.



**Figure 5 Speed limit-Distance(down)**

## 2.2. ROLLING STOCK DATA (3 FLEETS)

Three different train types are considered:

- ETs (ET) – 134t empty mass, 4 motored cars, no regeneration
- New Trains type 1 (NT1) – 120t empty mass, 2 motored cars, 127% of ET power, with regeneration
- New Trains type 2 (NT2) – 125t empty mass, 3 motored cars, 113% of ET power, with regeneration

The details are shown in **Table 6**, which is collected in 'Appendix 6.2: Tbilisi Rolling Stock Data\_for Simulation 2022.01.09'.

**Table 6 Train traction characteristics**

Parameters	ET	NT1	NT2
Static train mass [tonnes]	134(Mc:34t, M:33t)	120(Tc:29t, M:31t)	125(Mc:32t, M:31t, T:30)
Passenger mass [tonnes]	55.6	55.6	55.6
Train formation	Mc - M - M - Mc	Tc - M - M - Tc	Mc - M - T - Mc
Rotary allowance	0.1	M:10%, Tc:5%	M, Mc:10%, T:5%
Train resistance [N/tonne]	[4.16, 0.08*3.6, 0.00166*3.6^2]	[4.16, 0.08*3.6, 0.00166*3.6^2]	[4.16, 0.08*3.6, 0.00166*3.6^2]
Maximum traction power [kW]	1884	2396	2140
Maximum braking power [kW]	1884	2377	3586
Maximum operation speed [km/h]	90	90	90
Maximum tractive effort [kN]	251.2	191.7	237.1
Maximum braking effort [kN]	251.2	142.6	215.2
Maximum acceleration rate [m/s <sup>2</sup> ]	1.32	1.09	1.31
Maximum braking rate [m/s <sup>2</sup> ]	1.32	0.81	1.18

The typical tractive effort curve, resistance curve, and acceleration curve of the three train types are shown in **Figure 6** to **Figure 8**.

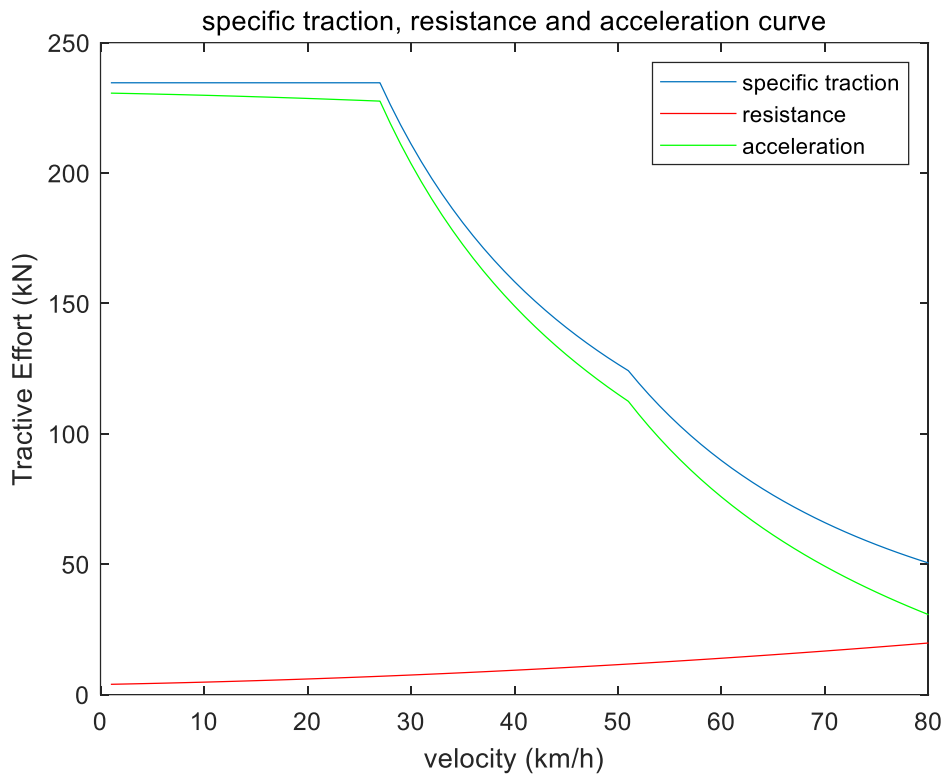


Figure 6 Specific traction, resistance, and acceleration curve of ET

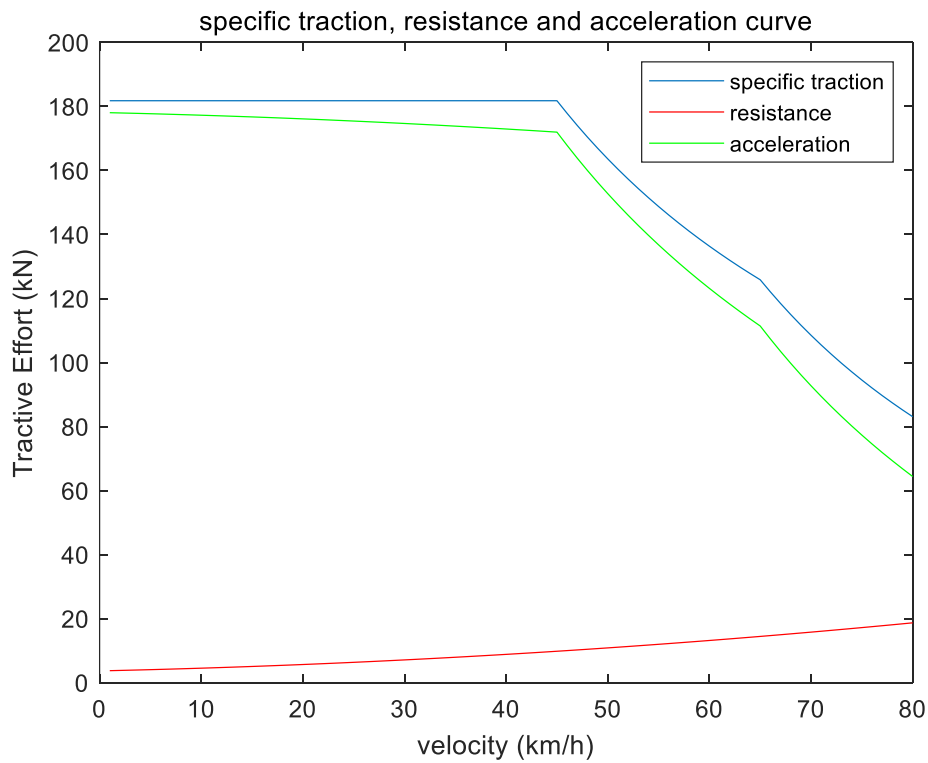


Figure 7 Specific traction, resistance, and acceleration curve of NT1

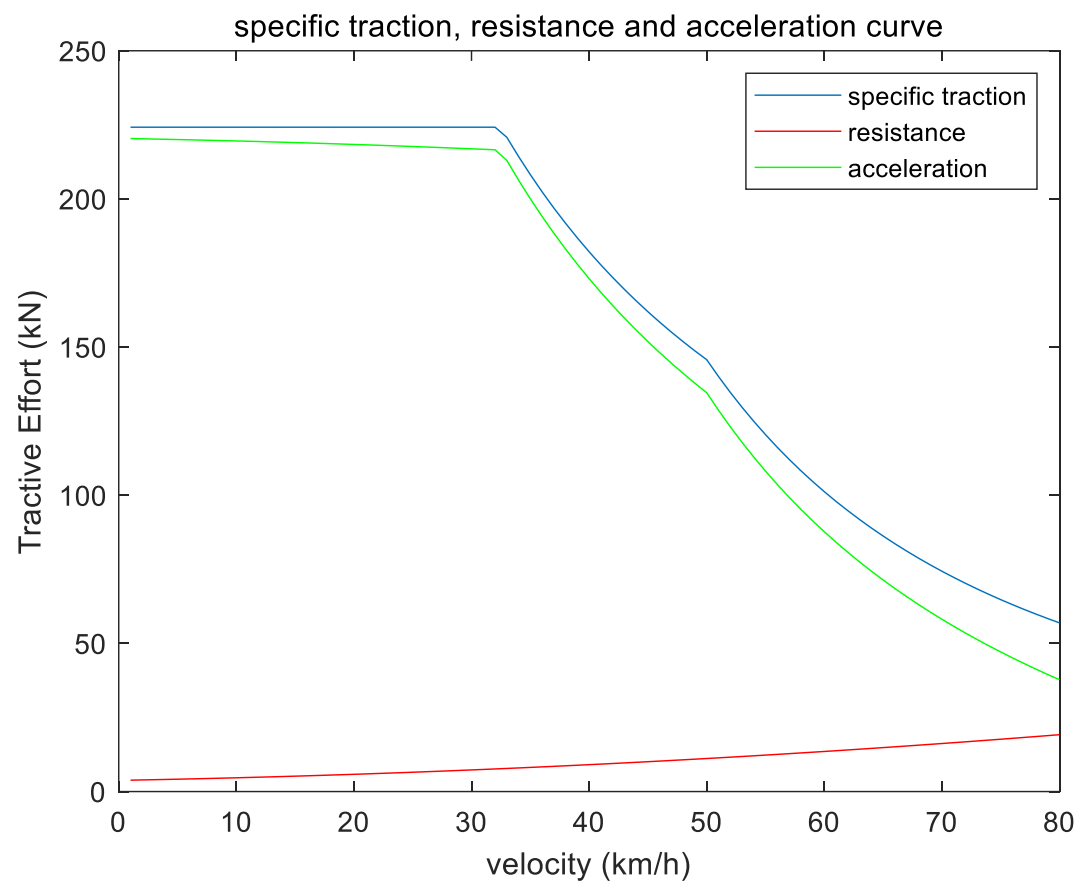


Figure 8 Specific traction, resistance, and acceleration curve of NT2

## 2.3. OPERATION DATA

**Table 7** shows the proposed running time between stations and the dwell time at each station from Akhmeteli theatre to Varketili, which is collected in 'Appendix 6.3: Tbilisi Metro - Inter-station run and dwell times'

**Table 7 Inter-station running and dwell time of line 1(up)**

Stations	Moving time	Standing time	Total time
Akhmeteli theatre - Sarajishvili	1:35	0:20	1:55
Sarajishvili - Guramishvili	1:25	0:20	1:45
Guramishvili - Grmagele	1:50	0:15	2:05
Grmagele - Didube	2:20	0:20	2:40
Didube - Gotsiridze	1:15	0:30	1:45
Gotsiridze - Nadzaladevi	2:15	0:20	2:35
Nadzaladevi - Station Square	1:35	0:25	2:00
Station Square - Marjanishvili	2:05	0:35	2:40
Marjanishvili - Rustaveli	1:30	0:20	1:50
Rustaveli -Liberty square	1:40	0:15	1:55
Liberty square - Avlabari	1:40	0:20	2:00
Avlabari -300 Aragveli	1:20	0:15	1:35
300 Aragveli - Isani	1:30	0:20	1:50
Isani - Samgori	1:45	0:20	2:05
Samgori - Varketili	2:05	-	2:05
Sum	25:50	4:55	30:45

**Table 8** shows the proposed running time between stations and the dwell time at each station from Varketili to Akhmeteli theatre.

**Table 8 Inter-station running and dwell time of line 1(down)**

Stations	Moving time	Standing time	Total time
Varketili-Samgori	2:10	0:20	2:30
Samgori - Isani	1:55	0:20	2:15
Isani – 300 Aragveli	1:35	0:15	1:50
300 Aragveli - Avlabari	1:20	0:20	1:40
Avlabari – Liberty square	1:35	0:30	2:05
Liberty square - Rustaveli	1:45	0:20	2:05
Rustaveli - Marjanishvili	1:30	0:25	1:55
Marjanishvili – Station Square	2:05	0:35	2:40
Station Square - Nadzaladevi	1:35	0:20	1:55
Nadzaladevi - Gotsiridze	2:00	0:15	2:15
Gotsiridze - Didube	1:20	0:20	1:40
Didube - Grmagele	2:20	0:15	2:35
Grmagele - Guramishvili	2:05	0:20	2:25
Guramishvili - Sarajishvili	1:25	0:20	1:45
Sarajishvili – Akhmeteli theatre	1:35	-	1:35
Sum	26:15	4:55	31:10

The headway time is assumed as 150s with a terminal turnaround time of 180s.

## 2.4. POWER NETWORK DATA

There are nine traction substations for this line. The traction substation data is shown in Table 9, which is collected in 'Appendix 6.4: TTC Substation Capacity'.

**Table 9 Location and rated power of traction substations**

	Station	Location (m)	Rectifiers	Rated power (kW)
1	Akhmeteli Theatre	0	2×1320kW	2640
2	Sarajishvili	1296.5	2×1320kW	2640
3	Guramishvili	2342.4	2×1320kW	2640
4	Ghrmaghele	3806.5	2×1320kW	2640
5	Gotsiridze	6527.6	4×1320kW	5280
6	Marjanishvili	10908.2	3×1320kW	3960
7	Avlabari	14611.5	2×2640kW	5280
8	Samgori	17890.4	2×2640kW	5280
9	Varketili	19586.9	2×1320kW	2640

The power network characteristics are given in Table 9. The rectifier no-load voltage is 900 V, which is collected in 'Appendix 6.5: VI Curve & Diode Data'. Each substation is assumed to have a single DC output bus where all the feeder cables connect. The result is a fully interconnected DC network.

**Table 10 Power network characteristics**

Parameters	Data
Rectifier no-load voltage [V]	900
Rectifier rated voltage [V]	825
Rail resistance per 2 tracks [ $\Omega$ /km]	0.00725
3 <sup>rd</sup> rail resistance [ $\Omega$ /km]	0.015



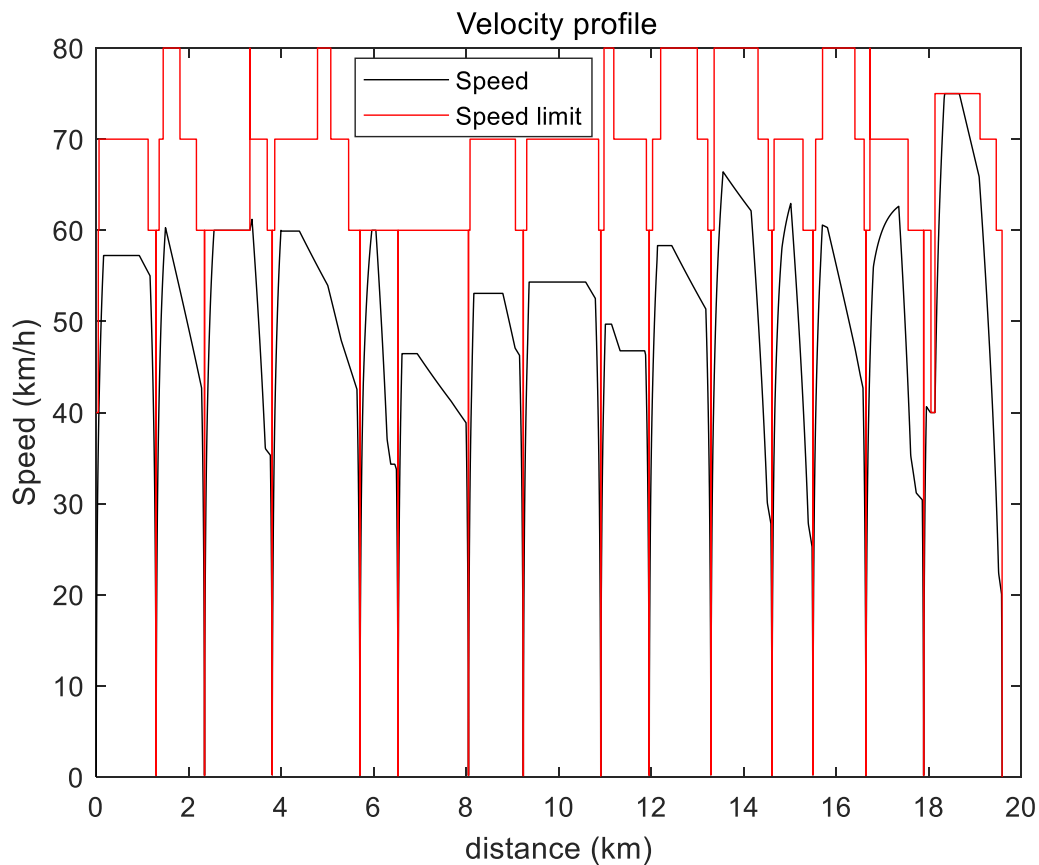
### 3. TRAIN MOTION SIMULATION RESULTS

This section presents results from the single-train simulator (STS) for each of the three different train types.

### 3.1. AKHMETELI THEATRE TO VARKETILI (UP-DIRECTION) RESULTS

### 3.1.1. Speed profile (3 trains)

The speed profiles of 3 trains are shown in **Figure 9** to **Figure 11**. In these figures, the speed limit is a combination of the initial speed limit of this line and the maximum speed for each inter-station. The speed profile is adjusted using coasting to give identical station-to-station and round trip running times for each fleet. Note that train NT2, due to its lower acceleration rate, has to run to a higher speed than the other train types to meet the timetable requirement.



### Figure 9 Speed profiles of ET

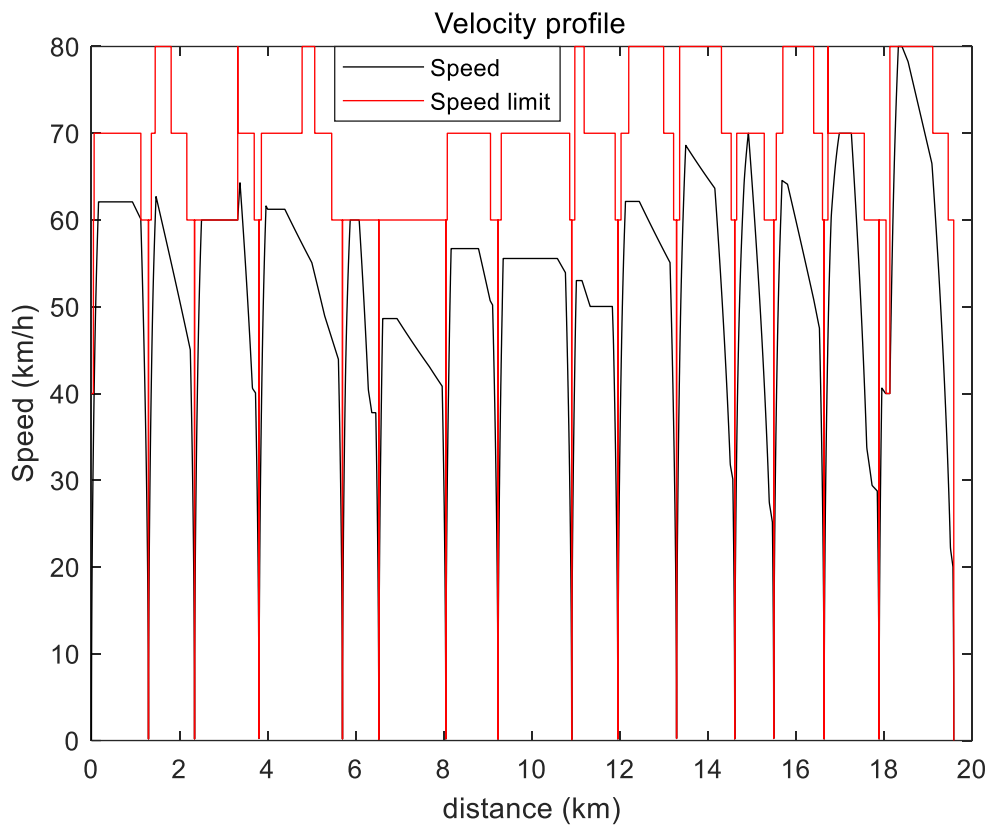


Figure 10 Speed profiles of NT1

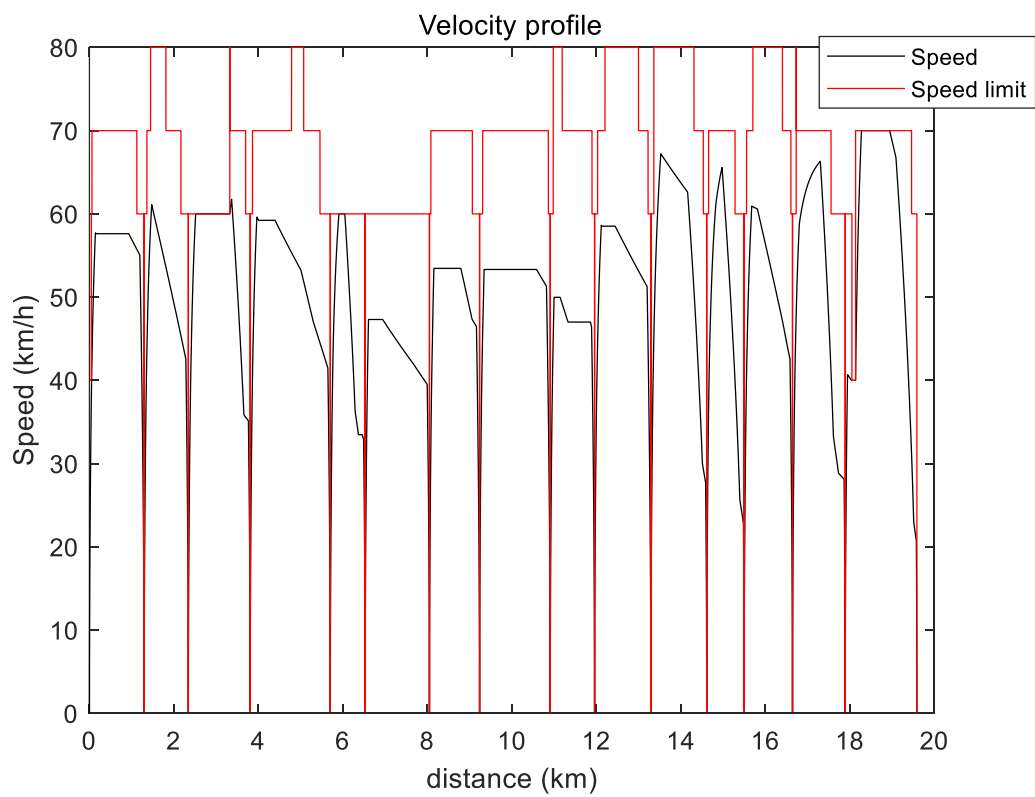
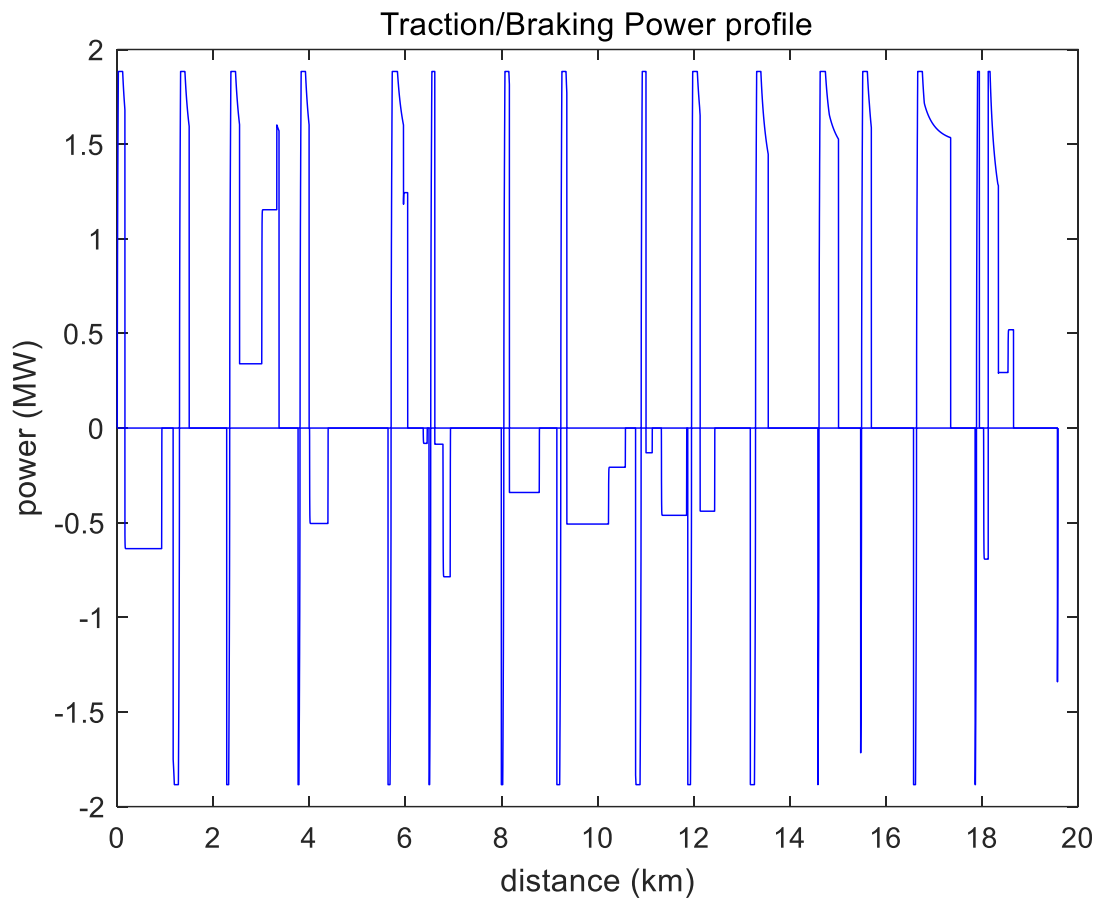


Figure 11 Speed profiles of NT2

### 3.1.2. Mechanical power profile (3 trains)

In the mechanical power profiles shown in **Figure 12** to **Figure 14**, the curve above zero represents the mechanical traction power, and the negative part is the mechanical braking power.



**Figure 12 traction/braking power of ET**

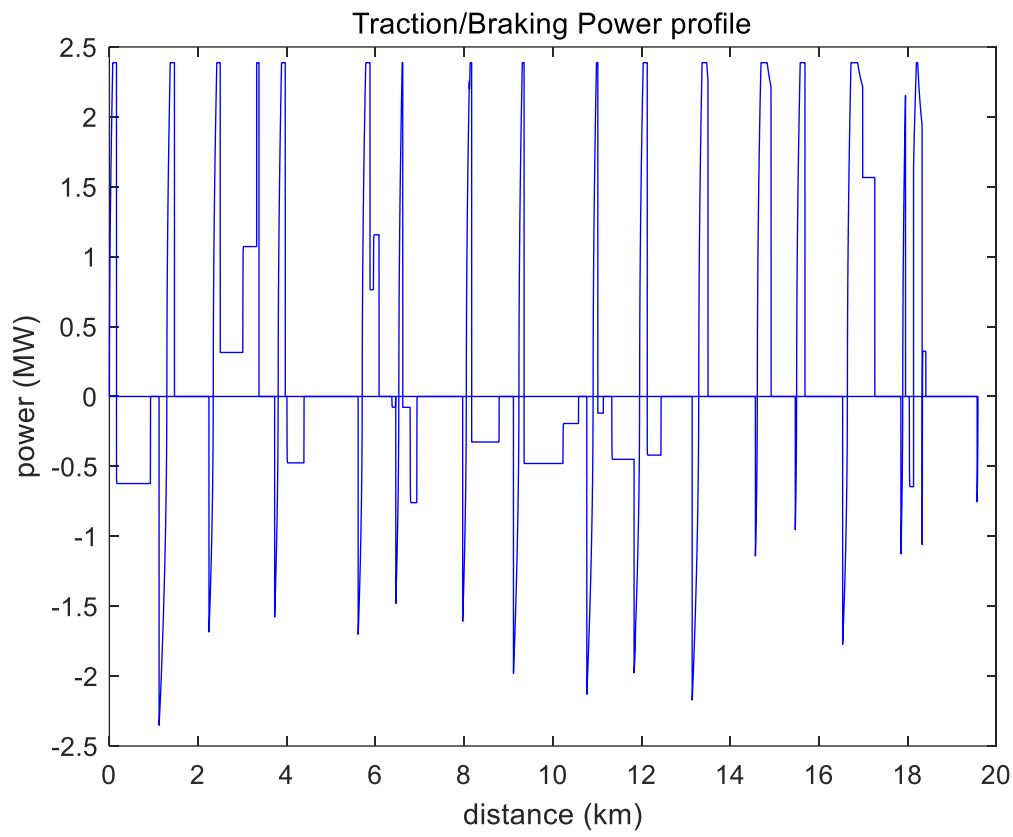


Figure 13 traction/braking power of NT1

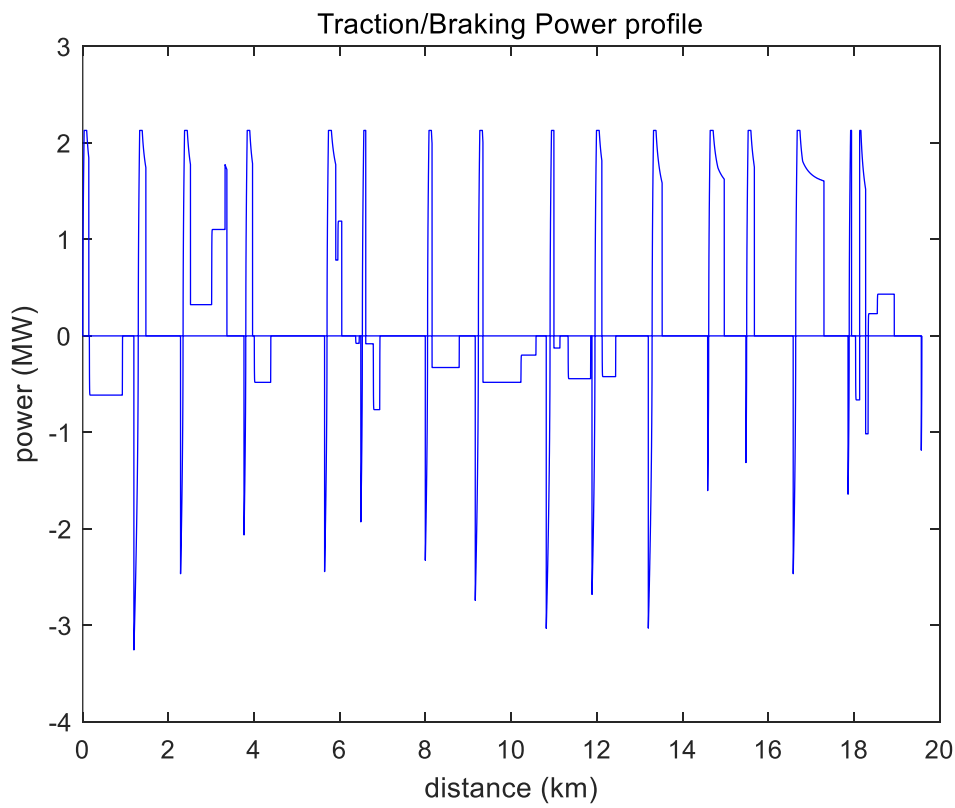


Figure 14 traction/braking power of NT2

3.1.3. Acceleration profile (3 trains)

Figure 15 to Figure 17 shows the acceleration profile of each train type. As shown in Table 6, the maximum tractive acceleration of ET, NT1, and NT2 are 1.32m/s<sup>2</sup>, 1.09 m/s<sup>2</sup> and 1.31 m/s<sup>2</sup>, respectively. The maximum braking acceleration are 1.32m/s<sup>2</sup>, 0.81 m/s<sup>2</sup> and 1.18 m/s<sup>2</sup> respectively.

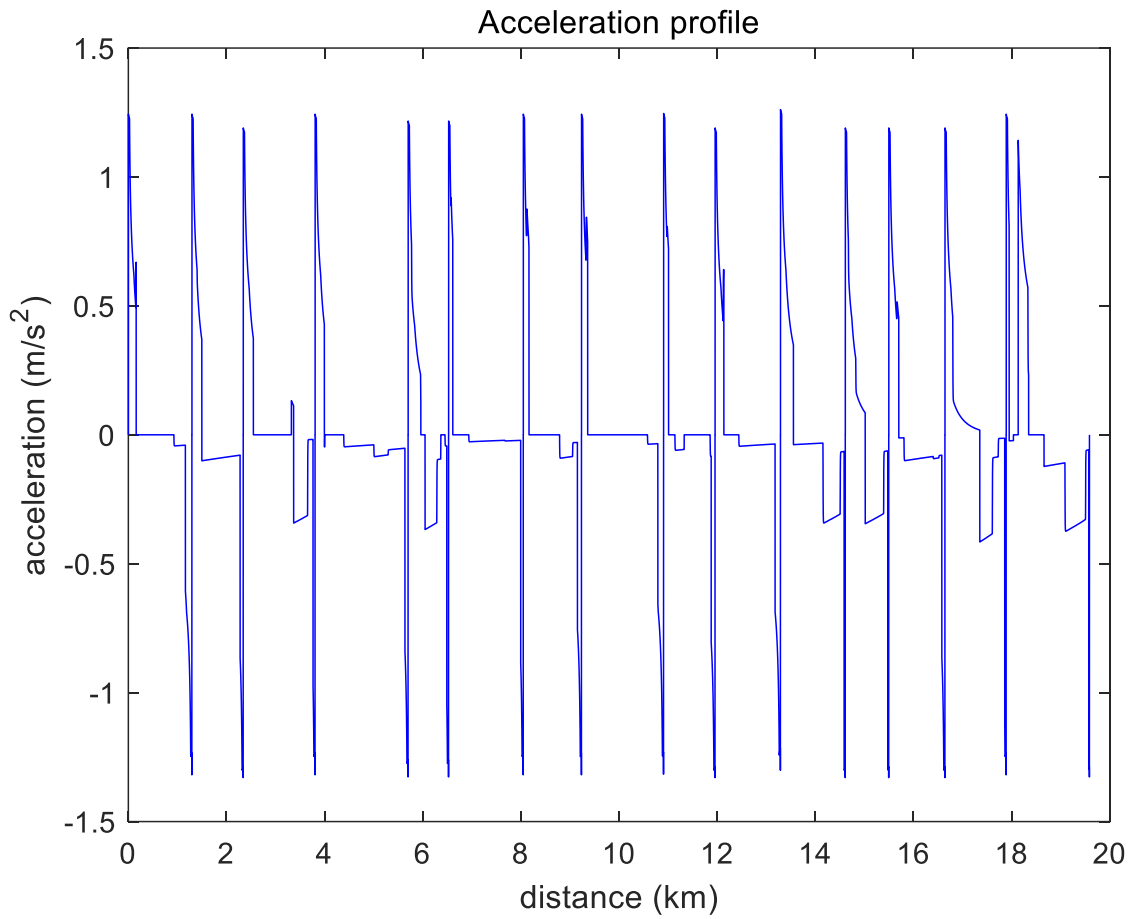


Figure 15 The acceleration profile of ET

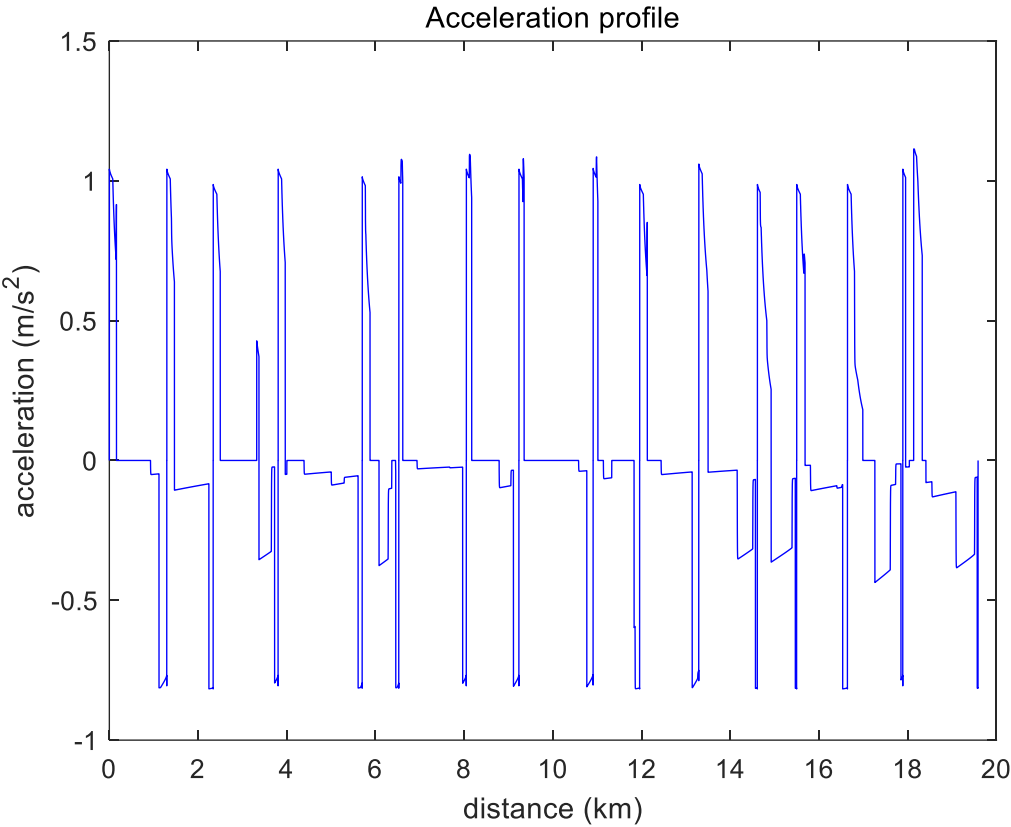


Figure 16 The acceleration profile of NT1

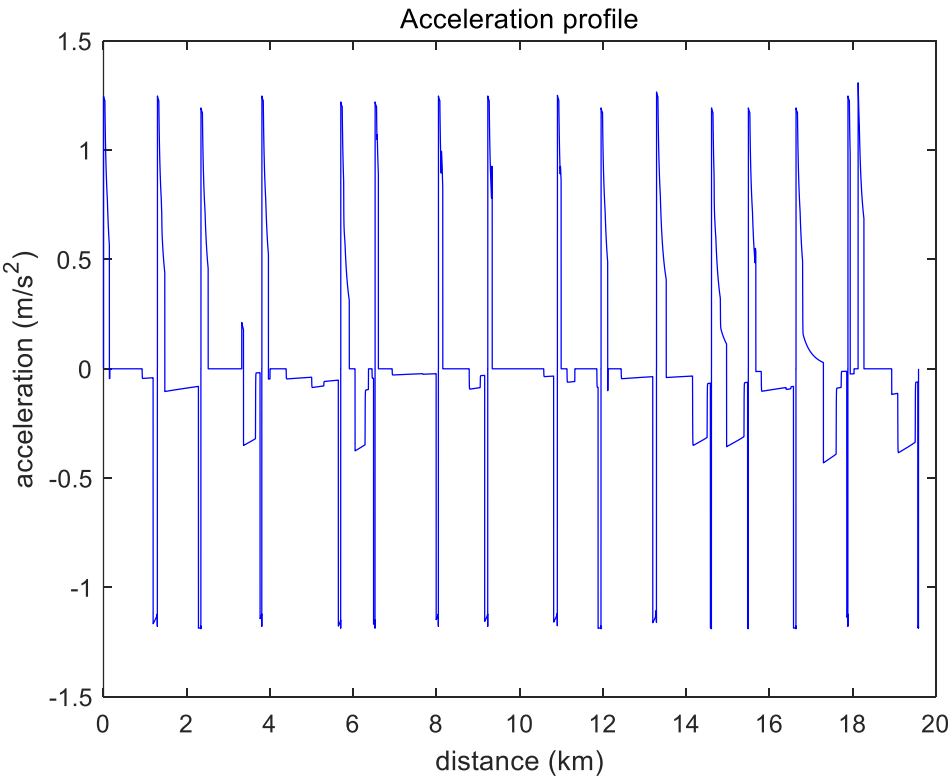
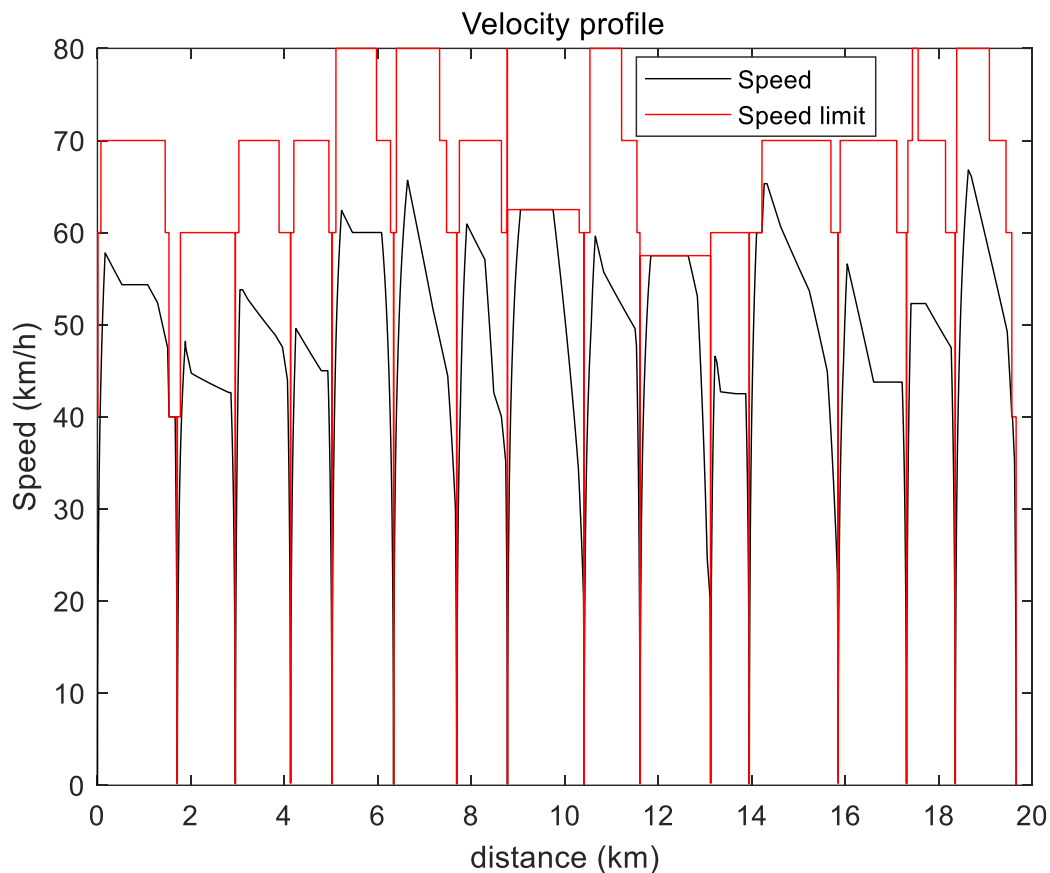


Figure 17 The acceleration profile of NT2

## 3.2. VARKETILI TO AKHMETELI THEATRE (DOWN-DIRECTION) RESULTS

### 3.2.1. Speed profile (3 trains)

The speed profiles of the 3 train types are shown in **Figure 18** to **Figure 20**. Within the speed limits, the speed profile is adjusted with coasting to make sure the running time matches the target timetable. Due to its lower maximum acceleration rate, train type NT2 has to run to a higher speed than the other trains to meet the timetable requirement.



**Figure 18 Speed profiles of ET**

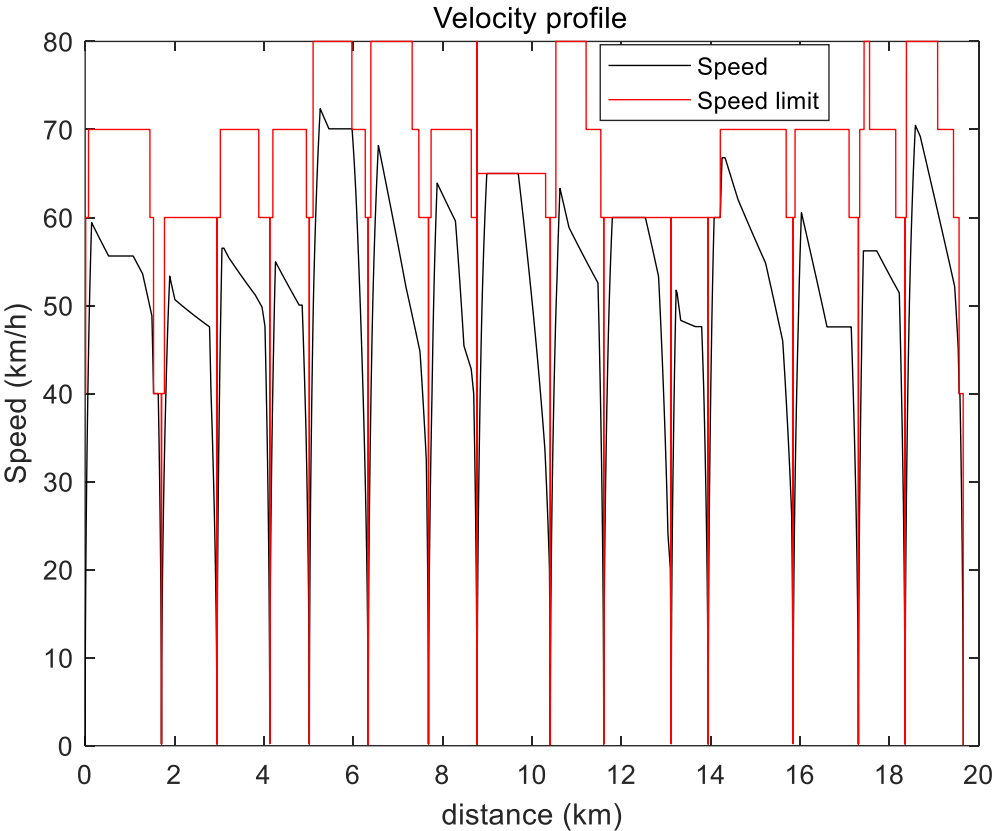


Figure 19 Speed profiles of NT1

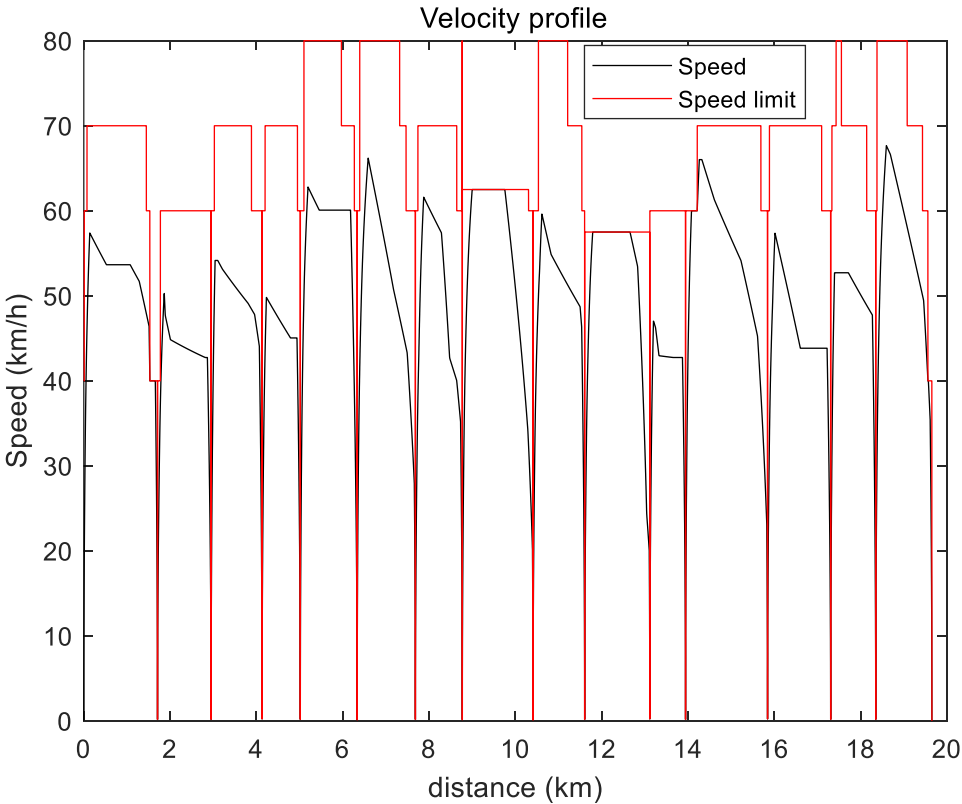
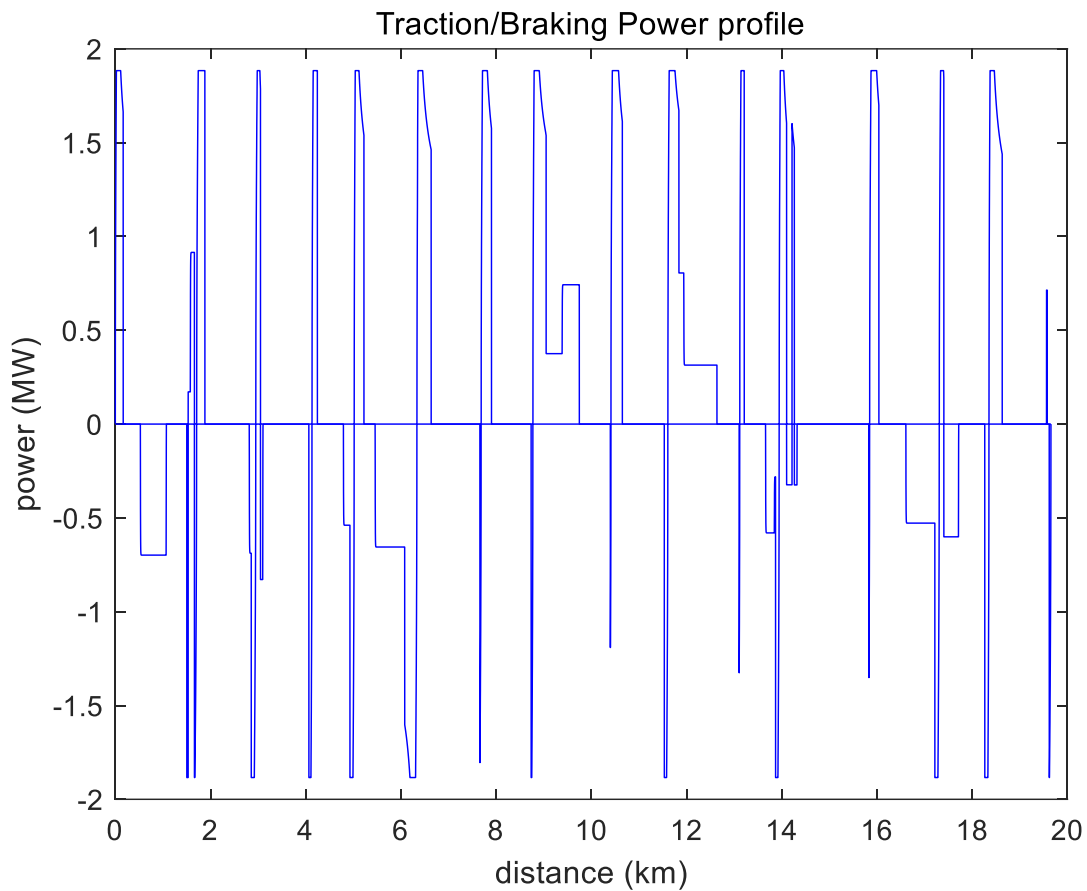


Figure 20 Speed profiles of NT2



### 3.2.2. Mechanical power profile (3 trains)

In the power profile shown in **Figure 21** to **Figure 23**, the curve above zero represents the mechanical traction power, and the negative part is the mechanical braking power.



**Figure 21 traction/braking power of ET**

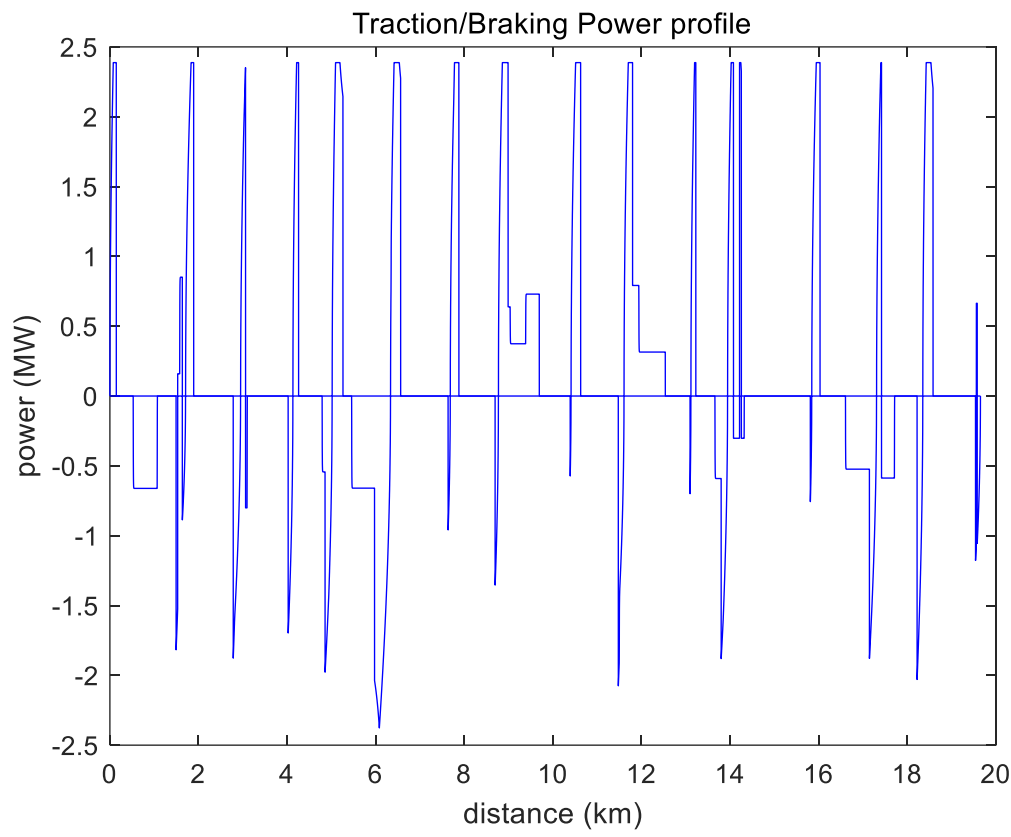


Figure 22 traction/braking power of NT1

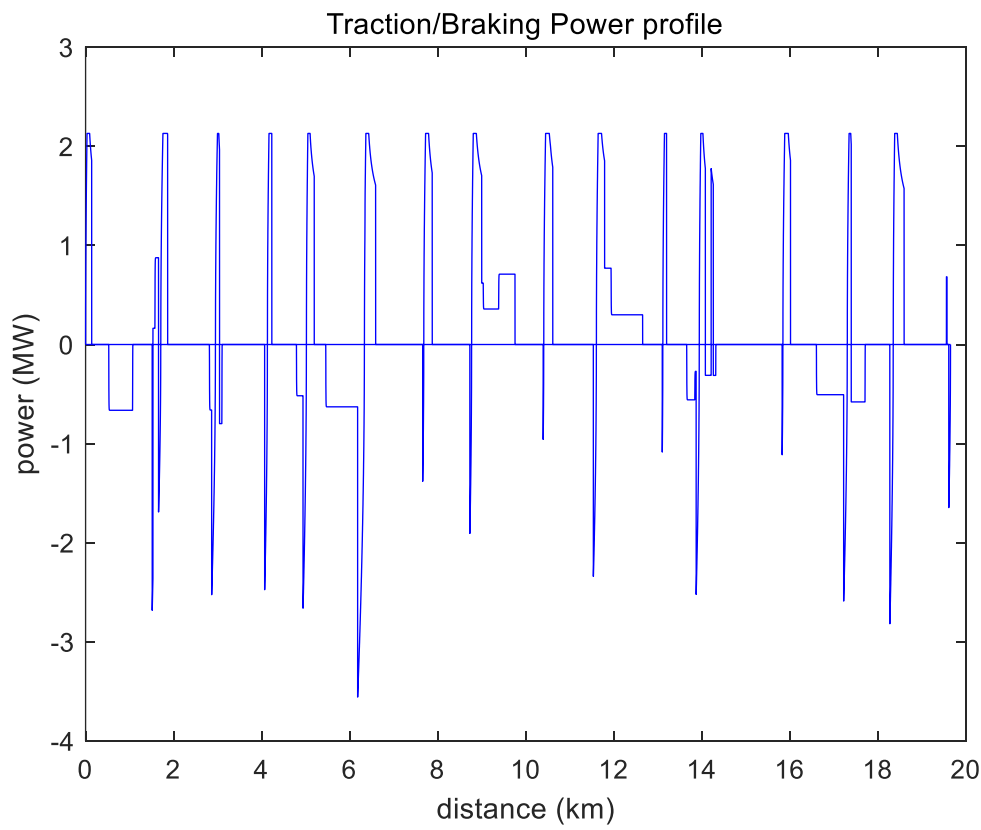


Figure 23 traction/braking power of NT2

### 3.2.3. Acceleration profile (3 trains)

Figure 24 to Figure 26 shows the acceleration profile of each train type. As shown in Table 6 the maximum tractive acceleration of ET, plan new1, and plan new2 are  $1.32\text{m/s}^2$ ,  $1.09\text{ m/s}^2$  and  $1.31\text{ m/s}^2$  respectively. The maximum braking acceleration are  $1.32\text{m/s}^2$ ,  $0.81\text{ m/s}^2$  and  $1.18\text{ m/s}^2$  respectively.

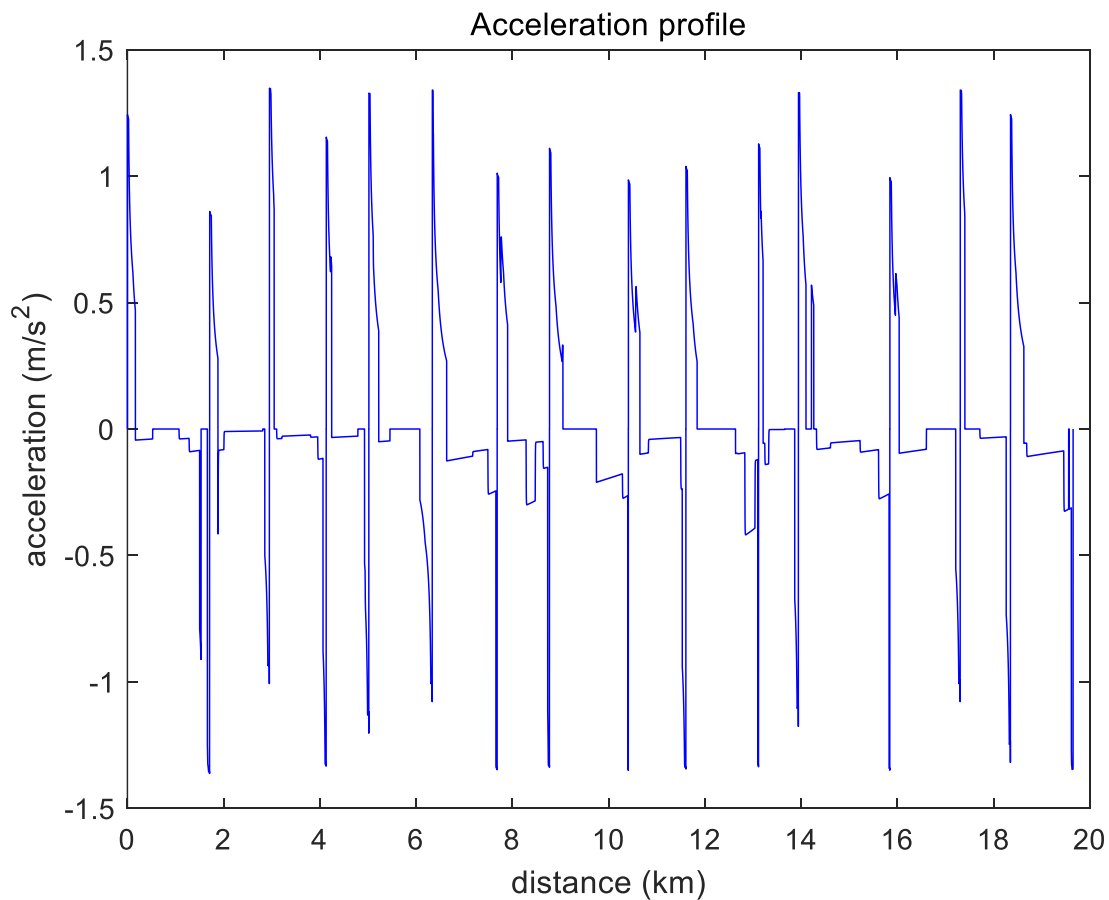


Figure 24 Acceleration profile of ET

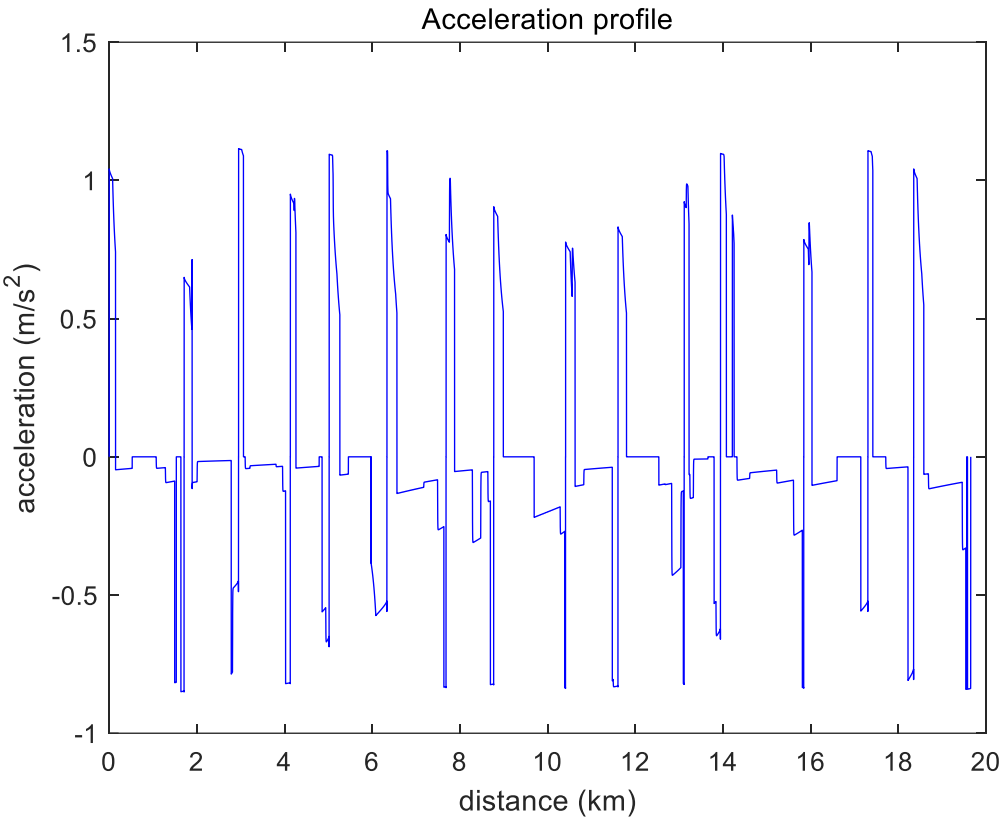


Figure 25 Acceleration profile of NT1

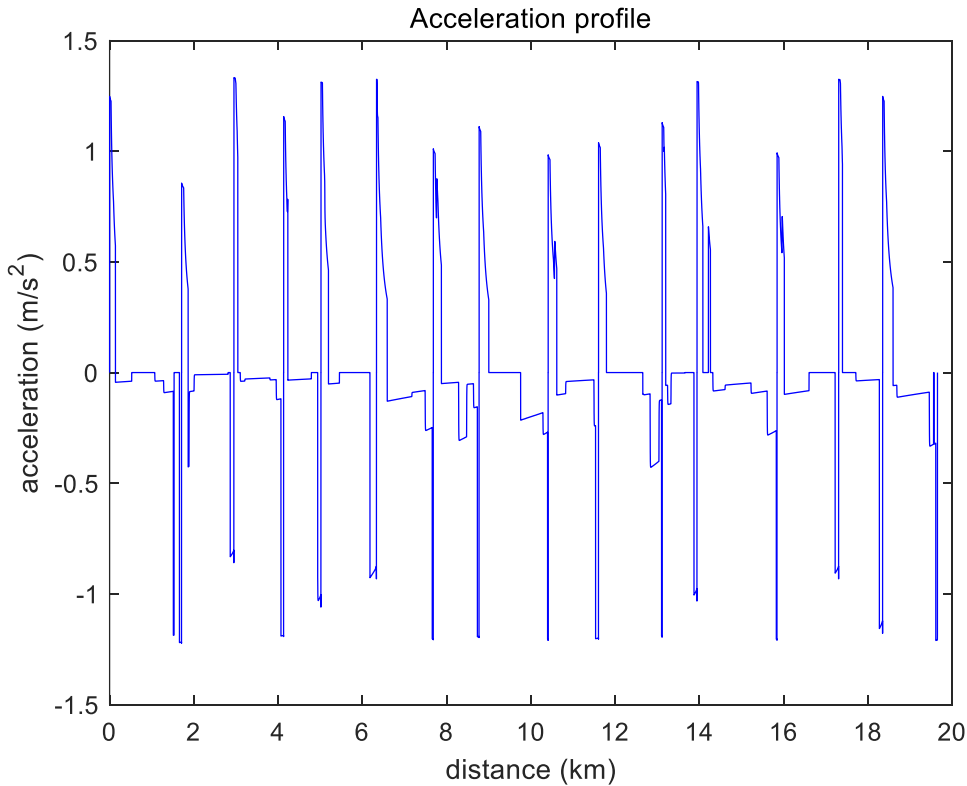
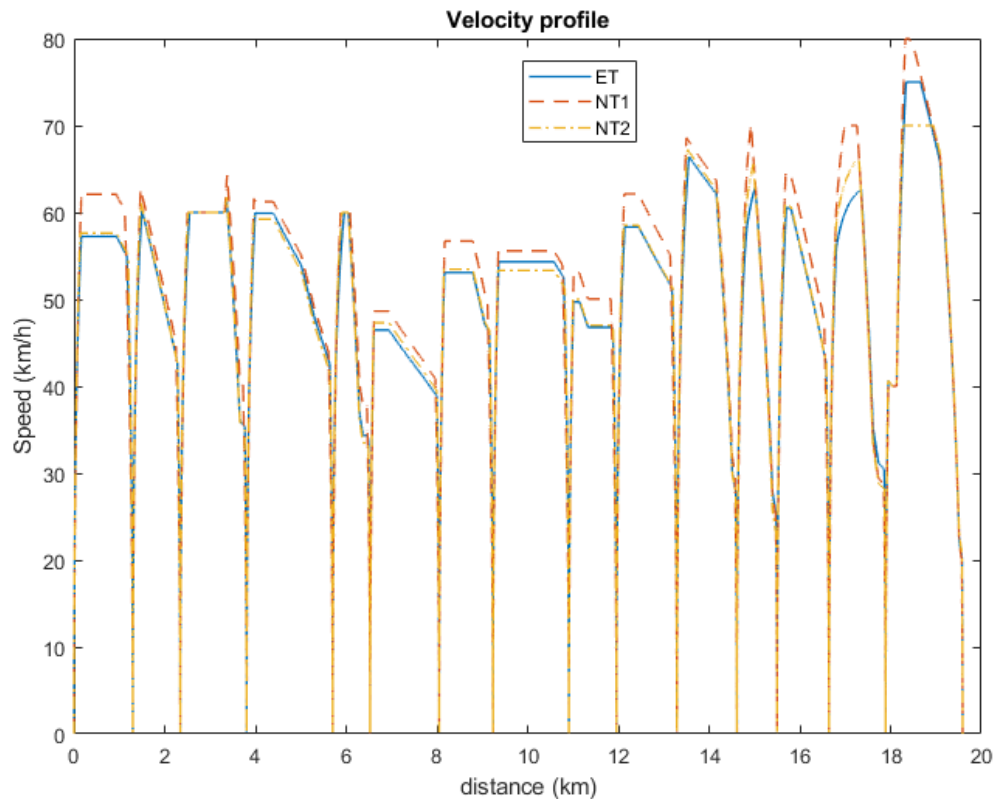


Figure 26 Acceleration profile of NT2

### 3.3. RESULTS COMPARISON

#### 3.3.1. Akhmeteli Theatre to Varketili (up-direction) results

The up-direction speed profiles of the three train types are compared in **Figure 27**. Train NT1, which has the highest acceleration rate, runs to a higher speed but coasts longer than the other trains.



**Figure 27 Speed profile comparison (up)**

The journey time includes inter-station running time and dwell time from Akhmeteli Theatre to Varketili (no dwell time in station Akhmeteli Theatre and Varketili). The target journey time from the timetable and the actual simulation results are shown in Table 11. The tractive energy and braking energy of the whole journey are shown in Table 12. The traction energy consumption is very similar for all three trains, but is lowest for NT2.

**Table 11 Journey time of each train type (up)**

Train type	Given timetable (s)	Journey time (s)
ET	1845	1845.22
NT1	1845	1846.12
NT2	1845	1846.33

**Table 12 Traction and Braking energy (mechanical) of each train type**

Train type	Traction energy (kWh)	Braking energy (kWh)
ET	150.99	88.73
NT1	147.00	87.31
NT2	143.94	84.58

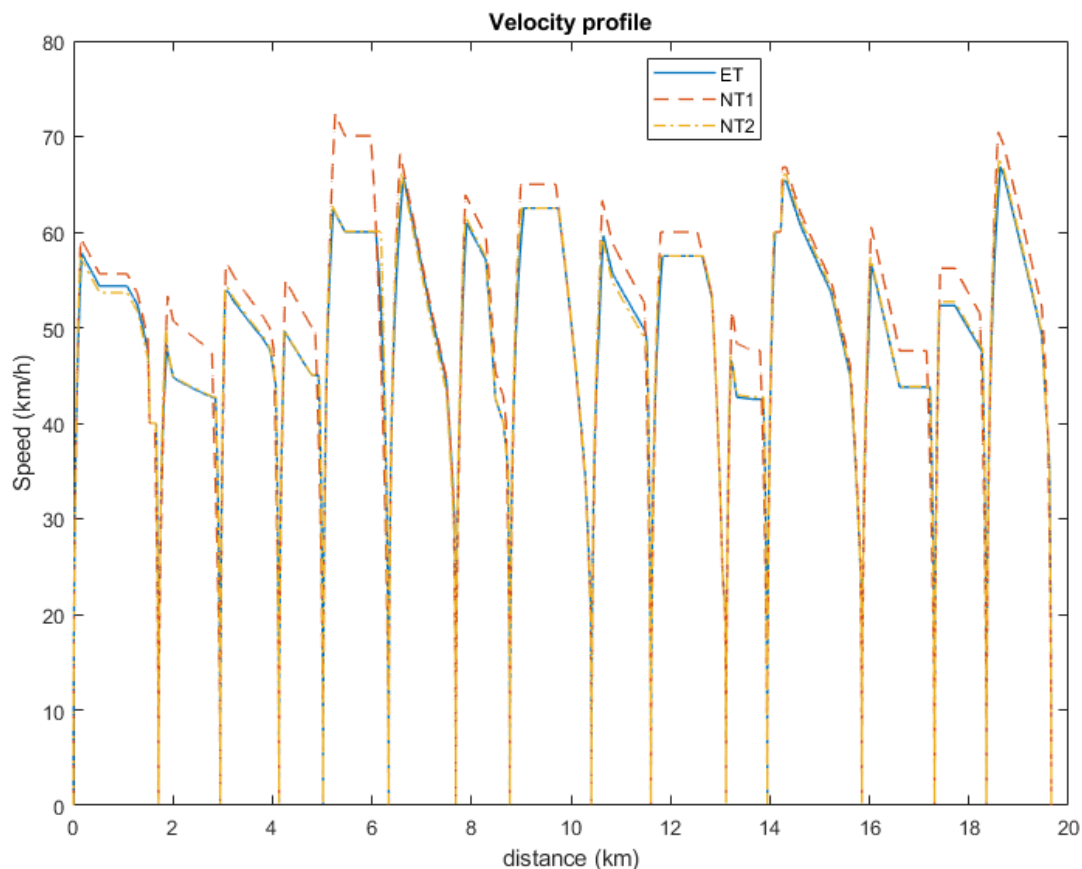
Table 13 shows the percentage of the traction and braking energy against the ET baseline.

**Table 13 Traction and Braking energy (mechanical) compared with ET (up)**

Train type	Traction energy against ET	Braking energy against ET
ET	100%	100%
NT1	97.4%	98.4%
NT2	95.3%	95.3%

### 3.3.2. Varketili to Akhmeteli Theatre (down-direction) results

The down-direction speed profiles of three train types are compared in **Figure 28**. Train NT1, which has the highest acceleration rate, runs to a higher speed but coasts longer than the other two trains.


**Figure 28 Speed profile compare down-direction**

The journey time includes inter-station running time and dwell time from Varketili to Akhmeteli Theatre (no dwell time in station Akhmeteli Theatre and Varketili). The target journey time from the timetable and the actual simulation results are shown in Table 14. The tractive energy and braking energy of the whole journey are shown in Table 15. The traction energy consumption is very similar for all three train types, but is lowest for NT2.

**Table 14 Journey time of different train types**

Train type	Given timetable (s)	Journey time (s)
ET	1870	1871.74
NT1	1870	1873.17
NT2	1870	1871.09

**Table 15 Traction and Braking energy (mechanical) of different train types**

Train type	Traction energy (kWh)	Braking energy (kWh)
ET	139.09	86.36
NT1	138.74	87.34
NT2	131.82	81.31

Table 16 shows the percentage of the traction and braking energy against the ET baseline.

**Table 16 Traction and Braking energy (mechanical) compared with ET**

Train type	Traction energy against ET	Braking energy against ET
ET	100%	100%
NT1	99.7%	101.1%
NT2	94.8%	94.2%

## 4. TRACTION POWER NETWORK SIMULATION

This section presents the results of the traction power network simulation. Different train fleets with multi-train peak and off-peak timetables are analyzed. The peak timetable headway is 2.5min (150s), and the off-peak headway is 12min. At peak time there are 25 trains running and at off-peak time there are 5 trains. Peak operation is of primary interest in this study and the results including feeder cable loading, substation loading and fault simulation are presented in sections 4.1 to 4.6. Section 4.7 presents the results for off-peak operation. A summary is given in section 4.8.

### 4.1. SUBSTATION RESULTS

#### 4.1.1. ET

There is no regeneration mode for ET so the substation voltage does not exceed the no-load voltage of 900 V. The peak power load of 4.76 MW occurs at substation 5 (Gotsiridze). This peak power load corresponds to the lowest voltage of 835 V and the highest current of 5531 A. Refer to **Figure 29** and **Figure 30**.

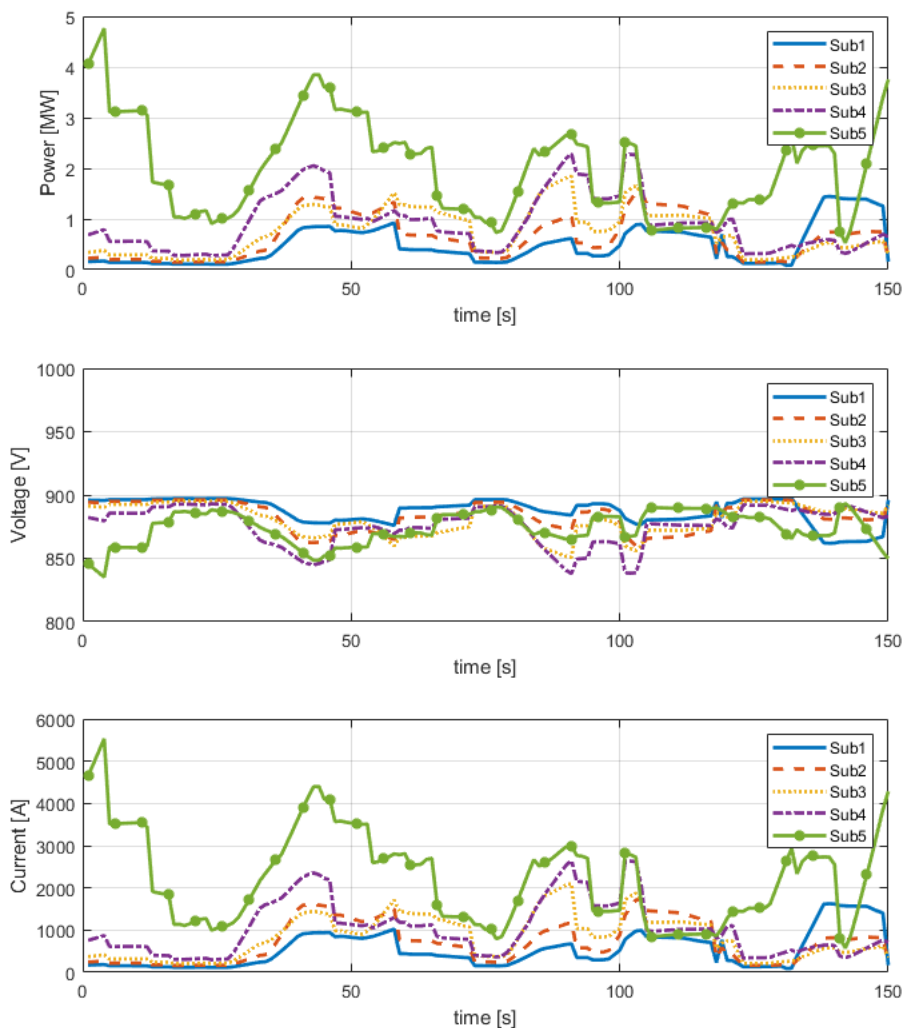


Figure 29 Substations 1-5 (of 9) power, voltage and current of ET: 150s



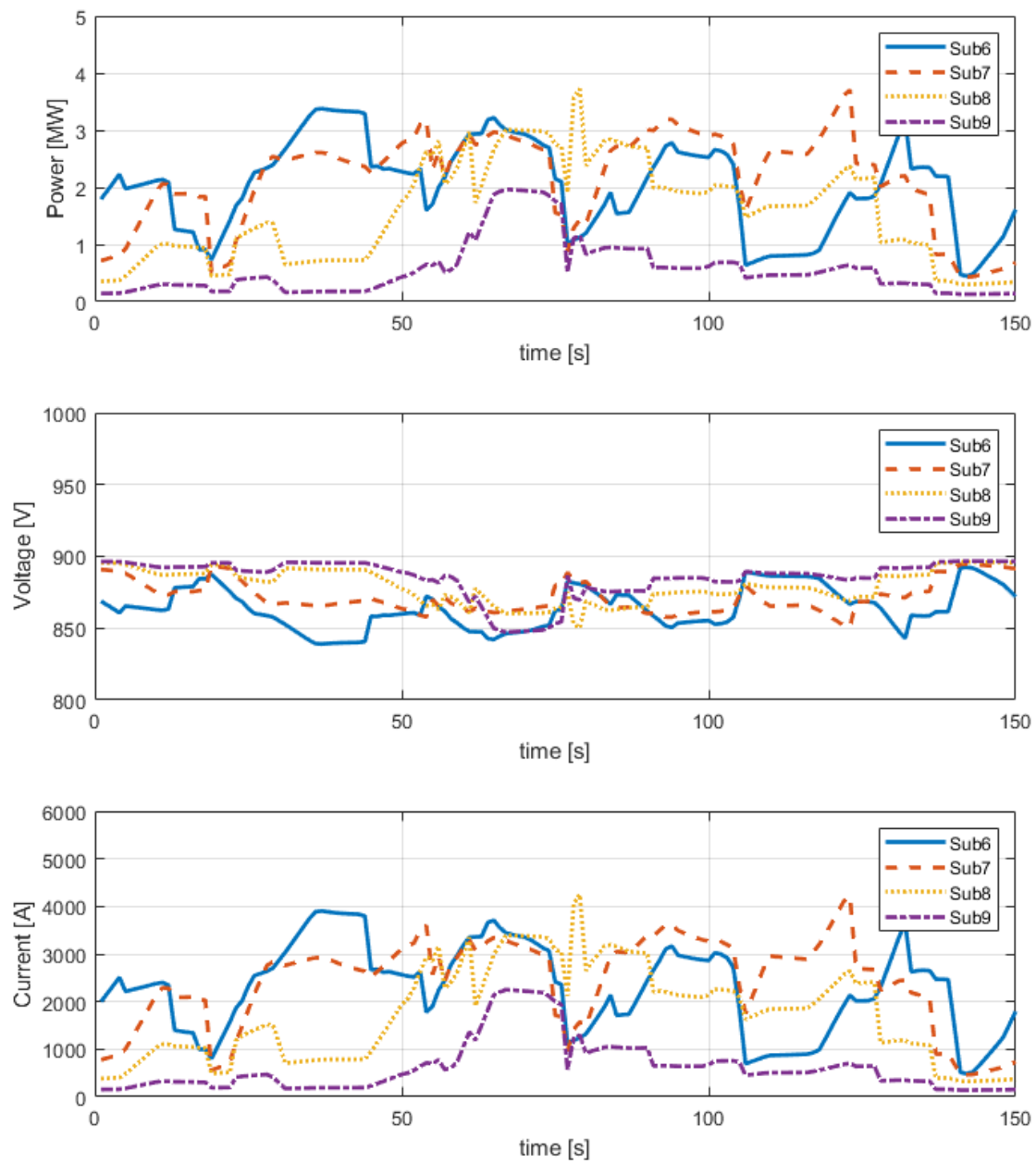
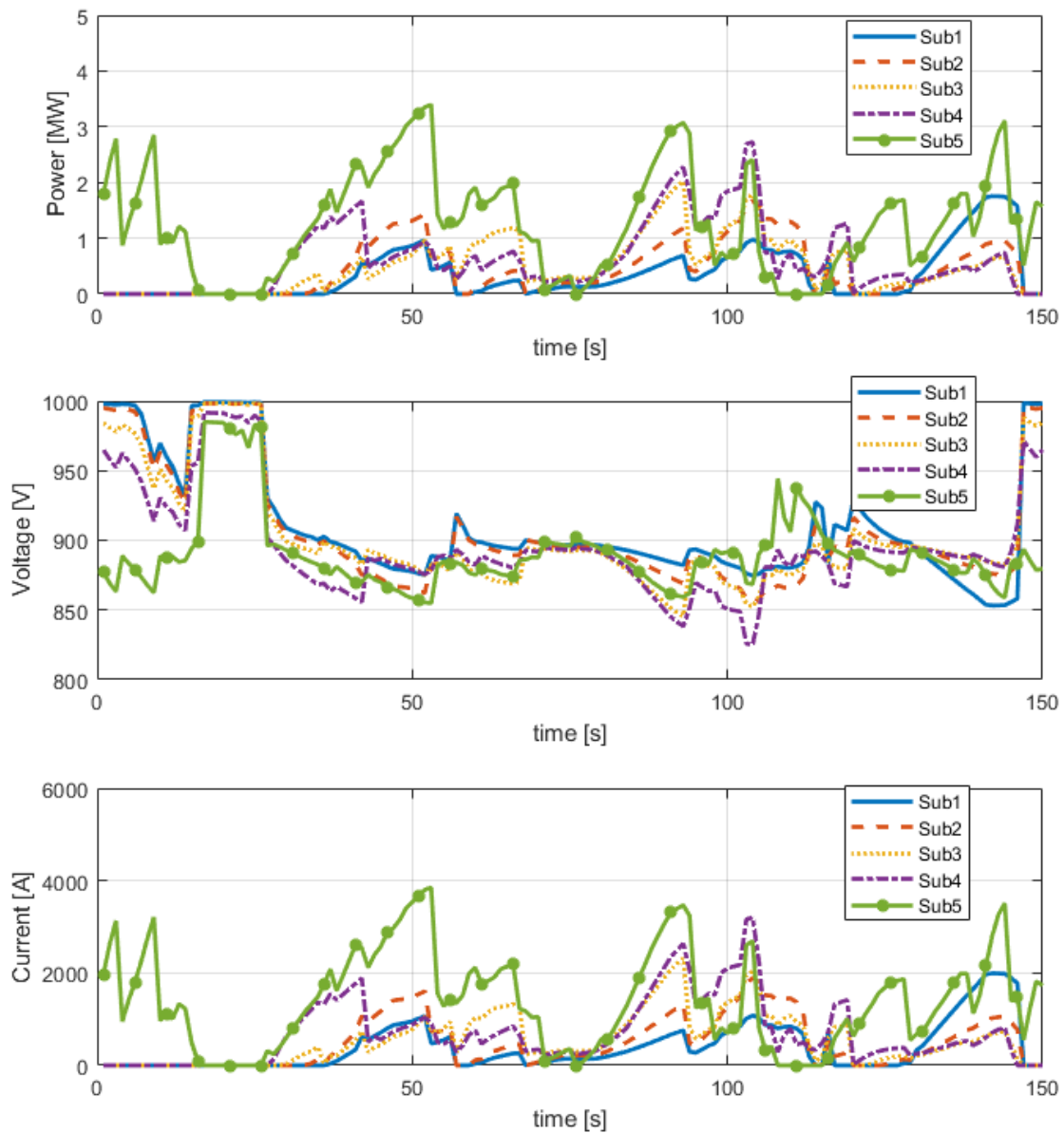


Figure 30 Substations 6-9 (of 9) power, voltage and current of ET: 150s

#### 4.1.2. NT1

NT1 has regenerative braking. The substation voltage can exceed the no-load voltage of 900 V, but it is limited to 1000 V for overvoltage protection. The peak power load of 5.00 MW occurs at substation 8 (Samgori). This peak power load corresponds to the lowest voltage of 824 V and the highest current of 5833 A. Refer to **Figure 31** and **Figure 32**.



**Figure 31 Substations 1-5 (of 9) power, voltage and current of NT1: 150s**

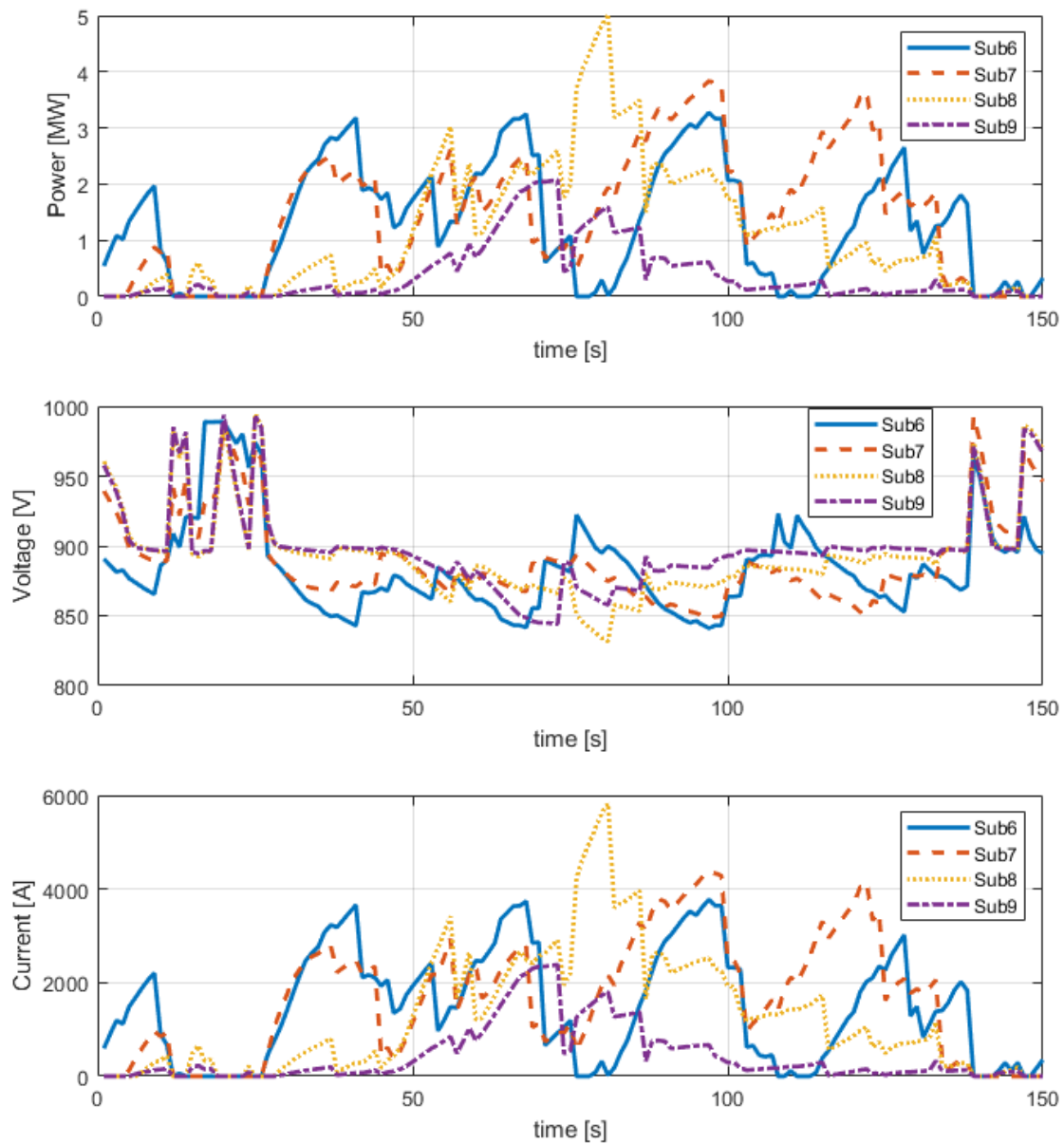
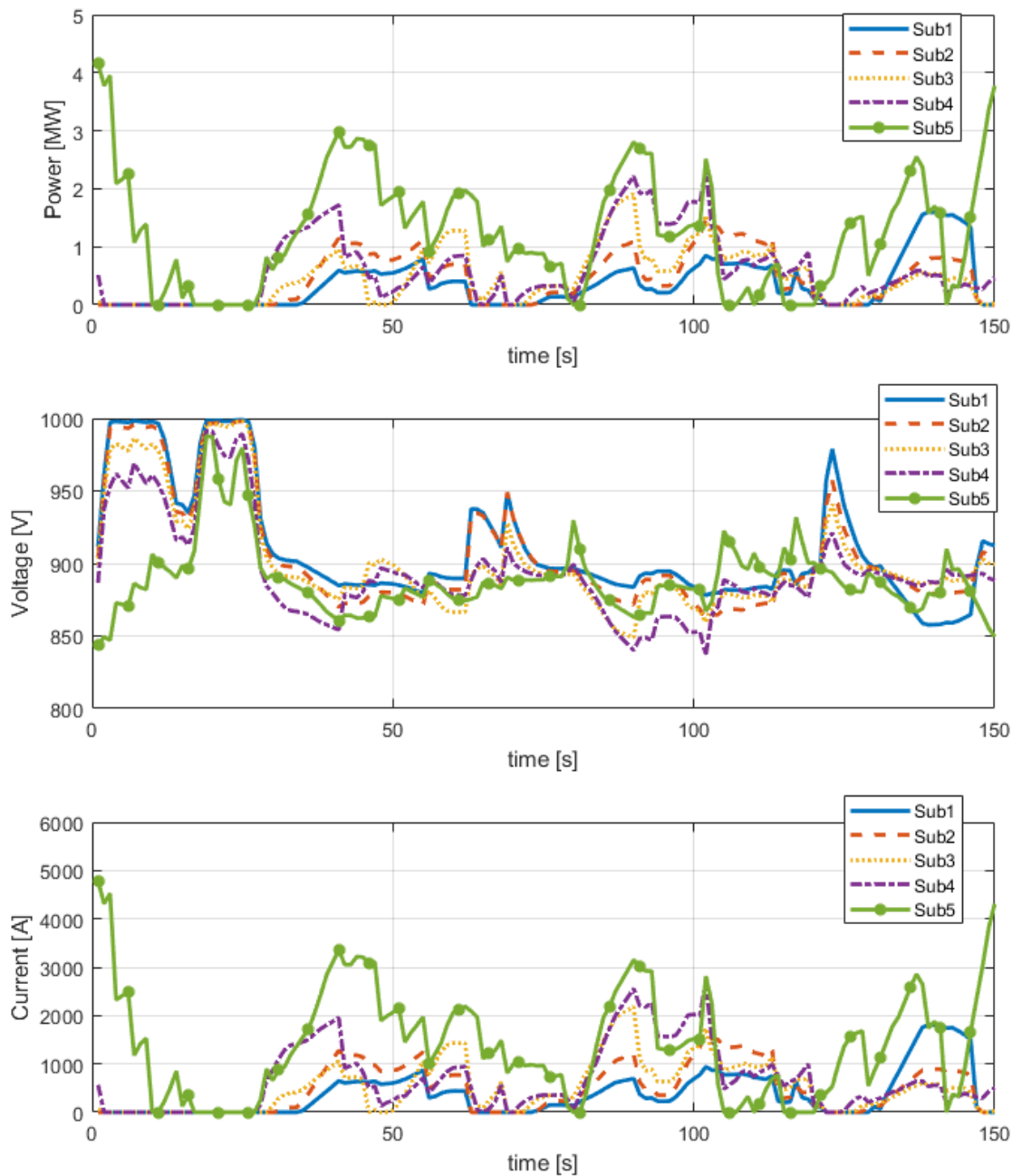


Figure 32 Substations 6-9 (of 9) power, voltage and current of NT1: 150s

#### 4.1.3. NT2

NT2 has regenerative braking. The substation voltage can exceed the no-load voltage of 900 V, but it is limited to 1000 V for overvoltage protection. The peak power load of 4.17 MW occurs at substation 5 (Gotsiridze). This peak power load corresponds to the lowest voltage of 836 V and the highest current of 4790 A. Refer to **Figure 33** and **Figure 34**.



**Figure 33 Substations 1-5 (of 9) power, voltage and current of NT2: 150s**

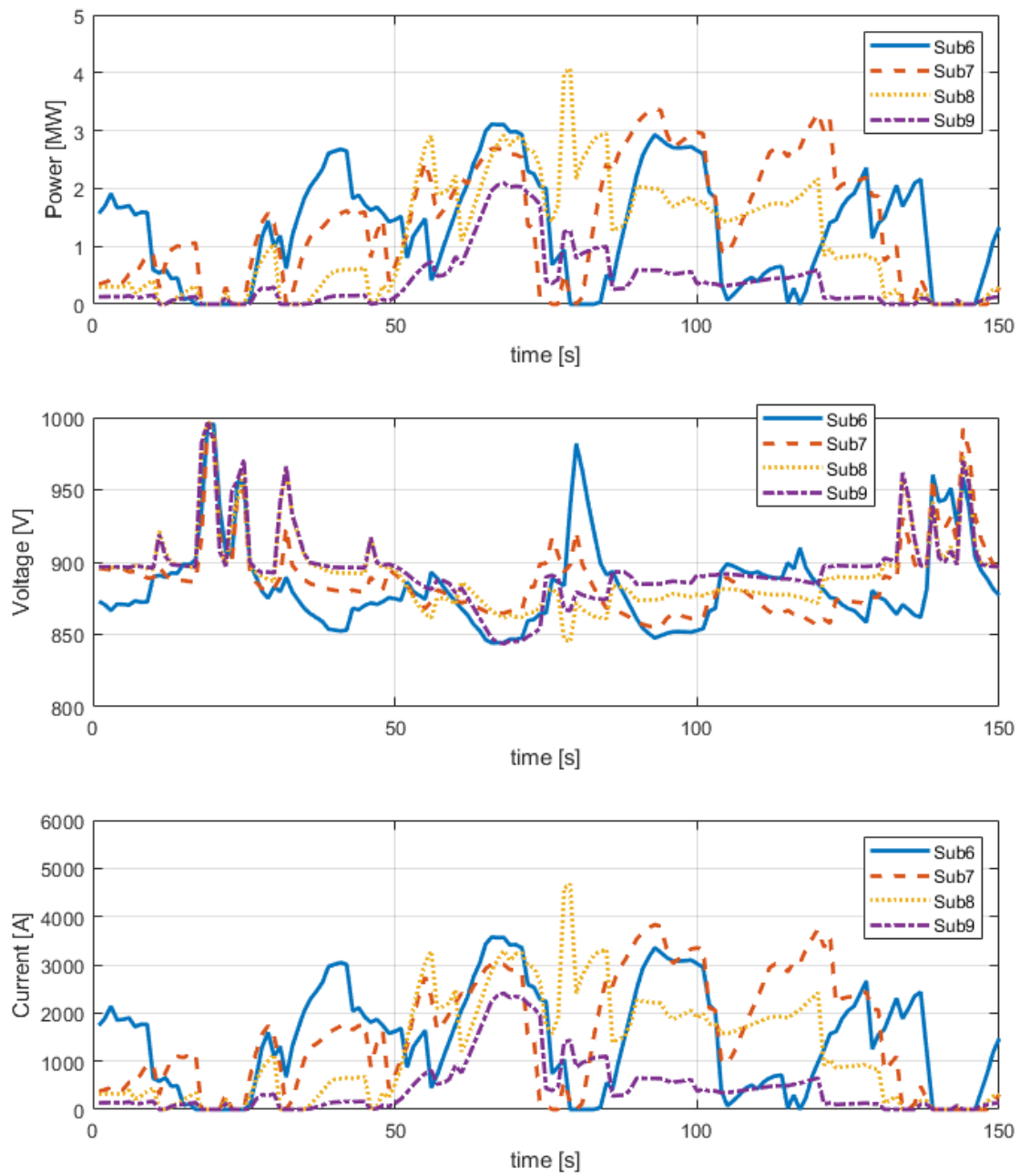


Figure 34 Substations 6-9 (of 9) power, voltage and current of NT2: 150s

## 4.2. TRAIN RESULTS

### 4.2.1. ET

The ET trains do not have regenerative braking so the train power consists only of electrical traction power demand. The maximum electrical power demand is 2.31 MW. The train voltage is always below 900 V. The lowest voltage is 751 V for both the up and the down directions. Refer to **Figure 35** and **Figure 36**.

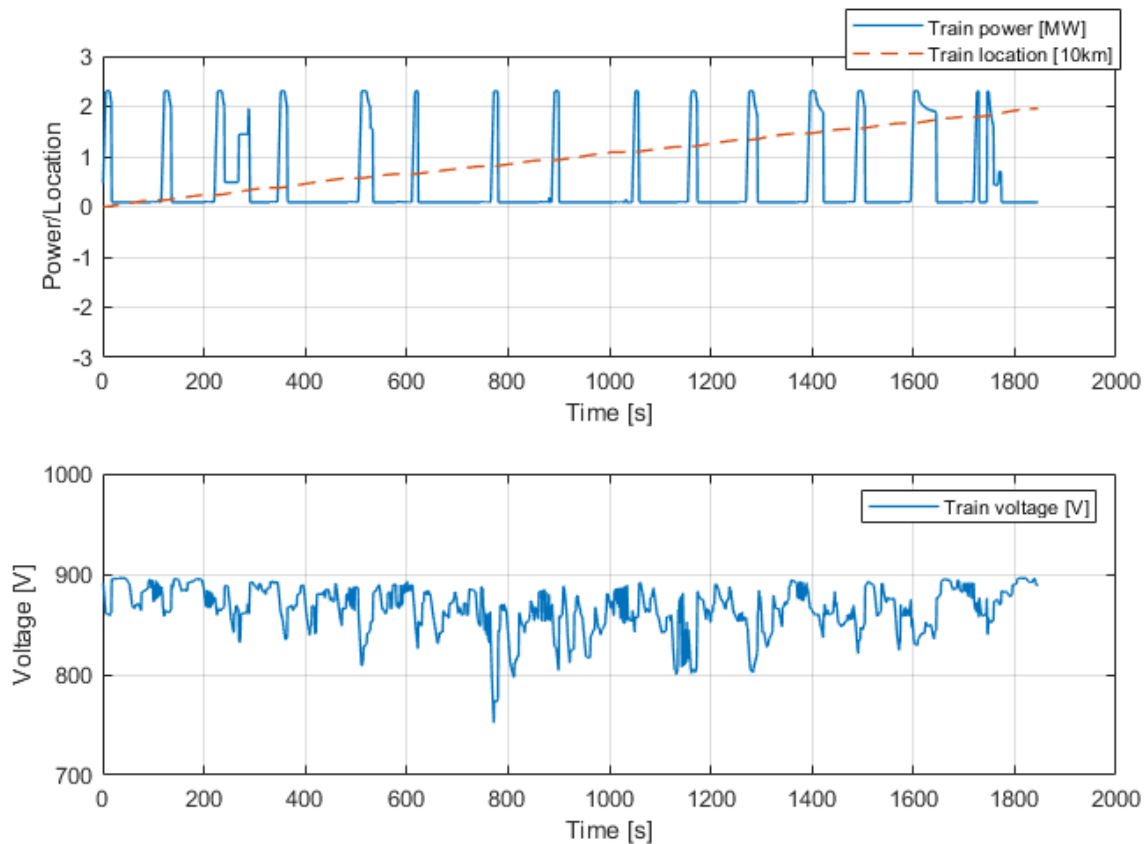


Figure 35 Power and voltage profile of ET up direction: 150s

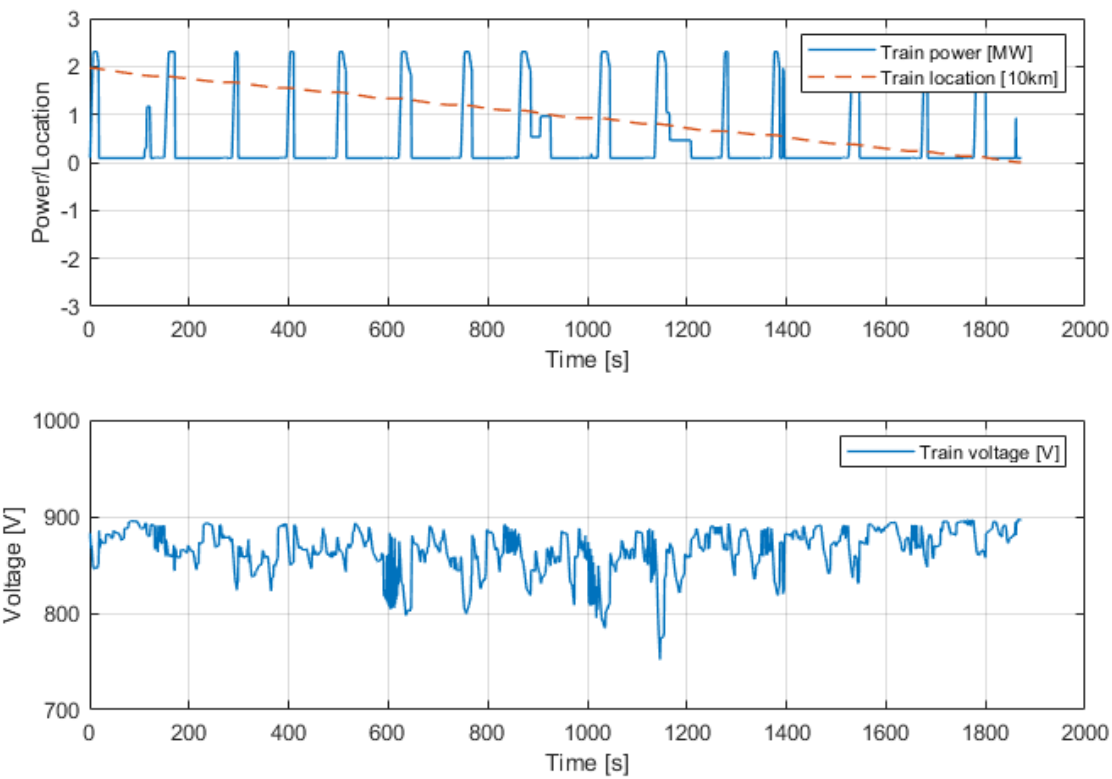
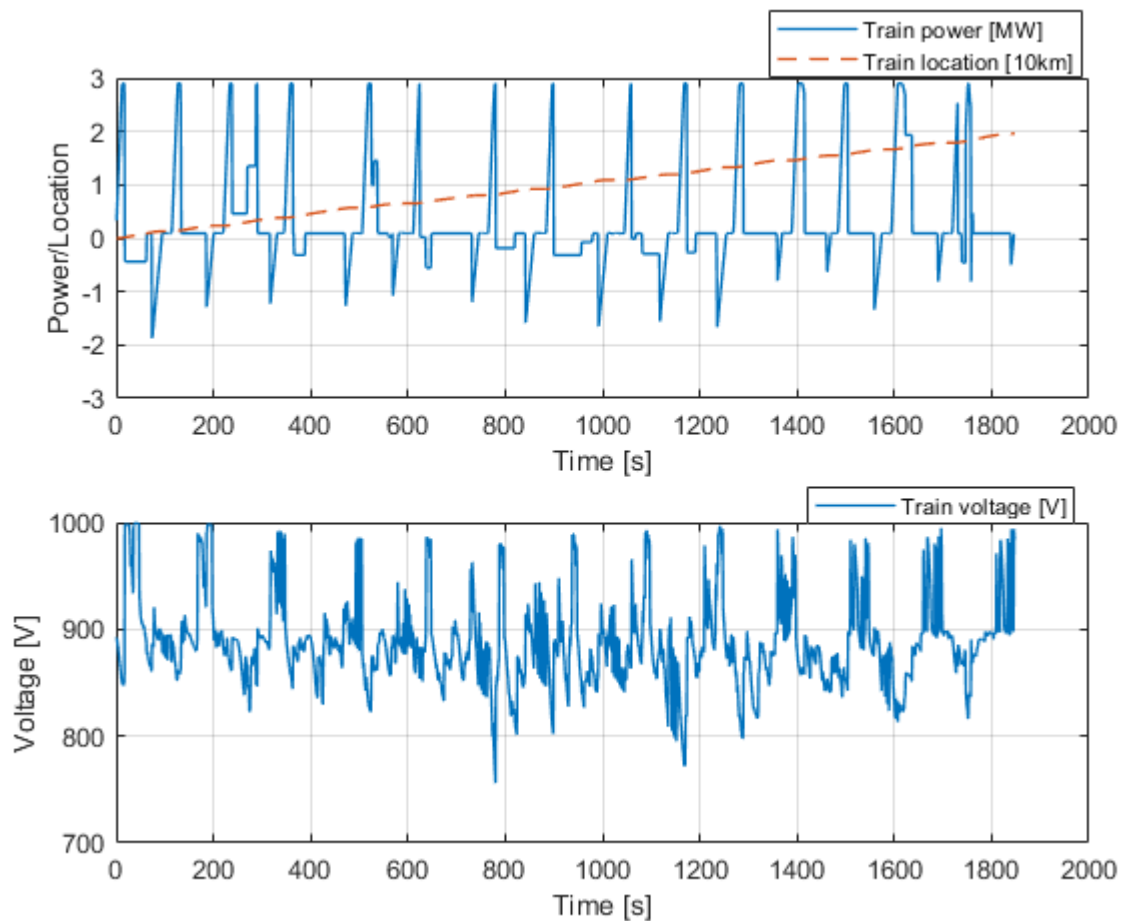


Figure 36 Power and voltage profile of ET down direction: 150s

#### 4.2.2. NT1

NT1 has regenerative braking so the train power includes positive (traction) and negative (braking) power. The maximum electrical traction power demand is 2.9 MW, and the maximum electrical braking power is 1.88 MW. The highest train voltage is 999 V. The lowest voltage is 756 V for the up-direction and 759 V for the down-direction. Refer to **Figure 37** and **Figure 38**.



**Figure 37 Power and voltage profile of NT1 up direction: 150s**



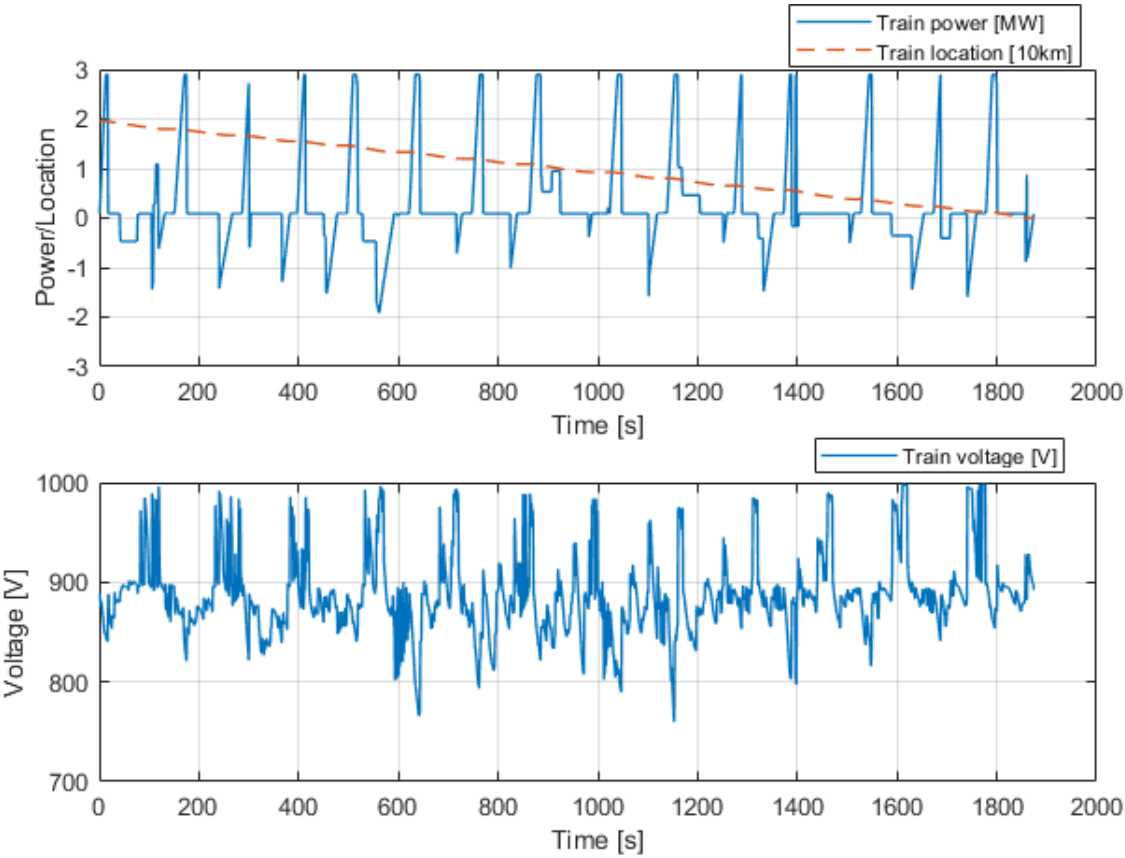
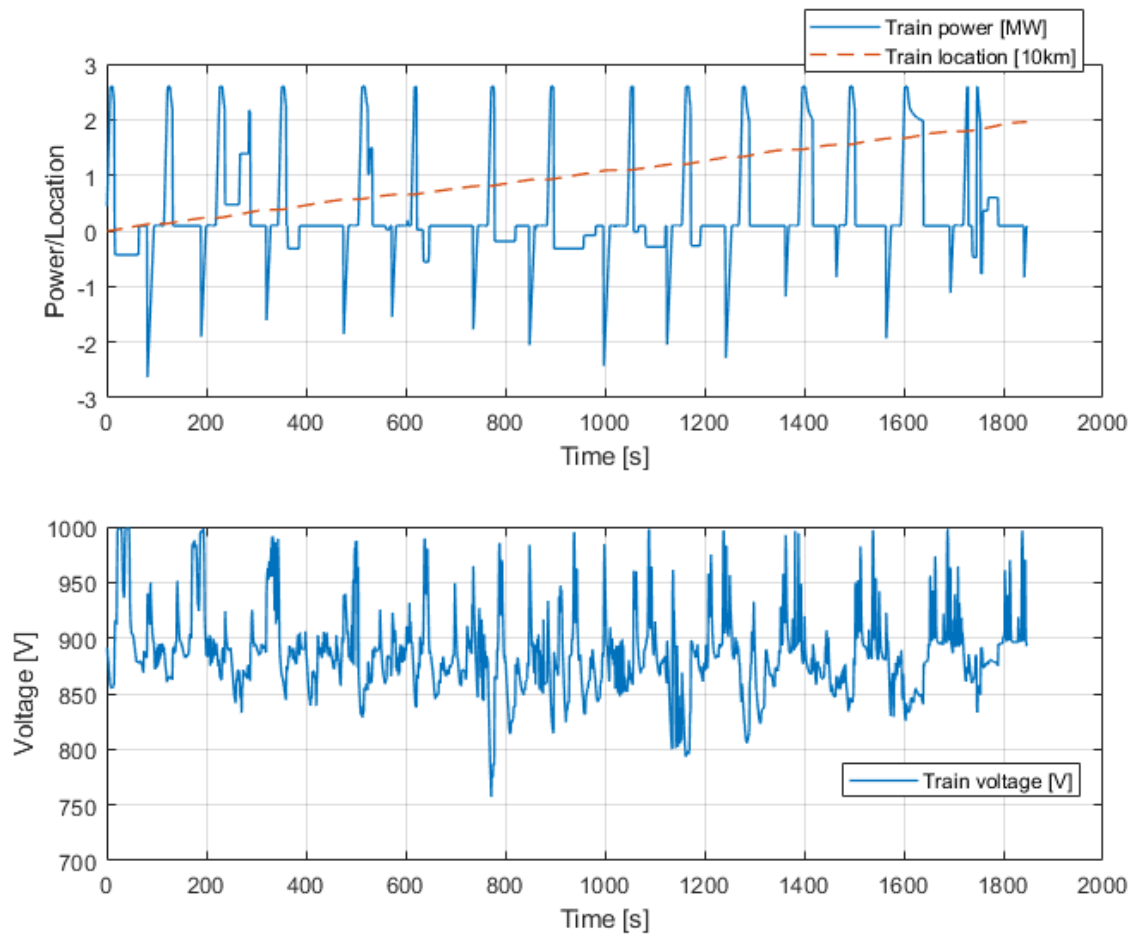


Figure 38 Power and voltage profile of NT1 down direction: 150s

### 4.2.3. NT2

NT2 has regenerative braking so the train power includes positive (traction) and negative (braking) power. The maximum electrical traction power demand is 2.6 MW, and the maximum electrical braking power is 2.63 MW. The highest train voltage is 999 V. The lowest voltage is 757 V for the both the up and the down directions. Refer to **Figure 39** and **Figure 40**.



**Figure 39 Power and voltage profile of NT2 up direction: 150s**

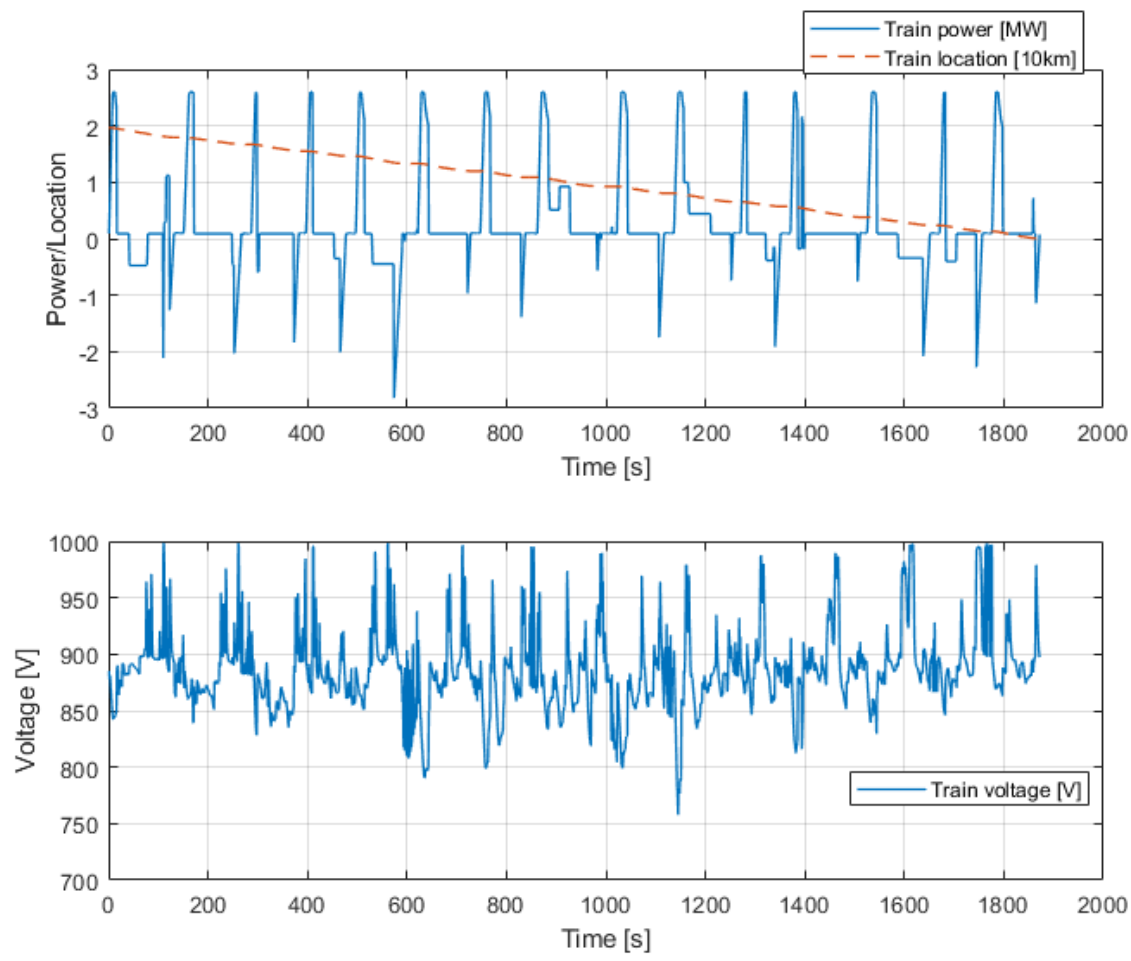


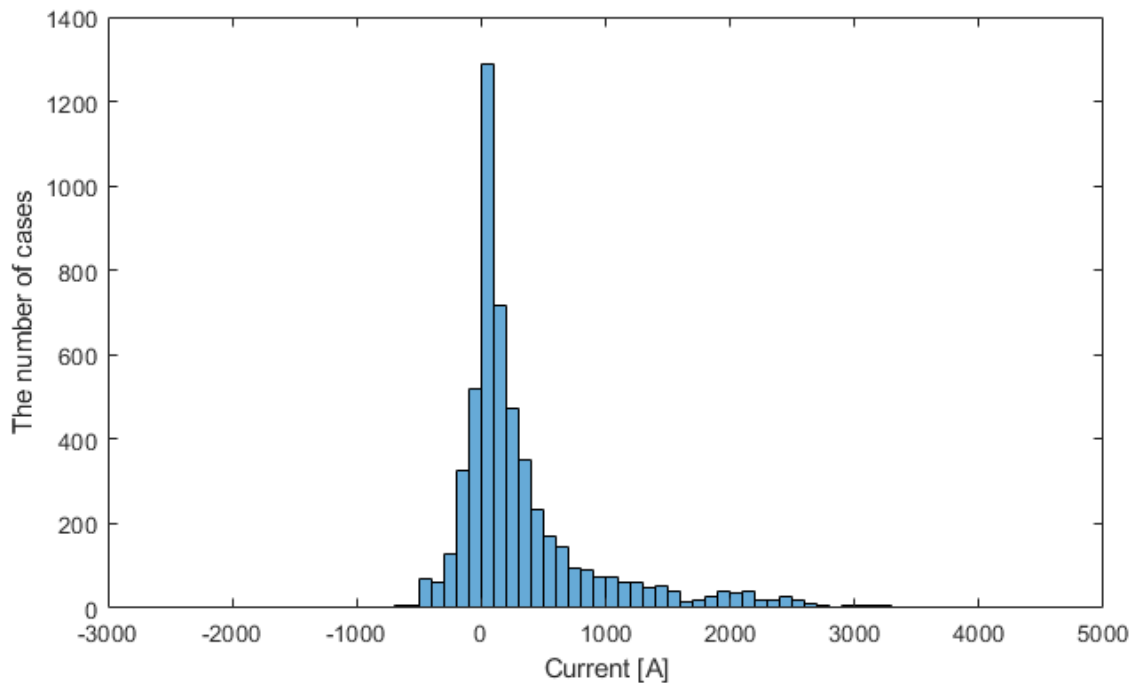
Figure 40 Power and voltage profile of NT2 down direction: 150s

### 4.3. FEEDER CABLE LOADING

**Figure 41** to **Figure 43** present histograms of the maximum current in the substation feeder cables for each of the train types over one headway interval (150s) sampled at 1s intervals. Each substation has 4 feeder cables connected at one end to the substation's DC bus and at the other end to the power rail segments leading away from the substation for each track and direction. Positive currents flow out of the substation bus and negative currents flow into the bus. The maximum values for each sign are compared in **Table 17**. Operating the NT1 and NT2 fleets increases the maximum feeder current above the ET levels by 2.7% and 9.9% respectively. The likelihood that the NT fleets will overload the existing feeder cables is considered to be very low.

**Table 17 Comparison of maximum feeder cable current: 150s**

Maximum	Unit	ET	NT1	NT2
+ve	A	4479.0	4601.6	4925.4
-ve	A	-704.1	-2135.3	-2678.0



**Figure 41 Feeder current distribution for ET: 150s**

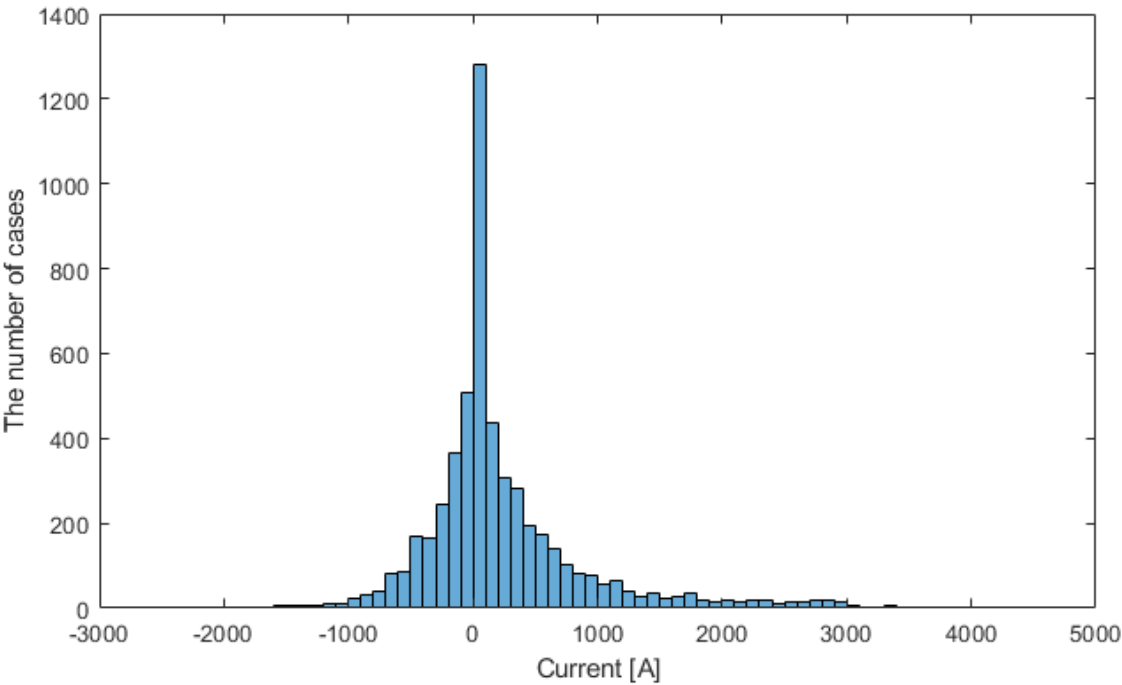


Figure 42 Feeder current distribution for NT1: 150s

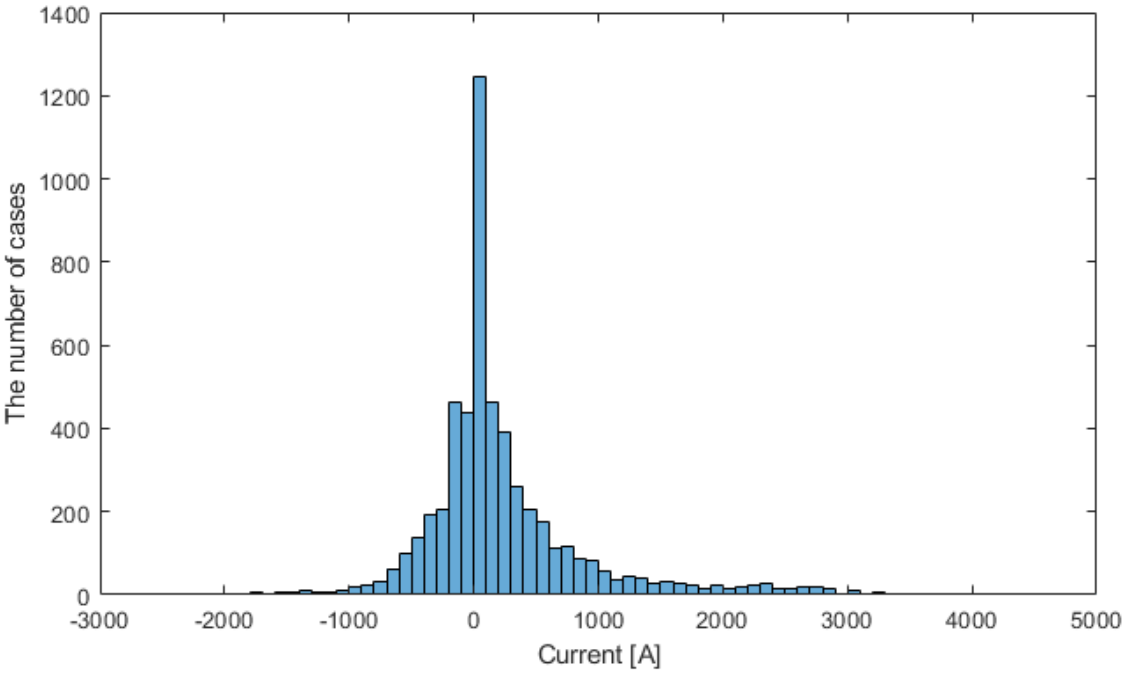


Figure 43 Feeder current distribution for NT2: 150s

#### 4.4. SUBSTATION LOADING PERCENTAGE

Substation loads as a percentage of rated load are shown in

Table 18 (peak load) and Table 19 (average load). Peak load exceeds rated load only at substation 4 (Ghrmaghele) for the NT1 fleet but the overload is small (103%) and the duration is under 3s and so can be easily tolerated. The maximum average load of 51% occurs at substation 6 (Marjanishvili) for the ET fleet.

**Table 18 Substation highest loading percentage: 150s**

	Substation	Rated power [kW]	ET	NT1	NT2
1	Akhmeteli Theatre	2640	55%	66%	60%
2	Sarajishvili	2640	58%	63%	55%
3	Guramishvili	2640	70%	77%	72%
4	Ghrmaghele	2640	87%	103% (2s)	88%
5	Gotsiridze	5280	90%	64%	79%
6	Marjanishvili	3960	85%	83%	79%
7	Avlabari	5280	70%	73%	64%
8	Samgori	5280	71%	95%	77%
9	Varketili	2640	74%	79%	79%

**Table 19 Substation average loading percentage: 150s**

	Substation	Rated power [kW]	ET	NT1	NT2
1	Akhmeteli Theatre	2640	18%	13%	13%
2	Sarajishvili	2640	24%	16%	16%
3	Guramishvili	2640	28%	18%	17%
4	Ghrmaghele	2640	35%	23%	23%
5	Gotsiridze	5280	38%	24%	24%
6	Marjanishvili	3960	51%	32%	32%
7	Avlabari	5280	41%	28%	26%
8	Samgori	5280	29%	21%	21%
9	Varketili	2640	21%	15%	15%

#### 4.5. FAULT SIMULATION, MID-LINE

This section assesses the effects when a mid-line substation fails. Substation 5 (Gotsiridze) was selected because it's failure removes the largest capacity from the network. Refer to **Table 20** to **Table 24** below. Key points are as follows:

- Peak loading at adjacent substations 4 and 6 exceeds rated loads for all train types, but only for short-term periods of less than 10s.
- Average loading at substations 4 and 6 increases above 50% for the ET fleet only.

The general conclusion is that, at 150s headway, operation with mid-line substation 5 in a failed condition is feasible. The stress on the traction power infrastructure exceeds rated loads but for very short periods, which is tolerable. Typical overload tolerances for traction power substations are:

- 200% rated load for one-half hour
- 150% load for one hour
- 125% load for four hours

provided that a constant 50% load precedes and follows the overload.

Overall the electrical stress is lower from the NT fleets than from the ET fleet, with the exception of feeder cable current which is higher for the NT fleet.

**Table 20 Substation highest power [kW] : 150s, sub 5 failed**

	Substation	Rated power [kW]	ET	NT1	NT2
1	Akhmeteli Theatre	2640	1547	1890	1689
2	Sarajishvili	2640	1758	1860	1656
3	Guramishvili	2640	2249	2503	2339
4	Ghrmaghele	2640	3602	3593	3260
5	Gotsiridze	5280	-	-	-
6	Marjanishvili	3960	4893	4084	4486
7	Avlabari	5280	3799	3938	3594
8	Samgori	5280	3739	5007	4074
9	Varketili	2640	1969	2074	2100

**Table 21 Substation average power [kW]: 150s, sub 5 failed**

	Substation	Rated power [kW]	ET	NT1	NT2
1	Akhmeteli Theatre	2640	575	393	384
2	Sarajishvili	2640	794	512	513
3	Guramishvili	2640	1049	656	637
4	Ghrmaghele	2640	1684	1088	1069
5	Gotsiridze	5280	-	-	-
6	Marjanishvili	3960	2774	1785	1770
7	Avlabari	5280	2328	1564	1495
8	Samgori	5280	1587	1149	1125
9	Varketili	2640	573	400	407

**Table 22 Substation highest loading percentage: 150s, sub 5 failed**

	Substation	Rated power [kW]	ET	NT1	NT2
1	Akhmeteli Theatre	2640	59%	72%	64%
2	Sarajishvili	2640	67%	70%	63%
3	Guramishvili	2640	85%	95%	89%
4	Ghrmaghele	2640	136% (8s)	136% (7s)	123% (9s)
5	Gotsiridze	5280	-	-	-
6	Marjanishvili	3960	124% (9s)	103% (3s)	113% (2s)
7	Avlabari	5280	72%	75%	68%
8	Samgori	5280	71%	95%	77%
9	Varketili	2640	75%	79%	80%

**Table 23 Substation average loading percentage: 150s, sub 5 failed**

	Substation	Rated power [kW]	ET	NT1	NT2
1	Akhmeteli Theatre	2640	22%	15%	15%
2	Sarajishvili	2640	30%	19%	19%
3	Guramishvili	2640	40%	25%	24%
4	Ghrmaghele	2640	64%	41%	41%
5	Gotsiridze	5280	-	-	-
6	Marjanishvili	3960	70%	45%	45%
7	Avlabari	5280	44%	30%	28%
8	Samgori	5280	30%	22%	21%
9	Varketili	2640	22%	15%	15%

**Table 24 Comparison of feeder cable current: 150s, sub 5 failed**

	Unit	ET	NT1	NT2
Feeder current (highest)	A	5117	4707	5277
Feeder current (lowest)	A	-2858	-3247	-3231



#### 4.6. FAULT SIMULATION, END-LINE

This section assesses the effects with an end-line substation fails. Substation (substation 9 Varketili) was selected as the failure candidate. Refer to **Table 25** to **Table 29** below. Key points are as follows:

- Peak loading at the adjacent substation 8 exceeds 90% of rated load for all train types.
- The only peak load above 100% is for the NT1 trains (120% for 4s) but the duration is very short and therefore tolerable.
- Average load remains below 40% for all train types

The general conclusion is that, at 150s headway, operation with end-line substation 9 (Varketili) in a failure condition is feasible.

**Table 25 Substation highest power [kW] : 150s, sub 9 failed**

	Substation	Rated power [kW]	ET	NT1	NT2
1	Akhmeteli Theatre	2640	1445	1755	1596
2	Sarajishvili	2640	1539	1668	1459
3	Guramishvili	2640	1843	2020	1906
4	Ghrmaghele	2640	2287	2728	2325
5	Gotsiridze	5280	4764	3397	4168
6	Marjanishvili	3960	3380	3296	3163
7	Avlabari	5280	3799	3924	3464
8	Samgori	5280	4831	6313	5130
9	Varketili	-	-	-	-

**Table 26 Substation average power [kW]: 150s, sub 9 failed**

	Substation	Rated power [kW]	ET	NT1	NT2
1	Akhmeteli Theatre	2640	488	353	347
2	Sarajishvili	2640	638	433	433
3	Guramishvili	2640	742	488	458
4	Ghrmaghele	2640	915	615	595
5	Gotsiridze	5280	1991	1260	1256
6	Marjanishvili	3960	2032	1294	1294
7	Avlabari	5280	2247	1537	1454
8	Samgori	5280	2039	1471	1449
9	Varketili	-	-	-	-

**Table 27 Substation highest loading percentage: 150s, sub 9 failed**

	Substation	Rated power [kW]	ET	NT1	NT2
1	Akhmeteli Theatre	2640	55%	66%	60%
2	Sarajishvili	2640	58%	63%	55%
3	Guramishvili	2640	70%	77%	72%
4	Ghrmaghele	2640	87%	103% (2s)	88%
5	Gotsiridze	5280	90%	64%	79%
6	Marjanishvili	3960	85%	83%	80%
7	Avlabari	5280	72%	74%	66%
8	Samgori	5280	91%	120% (4s)	97%
9	Varketili	-	-	-	-

**Table 28 Substation average loading percentage: 150s, sub 9 failed**

	Substation	Rated power [kW]	ET	NT1	NT2
1	Akhmeteli Theatre	2640	18%	13%	13%
2	Sarajishvili	2640	24%	16%	16%
3	Guramishvili	2640	28%	18%	17%
4	Ghrmaghele	2640	35%	23%	23%
5	Gotsiridze	5280	38%	24%	24%
6	Marjanishvili	3960	51%	33%	33%
7	Avlabari	5280	43%	29%	28%
8	Samgori	5280	39%	28%	27%
9	Varketili	-	-	-	-

**Table 29 Comparison of feeder cable current: 150s, sub 9 failed**

	Unit	ET	NT1	NT2
Feeder current (highest)	A	4602	4602	4926
Feeder current (lowest)	A	-2145	-2145	-2678

#### 4.7. OFF-PEAK TIME SIMULATION

This section presents a simulation for each of the train types operating to the off-peak timetable (headway = 12min). Refer to **Table 30** and **Table 31**. There are no overloads of any type.

**Table 30 Substation highest loading percentage (720s headway)**

	Substation	Rated power [kW]	ET	NT1	NT2
1	Akhmeteli Theatre	2640	52%	63%	58%
2	Sarajishvili	2640	44%	54%	44%
3	Guramishvili	2640	47%	45%	42%
4	Ghrmaghele	2640	43%	52%	48%
5	Gotsiridze	5280	54%	51%	44%
6	Marjanishvili	3960	64%	63%	67%
7	Avlabari	5280	34%	43%	39%
8	Samgori	5280	46%	58%	53%
9	Varketili	2640	54%	67%	61%

**Table 31 Substation average loading percentage (720s headway)**

	Substation	Rated power [kW]	ET	NT1	NT2
1	Akhmeteli Theatre	2640	4%	3%	3%
2	Sarajishvili	2640	5%	4%	4%
3	Guramishvili	2640	6%	4%	4%
4	Ghrmaghele	2640	7%	5%	5%
5	Gotsiridze	5280	8%	5%	5%
6	Marjanishvili	3960	11%	7%	7%
7	Avlabari	5280	8%	7%	6%
8	Samgori	5280	6%	5%	5%
9	Varketili	2640	4%	4%	4%

## 4.8. SUMMARY RESULT COMPARISON

The results of different trains are compared in **Table 32** below.

- From the substation results, it can be found that the substation power is the highest (5MW) using NT1. This also leads to the highest current of 5833 A. The highest power occurs at substation 8 (Samgori). The rated power for this substation is 5.28 MW. Therefore, the substation power demand is within the rated power capacity using all these three trains. Because NT1 and NT2 are with regenerative braking, the substation voltage can exceed the no-load voltage. Although the NT trains have their own voltage limiting functions, the installation of overvoltage protection at the substations could also be considered in order to control the possibility of overvoltage from regenerative braking.
- From the train results, it can be found that NT1 requires the highest traction power of 2.9 MW. The lowest train voltage during train operation for three trains are very close, which is between 751 -759 V. Since ET doesn't have regenerative braking mode, ET voltage is always below 900V. However, the voltage of NT1 and 2 is up to 999 V. The new train voltage reaches the maximum value of 1000 V due to the regenerative braking mode. Therefore, the overvoltage protection is activated, and the surplus regenerative braking energy is dissipated by the braking resistor. All the trains can operate in the network within the rated power and voltage levels.
- From the energy results, it can be found that the substation energy consumption is highest using ET, which is 461 kWh. The substation energy consumption for NT1 and NT2 are very similar, but the NT2 energy consumption is slightly lower with 302 kWh. This is partly because of the lower traction energy demand by NT2. Due to the very short headway time of 150s, the regeneration efficiency of NT1 and NT2 is very high at this timetable which is 95.55% and 96.08%, respectively. In summary, using NT1 and NT2 can reduce energy consumption by 63% and 65%, respectively.

**Table 32 Comparison of different fleets at peak headway (150s)**

	Unit	ET	NT1	NT2
Substation power (Highest)	MW	4.76	5.00	4.17
Substation Voltage (Highest)	V	897.84	999.19	999.03
Substation Voltage (Lowest)	V	835.17	824.81	836.83
Substation current (Highest)	A	5531.92	5833.27	4790.03
Feeder current (Highest)	A	4478.96	4601.59	4925.39
Train traction power (Highest)	MW	2.31	2.90	2.60
Train braking power (Highest)	MW	0	1.88	2.63
Train voltage up (Highest)	V	896.22	999.37	999.25
Train voltage up (Lowest)	V	751.98	756.02	757.20
Train voltage down (Highest)	V	896.81	998.31	998.62
Train voltage down (Lowest)	V	751.89	759.89	757.73
Substation energy consumption	kWh	461.31	309.61	302.75
Substation and transmission loss	kWh	25.73	23.02	21.61
Traction energy demand	kWh	342.62	335.38	323.41
Electrical braking energy	kWh	0	148.43	140.78
Regenerative braking energy	kWh	0	141.83	135.26
Regeneration efficiency		0	95.55%	96.08%

## 5. CONCLUSIONS & RECOMMENDATIONS

A comprehensive simulation using three different train types operating on the same timetable headway of 150 seconds was conducted to assess the ability of the current traction power infrastructure to support operation with new trains. The train types were 4-car trains with similar dimensions and passenger loading (AW2):

- Existing Trains (ET) – 134t empty mass, 4 motored cars, no regeneration
- New Trains type 1 (NT1) – 120t empty mass, 2 motored cars, 127% of ET power, with regeneration
- New Trains type 2 (NT2) – 125t empty mass, 3 motored cars, 113% of ET power, with regeneration

The study included failure scenarios where a single substation (either mid-line or end-line) was failed. The existing traction power supply network was found to be robust and capable of supplying the ET, NT1 and NT2 fleets. Key points are summarized as follows:

1. The mechanical power requirements for the individual train types were almost identical.
2. The most significant difference between the traction power performance for the ET and the NT fleets was due to regeneration. The NT trains were capable of higher peak power demands. At the headway studied, overall energy requirements were reduced to about 65-67% of the ET fleet levels because of regeneration.
3. The existing substations are capable of supplying ET, NT1 and NT2 fleets. At the peak headway of 150s, the substation with the highest loading peak power, substation 4 Guramishvili, had a peak power of 87%, 103% and 88% of its rated load for the ET, NT1 and NT2 fleets respectively.
4. At the peak headway of 150s, the average loading at all substations was below 51% . The highest average loading was at substation 6 (Marjanishvili), which had 51%, 32%, and 32% of its rated load for the ET, NT1 and NT2 fleets respectively. The average loading using NT1 and NT2 was lower than using ET.
5. Loss of the mid-line substation 5 (Gotsiridze) caused more serious overloading problems than the outage of the end-line substation 9 (Varketili). Operation with either failure was feasible. Loss of substation 5 gave peak loading at substations 4 and 6 of up to 136% of the rated power capacity. The longest duration for continuous overload (>100%) was 9 seconds, which is well within typical limits for traction power installations. Average loading results show that all the substation average loading is below 100%, but substations 4 Ghmaghele and Substation 6 Marjanishvili for ET had average loading higher than 50%.
6. Regeneration can add additional voltage and current stresses to the system. The substation voltage can be up to 1000V using NT1 and NT2. Installation of overvoltage protection at substations may be considered when using an NT fleet. The highest feeder cable current is 4479A, 4602A, and 4925A for the ET, NT1 and NT2 trains respectively. The NT1 and NT2 fleets increase the highest feeder current by 2.7% and 9.9% respectively from the ET fleet. These are considered negligible differences.

In view of the NT train's regenerative braking and should the Feasibility Study progress to the design and procurement phase, it is recommended that the ability of the existing traction power system to withstand the effects of regenerartive braking is assessed and any necessary updates and improvements identified.

## 6. APPENDIX

### 6.1. TBILISI METRO - GENERAL DESCRIPTION & STATION LOCATIONS

Table 5

<i>The Length of Main Rails of Tbilisi Metro</i>		
#	Line Track	Rail Length, M
1	2	3
<i>Akhmeteli – Varketili line – Rail I</i>		
1	Akhmeteli Theatre - Sarajishvili	1296,5
2	Sarajishvili - Guramishvili	1045,9
3	Guramishvili - Grmagele	1464,1
4	Grmagele - Didube	1896,3
5	Didube - Gotsiridze	824,8
6	Gotsiridze - Nadzaladevi	1522,0

10

7	Nadzaladevi – Station Square 1	1185,8
8	Station Square 1 - Marjanishvili	1672,8
9	Marjanishvili - Rustaveli	1049,4
10	Rustaveli – Freedom Square	1333,2
11	Freedom Square - Avlabari	1320,7
12	Avlabari – 300 Aragveli	886,1
13	300 Aragveli - Isani	1145,2
14	Isani Samgori	1247,6
15	Samgori Varketili	1696,5
	Total length of Akhmeteli – Varketili line – Rail I	<b>19586,9</b>

Table 5

<i>The Length of Main Rails of Tbilisi Metro</i>		
#	Line Track	Rail Length, M
1	2	3
<i>Akhmeteli – Varketili line – Rail II</i>		
1	Akhmeteli Theatre - Sarajishvili	1300,6
2	Sarajishvili - Guramishvili	1044,7
3	Guramishvili - Grmagele	1463,1
4	Grmagele - Didube	1899,3
5	Didube - Gotsiridze	828,6
6	Gotsiridze - Nadzaladevi	1509,4
7	Nadzaladevi – Station Square 1	1196,0
8	Station Square 1 - Marjanishvili	1639,2
9	Marjanishvili - Rustaveli	1087,0
10	Rustaveli – Freedom Square	1348,9

11

11	Freedom Square - Avlabari	1318,6
12	Avlabari – 300 Aragveli	886,0
13	300 Aragveli - Isani	1180,5
14	Isani Samgori	1242,0
15	Samgori Varketili	1709,7
	Total – Akhmeteli – Varketili line – Rail 2	<b>19653,6</b>

## 6.2. TBILISI ROLLING STOCK DATA\_FOR SIMULATION 2022.01.09

### Tbilisi Rolling Stock Data for Traction Power Simulation

2022.01.09 Isao Tsujimura

	Existing train	New train (plan 1)	New train (plan 2)
Train configuration	Mc - M - M - Mc	Tc - M - M - Tc	Mc - M - T - Mc
Train static mass	Mc:34t, M:33t	Tc:29t, M:31t	Mc:32t, M:31t, T:30t
Train length	19210mm (coupler face)	19210mm (coupler face)	19210mm (coupler face)
Passenger mass	Mc:13.3t, M:14.5t (AW2:seated+5/sqm, 70kg)	Tc:13.3t, M:14.5t (AW2:seated+5/sqm, 70kg)	Mc:13.3t, M,T:14.5t (AW2:seated+5/sqm, 70kg)
Rotary allowance	10%	M:10%, Tc:5%	M, Mc:10%, T:5%
Starting resistance	0.04kN/t	0.04kN/t	0.04kN/t
Starting acceleration	1.2m/s/s	1.0m/s/s	1.2m/s/s
Maximum train power	1884kW (at P1)	2396kW (at P1)	2140kW (at P1)
Traction characteristics (at AW2)	0km/h:251.2kN (0-Series-12-Parallel-27) 27km/h:251.2kN (P1) 51km/h:133.0kN (P2) 80km/h:54.1kN	0km/h:191.7kN 45km/h:191.7kN (P1) 65km/h:132.7kN (P2) 80km/h:87.6kN	0km/h:237.1kN 32.5km/h:237.1kN (P1) 50km/h:154.1kN (P2) 80km/h:60.2kN
Braking characteristics (at AW2, Shared by regenerative brake)	N/A	0km/h:142.6kN 60km/h:142.6kN (P) 80km/h:80.2kN (adhesion:<0.16)	0km/h:215.2kN 60km/h:215.2kN (P) 80km/h:121.1kN (adhesion:<0.16)
Max. deceleration shared by only regenerative brake	N/A	0.77m/s/s	1.12m/s/s
Overall fleet size	76840mm	76840mm	76840mm

- Running resistance formula (Davies formula) specified by Tbilisi Metro

while using power  $w_0 = 1,1 + (0.09 + 0.022n) \cdot \frac{v^2}{mg}$  [N/kN]  $n$ - is number of the cars : 4

motion without power  $w_{0x} = 1,0 + \frac{52n}{mg} + 0.025v + (0.09 + 0.022n) \cdot \frac{v^2}{mg}$  [N/kN]

Above mentioned formula is complex, the following davies formula is recommended for existing and new trains both.

$$R = 21.96 + 0.4222V + 0.00876V^2 \text{ [N/t]} \quad (\text{at underground section})$$

- If maximum service deceleration is applied in the traction power simulation, regenerative factor should be low value because air brake is added for T cars. Deceleration in the power simulation should be 0.77m/s/s, all of brake effort is shared by regenerative brake.

**Note 1 – As per Table 7, the maximum train power used in the simulation for “New Train Plan1” is 2,387.5kW and not 2,130kW as shown in the table.**

### 6.3. TBILISI METRO - INTER-STATION RUN AND DWELL TIMES

<b>Akhmeteli - Varketili - Line 1</b>			
<b>Stations</b>	<b>Moving time</b>	<b>Standing time</b>	<b>Total time</b>
Varketili - Samgori	2:10	0:20	2:30
Samgori - Isani	1:55	0:20	2:15
Isani - 300 Aragveli	1:35	0:15	1:50
300 Aragveli - Avlabari	1:20	0:20	1:40
Avlabari - Liberty square	1:35	0:30	2:05
Liberty square - Rustaveli	1:45	0:20	2:05
Rustaveli - Marjanishvili	1:30	0:25	1:55
Marjanishvili - Station Square	2:05	0:35	2:40
Station Square - Nadzaladevi	1:35	0:20	1:55
Nadzaladevi - Gotsiridze	2:00	0:15	2:15
Gotsiridze - Didube	1:20	0:20	1:40
Didube - Grmagele	2:20	0:15	2:35
Grmagele - Guramishvili	2:05	0:20	2:25
Guramishvili - Sarajishvili	1:25	0:20	1:45
Sarajishvili - Akhmeteli theatre	1:35	-	1:35
<b>Sum</b>	<b>26:15</b>	<b>4:55</b>	<b>31:10</b>

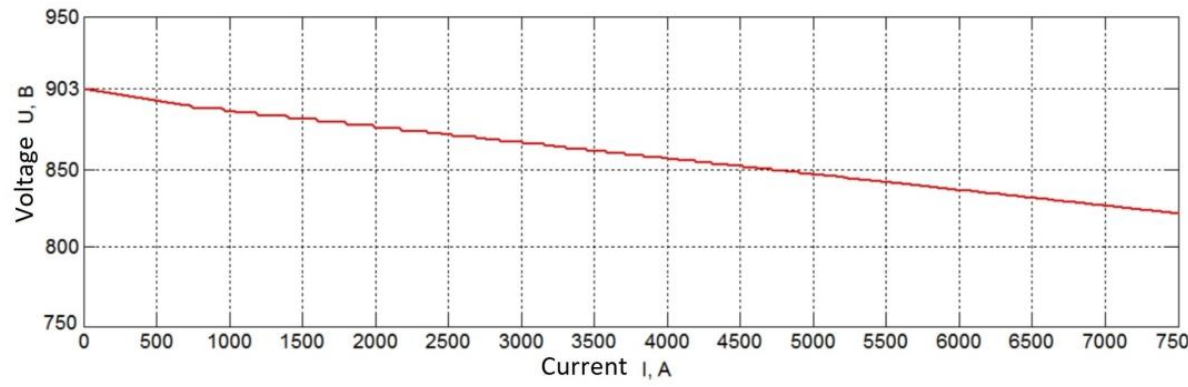
<b>Varketili - Akhmeteli - Line 2</b>			
<b>Stations</b>	<b>Moving time</b>	<b>Standing time</b>	<b>Total time</b>
Akhmeteli theatre - Sarajishvili	1:35	0:20	1:55
Sarajishvili - Guramishvili	1:25	0:20	1:45
Guramishvili - Grmagele	1:50	0:15	2:05
Grmagele - Didube	2:20	0:20	2:40
Didube - Gotsiridze	1:15	0:30	1:45
Gotsiridze - Nadzaladevi	2:15	0:20	2:35
Nadzaladevi - Station Square	1:35	0:25	2:00
Station Square - Marjanishvili	2:05	0:35	2:40
Marjanishvili - Rustaveli	1:30	0:20	1:50
Rustaveli - Liberty square	1:40	0:15	1:55
Liberty square - Avlabari	1:40	0:20	2:00
Avlabari - 300 Aragveli	1:20	0:15	1:35
300 Aragveli - Isani	1:30	0:20	1:50
Isani - Samgori	1:45	0:20	2:05
Samgori - Varketili	2:05	-	2:05
<b>Sum</b>	<b>25:50</b>	<b>4:55</b>	<b>30:45</b>



6.4. TTC SUBSTATION CAPACITY

	Name	Type	No	Operational Rectifier Capacity [kW] or [A]				Spare Rectifier Capacity [kW] or [A]	
				No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2
Main Line	Gotsiridze	Mixed	1	1320kW/1600A	1320kW/1600A	1320kW/1600A	1320kW/1600A	1320kW/1600A	1320kW/1600A
Main Line	Marjanishvili	Traction	2	1320kW/1600A	1320kW/1600A	1320kW/1600A			
Main Line	Avlabari	Traction	3	2640kW/3200A		2640kW/3200A			2640kW/3200A
Main Line	Samgori	Traction	4	2640kW/3200A		2640kW/3200A			2640kW/3200A
Saburtalo Line	Station Square 2	Mixed	5	1320kW/1600A					1320kW/1600A
Saburtalo Line	Tsereteli	Mixed	6	1320kW/1600A					1320kW/1600A
Saburtalo Line	Technical University	Mixed	7	1320kW/1600A					1320kW/1600A
Saburtalo Line	Medical University	Mixed	8	1320kW/1600A					1320kW/1600A
Saburtalo Line	Delisi	Mixed	9	1320kW/1600A		1320kW/1600A			1320kW/1600A
Main Line	Grmagele	Mixed	10	1320kW/1600A		1320kW/1600A			1320kW/1600A
Main Line	Guramishvili	Mixed	11	1320kW/1600A		1320kW/1600A			1320kW/1600A
Main Line	Sarajishvili	Mixed	12	1320kW/1600A		1320kW/1600A			
Main Line	Akhmeteli Theatre	Mixed	13	1320kW/1600A		1320kW/1600A			1320kW/1600A
Main Line	Verketili	Mixed	14	1320kW/1600A		1320kW/1600A			1320kW/1600A
Saburtalo Line	State University	Mixed	15	2000kW/2424A	2000kW/2424A	2000kW/2424A			

6.5. VI CURVE & DIODE DATA



Volt-amp dependency curve of 6 pulse rectifier of traction power station, developed by modeling.

