



# RAPORT

privind investigația incidentului feroviar  
produs la data de 26.01.2019 în Depoul subteran BERCENI,  
aparținând SC TMB „METROREX” SA



TIP EVENIMENT	Incident — (art. 8, pct.2.2)
DATA ȘI ORA	26.01.2019, ora 09:54
LOCAȚIA	Depoul subteran BERCENI
OPERATOR DE TRANSPORT	SC TMB “METROREX” SA
INFRASTRUCTURA	SC TMB “METROREX” SA
FURNIZOR FERROVIAR	CONSTRUCCIONES Y AUXILIAR DE FERROCARRILES S.A.
ACTIVITATE	Manevră
CONSECINȚĂ ASUPRA PERSOANELOR	1 rănit
TIP RAPORT	FINAL
DATA DIFUZĂRII	23 ianuarie 2020

## AVERTISMENT

Acest RAPORT DE INVESTIGARE prezintă date, analize, concluzii și recomandări privind siguranța feroviară, rezultate în urma activității de investigare desfășurată de comisia numită de Directorul General al Agenției de Investigare Feroviară Română – AGIFER, în scopul identificării circumstanțelor, stabilirii cauzelor și determinării factorilor ce au condus la producerea acestui incident feroviar.

Investigația a fost efectuată în conformitate cu prevederile *Regulamentului de investigare a accidentelor și a incidentelor, de dezvoltare și îmbunătățire a siguranței feroviare pe căile ferate și pe rețeaua de transport cu metroul din România*, aprobat prin Hotărârea Guvernului nr.117/2010 și ale Legii nr.55/2006 privind siguranța feroviară.

În organizarea și luarea deciziilor, AGIFER este independentă față de orice structură juridică, autoritate de reglementare sau de siguranță feroviară, administrator de infrastructură de transport feroviar, precum și față de orice parte ale cărei interese ar intra în conflict cu sarcinile încredințate.

Investigația a fost realizată independent de orice anchetă judiciară și nu s-a ocupat în nici un caz cu stabilirea vinovăției sau a răspunderii civile, penale sau patrimoniale, responsabilități individuale sau colective.

Investigația are ca obiectiv prevenirea producerii accidentelor și incidentelor feroviare, prin determinarea cauzelor și împrejurărilor care au dus la producerea acestui incident feroviar și, dacă este cazul, stabilirea recomandări de siguranță necesare pentru îmbunătățirea siguranței feroviare.

În consecință, utilizarea acestui RAPORT DE INVESTIGARE în alte scopuri decât cele referitoare la prevenirea producerii accidentelor și incidentelor feroviare și îmbunătățirea siguranței feroviare, poate conduce la interpretări eronate care nu corespund scopului prezentului document.

# CUPRINS

<b>LISTA ACRONIMELOR UTILIZATE .....</b>	<b>4</b>
<b>A.REZUMATUL RAPORTULUI DE INVESTIGARE .....</b>	<b>5</b>
<b>B. FAPTE DE ÎNDATĂ ALE INCIDENTULUI .....</b>	<b>6</b>
<i>B.1.Eventimentul .....</i>	<i>6</i>
<i>B.2. Circumstanțele incidentului.....</i>	<i>8</i>
<i>B.2.1. Organizațiile implicate .....</i>	<i>8</i>
<i>B.2.2. Personalul implicat .....</i>	<i>8</i>
<i>B.2.3.Compunerea și echipamentele vehiculelor .....</i>	<i>9</i>
<i>B.2.3.1. Locomotiva de remorcare .....</i>	<i>9</i>
<i>B.2.3.2. Prezentare generală a TEM .....</i>	<i>9</i>
<i>B.2.3.3. Sistemul de propulsie a TEM .....</i>	<i>10</i>
<i>B.2.3.4. Sistemul de frânare a TEM .....</i>	<i>13</i>
<i>B.2.3.5. Sistemul de control și monitorizare a TEM (TCMS) .....</i>	<i>16</i>
<i>B.2.3.6. Sisteme de siguranță în exploatare a TEM .....</i>	<i>17</i>
<i>B.2.3.7. Operarea vehiculului .....</i>	<i>17</i>
<i>B.2.4. Descrierea infrastructurii și sistemului de semnalizare .....</i>	<i>19</i>
<i>B.2.5. Mijloace de comunicare .....</i>	<i>19</i>
<i>B.2.6. Declanșarea planului de urgență .....</i>	<i>19</i>
<i>B.2.7. Declanșarea planului de urgență al serviciilor publice .....</i>	<i>19</i>
<i>B.3. Urmările incidentului .....</i>	<i>19</i>
<i>B.3.1. Pierderi de vieți omenești și răniți.....</i>	<i>20</i>
<i>B.3.2. Pagube materiale.....</i>	<i>20</i>
<i>B.3.3. Consecințele incidentului în trafic .....</i>	<i>20</i>
<i>B.3.4. Consecințele incidentului asupra mediului .....</i>	<i>20</i>
<i>B.4. Circumstanțe externe.....</i>	<i>20</i>
<b>C. ÎNREGISTRAREA INVESTIGAȚIEI .....</b>	<b>20</b>
<i>C.1. Rezumatul mărturiilor .....</i>	<i>20</i>
<i>C.2. Sistemul de management al siguranței .....</i>	<i>22</i>
<i>C.3. Norme și reglementări .....</i>	<i>22</i>
<i>C.4. Funcționarea materialului rulant și instalațiilor tehnice .....</i>	<i>22</i>
<i>C.4.1. Date constatate la funcționarea instalației interlocking .....</i>	<i>22</i>
<i>C.4.2. Date constatate cu privire la linie .....</i>	<i>23</i>
<i>C.4.3. Date constatate în funcționarea comunicațiilor .....</i>	<i>23</i>
<i>C.4.4. Constatări tehnice la vehiculele feroviare .....</i>	<i>23</i>
<i>C.5. Interfața om-mașină-organizație .....</i>	<i>29</i>
<i>C.6. Evenimente cu caracter similar .....</i>	<i>29</i>
<b>D. ANALIZĂ ȘI CONCLUZII .....</b>	<b>29</b>
<i>D.1. Descrierea finală a lanțului de evenimente .....</i>	<i>29</i>
<i>D.2. Interpretare și analiză .....</i>	<i>30</i>
<i>D.3. Concluzii .....</i>	<i>36</i>
<i>D.4. Observații suplimentare .....</i>	<i>36</i>
<i>D.5. Măsuri care au fost luate .....</i>	<i>38</i>
<b>E. RECOMANDĂRI DE SIGURANȚĂ .....</b>	<b>38</b>

## LISTA ACRONIMELOR UTILIZATE

<b>RI</b>	<i>Regulamentul de investigare a accidentelor și a incidentelor, de dezvoltare și îmbunătățire a siguranței feroviare pe căile ferate și pe rețeaua de transport cu metroul din România”, aprobat prin HG nr.117/2010</i>
<b>OMT</b>	Ordinului Ministrului Transporturilor
<b>AGIFER</b>	Agencia de Investigare Feroviară Română
<b>ASFR</b>	Autoritatea de Siguranță Feroviară Română
<b>AFER</b>	Autoritatea Feroviară Română
<b>CAF</b>	CONSTRUCCIONES Y AUXILIAR DE FERROCARRILES S.A. Besain - Spania
<b>METROREX</b>	SC TMB „METROREX” SA
<b>TEM</b>	Tren Electric Metrou
<b>BM3-CAF</b>	București Modificat model 3 CAF (tipul TEM)
<b>S.TEM</b>	Semitren parte componentă a unui TEM CAF-BM3 (două S.TEM compun un TEM BM3-CAF)
<b>ATC</b>	Automatic Train Control (controlul automat al trenului)
<b>ATP</b>	Automatic Train Protection (protecția automată a trenului)
<b>DsB</b>	Depoul Subteran Berceni
<b>DSB</b>	Depoul Suprateran Berceni
<b>TCMS</b>	Train Control Management System (sistemul de control și monitorizare al trenului)
<b>CCU</b>	Comand Control Units
<b>TCU</b>	Traction Control Units (unitatea de control a tracțiunii)
<b>BCU</b>	Brake Control Units (unitatea de control a frânei)
<b>ICU</b>	Invertor Control Units
<b>HMI</b>	Human Main Interface (interfața om mașină)
<b>DO</b>	Door Open (unitatea de control a deschiderii ușii)
<b>MC</b>	Master Control (joystick de comandă tracțiune-frânare TEM din HMI)
<b>M</b>	Motor electric de tracțiune
<b>FORWARD</b>	Înainte
<b>BACKWARD</b>	Înapoi
<b>TMB</b>	Transport Metrou București



## A. SUMMARY OF THE INVESTIGATION REPORT

On the 26th January 2019, at 09:54 o'clock, during the shunting of the rake of vehicles, consisting in the electric train TEM no.1322-2322 (being in active state) and its hauling locomotive LDH no.92 53 0 86-0100-7, from the overground depot DSB to the underground one DsB, during its movement by banking from the metro station Dimitrie Leonida to the underground depot DsB, the speed of the rake of vehicles raised un-controlled, it leading to hard hit of the stop buffer from the line no.8, by the unit of the electric metro train S.TEM no.1322, followed by its derailment and the injury of a REM driver.

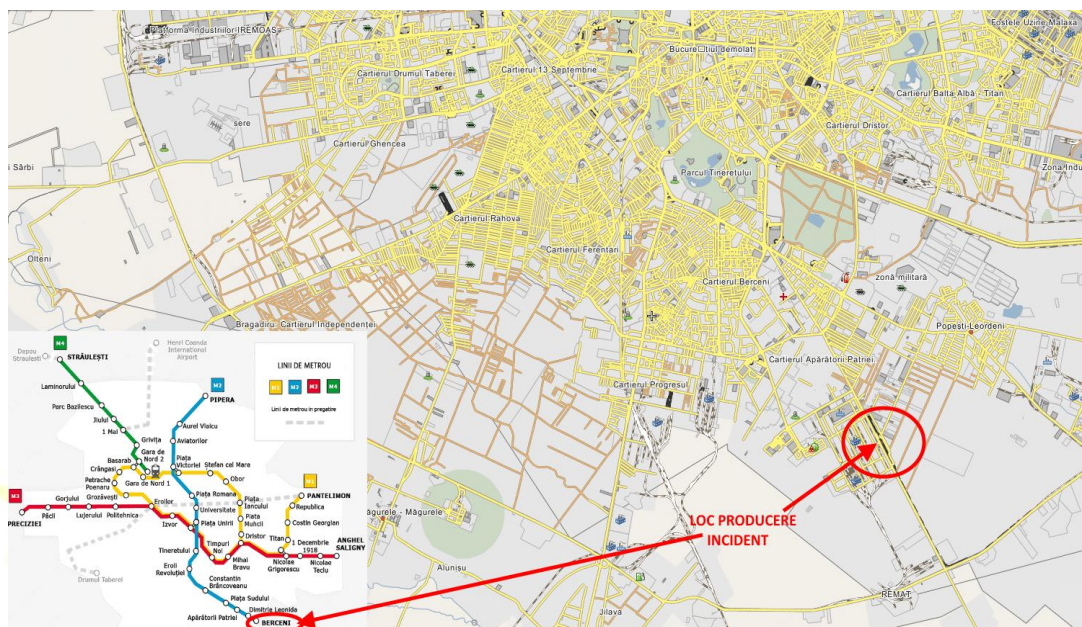


fig.1 -incident site (București map)

Following this incident, the driver, present in the unit of the electric metro train S.TEM no.1322, was injured, and the rolling stock was damaged, the estimated value of the damages could not be established by METROREX until the working out of this report.

### Direct causes and contributing factors

**The direct cause** of the incident was the un-controlled increase of the speed of TEM no.1322-2322, generated by the application of an electric traction effort on the train electromotors, it generating the impossibility to adapt the speed of the rake of vehicles at the distance line for shunting.

**The contributing factors** was the improper processing in the software logic of the next information:

- use like reference only of the sense imposed by the active driving cabin R2 of TEM. The software logic according which the reference of the active driving cab was priority for the reading sense from the bogie sensors led to the wrong interpretation of the real moving sense of TEM.
- wrong working of the device dead man in hauling condition, missing a sound warning before an emergency brake application, it being not in accordance with the digram of operation in the Driver Manual at chapter 4.4.6 *Operation of the Driver Surveillance Device*;
- keeping in operation of the electric brake, when the service brake being off from the panel TCMS. With the isolation from TCMS of the service brake (consisting in the electric brake and the pneumatic one), made by the human operator, the electric brake was not isolated.

### Underlying causes

None.

**Root cause** was the lack in the Driver Manual of some proper regulations regarding the working in hauling conditions of a rake of vehicles type BM3-CAF with a shunting locomotive.

### Severity grade

According to the accident and incident classification stipulated in the *Investigation Regulations*, considering the activity where it happened, the case is classified like incident in accordance with art.8, paragraph (2), group B, point 2.2 „passing the fixed or mobile signals on the position „stop” or „shunting forbidden”, passing the indicators that forbid the running or of the safety marks by the rake of wagons, light locomotive or other railway vehicles during the shunting, without meeting with the provisions of the specific regulations”.

If the technical needs would have imposed the hauling of a TEM BM3-CAF, being in running and transporting passengers, and if the operation staff had done exactly as in case of the incident happened on the 26th January 2019 at the hauling by banking, the consequences in the operation activity could have been both for the passengers and for the tunnel infrastructure.

### Safety recommendations

Considering the findings following the investigation, the commission recommends that for reducing the risk of occurrence and preventing some similar incidents, that in slightly different conditions can lead to serious accidents, Romanian Railway Safety Authority-ASFR ask:

- *METROREX take care that the manufacturer TEM BM3-CAF shall re-assess the vehicle software, so it ensures a proper safety level, including in case of its operation by hauling;*
- *METROREX takes care that the manufacturer TEM BM3-CAF shall added in the Driver Manual with the operations needed to be performed during the operation in hauling condition, if the rake of vehicles type BM3-CAF is coupled at a shunting locomotive.*

## B. FAPTE DE ÎNDAȚĂ ALE INCIDENTULUI

### B.1. Evenimentul

La data de 25.01.2019, la ora 22:22:06 TEM nr.1322-2322, a fost remizată în DSB la linia nr.8, având S.TEM nr.2322 orientat în direcția stației de metrou Dimitrie Leonida. Trenul a fost în serviciu pe timpul zilei pe magistrala M2 Pipera – Berceni.

Liniile de garare a DSB sunt construite la suprafață și acoperite cu o construcție din beton, denumită generic Hala DSB, iar liniile de legătură dintre amplasamentul liniilor de garare cu stația Dimitrie Leonida se face printr-o linie supratărană care intră în tunel. Această linie nu este acoperită fiind expusă mediului extern atmosferic.

Având în vedere că TEM nr.1322-2322 era programat în data de 26.01.2019 pentru efectuarea unei revizii periodice și trebuia pus la dispoziția SC ALSTOM SA, operator care asigură întreținerea TEM, și care avea atelierul de reparații în DSB, proprietarul TEM nr.1322-2322 a programat ca acesta să fie îndrumat și remizat în DSB pentru dimineața zilei de 26.01.2019.

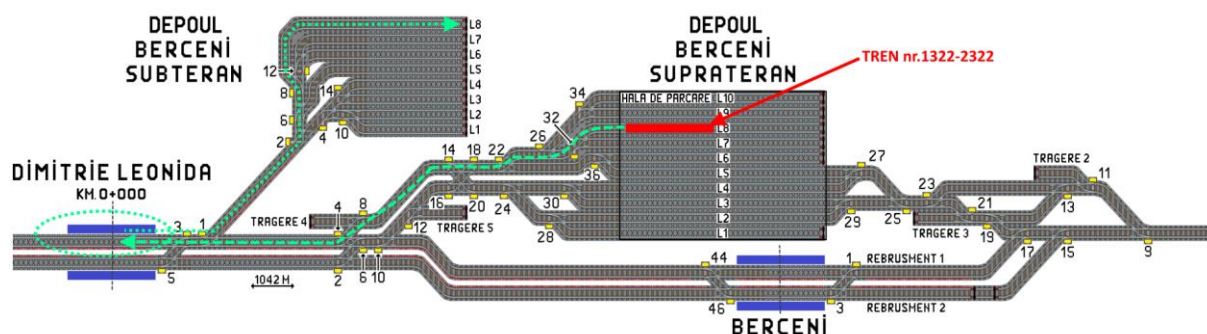


fig.2 - loc producere incident

Deoarece în ziua de 25.01.2019 și dimineața zilei de 26.01.2019 au fost condiții meteo deosebite, ce au constat în căderi abundente de precipitații sub formă de chiciură, care s-au depus pe linia de contact dintre DSB și intrarea în tunel, aceasta a devenit inutilizabilă pentru alimentarea TEM



nr.1322-2322. În aceste condiții deosebite, s-a stabilit ca TEM nr.1322-2322 să fie deplasat din DSB către DsB, în stare remorcată cu o locomotivă tip LDH.

La data de 26.01.2019, la ora 08:44:32 TEM nr.1322-2322 a fost activat din cabina S.TEM nr.2322, după care trenul s-a deplasat în modul "Manevră" până în fața semnalului X8H unde a fost oprit în vederea cuplării cu locomotiva LDH.

După cuplarea locomotivei LDH cu TEM nr.1322-2322 la capătul S.TEM nr.2322, convoiul format din cele două vehicule s-a deplasat în direcția stației de metrou Dimitrie Leonida, unde a fost oprit la ora 09:48:17.

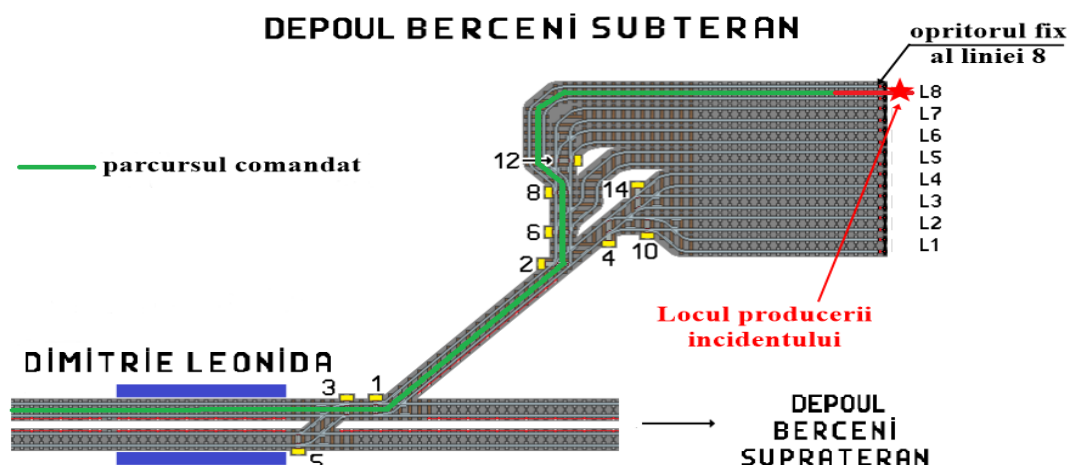


fig.3 – parcursul convoiului înaintea producerii incidentului

La ora 09:48:41 convoiul de manevră își schimbă sensul de mișcare, începând deplasarea prin împingere în sensul cabinei de comandă a S.TEM nr.1322, către DsB. După parcurgerea unui spațiu de 95 metri, la ora 09:49:24, viteza convoiului începe să crească brusc, ca urmare aplicării unui efort de tracțiune pe motoarele TEM, fără ca aceasta să fie comandată de către mecanicul locomotivei LDH sau MC al TEM nr.1322-2322. Viteza maximă, de 63,129 km/h, a fost atinsă la ora 09:50:10 și a rămas constantă până la ora 09:50:16, după care aceasta a scăzut pe un spațiu de 152 metri până la valoarea de 44 km/h pe care o atinge la ora 09:50:26. De la această oră, în timp de 2 secunde, viteza scade brusc de la 44 km/h la 26,156 km/h după care nu mai există înregistrări. Scăderea bruscă a vitezei a fost cauzată de lovirea violentă a opritorului fix al liniei nr.8 de către S.TEM nr.1322, urmată de deraierea acestuia și accidentarea unui mecanic de locomotivă-REM.

De la ora 09:49:24 când s-a produs creșterea bruscă a vitezei și până la ora 09:50:28 când s-au oprit înregistrările au fost parcurși în total 864 metri, fără ca în acest interval de timp să fie înregistrată acționarea butonului frânei de siguranță.

În urma incidentului s-a înregistrat accidentarea mecanicului aflat în cabina S.TEM nr.1322 a fost avizat Serviciul de Urgență 112.

### Procesul investigației

În urma avizării întocmită de către dispeceratul central din cadrul SC TMB „METROREX” SA București, AGIFER a luat la cunoștință despre incidentul produs la data de 26.01.2019, ora 09:54, în DsB, la manevra prin împingere a unui convoi de manevră compus din TEM nr.1322-2322 (aflat în stare activă) și locomotiva de remorcă a acestuia LDH nr.86-0100-7, prin lovirea violentă a parapetului opritorului fix al liniei nr.8, de către S.TEM nr.1322, urmată de deraierea acestuia și accidentarea unui mecanic de locomotivă-REM.

Acest eveniment a fost încadrat preliminar, de către dispeceratul central din cadrul SC TMB „METROREX” SA, ca incident produs în activitatea de manevră, conform prevederilor art.8, alin. (2), grupa B, pct.2.2 din RI, respectiv „depășirea semnalelor fixe sau mobile care ordonă „oprirea” ori „manevra interzisă”, a indicatoarelor care interzic trecerea ori a mărcilor de siguranță de către convoaiele de manevră, locomotiva izolată sau alte vehicule feroviare la manevră, fără respectarea prevederilor din reglementările specifice”.

Având în vedere faptul, că acest incident în condiții ușor diferite, ar fi putut conduce la producerea unui accident feroviar grav și luând în considerare gravitatea/relevanța/impactul acestuia pentru rețeaua de transport feroviar și cu metroul din România, în temeiul art.49 alin.(1) și alin.(2) din RI, Directorul General AGIFER a decis deschiderea unei investigații în acest caz.

Astfel, prin Decizia nr.294 din data de 28.01.2019, Directorul General AGIFER a numit comisia de investigare, aceasta fiind compusă dintr-un investigator principal și 5 membri, investigatori din cadrul AGIFER.

## **B.2.Circumstanțele incidentului**

### ***B.2.1. Organizațiile implicate***

SC TMB „METROREX” SA este proprietarul instalațiilor, liniilor și lucrărilor de artă pe care s-a produs incidentul, fiind deținător de licență de transport urban cu metroul.

Trenul TEM nr.1322-2322 este proprietatea SC TMB „METROREX” SA în urma achiziției de la CONSTRUCCIONES Y AUXILIAR DE FERROCARRILES, S.A. cu sediul în Beasain, Spania. Vehiculul este un produs feroviar critic omologat de către AFER și este o construcție ce face parte dintr-un lot de 24 trenuri livrate de către furnizorul feroviar CAF. Acest vehicul este o construcție concepută, proiectată și fabricată în atelierele proprii ale furnizorului feroviar care a fost adaptat la cerințele documentelor de referință (caiete de sarcini) ale cumpărătorului și care a fost livrat sub denumirea de BM3-CAF.

### ***B.2.2. Personalul implicat***

Întreg personalul care a condus și deservit locomotiva LDH 86-0100-7 și trenul TEM nr.1322-2322, aparține SC TMB „METROREX” SA.

Personalul care a condus locomotiva LDH 86-0100-7 îndeplinea din anul 2008 funcția de mecanic locomotivă și REM II (LDH) fiind autorizat:

- de la data de 14.04.2014 pentru executarea serviciului pe proprie răspundere în legătură cu siguranța feroviară, conducerea trenului și deservirea sistemelor de frână pentru LDH 450 CP și LDH 600 CP modernizat cu motor Caterpillar;
- de la data de 15.06.2015 pentru executarea serviciului pe proprie răspundere în legătură cu siguranța feroviară, deservirea sistemelor de frână pentru trenul electric de metrou tip BM 3 – CAF la operațiunile de cuplare și remorcare cu LDH.

Personalul care a deservit locomotiva LDH 86-0100-7 îndeplinea din anul 2012 funcția de mecanic ajutor locomotivă și REM fiind autorizat:

- de la data de 04.12.2012 pentru executarea serviciului pe proprie răspundere în legătură cu siguranța circulației ca mecanic ajutor pe LDH (inclusiv Caterpillar), REM de tip IVA și de tip BM;
- să manipuleze instalațiile de pe REM tip IVA (inclusiv varianta Dimetronic) la rebrusare și în depou și în circulație în cazul pierderii capacității de muncă a mecanicului titular, cu viteza de cel mult 30 km/h;
- să manipuleze instalațiile de pe TEM tip BM la rebrusare numai sub supravegherea mecanicului titular și în circulație în cazul pierderii capacității de muncă a mecanicului titular, cu viteza de cel mult 30 km/h.

Personalul care s-a aflat în cabina S.TEM nr.1322, îndeplinea din anul 2009 funcția de mecanic locomotivă și REM I fiind autorizat:

- de la data de 18.06.1991 pentru rebrusare TEM pe proprie răspundere;
- de la data de 12.02.2007 pentru executarea serviciului în legătură cu siguranța circulației, conducerea trenurilor pentru rebrusare sau în cazul pierderii capacității de muncă a mecanicului titular, cu viteza de cel mult 30 km/h;
- de la data de 31.05.1996 pentru executarea pe proprie răspundere ca mecanic REM;
- de la data de 20.02.2008 pentru executarea serviciului pe proprie răspundere în conducerea trenului, deservirea sistemelor de frână pentru trenurile BM;
- de la data de 07.07.2010 pentru conducerea trenului electric de metrou de tip Bombardier în sistem de conducere simplificat pe magistrala I + III de metrou;



- de la data de 20.10.2014 pentru executarea serviciului pe proprie răspundere în funcțiile de șef tură depou și revizor locomotivă și REM;
- de la data de 26.09.2016 pentru conducerea, deservirea și manipularea instalațiilor de siguranță feroviară la TEM tip BM – CAF cu călători, în sistem simplificat pe liniile SC METROREX SA.

Personalul care s-a aflat în cabina S.TEM nr.2322, îndeplinea din anul 2009 funcția de mecanic locomotivă și REM I fiind autorizat:

- de la data de 23.06.2009 pentru conducerea TEM de tip BOMBARDIER în sistem de conducere simplificat pe Magistrala a 2-a de Metrou.liniile SC METROREX SA;
- de la data de 01.04.2014 pentru conducerea și manipularea instalațiilor de siguranță feroviară la TEM tip BM – CAF cu călători, în sistem simplificat pe liniile SC METROREX SA.

### B.2.3. Compunerea și echipamentele vehiculelor

Convoiul care a fost implicat în incidentul produs la data de 26.01.2019, a fost format din TEM nr.1322-2322 (aflat în stare de funcțiune) și locomotiva de remorcare a acestuia LDH nr.92 53 0 86-0100-7.

#### B.2.3.1. Locomotiva de remorcare

Locomotiva LDH 450 CP

- tip motor diesel	MB-836Bb
- tip transmisie hidraulică	TH1
- robinetul mecanicului	
- frâna automată	tip KD2
- frâna directă	tip FD1
- ecartament	1435 mm
- lungimea peste tampon	11460 mm
- raza minimă de înscriere în curbă	
- în linie curentă la viteza de 40 Km/h	100 m
- pe linie de industrială la viteza de 5 Km/h	50 m
- viteza maximă cu bandaje semiuzate:	
- regim ușor	60 Km/h
- regim greu	30 Km/h
- greutatea maximă în serviciu, complet alimentată	45 t ± 3 %
- sarcina maximă pe osie	11,25 t ± 5 %.

#### B.2.3.2. Prezentarea generală a TEM

TEM nr.1322-2322 este un tren compus din două vehicule identice (semitrenuri) de tip BM3-CAF cuplate spate-spate, formate fiecare din trei vagoane diferite, care a fost conceput să ofere servicii de transport pe liniile M1, M2 și M3 ale rețelei de metrou din București. Un TEM de tip BM3-CAF este un tren alimentat electric ce este destinat transportului public și are următoarea alcătuire (fig.4):

> R1 – MP1 – M1 – M2 – MP2 – R2 <

, unde:

- **R1** și **R2** sunt vagoane purtătoare, cu cabină de comandă;
- **MP1** și **MP2** sunt vagoane motoare cu pantograf;
- **M1** și **M2** sunt vagoane motoare;
- – sunt cuple semi-permanente;
- < sunt cuple semi-automate.

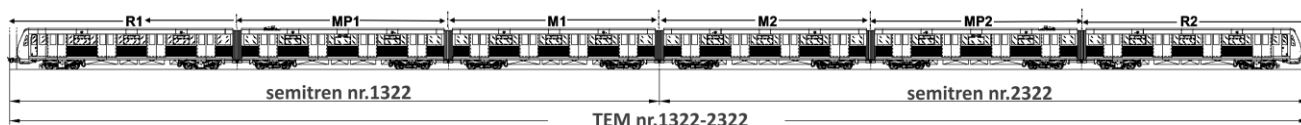


fig.4 – prezentare generală a vehiculului CAF

Cele două semitrenuri dispun fiecare de un sistem de propulsie și frânare comandate și controlate de către un sistem de control și monitorizare al vehiculului (TCMS), ce este bazat pe logică

programabilă software, iar TEM de tip BM3-CAF se conduce având ca referință cabina în care se introduce cheia de către operatorul uman (considerată a fi ACTIVĂ).

Astfel, pentru rularea trenului înainte (săgeata roșie din fig.5), referința semitrenului cu cabina activă presupune rularea software-ului cu referința „FORWARD”, iar referința semitrenului cu cabina care nu este activă are referința „BACKWARD” (săgețile albastre din fig.5), astfel încât dacă pentru rularea înainte a trenului primul semitren software-ul comandă motoarele electrice pentru sensul în *forward*, iar pentru semitrenul cuplat la primul comanda motoarelor electrice este pentru sensul în *backward*.

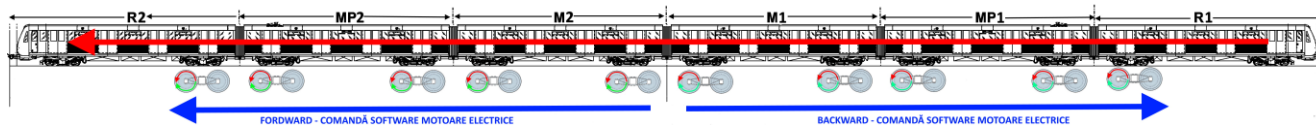


fig.5 – sensul comenzilor și a câmpului statoric al motoarelor electrice al vehiculului CAF

Sensul câmpului statoric al motoarelor electrice asincrone este opus sensului roților, care dau direcția de înaintare al vehiculului (vezi fig.7).

### B.2.3.3. Sistemul de propulsie a TEM

**Sistemul de propulsie al vehiculului** are la bază distribuția alimentării de înaltă tensiune (HV) la 750Vcc, care colectează independent curentul de înaltă tensiune prin intermediul instalațiilor electrice montate numai pe vagoanele MP și M. În logica vehiculului performanțele de alimentare și frânare sunt comandate independent de cerința de sarcină între AW0 (tara) și AW3 (6 pasageri/m<sup>2</sup>) pentru tracțiune și AW0 (tara) și AW4 (8 pasageri/m<sup>2</sup>) pentru frânare.

**Sistemul tehnic de tracțiune** al vehiculului este prevăzut cu câte un motor electric pe fiecare osie din compunerea boghiului motor al TEM (două motoare electrice/boghiu) al tuturor vagoanelor cu excepția vagoanelor R1 și R2 din TEM (16 motoare electrice de 145kW fiecare). Pentru alimentarea serviciilor auxiliare energia electrică este captată din trei surse de alimentare diferite: baterie de acumulatori (110v și 115Ah) și din sursa de la șina a treia sau linia de contact. Echipamentele și bateria sunt amplasate pe vagoanele R1 și R2 și furnizează energie electrică de rezervă pentru circuitele auxiliare și de siguranță, inclusiv iluminatul de urgență, semnalizare, comunicații, control uși, etc.

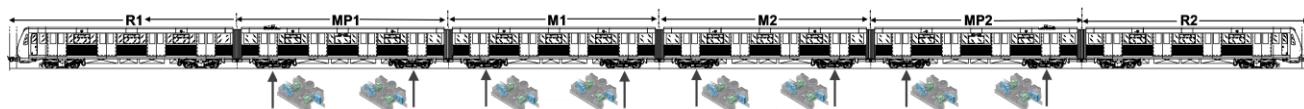


fig.6 – boghiurile motoare ale TEM BM3-CAF

Pentru aplicarea efortului de tracțiune există o serie de componente tehnice care colectează și livrează curentul electric de tracțiune:

- *colectoarele de curent de la șina a treia* amplasate câte unul pe fiecare parte a boghiului fiind proiectate pentru o viteză maximă a vehiculului de 90km/h. Această componentă are un mecanism de zăvorâre ce are ca scop fixarea permanentă și sigură a brațului oscilant al colectorului de curent în poziția ”fără contact” cu cea de-a treia șină;
- *pantograful* amplasat pe acoperișul fiecărei unități MP folosit când vehiculul se deplasează pe zone alimentate din linia de contact;
- *selector HV* ce este monitorizat și controlat din TCMS și este utilizat pentru selectarea modului de alimentare al vehiculului: din linia de contact sau din șina a treia;
- *cutia rezistoarelor de frânare*;
- *motorul electric de tracțiune (M)* ce este o unitate deschisă asicronă cu rotorul în scurtcircuit care este alimentată în curent alternativ (la o tensiune de 565Vca) și transmite efortul electric către angrenajul montat pe osie prin intermediul unei cuple mecanice. Motorul M este alimentat în tensiune și frecvență variabilă pentru a răspunde cuplului solicitat de controlul de tracțiune comandat prin **controlerul de bord** (master controller b din fig.17) manevrat de către

operatorul uman sau automat de la echipamentul ATC îmbarcat folosind modul de conducere ATO.

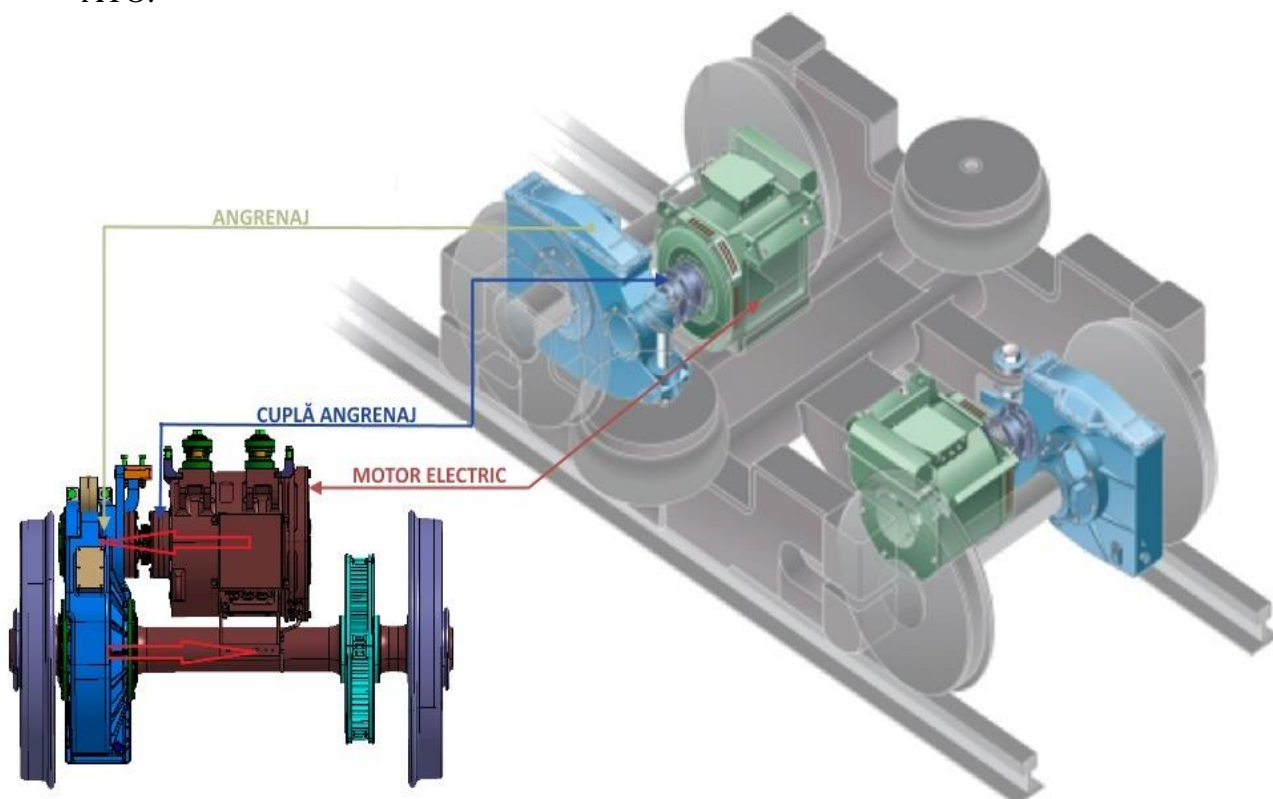


fig.7 – boghiul motor și amplasarea motoarelor electrice

Din construcția ansamblului boghiului motor se poate observa că pentru realizarea sensului deplasării boghiului înainte, sensul rotirii motorului electric este opus sensului osiei pe care o angrenează. Osia motoare este legată mecanic de rotorul motorului electric **M** prin intermediul unei cuplări cinematice a cărei transmisie a mișcării de la rotorul motorului se face prin intermediul reductorului și a cuplajului.

- *cutia invertorilor de tracțiune* compusă din doi invertori independenți care alimentează fiecare în parte câte două motoare electrice de pe fiecare boghiu. Această componentă are următoarele subansambluri electronice construite cu componente statice: contactor circuit și linie de pre-încărcare, filtru, senzori de curent și tensiune, inverter trifazat, chopper de frânare sistem de răcire și unitatea de control.
- protecții interne ale vehiculului la suprasarcini și supratensiuni;

Fiecare motor electric **M** este comandat prin intermediul unui echipament care este compus dintr-un *inverter cu interfață ICU*, care transformă curentul electric continuu captat din șina a treia în curent electric alternativ, și un *bloc de comandă TCU*, construite pe tehnologia tranzistorilor de tip IGBT. Un TCU și ICU oferă motorului **M** de tracțiune forma de undă a tensiunii și frecvența necesară pentru atingerea performanțelor cerute în orice moment și sunt construite pe o tehnologie bazată pe microprocesoare. Principala funcție a **TCU** este de a comunica cu comenzile cabinei și aplicația de control de tracțiune la nivel înalt. **TCU** trimite către **ICU** comenzile de tracțiune prin magistrala CAN. ICU aplică strategiile de control a tracțiunii la nivel scăzut care generează setările pentru semiconductorii de putere IGBT. Ambele module interacționează cu alte componente ale vehiculului prin intermediul liniilor de comunicații în serie și a intrărilor/ieșirilor discrete. Logica de comunicare este prezentată în fig.8.



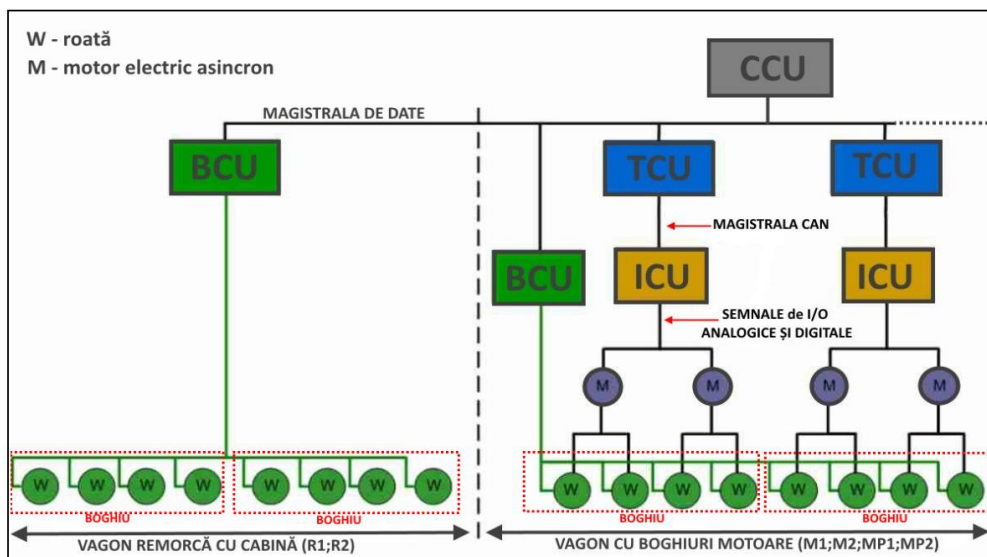


fig.8 – schema hardware a sistemului de frânare și de tracțiune

**Controlul motorului electric** se realizează prin intermediul unui **cuplu de torsiune** al cărui **semn** și **valoare absolută** este calculată de **TCU** în funcție de valorile intrărilor, cabina activă și sens, unitatea controlului motorului electric cunoscând permanent **vectorul magnetic al rotorului**. Pentru a răspunde comenzilor date de **CCU** unitatea de control al motorului calculează **vectorul magnetic al statorului** necesar pentru a se conforma cu solicitarea transmisiei de cuplu necesar reglării vitezei trenului (tracțiune și frânare). Astfel, **ICU** citește viteza de la proprii senzori de viteză luând în considerare:

- valoarea cea mai mică a vitezei pentru tracțiune, sau
- valoarea cea mai mare a vitezei pentru frânare sau
- neutru.

Această viteză citită este înmulțită cu raza roții pentru a se obține **viteza lineară** (în m/sec) a cărei valoare **ICU** o trimite prin magistrala de date către **TCU** care la rândul său calculează **histerezisul de fading** care rezultă în urma combinării frânării electrodinamice și pneumatice, prin slăbirea frânei electrodinamice și strângere a frânei pneumatice, sau cuplarea frânei electrodinamice și slăbire a frânei pneumatice. Această funcție a frânării electrodinamice (ED) denumită „**fading**” are o histereză între 2,7788m/s (de **10km/h**) și 3,611m/s (de **13km/h**), ceea ce înseamnă că la o exploatare normală a TEM, atunci când viteza lineară a vehiculului:

- coboară sub valoarea de **10 km/h**, frâna electrodinamică se dezactivează după o secundă (considerat a fi un timp minim necesar pentru începerea activării frânei electropneumatice), iar când
- depășește valoarea de **13 km/h**, frâna electrodinamică se activează ferm (vezi fig.9).

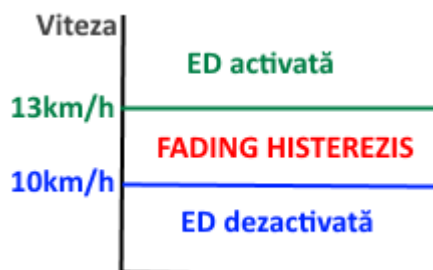


fig.9 – procesul de fading a frânei electrodinamice la trenul CAF

Pentru a avea la dispoziție forța de tracțiune a vehiculului într-o funcționare normală, operatorul uman trebuie să observe că vehiculul îndeplinește un număr de cinci cerințe conectate într-o anumită logică a vehiculului (bucă de tracțiune, vezi fig.10), iar la activarea oricărei funcții, bucla „se deschide” și întrerupe posibilitatea operării normale a acestuia, iar pentru deplasarea vehiculului de tip TEM BM3-CAF este necesară trecerea exploatarea acestuia „în regim de urgență”. Astfel, pentru

operarea normală a TEM este necesar ca să fie cabina activă, sistemele de frânare de siguranță și urgență să fie în parametri corecți de funcționare, sistemul ATC îmbarcat și sistemul de control și monitorizare TCMS cu controalele și validările în concordanță cu logica prestabilită a vehiculului. Pentru a opera „în regim de urgență”, în cazul activării oricărei funcții, mecanicul poate să izoleze funcțiile din comutatorul IZOLARE TRACȚIUNE/FRÂNĂ și poate să circule prin manevrarea MC cu o viteză restricționată.

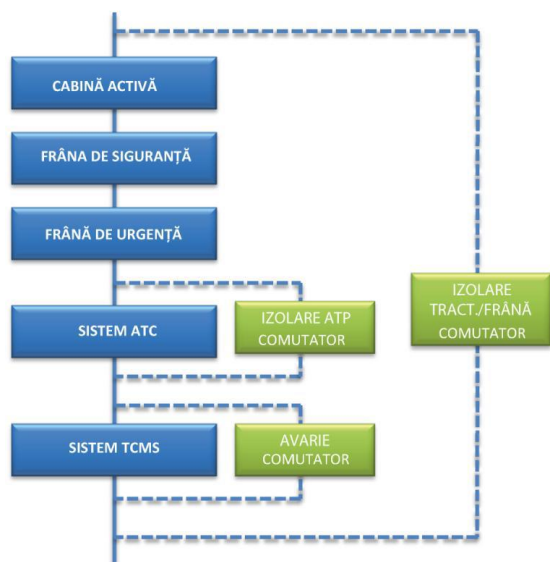


fig.10 – bucla de tracțiune

#### B.2.3.4. Sistemul de frânare a TEM

Vehiculul BM3-CAF a fost conceput să folosească sistemul de frânare bazat pe standardul EN 13452-1 (Aplicații feroviare. Frânare. Sisteme de frânare în transporturi publice urbane și suburbane. Partea 1: Cerințe de performanță), care stabilește următoarele **tehnici de frânare**:

- frâna electrodinamică**, care utilizează motoarele electrice ca generatoare pentru a transforma energia cinetică într-un curent electric și este eficientă numai dacă trenul se deplasează cu o viteză mai mare de 13 km/h. Frânarea electrodinamică este aplicată și controlată numai de sistemul de tracțiune;
- frâna pneumatică**, care folosește efortul presiunii aerului aplicat pe plăcuțele de frână, care în funcție de valoarea acesteia plăcuțele freacă discul fixat rigid pe axul boghiului (frână de fricțiune). Frâna pneumatică asigură frânarea vehiculului atunci când capacitatea frânei electrodinamice nu mai asigură capacitatea de frânare suficientă pentru distanța de frânare de siguranță și trebuie completată pentru a răspunde performanței solicitate;
- frână electromagnetică**, care este obținută prin lipirea pe șina de rulare a unei patine construite special, acționată printr-un dispozitiv electromagnetic (frână de fricțiune). Este aplicată de sistemul de frânare al boghiurilor și controlată de circuitele electrice ale trenului și se folosește în combinație cu frână pneumatică pentru a garanta *distanța de frânare de siguranță*, chiar și în caz de aderență slabă;
- frâna de parcare (de mână)** care este aplicată automat de sistemul de frânare al boghiurilor datorită pierderilor de aer fiind practic un mecanism de acționare cu arc. Este proiectată pentru a asigura că trenul rămâne în poziție staționară cu ajutorul aquatorilor cu arc.

Pentru acoperirea cerinței referitoare la tehnica de frânare electrodinamică, constructorul a prevăzut un echipament tehnic (chopper) format din două ansambluri de diode IGBT+, care la aplicarea comenzii de frânare electrodinamică permite și controlează disiparea energiei cinetice să se descarce în sistemul de alimentare cu energie electrică (frânare recuperativă) sau să se descarce pe o baterie de rezistoare externe care o transformă în căldură ce se disipă în atmosferă.

Toate procesele expuse mai sus sunt controlate printr-o structură electronică dedicată fiecărui proces (controller), în care nu este necesară intervenția operatorului uman. Aceste controllere încorporează o *unitate centrală de prelucrare* (microprocesor) și o *memorie* de stocare a datelor, care împreună cu resursele necesare interacționează între ele sub coordonarea CCU. Pentru realizarea

fiecărei funcții specificate, fiecare microprocesor a fost programat cu un software adecvat în vederea realizării obiectivului fiecărui controller.

Pentru exploatarea sigură a vehiculului necesitatea cererii de frânare poate fi generată în sistemul tehnic de comandă al frânei, astfel:

1. manual, de către operatorul uman (mecanic) sau pasageri.
2. automat, de către dispozitivele tehnice de siguranță automată sau control (ATC/ATP, om mort, etc.).

TEM dispune de **cinci moduri de frânare** în funcție de modul de inițiere a sistemului tehnic de frânare al vehiculului:

**A. *frâna de serviciu*** care este acționată manual de către mecanic și automat de către sistemul de siguranță și control ATC/ATP. Aceasta este folosită pentru a controla și regla viteza vehiculului în exploatare normală în vederea opririi rapide și eficiente la orice viteză sau sarcină a TEM. Frâna de serviciu este aplicată prin acționarea cu prioritate a *frânării electrodinamice* față de *frâna pneumatică*, în scopul returnării energiei recuperate și de a reduce cât se poate de mult uzura plăcuțelor frânării prin fricțiune (pneumatică). Acest mod de frânare funcționează astfel:

1. sistemul TCMS, prin intermediul CCS, **trimite** informația privind *cererea de frânare* pe magistrala MVB, astfel încât TCU și BCU să poată citi această cerință;
2. după citirea valorii cerinței TCU **aplică efortul maxim de frânare electrodinamică** posibil, calculat în funcție de sarcina (încărcarea) vehiculului și coeficientul de aderență maxim;
3. prin intermediul magistralei MVB, TCU **informează** BCU despre *mărimea a efortului de frânare necesară* a fi aplicat pentru reglarea vitezei comandate și *valoarea mărimii efortului de frânare electrodinamică comandat* de TCU;
4. BCU **calculează valoarea mărimii efortului pneumatic necesar** completării efortului de frânare necesar obținerii performanței reglării vitezei cerute;
5. BCU aplică efortul de frânare pneumatic calculat.

Acest mod de frânare aplică în mod automat *funcția de amortizare treptată* prin care atunci când *unitatea din vehicul* (R1, MP1, M1, M2, MP2, R2) frânează și atinge viteze reduse, frânarea electrodinamică este înlocuită cu frânarea pneumatică înainte ca prima frânare să se amortizeze complet.

**B. *frâna de siguranță*** este aplicată când într-o anumită logică de siguranță a vehiculului (denumită buclă de siguranță, vezi fig.11) când se activează oricare funcție (o cerință) din componența acesteia (din cele trei) prin care bucla „se deschide” (se întrerupe circuitul).

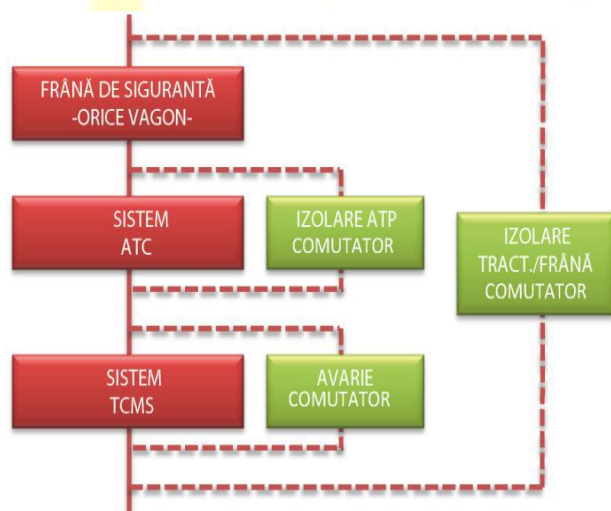


fig.11 – bucla de siguranță

În acest mod de frânare există numai aplicarea frânei pneumatice completată cu frânele electromagnetice (patinele), deoarece frânarea electrodinamică este inhibată din softul vehiculului. În logica de exploatare a vehiculului acest tip de frânare este cu cel mai ridicat



nivel de securitate, fiind implicat numai software-ul WSP. Acest mod de frânare este automat, iar aplicarea acestui mod de frânare poate fi cauzată de:

- acționarea butonului frânei de siguranță din orice cabina a vehiculului;
- sistemul ATC al vehiculului solicită aplicarea frânei de siguranță (pericol de coliziune);
- TCMS trimite cerere de aplicare a frânei de siguranță.

C. **frâna de urgență** este un mod de frânare automat care protejează vehiculul la apariția unui pericol, acționând atunci când într-o anumită logică de siguranță ale vehiculului (denumită buclă de urgență, vezi fig.12) când se activează oricare funcție (o cerință) din componența acesteia (în număr de șase) prin care bucla „se deschide” (se întrerupe circuitul).



fig.12 – bucla de urgență

Frânarea de urgență are eficacitatea cea mai mare și reprezintă cea mai scurtă cale de a opri vehiculul. Acest mod de frânare se efectuează numai prin intermediul sistemelor tehnice de frânare cu fricțiune (pneumatic și electromagnetic) dar și cu frâna electrodinamică calculată la o presiune cu sarcină limitată. Acest mod de frânare poate fi cauzată de:

- manual prin acționarea controller-ului principal de către operatorul uman la apariția unui pericol;
- manual, la acționarea butonului de alarmă de către un pasager. Această cerință este ocolită de TCMS când trenul este în mișcare și nu se află într-o stație, pentru evitarea opririi vehiculului în tunel;
- automat, bucla ușilor este deschisă confirmând că cel puțin una dintre ușile pentru pasageri nu este închisă și blocată. Această cerință poate fi ocolită la apariția unei defecțiuni în bucla ușilor;
- automat, când presiunea MP este mai mică de pragul minim de 6,5 bari. După aplicarea cerinței vehiculul este condiționat ca valoarea presiunii MP să fie de minim 7,5 bari;
- automat, atunci când dispozitivul om-mort comunică aparatului de înregistrare al evenimentelor, solicitând aplicarea frânării de urgență;
- automat, atunci când TCMS trimite cerere de aplicare a frânei de urgență.

D. **frâna de staționare** este un mod de frânare automat prestabilit al vehiculului care este aplicat atunci când acesta se oprește și trebuie menținut imobilizat pe o pantă și greutate predeterminată, prevenind scăparea vehiculului. Acest mod de frânare este aplicat numai de către sistemul tehnic pneumatic (frânare de fricțiune) și este eliberat automat prin comanda

software-lui atunci când cuplul de tracțiune aplicat vehiculului este suficient pentru a porni vehiculul pe o pantă cu înclinarea maximă de 4,5%, fără a rula în spate;

- E. frâna de parcare** este un mod de frânare automat prestabilit pentru vehicul cu scopul de a preveni deplasarea acestuia din poziția de staționare când nu este pus în serviciu (frână de ținuire). Frâna de parcare este eliberată atunci când arcurile acumulatorului sunt comprimate de aerul presurizat provenit de la MP și este aplicată automat atunci când aerul din cilindrii de frână cu arc scade sub valoarea de 6,5 bari. Acest mod de frânare nu poate fi controlat de către operatorul uman în funcționarea normală a vehiculului, dar în regim de urgență mecanicul poate comanda eliberarea frânei de parcare prin intermediul aquatoarelor comandate la distanță din interfața om-mașină, sau manual prin folosirea unui dispozitiv special dedicat poziționării fiecărui sistem de pe fiecare unitate în parte.

#### B.2.3.5. Sistemul de control monitorizare a TEM (TCMS)

Sistemul de control și monitorizare a TEM (denumit TCMS) este conceput de către producător pe o arhitectură modulară, bazat pe standardul de comunicare prin rețea și are trei funcții de bază:

- 1. gestionarea comunicațiilor** între toate echipamentele electronice bazate pe componente discrete și microprocesoare, printr-un canal de comunicații TCN cu gestionarea informațiilor transmise pe nivelul magistralei de date al vehiculului MVB;
- 2. interfața gestionării/implementării logicii vehiculului** prin intermediul modulelor digitale, analogice și de comunicație distribuite de-a lungul trenului pentru a culege informații despre stare și de a acționa conform logicii programate prin software în sistemele automate și/sau unitățile de control;
- 3. supravegherea, monitorizarea și înregistrarea performanței vehiculului** prin interfața om-mașină (monitor HMI) care afișează atât starea tehnică a diferitelor sisteme tehnice și înregistrarea acestora, cât și pentru introducerea diferitelor setări necesare exploatarei trenului.

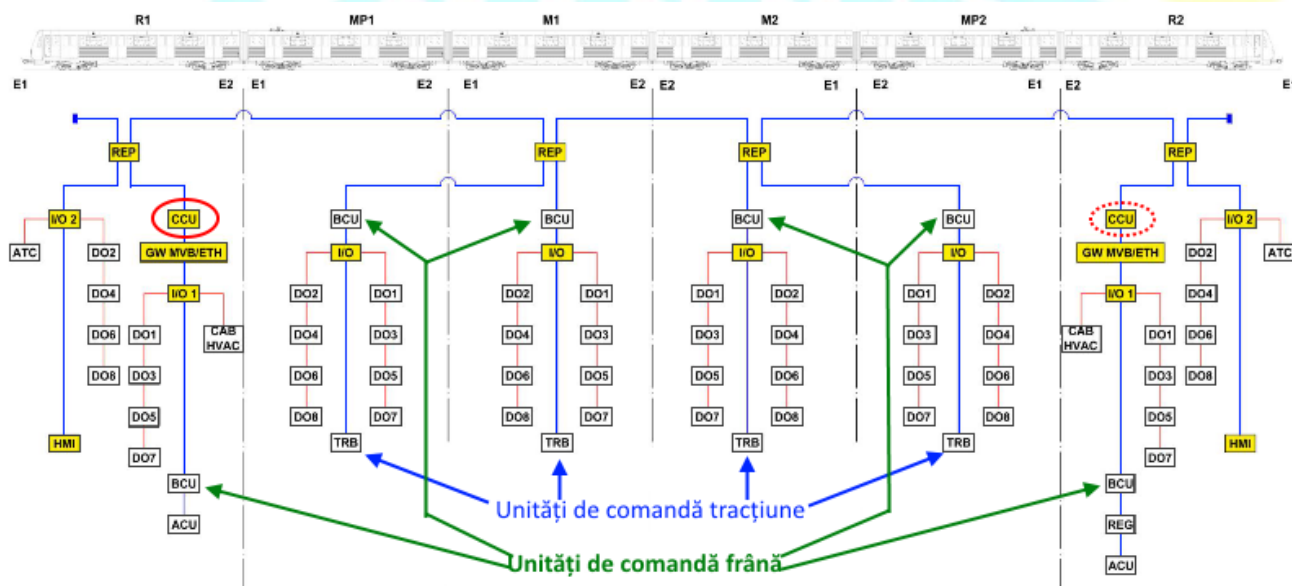


fig.13 – schema sistemului TCMS al TEM BM3-CAF

După cum se observă din fig.13 sistemul TCMS se compune dintr-o interfață om-mașină (HMI) și diverse echipamente cu funcții prestabilite (CCU, TRB, BCU, DO, etc.) care comunică prin intermediul magistralei de date MVB (cu albastru). Unitatea de control CCU este responsabilă de logica globală a vehiculului și realizează concomitent cu funcția precizată și gestionarea redundanțelor și selectarea semnalelor care trebuie utilizate la un moment dat în funcție de comenzile date de către operatorul uman (mecanic). În logica sistemului TCMS, unitatea CCU activă (din cele două existente) în care s-a introdus cheia de punere în funcție al vehiculului, detectează poziția mecanicului și filtrează comenzile în scopul de a trimite la celelalte echipamente numai comenzile generate de la cabina activă și nu cele de la cabina inactivă. Cele două CCU lucrează redundant în

sensul că atunci când cea activă detectează o problemă în propria funcționare, cealaltă unitate pasivă preia funcția CCU activă.

Interfața HMI are în componere și echipamentul de înregistrare a evenimentelor (numit TELOC 1500) utilizat pentru a explora, supraveghea și înregistra semnalele generate de echipamentele vehiculului și pentru a calcula distanța acoperită și viteza reală. Funcțiile principale ale acestui echipament sunt de :

1. **înregistrarea semnalelor semnificative** care pot fi digitale sau analogice, obținute prin intermediul magistralei MVB sau direct prin senzori cablați pe vehicul;
2. **verificarea supravegheerii mecanicului** de către echipamentul om-mort, asigurându-se de faptul că operatorul uman este permanent atent în timp ce se află la conducerea vehiculului;
3. **furnizarea semnalului de viteză zero** necesar în logica de exploatare al vehiculului folosit pentru controlul altor sisteme din vehicul (uși, etc.);
4. **calcul al vitezei și kilometrajul vehiculului**, care este obținută de la senzorii de viteză amplasați pe osiile roților libere din unitatea R2, ce este monitorizată constant.

#### **B.2.3.6. Sisteme de siguranță în exploatare a TEM**

Pentru exploatarea în condiții de siguranță și securitate pentru călători, TEM BM3-CAF este dotat cu următoarele sisteme tehnice de control:

1. **sistem de protecție automată a vehiculului (ATP)**, care acționează sistemele de frânare ale acestuia atunci când în urma comparației valorii vitezei reale măsurate la roata vehiculului se constată că este mai mare decât valoarea vitezei permise comunicate de către sistemul ATC din cale. Acesta este un sistem de siguranță care protejează vehiculul atunci când apare o eroare de conducere a mecanicului (la depășirea vitezei permise);
2. **sistem de control al mișcării vehiculului (ATC îmbarcat)** care recepționează mesaje transmise din cale ale sistemului din cale de control al vehiculelor (ATC cale). Acest sistem ATC este arhitectura de operare a transportului pe liniile de metrou care reglează circulația trenurilor de metrou și se bazează și include constructiv sistemele ATP și ATO;
3. **sistem automat de operare a vehiculului (ATO)** care preia toate operațiunile pe care un mecanic le efectua în conducerea unui TEM, moderând viteza vehiculului până la oprirea la un punct fix, în baza datelor introduse anterior în sistemul trenului comunicate prin intermediul sistemului ATC.

#### **B.2.3.7. Operarea vehiculului**

În baza sistemelor tehnice enumerate la punctele anterioare, pentru operarea în condiții de exploatare normale constructorul a impus în logica de proiectare a TEM BM3-CAF, ca referință cabina în care se introduce cheia de către operatorul uman (considerată a fi ACTIVĂ). Introducerea altei chei în cealaltă cabină nu o va activa și în consecință toate eventualele comenzi care s-a putea efectua din această cabină nu vor fi luate în considerare de către logica vehiculului, decât cu respectarea unei proceduri specificate în [NI.5]. Odată ce operatorul uman preia controlul vehiculului prin introducerea cheii principală, direcția de deplasare este prestabilită implicit ca „FORWARD”, fiind configurată de software-ul vehiculului, vehiculul inițializând cele trei bucle (de siguranță, de urgență și de tracțiune) prin care se verifică îndeplinirea tuturor cerințelor tehnice de exploatare în regim normal de funcționare. Exploatarea (operarea) vehiculului de către mecanic presupune deplasarea acestuia cu toate sistemele funcționale de siguranță și tracțiune active și validate, acesta mișcându-se individual, cuplarea TEM BM3-CAF la un alt vehicul (CAF, BOMBARDIER, IVA, locomotivă) urmând să fie o excepție în exploatare, denumită în [NI.5] „regim de urgență”. Pentru a conduce autonom vehiculul TEM în direcția inversă cabinei active, acesta trebuie configurat de către operatorul uman prin manevrarea butonului de selecție a modului de operare în poziția MAN (manevră) și apăsarea butonului „Înapoi”.

Pentru mișcarea vehiculului gestionarea comenzii de tracțiune și frânare a acestuia este efectuată în funcție de semnalele primite fie de la operatorul uman (prin controller-ul principal sau master controller), fie de la sistemul de comandă automată a trenului (ATC). Așa cum se observă din fig.12 prin intermediul semnalelor digitale (săgețile roșii) și/sau semnale analogice (săgețile roz) sunt transmise ordinele generatoare de comenzi necesare deplasării vehiculului (tracțiune sau frânare)



către CCU al sistemului TCMS. *Sistemul de control și monitorizare al vehiculului* (TCMS) comandă prin magistrala de date semnale digitate software (săgețile albastre) unităților de tracțiune și/sau frânare pentru moderarea vitezei vehiculului TEM în concordanță cu informațiile colectate de la senzorii acestuia referitoare la mișcare, viteză, etc. (*Train lines* – fig.14)

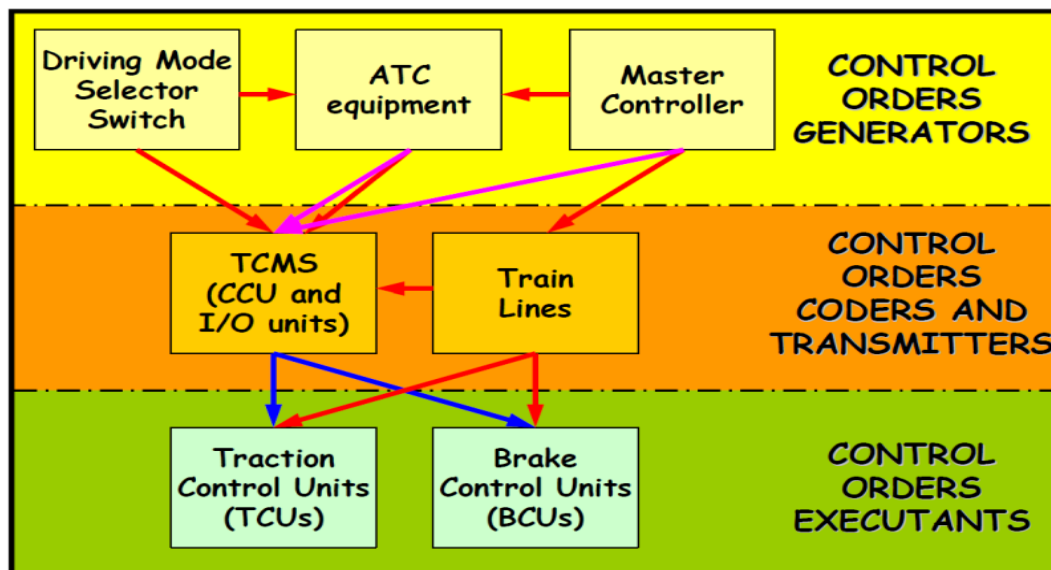


fig.14 – schema logică a gestionării comenzii de tracțiune și frânare al vehiculului CAF

Selectarea din postul cabinei active a modului de operare al vehiculului de către mecanic este obligatorie în conformitate cu [NI.5] pentru activitatea de exploatare și se face prin intermediul unui comutator manevrat în următoarele moduri de rulare (*Driving Mode Selector Switch* – fig.14):

- 1. modul ATO** în care sistemul ATC controlează viteza TEM conform profilului de viteză care a fost comunicat de la sistemul ATC din cale, acestuia fiindu-i controlată viteza automat de către sistemul ATO, mecanicul având rolul de supraveghere;
- 2. modul ATP** în care sistemul ATC îmbarcat controlează viteza maximă a TEM conform profilului de viteză care a fost comunicat de la sistemul ATC din cale, acestuia fiindu-i controlată viteza manual de către mecanic cu ajutorul controlerului;
- 3. modul depou** în care TEM circulă pe zone fără a avea informații referitoare la profilul de viteză de la sistemul ATC, acestuia fiindu-i controlată viteza manual de către mecanic cu ajutorul controlerului;
- 4. modul manevră (MAN)** în care este permisă deplasarea atât înainte cât și în sensul opus cabinei active.

În tabelul din fig.15 se pot observa următoarele moduri de funcționare ale vehiculului date de către constructor:

Mod ATC	Poziție buton selecție	Mod de operare vehicul	Direcție vehicul	Poziție controller	Viteza maximă (km/h)
ON	ATO	ATO - Automatic Mode	Înainte	poziția neutră	în concordanță cu viteza comunicată din cale
ON	ATP	ATP - Semi automatic Mode	Înainte	independent	în concordanță cu viteza comunicată din cale
ON	ATP	YARD - Yard Mode	Înainte	independent	$V_{rec} = 15 \text{ km/h}$ $V_{EB} = 21 \text{ km/h}$
ON	MAN	YARD - Yard Mode	Înainte	independent	$V_{rec} = 15 \text{ km/h}$ $V_{EB} = 21 \text{ km/h}$
ON	MAN	Backwards	Înapoi	independent	5 km/h
OFF	-----	BYP - ATC Bypass Mode	Înainte	independent	60 km/h

fig.15 – tabel cu schema logică de operare al vehiculului CAF neremorcat

În activitatea de exploatare a vehiculului pot apare defecțiuni semnalizate pe monitorul TCMS care impun anumite constrângeri și în funcție de natura defectului apărut, mecanicul are posibilitatea izolării printr-un comutator special destinat sistemului tehnic afectat de avarie, în vederea continuării deplasării vehiculului până la prima stație pentru debarcarea călătorilor în siguranță (fig.11 și 12 – blocurile de culoare verde). În ambele sistemele de siguranță cât și în cel de tracțiune există o funcție numită **"IZOLARE TRACT/FRÂNĂ"**, inactivă în poziția OFF și activă în poziția ON, care are ca rezultat ocolirea cerințelor buclelor de tracțiune, de siguranță și de urgență necesare operării TEM în regim de exploatare normal. Ocolirea buclelor conduce la necesitatea operării vehiculului de către mecanic **"în regim de urgență"**.

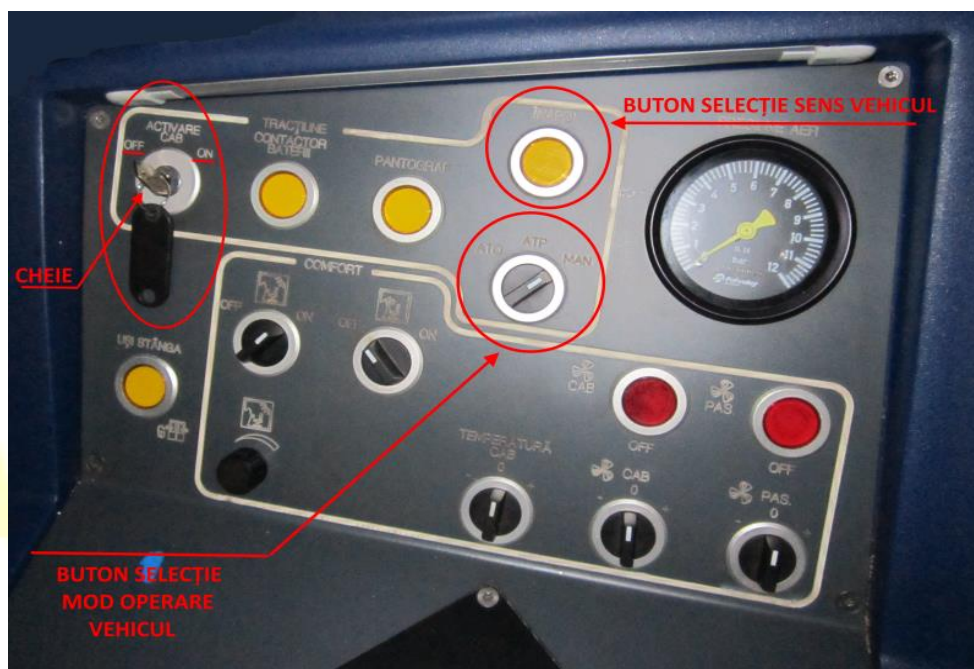


fig.16 – panoul din stânga al vehiculului CAF

#### **B.2.4. Descrierea infrastructurii și sistemului de semnalizare**

Șină tip 49;

Sistem de semnalizare:

- În stație: Interlocking;
- În depou: CED tip CRM.

#### **B.2.5. Mijloace de comunicare**

Mijloacele de radiocomunicație sunt de tip Motorola întreținute de personalul Metrorex SA, Sectia ATC.

#### **B.2.6. Declanșarea planului de urgență feroviar**

Imediat după producerea incidentului feroviar, declanșarea planului de intervenție s-a realizat prin circuitul informațiilor precizat în RI, în urma cărora la fața locului s-au prezentat reprezentanți ai Agenției de Investigare Feroviară Română – AGIFER, operatorului de transport cu metroul SC TMB „METROREX” SA și CAF.

#### **B.2.7. Declanșarea planului de urgență al serviciilor publice**

În urma incidentului s-a înregistrat accidentarea mecanicului aflat în cabina S.TEM nr.1322 a fost avizat Serviciul de Urgență 112.

### **B.3. Urmările incidentului**

În urma producerii incidentului, TEM nr.1322-2322 a distrus parapetul opritorul fix al liniei nr.8 din DsB, a părăsit calea de rulare, înscriindu-se pe o traiectorie rectilinie și a pătruns prin zidul camerei standului de probă amortizoare CAF, stația de epurare a apei și peretele stației ventilație, urmată de suspendarea S.TEM nr.1322 pe structura de rezistență a clădirii.

La locomotiva LDH, pe suprafața de rulare a roților acesteia s-au produs locuri plane ca urmare ca efectului acțiunii sistemului de frânare locomotivei, ce a fost comandat de conducătorul locomotivei în încercarea acestuia de a opri creșterea necontrolată a vitezei convoiului, generată de efortul de tracțiune dezvoltat de TEM BM3 nr.1322-2322. Totodată ca urmare a forțelor de compresie apărute în timpul impactului a fost deformată și cupla automată dintre locomotiva LDH și TEM BM3 nr.1322-2322.

#### ***B.3.1. Pierderi de vieți omenești și răniți***

Mecanicul aflat în cabina S.TEM nr.1322 a suferit o trauma care a necesitat un număr de 26 de zile de spitalizare și 21 zile de concediu medical la externare.

#### ***B.3.2. Pagube materiale***

Până la data finalizării raportului de investigare SC TMB "METROREX" SA nu a putut stabili valoarea pagubelor produse ca urmare a producerii acestui incident.

#### ***B.3.3. Consecințele incidentului în trafic***

Incidentul produs în DsB nu a avut consecințe asupra traficului cu TEM BM3 de pe magistrala 2, dar linia nr.8 a DsB a rămas închisă până la data întocmirii prezentului raport.

#### ***B.3.4. Consecințele incidentului asupra mediului***

În urma producerii acestui incident feroviar nu a fost afectat mediul.

### **B.4. Circumstanțe externe**

La data de 25.01.2019 și dimineața zilei de 26.01.2019 au fost condiții meteo deosebite, ce au constat în căderi de precipitații sub formă de chiciură, care s-au depus pe linia de contact dintre DSB și intrarea în tunel, fapt ce a condus la imposibilitatea utilizării acesteia pentru alimentarea TEM nr.1322-2322.

## **C. ÎNREGISTRAREA INVESTIGAȚIEI**

### **C.1. Rezumatul mărturiilor**

#### **Activitatea de mișcare**

La ora 09.13, șeful de tură Berceni solicită IDM din Stația tehnică ieșirea LDH izolată din DsB și intrarea în Hală pentru cuplarea la TEM 1322-2322. La ora 09.16, șeful de tură avizează pe IDM din Hala de parcare despre manevra ce urmează să o execute respectiv cuplarea LDH cu TEM 1322-2322 și apoi manevră la linia din Depoul Subteran. La ora 09.27, IDM din hala de parcare solicită operatorului de mișcare ieșirea la manevră a LDH cuplat cu TEM 1322-2322. La ora 09.28, operatorul de mișcare solicită și obține aprobarea Dispecerului Central de ieșire la manevră a LDH cu TEM 1322-2322. La ora 09.32 operatorul de mișcare a trimis aprobare de executare a manevrei către IDM din stația tehnică și hala de parcare. După gararea convoiului la linia 1 peron din stația Dimitrie Leonida, IDM din stația Berceni stația Tehnică a transmis reavizul de sosire către IDM – Hala de Parcare la ora 09.44, iar la ora 09.45 a fost cerut parcurs liber la șeful de tură material rulant pentru expedierea convoiului pe linia de legătură la DsB. După efectuarea parcursului de expediere a convoiului, trenul a plecat în baza indicației permissive a semnalului Y1 și a ordinului de circulație transmis prin stația radio.

#### **Personalul care a condus și deservit locomotivă LDH**

La dispoziția șefului de tură s-au deplasat cu locomotiva LDH și au cuplat cu TEM 1322-2322 la linia 8 în hala de parcare. După cuplare și verificarea cuplării au avizat pe IDM din Hala de Parcare că sunt gata pentru, manevrarea acestuia în DsB. În baza semnalului de ieșire din Hala de parcare, de la linia 8 și a ordinului de circulație dat de către IDM prin stația de radio au pus în mișcare convoiul până în fața semnalului de ieșire X5. După primirea ordinului de circulație, pentru depășirea acestui semnal precum și a semnalului de intrare, convoiul s-a deplasat la stația Dimitrie Leonida.

După primirea ordinului de circulație de la IDM Berceni, convoiul a fost pus în mișcare de la stația Dimitrie Leonida spre DsB, cu viteză de cel mult 13 km/h, iar după parcurgerea a circa 50



metri au constatat creșterea vitezei la aproximativ 30 km/h. A procedat la frânarea convoiului cu frâna directă (Fd1) și frâna automată (KD2), totodată avizând prin stația de radio mecanicii de pe TEM că nu poate să frâneze convoiul. Viteza trenului a crescut progresiv până la aproximativ 60 km/h în condițiile în care LDH a frânat la maxim cu frâna directă (Fd1), frâna automată (KD2) și frâna de mână.

După impact au luat legătura cu operatorul de circulație pentru avizarea pompierilor și a salvării.

### **Personalul care s-a aflat pe TEM nr.1322-2322**

La data de 26.01.2019, în jurul orei 09.00 mecanicul de locomotivă R1 a fost trimis de șeful de tură pentru a activa trenul nr.1322-2322, punere la tensiune și pregătirea pentru efectuarea manevrei. Mecanicul de locomotivă R1 a activat TEM nr.1322-2322 din cabina R2. Între timp a sosit la postul de conducere și mecanicul de locomotivă R2. După luarea la cunoștință a planului de manevră, TEM 1322-2322 a fost pus în mișcare, în baza semnalelor transmise de către revizorul de locomotivă, de la linia 8 în direcția Dimitrie Leonida, fiind oprit în fața semnalului X8H în vederea cuplării cu locomotivă LDH. Manevra urma să fie executată prin remorcare cu o locomotivă LDH și TEM având bateriile activate. După preluarea postului de conducere de către mecanicul de locomotivă R2, revizorul a comunicat că pentru operativitate trenul va rămâne configurat din cabina R2. După legarea locomotivei LDH la tren s-a efectuat proba cuplării prin tragere de către locomotivă LDH și a fost confirmată de către revizor. S-a izolat frâna de serviciu și de parcare, din meniul monitorului TCMS al cabinei active R2, au fost coborâte pantografele și a acționat comutatorul ATP în poziția de izolare. Mecanicul de locomotivă R2 a preluat postul de conducere activ (cabina R2), iar mecanicul de locomotivă R1 a ocupat postul opus (cabina R1), comunicarea între cei doi efectuându-se prin instalația radio. În timpul deplasării de la semnalul X8H la stația Dimitrie Leonida, convoiul a fost oprit de mai multe ori, mecanicii de locomotivă realizând că oprirea se datorează frânării electromagnetice, fapt pentru care a fost manipulat comutatorul IZOLARE TRACȚIUNE-FRÂNĂ în poziția izolat (ON). După sosirea convoiului în stația Dimitrie Leonida și schimbarea sensului de mers, mecanicul de locomotivă R1 s-a ridicat în picioare și s-a postat în spatele scaunului mecanicului pentru putea umări mai bine parcursul.

După ce a fost depășită zona macazelor, s-a simțit o creștere bruscă a vitezei convoiului, fapt pentru care, mecanicii de locomotivă au solicitat personalului de pe LDH să frâneze locomotivă, considerând că, această creștere a vitezei se datorează locomotivei LDH. Mecanicul de pe LDH solicitat la rândul său frânarea trenului de către personalul aflat pe TEM. În momentul în care trenul a intrat în tangaj, mecanicul de locomotivă R2 a fost dezechilibrat și aruncat în ușa din stânga după care în ușa de la salon, iar mecanicul de locomotivă R1 a căzut în spatele scaunului și s-a lovit la cap de panoul din dreapta cabinei. Văzând că nu mai există soluție pentru a opri trenul mecanicul de locomotivă R1 a fugit în direcția postului opus, iar când se afla în zona burdufului, din cauza tangajului, a căzut și s-a agățat cu mâinile și picioarele de o bară verticală de susținere de pe centrul vagonului, moment în care s-a produs impactul.

Pe toată durata accelerării TEM 1322-2322, nici un mecanic nu a acționat butonul frânei de siguranță.

După oprirea convoiului, mecanicii au ieșit din TEM 1322-2322 iar mecanicul de locomotivă R1 a acuzat durere în zona inghinală și instabilitate pe picioare fapt pentru care a fost preluat și transportat la spital.

### **Personalul cu sarcini de instruire**

Având în vedere că informațiile furnizate de [NI.5], la operarea în regim de urgență a trenurilor de tip BM3-CAF, nu cuprind toate etapele referitoare la modul de intervenție în cazul apariției unor defecțiuni, cât și pentru diminuarea timpului de imobilizare a trenurilor care rămân defecte, conducerea Metrorex a dispus întocmirea unui Ghid pentru intervenție operativă la trenurile de tip BM 3 – CAF.

Astfel, pe baza corelării prevederilor din [NI.5] (document întocmit de producătorul trenului) cu constatările din exploatare privind funcționarea trenurilor, în anul 2016 a fost întocmit „Ghidul pentru intervenție operativă la trenurile de tip BM 3 – CAF, Revizia 0, Septembrie 2016”.

În cazul remorcării unui tren tip BM3-CAF cu bateriile de acumulatori conectate, de către o locomotivă LDH, în vederea acoperirii tuturor defectelor ce pot apărea la tren, s-a stabilit ca fiind

necesară comutarea butonelor Izolarea ATP, Izolare Tracțiune/Frână, Izolare pedală Om Mort în poziția "ON" precum și izolarea frânei de serviciu la toate vagoanele trenului prin intermediul comenzilor virtuale din ecranul TCMS.

Izolarea ATP este necesară deoarece, în cazul remorcării trenului prin tragere cu o locomotivă LDH, pe o zonă controlată de sistemul ATC, se produce frânarea convoiului.

Izolarea Tracțiune/Frânarea este necesară deoarece atunci când trenul are un defect se produce deschiderea buclei și frânarea trenului. Această cerință, de izolare, este consemnată și în [NI.5] în cazul în care se produc pierderi de aer la un vagon R.

Izolarea frânei de serviciu, în cazul remorcării trenului cu o locomotivă LDH, este o operație prevăzută de către producător în [NI.5].

Ghidul pentru intervenție operativă la trenurile de tip BM 3 – CAF, Revizia 0, Septembrie 2016 - [NI.7]- a fost prelucrat cu întreg personalul autorizat să conducă trenurile tip BM3-CAF.

## **C.2. Sistemul de management al siguranței.**

Activitatea de transport urban de călători cu metroul nu intră sub incidența Legii nr.55 din 2006 privind siguranța feroviară, întrucât aceasta se aplică numai sistemului de transport feroviar din România, care poate fi subdivizat în subsisteme pentru domenii de natură structurală și funcțională. Totuși, autoritatea statului în domeniul transporturilor cu metroul, a considerat că gestionarea siguranței circulației constituie o prioritate pentru transportul urban de călători cu metroul și a dispus prin [NR2] ca SC TMB "METROREX" SA să-și organizeze și implementeze un sistem propriu de siguranța circulației, care să asigure îndeplinirea cerințelor privind exploatarea sigură a operațiunilor sale.

## **C.3. Norme și reglementări.**

### ***C.3.1. Norme și reglementări naționale relevante***

- [NR1] HG nr.117/2010 de aprobare a Regulamentului de investigare a accidentelor și incidentelor, de dezvoltare și îmbunătățire a siguranței feroviare pe căile ferate și pe rețeaua de transport cu metroul din România;
- [NR2] OMT nr.1572/2018 privind Procedura de acordare a autorizației de siguranță de exploatare a liniilor pentru transportul de călători;
- [NR3] OMTI nr.1620/2012 pentru aprobarea Instrucțiunilor de mișcare la metrou, nr.005M;
- [NR3] OMTI nr.794/2010 pentru aprobarea Instrucțiunilor de semnalizare metrou, nr.004M;
- [NR4] OMTI nr.395/2011 pentru aprobarea Instrucțiunilor pentru personalul de tracțiune la metrou – nr.201M
- [NR5] OMT nr.290/2000 privind admiterea tehnică a produselor și/sau serviciilor destinate utilizării în activitățile de construire, modernizare, întreținere și de reparare a infrastructurii feroviare și a materialului rulant, pentru transportul feroviar și cu metroul

### ***C.3.2. Alte norme informative***

- [NI.1] Caiet de sarcini Partea 0 – Specificație tehnică generală, martie 2011;
- [NI.2] Caiet de sarcini Partea 1 – Contextul general și obiectivele proiectului, martie 2011;
- [NI.3] Caiet de sarcini Partea 2 – Specificații operaționale, martie 2011;
- [NI.4] Caiet de sarcini Partea 3 – Mentenabilitatea, ambalare, depozitare, transport, specificația materialelor
- [NI.5] Manualul Mecanicului CAF, rev.7 – Octombrie 2016;
- [NI.6] Specificație Tehnică Ramă electrică de metrou tip BM3, referință C.G5.96.400, ediția B din 24/07/2013;
- [NI.7] Ghid pentru intervenție operativă la trenurile de tip BM3-CAF, revizia 0, septembrie 2016

## **C.4. Funcționarea materialului rulant și instalațiilor tehnice.**

### ***C.4.1. Date constatate la funcționarea instalației interlocking***

Din examinarea stării tehnice și funcționarea a instalației interlocking se poate afirma că starea acestuia nu a influențat producerea incidentului.

#### **C.4.2. Date constatate cu privire la linie**

Din examinarea stării tehnice și funcționarea a infrastructurii căii se poate afirma că starea acestora nu a influențat producerea incidentului.

#### **C.4.3. Date constatate în funcționarea comunicațiilor**

Din examinarea stării tehnice și funcționarea a instalațiilor de comunicații se poate afirma că starea acestora nu a influențat producerea incidentului.

#### **C.4.4. Constatări tehnice la vehiculele feroviare**

##### **C.4.4.1. Constatări la locomotiva tip LDH**

La verificările efectuate imediat după producerea incidentului, la LDH nr.92 53 0 86-0100-7 s-au constatat următoarele:

- postul II era activ;
- vitezometrul în poziția zero;
- controlerul pe poziția zero;
- robinetul KD2 în poziție de frânare rapidă;
- robinetul Fd1 în poziție de frânare totală;
- frâna de mână strânsă;
- locuri plane pe întreaga suprafață de rulare a roților;
- cupla automată deformată.

##### **C.4.4.2. Constatări tehnice la TEM nr.1322-2322**

###### **C.4.4.2.1. Constatări la interfața om-mașină (HMI)**

La verificările efectuate imediat după producerea incidentului, la TEM nr.1322-2322 s-au constatat următoarele:

**A.** la S.TEM nr.2322:

- a.** cheia de punere în funcțiune era introdusă în contact și în poziția **OFF** (cabină inactivă);
- b.** controlerului de bord era în poziția „neutru” (trenul nu are comandată nicio forță de tracțiune sau de frânare);
- c.** comutatorul modului de selecție mod operare a vehiculului în poziția „MANEVRĂ”;
- d.** indicația de 28km/h viteză la care s-au oprit înregistrările;



fig.17 – tabloul de bord din stânga din S.TEMul nr.2322



- e. comutatorul de „IZOLARE ATP” cu sigiliul rupt și acționat în poziția „ON” (sistemul ATC este deconectat, vezi fig.18);
- f. comutatorul „IZOLARE TRACT/FRÂNĂ” cu sigiliul rupt și poziționat în „ON” (vezi fig.18 și fig.19);
- g. butonul frânei de siguranță neapăsat.

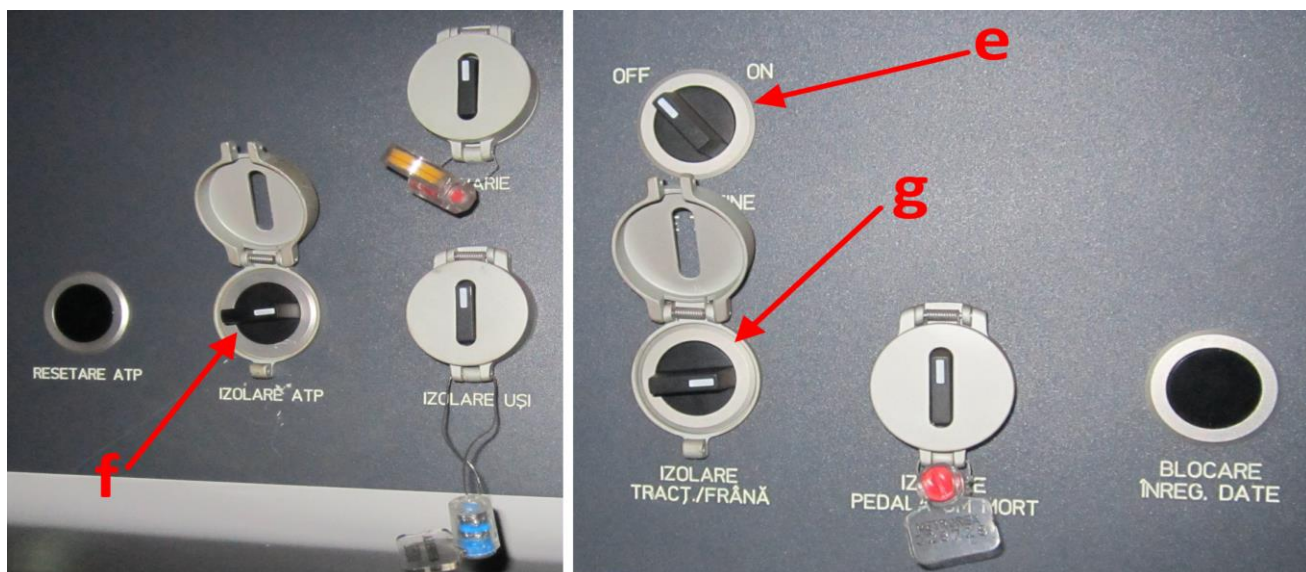


fig.18 – tabloul de bord de deasupra mecanicului din S.TEM nr.2322

B. la S.TEM nr.1322:

- a. cabina inactivă;
- b. butonul frânei de siguranță neapăsat.

#### C.4.4.2.2. Constatări din citirea înregistrărilor la TEM nr.1322-2322

În urma descărcării înregistrărilor din TCMS a TEM nr.1322-2322 a rezultat succesiunea semnalelor precizate în fig.18:

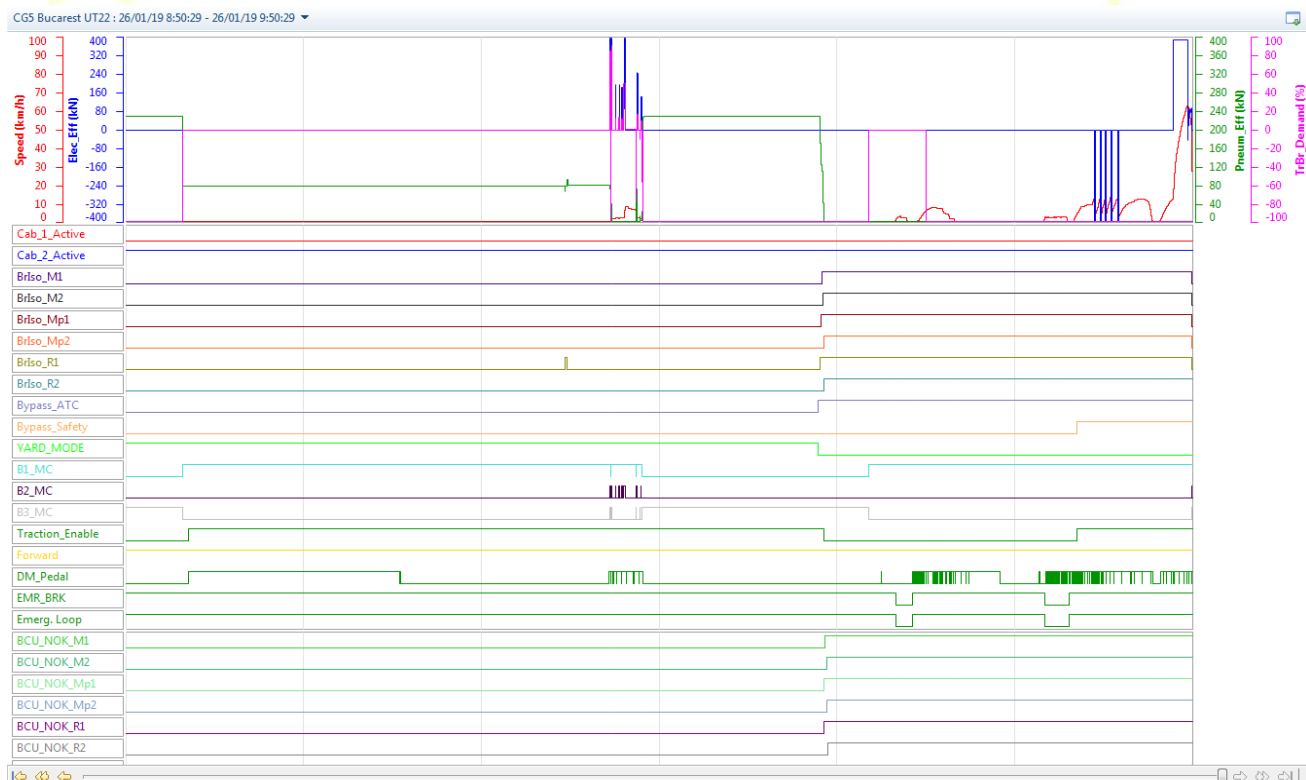


fig.19 – diagrama înregistrărilor TEM nr.1322-2322

Pentru citirea și interpretarea înregistrărilor din diagram stocată în TCMS s-au folosit următoarele abrevieri:

<b>Cab_1_Active</b>	cabina S.TEM nr.1 activă dacă are starea logică "1"; inactivă stare logică "0"
<b>Cab_2_Active</b>	cabina S.TEM nr.2 activă dacă are starea logică "1"; inactivă stare logică "0"
<b>Bypass_Safety</b>	bucula de siguranță a TEM activă dacă are starea logică "1"; inactivă stare logică "0"
<b>Baypass_ATC</b>	sistemul tehnic ATC a TEM activ dacă are starea logică "1"; instalația ATC este inactivă dacă are starea logică de "0"
<b>EMR_BRK</b>	sistem tehnic frână de urgență a TEM activ dacă are starea logică "1";
<b>DM_Pedal</b>	Semnal logic de confirmare a apăsării de către mecanic a pedalei „om-mort”, activă dacă are starea logică "1";
<b>Traction_Enable</b>	Semnal logic care arată starea cererii de tracțiune, inactivă dacă are starea "0";
<b>SafetyBr_But_R1</b>	starea butonului de siguranță din cabina semitren nr.1322: acționat – stare logică "0", neacționat – stare logică "1";
<b>SafetyBr_But_R2</b>	starea butonului de siguranță din cabina semitren nr.2322: acționat – stare logică "0", neacționat – stare logică "1"
<b>Forward</b>	Sensul "Înainte" față de cabina activă R2
<b>Backward</b>	Sensul "Înapoi" față de cabina activă R2
<b>Elec_Eff</b>	Efortul electric pe electromotoare (maxim de +/- 400kN)
<b>TR_Demand</b>	Comandă de tracțiune

În urma analizei și interpretării atât a stărilor semnalelor înregistrate de echipamentele trenului TEM nr.1322-2322, cât și a declarațiilor mecanicilor precizate la capitolul **C.1. Rezumatul mărturiilor**, s-au constatat următoarele:

a. începând cu ora **8:44:32** (punere în serviciu vehicul) și până la ora **09:50:26** (oprirea înregistrării datelor), următoarele semnale înregistrate nu au suferit tranziții:

<b>cab_1:</b>	<i>inactiv</i> (nu a fost introdusă cheia de activare)
<b>cab_2:</b>	<i>activ</i> (a fost acționată cheia de activare a cabinei S.TEM nr.2322)
<b>forward</b>	<i>activ</i> (semnal ce definește sensul de mișcare, raportat la cabina R2 activă)
<b>backward</b>	<i>inactiv</i> (semnal care definește schimbarea sensului de mișcare TEM raportat la cabina R2 activă)
<b>SafetyBr_But_R1</b>	<i>stare logică 1</i> corespunzătoare neacționării butonului frânei de siguranță din cabina 1
<b>SafetyBr_But_R2</b>	<i>stare logică 1</i> corespunzătoare neacționării butonului frânei de siguranță din cabina 2

**CONCLUZIE:** *mecanicul a pus în funcțiune TEM (garat la linia 8H în hala de parcare) din cabina S.TEM nr.2322, care a fost folosită ca referință în logica de executare a comenzilor pe toată deplasarea vehiculului până la producerea incidentului. Sensul de deplasare a fost privind din cabina S.TEM nr.2322 către în față (ÎNAINTE), către ieșirea din hala de parcare.*

b. în intervalul orar **09:17:44 —09:19:35** vehiculul a fost *pus în mișcare prin forță proprie* (alimentat din linia de contact) din poziția de garare în fața semnalului X8H, (variarea semnalelor **MC**, **TrBr\_Demand**, **Elec\_Eff** și a vitezei trenului);

**CONCLUZIE:** *vehiculul a fost pus în mișcare ÎNAINTE printr-o mișcare de manevră efectuată de către mecanic, din locul de staționare a TEM către semnalul de ieșire X8H, fiind pregătit pentru depășirea acestuia la afișarea indicației permissive. Trenul a fost alimentat din linia de contact;*

- c. la ora **09:29:14** se coboară pantograful TEM de la linia de contact;

**CONCLUZIE:** *mecanicul a pregătit TEM în vederea remorcării cu LDH serviciile acestuia funcționând numai pe acumulatori, cabina S.TEM nr.2322 rămâne activă;*

- d. la ora **09:29:18** se constată tranziția semnalului **Bypass ATC** din „0” în „1”;

**CONCLUZIE:** *sistemul ATC de pe vehicul este ocolit de către mecanic prin comutarea butonului „IZOLARE ATP” izolare necesară deoarece intra pe secțiune controlată de ATC iar în față avea LDH-ul care ocupa secțiunea;*

- e. de la ora 09:29:33 până la ora 09:29:47 se izolează frânele de serviciu, semnalul Briso corespunzător fiecărui vagon trece din „0” în „1”;

**CONCLUZIE:** *mecanicul comandă izolarea frânelor de serviciu din comanda panoului TCMS, aspect care impune ca referința limita de viteză de 0km/h;*

- f. la ora 09:30:32 se izolează frâna de parcare;

**CONCLUZIE:** *Mecanicul comandă izolarea frânei de parcare din comanda panoului TCMS;*

- g. la ora **09:32:15** se poziționează controlerul în poziție neutră (tradus prin tranziția semnalului **TrBr Demand** din -100% -de frânare- în 0%.

**CONCLUZIE:** *mecanicul a acționat toate sistemele pentru defrânarea trenului în vederea remorcării acestuia de către locomotiva LDH;*

- h. la ora **09:33:45** se produce punerea în mișcare prin tragere a convoiului format din TEM și LDH, sensul înregistrat fiind „FORWARD”;

**CONCLUZIE:** *convoiul se deplasează în direcția cabinei active R2;*

- i. la ora **09:33:49** semnalele **Emerg\_Loop** și **EMR\_BRK** tranzitează din starea logică ”1” în ”0”, iar semnalul **DM\_Pedal** rămâne în starea logică ”0” .

**CONCLUZIE:** *mecanicul nu a apăsă pedala de supraveghere a dispozitivului om-mort, s-a produs deschiderea buclei de urgență, urmată de comandarea frânării de urgență și intrarea în acțiune a frânei electromagnetice;*

- j. la ora **09:34:26** trenul se oprește.

- k. la ora **09:34:44** se acționează pedala dispozitivului om-mort (semnalul **DM\_Pedal** în starea logică ”1” ), iar semnalele **Emerg\_Loop** și **EMR\_BRK** tranzitează din starea ” 0” în ” 1”.

**CONCLUZIE:** *dispozitivul OM-MORT este resetat, bucla de urgență se închide iar frâna electromagnetică este dezactivată;*

- l. de la ora **09:35:04** până la ora **09:37:06**, trenul se deplasează pe o distanță de 173 metri pe direcția R2, timp în care semnalul **DM\_Pedal** comută periodic din starea logică ”0” în ”1”, atinge o viteză de maxim 7 km/h, iar la viteza de 6,009 km/h semnalul **TrBr\_Demand** trece din starea ”0” în ”-100”.

**CONCLUZIE:** *mecanicul a acționat pedala dispozitivului om-mort, bucla de urgență a rămas închisă iar la viteza de 6,009 km/h s-a înregistrat cererea de frânare maximă (”-100%”);*



- m. de la ora **09:42:07** până la ora **09:43:32** convoiul se află în mișcare iar la ora 09:42:10, semnalele **Emerg\_Loop** și **EMR\_BRK** tranzitează din starea logică "1" în "0", după care semnalul **DM\_Pedal** comută periodic după din starea logică "0" în "1".

**CONCLUZIE:** *mecanicul nu a apăsător pedala de supraveghere a dispozitivului om-mort, s-a produs deschiderea buclei de urgență, urmată de comandarea frânării de urgență și intrarea în acțiune a frânei electromagnetice;*

- n. la ora **09:43:32** viteza convoiului scade la 0,495 km/h, semnalul **DM\_Pedal** comută din starea logică "0" în "1" iar semnalele **Emerg\_Loop** și **EMR\_BRK** tranzitează din starea "0" în "1";

**CONCLUZIE:** *la scăderea vitezei sub valoarea de 0,5 km/h și apăsarea pedalei de supraveghere dispozitivul OM-MORT este resetat, bucla de urgență se închide iar frâna electromagnetică este dezactivată;*

- o. de la ora **09:43:48** viteza convoiului crește iar la ora **09:43:58** semnalele **Bypass Safety** și **Traction Enable** comută din starea logică "0" în "1";

**CONCLUZIE:** *a fost acționat butonul Izolare Tracțiune/Frânare din poziția "OFF" în poziția "ON" (buclele de tracțiune, de siguranță și de urgență au fost ocolite) și au fost activate condițiile de tracțiune;*

- p. la ora **09:44:56** convoiul atinge viteza de 12,483 km/h iar la ora **09:44:59** se înregistrează modificarea valorii semnalului **Elec\_Eff (KN)** din "0" în "-400", urmată de scăderea vitezei până la valoarea 4,569 km/h pe care o atinge la ora **09:45:03**;

**CONCLUZIE:** *la atingerea vitezei de 12,483 km/h, pe motoarele trenului se aplică un efort electric de frânare ca urmare intrării în acțiune a frânei electrodinamice;*

- q. la ora **09:45:03** la viteza de 4,569 km/h valoarea semnalului **Elec\_Eff (KN)** se modifică din "-400" în "0" după care viteza crește la 13,335 km/h și fenomenul se repetă;

**CONCLUZIE:** *la atingerea vitezei de 4,569 km/h, nu se mai aplică efort electric de frânare pe motoarele trenului, frâna electrodinamică nu mai este activă;*

- r. de la ora **09:44:56** până la ora **09:46:17** când convoiul a fost oprit în stația Dimitrie Leonida s-a produs de 5 ori intrarea în acțiune a frânei electrodinamice la atingerea vitezei de aproximativ 13 km/h;

**CONCLUZIE:** *la atingerea vitezei de aproximativ 13 km/h, pe motoarele trenului se aplică un efort electric de frânare ca urmare intrării în acțiune a frânei electrodinamice, iar după scăderea vitezei la aproximativ 4 km/h, efortul electric de frânare dispare și frâna electrodinamică nu mai este activă;*

- s. la ora **09:48:41** convoiul se pune în mișcare prin împingere în direcția DsB (cu cabina R1 în față), sensul "Forward" iar sistemul de tracțiune a înregistrat cod alarmă "Warning\_Rollback\_detected" (Atenție detectarea rotirii roților în sens invers);

**CONCLUZIE:** *la deplasare trenului în sens opus cabinei active R2, sensul înregistrat a fost "Înainte" (ca și în cazul în care trenul s-a deplasat în sensul cabinei active R2), iar sistemul de tracțiune a sesizat rotirea roților în sens invers sensului dat de cabina activă R2 și a înregistrat cod alarmă "Atenție detectarea rotirii roților în sens invers";*

- t. după parcurgerea unui spațiu de 95 metri, la ora **09:49:24**, la viteza de 13,433 km/h se înregistrează modificarea valorii semnalului **Elec\_Eff (KN)** din "0" în "+395", urmată de creșterea bruscă a vitezei;

**CONCLUZIE:** la atingerea vitezei de 13,433 km/h, pe motoarele trenului se aplică un efort electric de tracțiune care a dus la creșterea bruscă a vitezei convoiului;

- u. de la ora **09:49:24** până la ora **09:50:10** pe un spațiu de 575 metri trenul a atins viteza de 63,129 km/h, după care viteza rămâne constantă până la ora **09:50:16**, timp în care a parcurs 118 metri;

**CONCLUZIE:** efortul electric de tracțiune aplicat pe motoarele trenului a dus la creșterea vitezei convoiului;

- v. de la ora **09:50:16** până la ora **09:50:26** viteza scade până la valoarea de 44 km/h timp în care a parcurs 152 metri;

**CONCLUZIE:** viteza convoiului a scăzut ca urmare a pierderii alimentării cu tensiune de la linia a treia;

- w. de la ora **09:50:26** până la ora **09:50:28** viteza scade brusc de la 44 km/h la 26,156 km/h pe un spațiu de 19 metri, aceasta fiind ultima înregistrare memorată de echipamentele trenului;

**CONCLUZIE:** viteza convoiului a scăzut brusc ca urmare a lovirii parapetului opritorului fix al liniei nr.8.

#### **C.4.4.3. Constatări efectuate la TEM nr.1323-2323**

La data de 21.02.2019 comisia de investigare a efectuat probe și verificări care să reconstituie mediul operațional cu activitatea de manevră de la data producerii incidentului (un LDH cuplat cu un TEM BM3-CAF nr.1323-2323, cu cabina activă, pe o zonă cu alimentare din șina a treia). Cu această ocazie s-a constatat că la manevrarea prin tragerea, peste o zonă alimentată cu energie electrică din șina a treia, cu locomotiva LDH cuplată S.TEM nr.2323 a cărei cabina R2 era activă, la viteza de aproximativ 13 km/h s-a produs intrarea în acțiune a frânei electrodinamice, viteza scăzând până în jurul valorii de 5 km/h. După oprirea convoiului și inversarea sensului de deplasare (manevra prin împingere), la viteza de aproximativ 13 km/h s-a produs creșterea necomandată a vitezei convoiului ca urmare aplicării unui efort de tracțiune pe motoarele TEM.

**CONCLUZIE:** logica software a TEM nr.1323-2323 a avut un comportament identic cu cel al TEM nr.1322-2322 implicat în incidentul produs.

#### **C.4.4.3. Constatări efectuate la TEM nr.1303-2303**

La data de 07.11.2019 comisia de investigare a efectuat probe și verificări cu o locomotivă LDH cuplată la cabina activă a S.TEM nr.1303, manevra fiind efectuată pe o zonă cu alimentare din șina a treia, cu manipularea instalațiilor din cabină activă în aceleași poziții ca și în cazul incidentului produs la data de 26.01.2019. Cu această ocazie s-a constatat că la manevrarea prin tragerea cu locomotiva LDH cuplată S.TEM nr.1303 a cărei cabina R1 era activă, la viteza de aproximativ 13 km/h s-a produs intrarea în acțiune a frânei electrodinamice viteza scăzând până în jurul valorii de 5 km/h. În timpul acestei mișcări sensul de deplasare înregistrat de TEM a fost "Backward" cu toate că trenul se deplasa în direcția cabinei active R1. După oprirea convoiului, dezactivarea cabinei R1 și activarea cabinei R2, la manevra prin împingere efectuată cu locomotiva LDH, în sensul cabinei R2, la atingerea vitezei de aproximativ 9 km/h s-a produs intrarea în acțiune a frânei pneumatice urmată de oprirea convoiului. Intrarea în acțiune a frânei pneumatice s-a făcut în condițiile în care frâna de serviciu (formată din frâna pneumatică și electrodinamică) era izolată. În timpul acestei mișcări sensul de deplasare înregistrat de TEM a fost "Forward".

**CONCLUZIE:** logica software utilizează ca referință pentru sensul de mers doar cabina R2;

**CONCLUZIE:** logica software a TEM nr.1303-2303 în regimul de remorcare are un comportament diferit în funcție de cabina care este activă. Atunci când este activată cabina R1 la viteza de aproximativ 13 km/h se produce frânarea electrodinamică iar când se activează cabina R2 la viteza de aproximativ 9 km/h se produce frânarea pneumatică a trenului.

## **C.5. Interfața om-mașină-organizație**

### **Interfața om – mașină**

Producerea incidentului care a avut loc în data de 26.01.2019 la DsB a avut la bază o funcționare inadecvată în logica software, fiind influențată de insuficienta definire a sarcinii de muncă.

La data de 26.01.2019 activitatea s-a desfășurat în contextul unor condiții meteo deosebite, care au constat în precipitații abundente sub formă de chiciură, care s-au depus pe linia de contact, ceea ce a schimbat felul în care era organizată activitatea de manevră în mod curent.

Felul în care a fost organizată activitatea de manevră, care presupunea remorcarea TEM cu o locomotivă LDH, coroborat cu prevederile din [NI.5], secțiunea 5 *Operarea în Regim de urgență capitolele 5.10.3 Cuplarea cu Locomotiva de Manevră și 5.10.4 Operarea cu o Garnitură Cuplată*, care permit remorcarea unui tren BM3 activ precum și faptul că în acest caz, garnitura remorcată nu aplică niciun fel de tracțiune sau efort de frânare, a indus celor doi mecanici din posturile vehiculului TEM convingerea că sarcina lor se va limita la supravegherea activității, fără a interveni în fapt în realizarea acesteia. Operatorii au fost surprinși de reacția vehiculului și au avut convingerea că viteza convoiului de manevră este imprimată de acțiunea LDH. Creșterea necontrolată a vitezei convoiului de manevră a reprezentat o situație impredictibilă, care a depășit puterea lor de înțelegere în contextul în care nu aveau construit un model mental despre acest mod de lucru al vehiculului.

Impredictibilitatea situației, convingerea că deplasarea convoiului de manevră este imprimată de LDH, și timpul scurt în care TEM a funcționat necontrolat, nu a permis operatorilor umani să ia măsuri pentru frânarea vehiculului TEM care ar fi permis reducerea consecințelor incidentului.

### **Interfața om – organizație**

Activitatea de manevră s-a desfășurat respectând prevederile Ghidului operativ de intervenție la trenurile tip BM3-CAF, ghid elaborat de Metrorex SA pe baza informațiilor din Manualul Mecanicului elaborat de către CAF și a experienței în exploatarea acestor tipuri de vehicule. Existența unor zone insuficient acoperite și lipsa de claritate din Manualul Mecanicului privind felul în care trebuie organizată remorcarea TEM, în cadrul activității de manevră ale acestora cu ajutorul locomotivelor LDH, au influențat producerea incidentului.

## **C.6. Evenimente cu caracter similar**

Anterior producerii acestui incident nu au fost înregistrate evenimente cu caracter similar.

## **D. ANALIZĂ ȘI CONCLUZII**

### **D.1. Descrierea finală a lanțului de evenimente**

Din analiza datelor, informațiilor și declarațiilor părților implicate în incidentul feroviar analizat prezentate în detaliu în capitolul **C. ÎNREGISTRAREA INVESTIGAȚIEI**, comisia de investigare a constatat că producerea incidentului a fost o urmare a apariției evenimentelor produse anterior și redate în mod cronologic:

#### **A. punerea în funcțiune a vehiculului TEM nr.1322-2322 cu serviciile de siguranță inițiate și validate din cabina activă nr.2322.**

Așa cum s-a specificat la capitolul „C.4.4.2. Constatări tehnice la TEM nr.1322-2322”, mecanicul a pus în funcțiune TEM prin introducerea cheii și comutarea acesteia în poziția pentru activarea cabinei S.TEM nr.2322. Acțiunea mecanicului a fost necesară pentru deplasarea vehiculului din locul de remizare (garare) în fața semnalului X8H de la linia 8H din DSB. După terminarea deplasării TEM și decuplarea de la linia de contact, vehiculul a rămas activ prin intermediul sursei de alimentare a acumulatorilor necesar pentru efectuarea operațiunii de cuplare cu LDH.

#### **B. manevrarea vehiculului TEM nr.1322-2322 cu locomotiva LDH**

După cuplarea locomotivei LDH cu TEM nr.1322-2322 la capătul S.TEM nr.2322 și coborârea pantografelor, butonul „Izolare ATP” a fost manipulat în poziția ON și au fost izolate din panoul



TCMS, frânele de serviciu și de parcare. La ora 09:33:45 convoiul format din cele două vehicule a început să se deplaseze în direcția stației de metrou Dimitrie Leonida.

**C. activarea de către TCMS a cerinței de frânare a trenului**

La depășirea vitezei de 6 km/h, semnalul **TrBr\_Demand** trece din starea "0" în "-100", cerință care rămâne activă până la producerea incidentului.

**D. comutarea butonului "Izolare Tracțiune/Frânare" din poziția OFF în poziția ON**

După punerea în mișcare a convoiului, s-au produs două frânări de urgență (frâna electromagnetică), ca urmare a intrării în acțiune, fără o avertizare sonoră prealabilă, a dispozitivului om mort. Pentru evitarea producerii altor frânări de urgență, la ora 09:43:58 mecanicul a comutat butonul „Izolare Tracțiune/Frână” din poziția OFF în poziția ON fiind activată și condițiile de tracțiune.

**E. rularea pe o zonă cu șina a treia alimentată cu tensiune a TEM nr.1322-2322 pusă în funcțiune**

Începând cu intrarea în tunel, remorcarea TEM s-a efectuat pe o zonă în care exista șina a treia ce era alimentată cu tensiune de 750V. Această deplasare a convoiului s-a făcut prin tragerea TEM nr.1233-2322 din DSB către stația Dimitrie Leonida, cabina activă fiind orientată în direcția de deplasare. Faptul că vehiculul, pus în serviciu, a intrat pe o zonă alimentată cu tensiune din șina a treia, a dus la alimentarea cu energie electrică a trenului și la posibilitatea utilizării de către logica software a TEM și a frânei electrodinamice.

**F. deplasarea TEM în sensul opus cabinei active**

În vederea introducerii vehiculului TEM în DsB, în stația Dimitrie Leonida a fost necesară inversarea sensului de deplasare al convoiului. Astfel după schimbarea postului de conducere a locomotivei LDH s-a început împingerea TEM în sensul opus cabinei R2 care a rămas în continuare activă. Obligatorietatea schimbării cabinei active la schimbarea sensului în care se efectuează manevra nu este precizată în [NI.5].

**G. prelucrarea inadecvată în logica software a informațiilor colectate de la senzorii și aquatoarele TEM**

După schimbarea sensului de deplasare în stația Dimitrie Leonida, la deplasare trenului în sens opus cabinei active R2, sensul înregistrat a fost "Forward" (ca și în cazul în care trenul s-a deplasat în sensul cabinei active R2). Cu toate că sistemul de tracțiune TCU a sesizat rotirea roților în sens invers sensului dat de cabina activă R2 și a înregistrat cod alarmă "Atenție detectarea rotirii roților în sens invers", acest avertisment a fost ignorat de logica software considerând prioritar sensul înregistrat de cabina activă R2, sens care nu corespundea cu mișcarea reală a trenului.

Astfel la atingerea vitezei de aproximativ 13 km/h, logica software-ului a utilizat ca referință sensul impus de cabina activă, cu prioritate față de sensul citit de la senzorii boghiurilor (sensul real de deplasare), fapt ce a condus la aplicarea câmpului statoric în sensul tracțiunii vehiculului și implicit la accelerarea TEM BM3-CAF.

## **D.2. Interpretare și analiză**

La data de 26.01.2019, TEM nr.1322-2322, trebuia deplasat de la DSB la DsB. De la ieșirea din DSB și până la intrarea în tunel alimentarea trenurilor se face prin intermediul liniei de contact care este expusă mediului extern. Având în vedere că la data 26.01.2019 au fost condiții meteo deosebite, ce au constat în căderi abundente de precipitații sub formă de chiciură, care s-au depus pe linia de contact, aceasta a devenit inutilizabilă pentru alimentarea trenului. În aceste condiții a fost necesar ca deplasarea TEM nr.1322-2322 să se facă în stare remorcată cu o locomotivă tip LDH.

Această activitate presupunea operațiunea de cuplare a vehiculului TEM nr.1322-2322 în stare activă cu o locomotivă LDH, care s-a efectuat de către salariații din activitatea de exploatare în conformitate cu prevederile din [NI.5], secțiunea 5 "Operarea în Regim de Urgență" capitolul 5.10.3 *Cuplarea cu Locomotiva de Manevră*. Conform prevederilor de la capitolul 5.10.4 *Operarea cu o*

Garnitură Cuplată din [NI.5] s-a stabilit că viteza maximă de remorcare este de 40 km/h precum și faptul că, garnitura remorcată nu aplică niciun fel de tracțiune, sau efort de frânare.

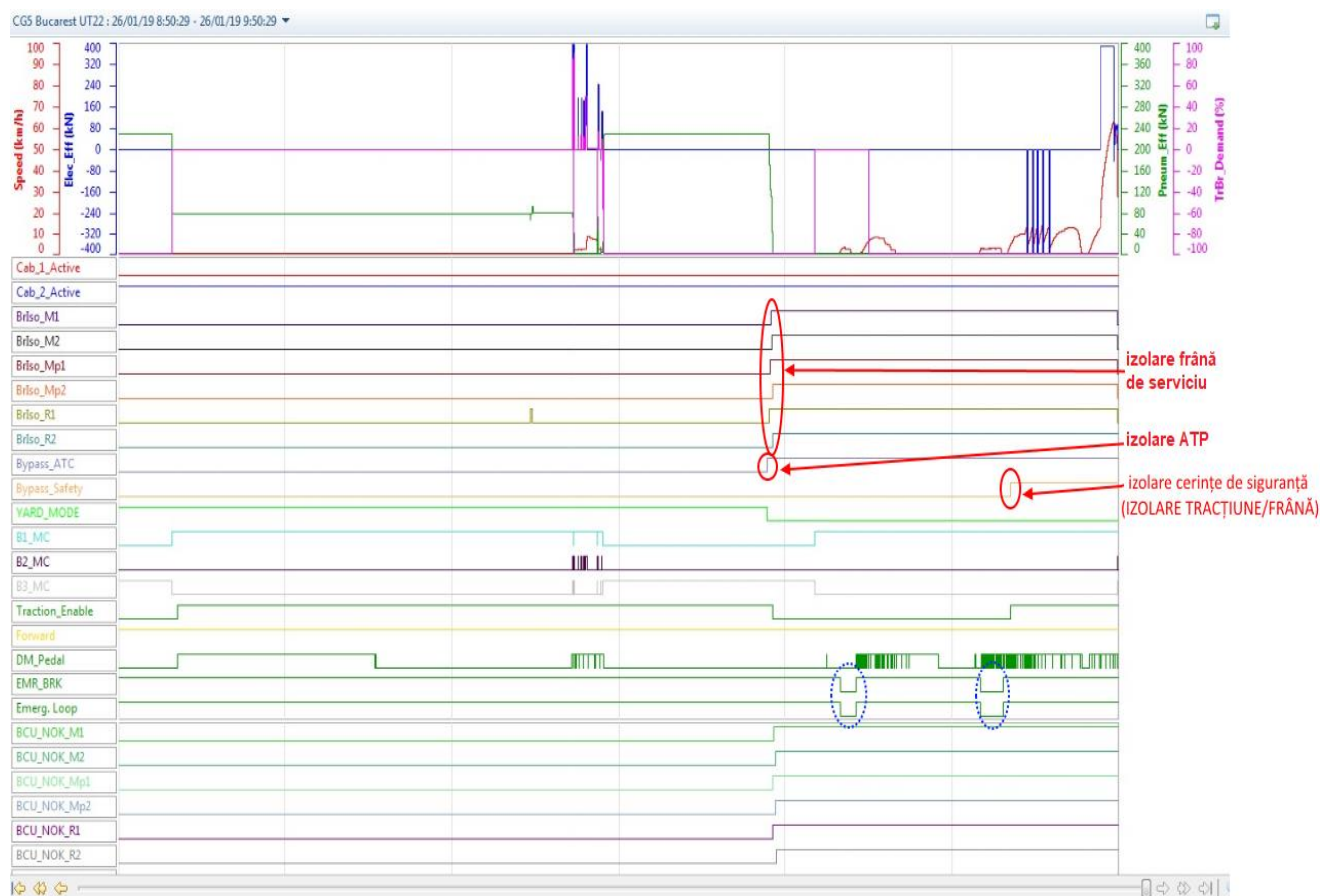


fig.20 – înregistrările acțiunilor operatorului uman

La ora 08:44:32, odată cu introducerea cheii și activarea cabinei S.TEM nr.2322, logica software-ului vehiculului a stabilit ca referință cabina R2, respectiv sensul "FORWARD" în direcția cabinei R2. Odată stabilit sensul de operare al TEM BM3-CAF, după manevrarea în poziția „MAN” a comutatorului de stabilire a modului de operare și ridicarea pantografului, în conformitate cu tabelul modurilor de operare precizat la pozițiile 4 și 5 din capitolul **B.2.3.7. Operarea vehiculului**, a permis TEM deplasarea în baza comenzilor primite de la MC până în fața semnalului X8H unde a fost oprit în vederea cuplării cu locomotiva LDH.

După cuplarea locomotivei LDH cu TEM nr.1322-2322 la capătul S.TEM nr.2322, care era activ și coborârea pantografelor, butonul „Izolare ATP” a fost manipulat în poziția ON și au fost izolate din panoul TCMS, frânele de serviciu și de parcare.

Comutarea butonului „Izolare ATP” în poziția ON a fost necesară deoarece manevra urma să se efectueze cu trenul activ pe o secțiune controlată de ATC, iar locomotiva LDH, aflată în fața TEM ar fi cauzat comandarea frânării de către sistemul ATP al trenului. Izolarea frânelor de serviciu și de parcare, (operație prevăzută și în [NI.5] la cap.5.10.3.1) a fost necesară pentru defrânarea trenului.

Această acțiune a fost în concordanță și cu prevederile din [NI.7] întocmit de METROREX, care recomandă, ca în cazul remorcării unui tren tip BM3-CAF cu bateriile de acumulatori conectate, de către o locomotivă LDH, în vederea acoperirii tuturor defectelor ce pot apărea la tren, comutarea butoanelor "Izolarea ATP", "Izolare Tracțiune/Frână", "Izolare pedală Om Mort" în poziția "ON", precum și izolarea frânei de serviciu la toate vagoanele trenului prin intermediul comenzilor virtuale din ecranul TCMS.

După comutarea butonului „Izolare ATP” în poziția ON, schema logică a gestionării comenzii de tracțiune și frânare, valabilă pentru deplasarea vehiculului în condiții normale, se transformă în cea detaliată din fig.21. Astfel prin inhibarea sistemului ATC îmbarcat și poziționarea MC în poziția neutră, vehiculul nu va mai primi ordine generatoare pe care unitățile TCU și BCU să le poată

executa prin intermediul logicii software, în schimb senzorii TEM sunt comunicați CCU care poate dispune comenzi software acuatorilor BCU și TCU. Izolarea din panoul TCMS a frânelor de serviciu de pe fiecare vagon a condus la numai la anularea frânei pneumatice a TEM, fără anularea frânei electrodinamice care este parte componentă a frânei de serviciu.

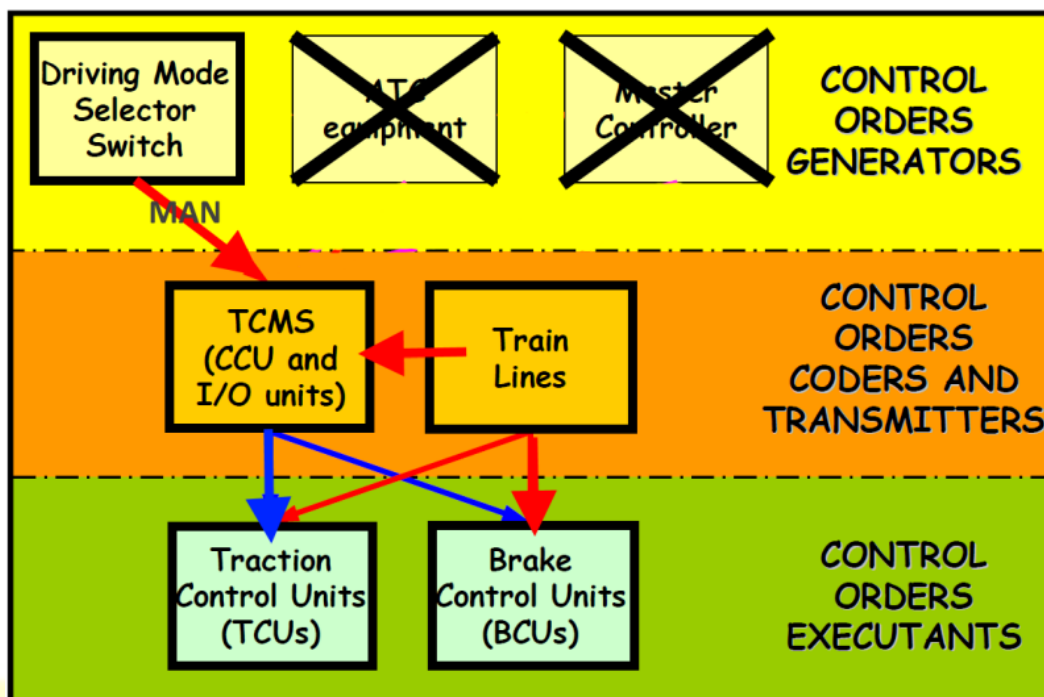


fig.21 – schema logică a gestionării comenzii de tracțiune și frânare al vehiculului CAF nr.1322-2322 după operațiunile în vederea remorcării

După punerea în mișcare a convoiului s-au produs două frânări de urgență generate de intrarea în acțiune a dispozitivului om-mort, fără o avertizare sonoră prealabilă și ca urmare a necorelării apăsării pedalei de supraveghere de către mecanic cu punerea în mișcare a convoiului. Conform schemei prezentate în *Figura 4-1 Secvența dispozitivului om mort* din [NI.5], în cazul în care viteza trenului este mai mare de 0 km/h și nu a fost apăsată pedala, după trecerea a 3 secunde trebuia să sune BUZER-ul, iar abia după trecerea a încă trei secunde să se producă frânarea de urgență. Cu ocazia probelor efectuate după producerea incidentului, cu alte trenuri BM3-CAF, s-a constatat că, după punerea în mișcare trenului se produce frânarea de urgență ca urmare a intrării în acțiune a dispozitivului om mort fără o avertizare sonoră prealabilă, fapt ce nu corespunde schemei logice de funcționare prezentate în [NI.5] la capitolul 4.4.6 *Operarea Dispozitivului de Supraveghere a Mecanicului*.

Acest mod de funcționare inadecvat a dispozitivului om mort, a creat o incertitudine mecanicului, referitor la cauza producerii frânărilor de urgență, iar pentru evitarea producerii altor frânări la ora 09:43:58, mecanicul a comutat butonul „Izolarea tracțiune/frână” din poziția OFF în poziția ON, ducând la ocolirea buclei de siguranță și a celei de urgență. Justificarea acestei acțiuni este prevăzută în [NI.5] la capitolul 5.3.2 *Buclea de urgență*, care precizează:

*”În cazul unei defecțiuni la oricare dintre componente, mecanicul poate anula bucla de urgență punând comutatorul IZOLARE TRACT./FRÂNĂ (33S02) din cabina activă în poziția ON.”*

Acționarea comutatorului IZOLARE TRACT./FRÂNĂ a avut ca rezultat *”ocolirea simultană a buclelor de tracțiune, de siguranță și de urgență”* și comutarea semnalului digital ”Traction Enable” din starea ”0” (avut de la izolarea din TCMS a frânelor de serviciu și parcare) în starea ”1”.

**CONCLUZIE:** semantic, acționarea comutatorului IZOLARE TRACT./FRÂNĂ ar fi trebuit să conducă și la izolarea tracțiunii. În fapt s-a produs comutarea semnalului digital ”Traction Enable” din starea ”0” în starea ”1”, ducând la activarea permisului de tracțiune, cu toate că frânele de serviciu au rămas izolate.



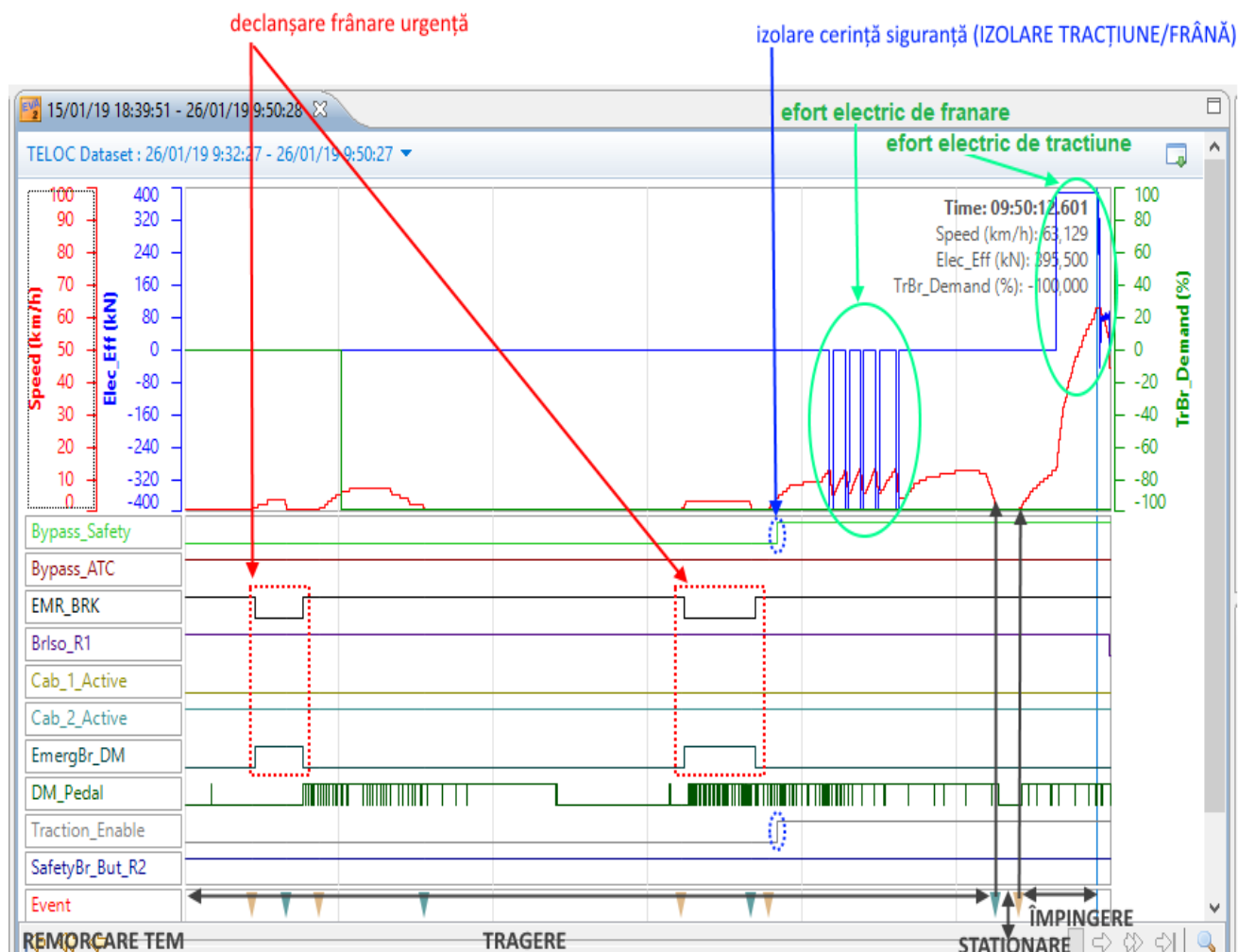


fig.22 – detaliu din înregistrările în TCMS cu acțiunile operatorului uman

Anterior comutării butonului „IZOLARE TRACȚIUNE/FRÂNĂ” din poziția OFF în poziția ON, la atingerea vitezei de 6,009 km/h înregistrările vehiculului au consemnat trecerea semnalului **TrBr\_Demand** din starea ”0” în ”-100%”, ceea ce reprezintă o cerere de frânare maximă.

Prin ocolirea cerinței ATP a TEM BM3-CAF, sistemul COSMOS din TCMS a devenit singurul responsabil să efectueze controlul vitezei trenului și odată cu izolarea a minim patru frâne de serviciu, sistemul COSMOS a stabilit viteza limită **PLC\_Speed\_Limit** la valoarea de 0 km/h (FT\_MODALO\_DEGRADED4). La deplasarea TEM în stare remorcată în sensul cabinei R2 activă, viteza PLC (viteza trenului) a devenit  $PLC\_Speed\_Limit + 6\text{Km/h}$ , iar la depășirea acesteia, COSMOS a comandat o solicitare de frânare de 100%, ( $TrBr\_Demand = -100\%$ ). Această cerință de frânare a fost menținută până la momentul producerii incidentului.

Cum solicitarea frânării electrodinamice este aplicabilă numai peste viteza de 13km/h (vezi funcția de fading) rotația osiilor boghiurilor motoare ale vehiculului a fost permisă de logica TEM deoarece acesta avea o viteză mult inferioară pragului și nu era poziționat pe zona de alimentare cu tensiune pentru a se putea comanda și controla cuplul statoric al motoarelor electrice.

La intrarea convoiului în tunel și întrunirea condițiilor de viteză peste 13km/h, respectiv alimentarea TEM din șina a treia, s-a produs intrarea în acțiune a frânei electrodinamice a TEM, efortul electric de frânare înregistrat fiind de -400 KN, după care viteza a scăzut rapid sub 5 km/h, moment în care efortul de frânare a devenit zero. În această situație câmpul statoric a fost orientat în sens opus tracțiunii vehiculului și a avut ca efect frânarea trenului.

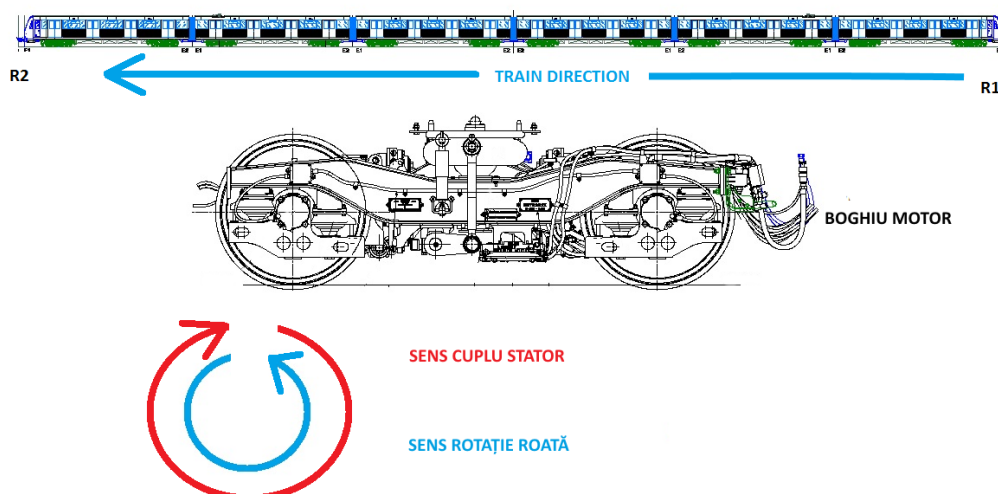


Fig.23 – rotația roților, respectiv a câmpului statoric a TEM de tip BM3-CAF pusă în funcție, la mișcarea prin tragere

După aceasta, viteza convoiului a început să crească, ca urmare efortului de tracțiune al locomotivei LDH, până la viteza de aproximativ de 13 km/h, fenomen care s-a repetat încă de patru ori până la sosirea convoiului în stația Dimitrie Leonida, circuitul fiind cel precizat în fig.24.

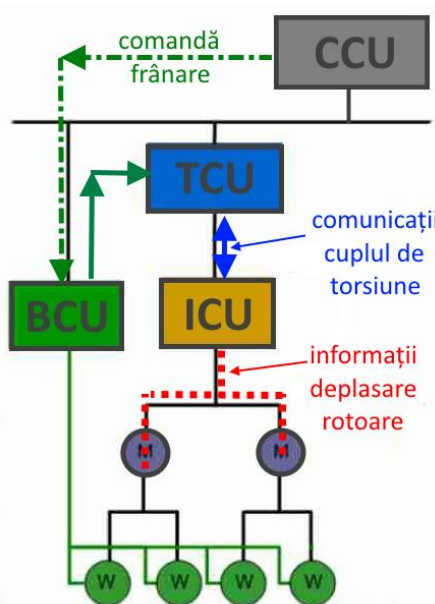


fig.24 – comunicațiile dintre echipamente ale TEM nr.1322-2322

Pentru operativitate, după sosirea convoiului în stația Dimitrie Leonida, a fost menținută activă cabina semitrenului nr.2322, iar manevra s-a efectuat prin împingere în baza comunicărilor transmise de către mecanicul aflat în cabina S.TEM nr.1322.

Singurul sistem de frânare rămas operațional a TEM BM3-CAF, a fost cel electrodinamic prin intermediul motorului electric. Așa cum s-a precizat la capitolul **B.2.3.2. Sistemul de propulsie a TEM, controlul motorului electric** se realizează prin generarea unui cuplu de torsiune al cărui semn și valoare absolută este calculată de TCU în funcție de valorile intrărilor, cabina activă și sens, unitatea controlul motorului electric cunoscând permanent vectorul magnetic al rotorului. Pentru a răspunde comenzilor date de CCU unitatea de control al motorului a calculat vectorul magnetic al statorului necesar pentru a se conforma cu solicitarea transmisiei de cuplu necesar reglării vitezei trenului pentru frânare. Astfel, ICU a citit valoarea vitezei (cu care locomotiva LDH împingea trenul) de la proprii senzori de viteză luând în considerare valoarea cea mai mare a vitezei pentru frânare, care înmulțită cu raza roții pentru a se obține viteza lineară (în m/sec) a cărei valoare ICU o trimite

prin magistrala de date către **TCU** care la rândul său a calculat *histerezisul de fading*. Cum sistemul de frânare pneumatic a fost inhibat din TCMS a HMI, aceasta nu a putut acționa asupra TEM până la viteza de aproximativ 13km/h, când software-ul comanda sistemul de frânare electrodinamică.

După parcurgerea unui spațiu de 95 metri, ora 09:49:24, la atingerea vitezei de 13,433 km/h software-ul TEM a calculat *valoarea absolută* a cuplului conformă cu cerința de frânare comandată de CCU, dar pentru *semnul* cuplului, TCU a calculat un **răspuns fals**<sup>1</sup> luând în considerare valorile intrărilor, cabina activă (care era în senul opus mișcării de remorcare) și sensul (real citit), în care vectorul magnetic al rotorului inițial a fost nul (MC în poziție neutră), semnul fiind cel precizat în fig.25. Această logică a software-ului prin care referința cabinei active a fost prioritară sensului citit de la senzorii boghiurilor a condus la orientarea câmpului statoric în sensul tracțiunii vehiculului, ce a avut ca rezultat înregistrarea unui efort electric de tracțiune de +395 KN și accelerarea TEM BM3-CAF.

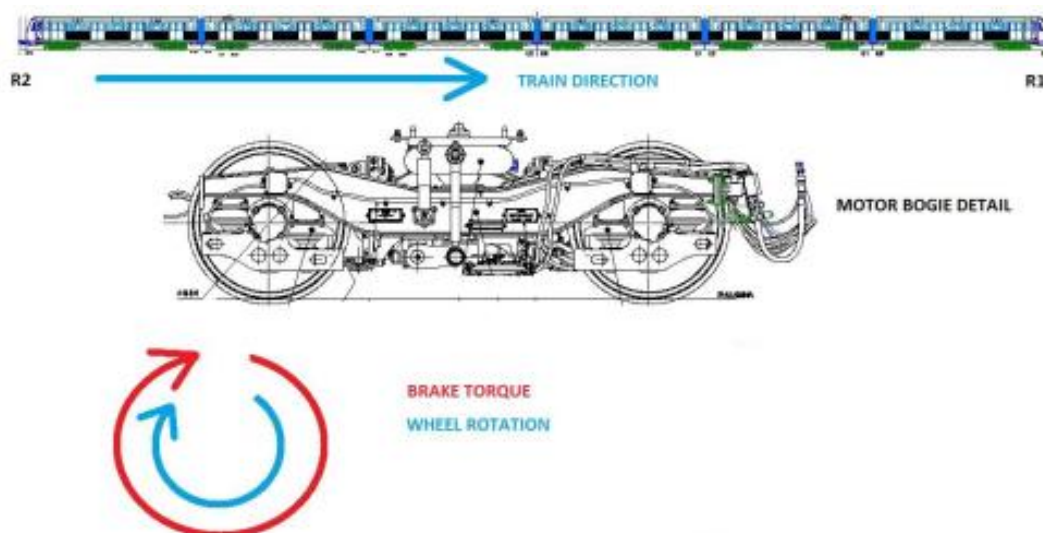


fig.25 – rotația roților, respectiv a câmpului statoric a TEM de tip BM3-CAF pusă în funcție, la mișcarea prin împingere

Personalul care conducea și deservea locomotiva LDH aluat măsuri de frânare a convoiului prin acționarea frânelor locomotivei LDH, dar viteza a crescut în continuare atingând valoarea maximă de 63,129 km/h.

Personalul aflat pe TEM nr.1322-2322 a considerat că această creștere a vitezei s-a datorat locomotivei LDH și au solicitat mecanicului acesteia să i-a măsuri de frânare. Mecanicul de pe LDH a solicitat la rândul său frânarea trenului de către personalul aflat pe TEM. Convingerea mecanicilor, că această creștere a vitezei se datorează locomotivei LDH și nu trenului TEM a fost motivată de faptul că:

- MC era în poziția neutră (nu comanda nici tracțiune și nici frânare);
- toate frânele trenului erau izolate din TCMS;
- toate sistemele de siguranță ale trenului (ATP, Tracțiune/Frânare) erau izolate;
- prevederile din [NI.5], secțiunea 5 *Operarea în regim de Urgență* punctele 5.10.3 *Cuplarea cu Locomotiva de Manevră*, 5.10.4 *Operarea cu o Garnitură Cuplată*, permit remorcarea unui tren BM3 activ precum și faptul că în acest caz, garnitura remorcată nu aplică niciun fel de tracțiune sau efort de frânare.

Personalul aflat pe TEM nr.1322-2322, în timpul scurt scurs de la accelerarea trenului până la producerea impactului, nu a acționat butonul frânei de siguranță.

<sup>1</sup> răspuns fals – răspuns al echipamentului care conduce la un accident/incident feroviar (răspunsul eronat nu conduce decât la o restricționare a activității de exploatare)



De la valoarea de 63,129 km/h viteza a început să scadă iar convoiul a circulat pe parcursul efectuat la linia nr.8 din DsB, a lovit violent parapetul opritorului fix al liniei după care S.TEM nr.1322 a deraiat.

De la ora 09:50:28 de la viteza de 26,156 km/h, urmare impactului produs, nu mai există înregistrări.

**CONCLUZIE:** *imposibilitatea adaptării vitezei convoiului la spațiul rezervat manevrei a fost generată de creșterea necomandată a vitezei vehiculului TEM nr.1322-2322, produsă prin aplicarea unui efort electric de tracțiune pe electromotoarele trenului ca urmare a logicii inadecvate a software-ului, care a utilizat ca referință sensul impus de cabina activă a TEM și a ignorat sensul real de deplasare al vehiculului.*

### **D.3. Concluzii**

#### ***D.3.1. Direct cause and contributing factors***

*The direct cause* of the incident was the un-controlled increase of the speed of TEM no.1322-2322, generated by the application of an electric traction effort on the train electromotors, it generating the impossibility to adapt the speed of the rake of vehicles at the distance line for shunting.

*The contributing factors* was the improper processing in the software logic of the next information:

- use like reference only of the sense imposed by the active driving cabin R2 of TEM. The software logic according which the reference of the active driving cab was priority for the reading sense from the bogie sensors led to the wrong interpretation of the real moving sense of TEM.
- wrong working of the device dead man in hauling condition, missing a sound warning before an emergency brake application, it being not in accordance with the digram of operation in the Driver Manual at chapter 4.4.6 *Operation of the Driver Surveillance Device*;
- keeping in operation of the electric brake, when the service brake being off from the panel TCMS. With the isolation from TCMS of the service brake (consisting in the electric brake and the pneumatic one), made by the human operator, the electric brake was not isolated.

#### **D.3.2. Underlying causes**

None.

**D.3.3. Root cause** was the lack in the vDriver Manual of some proper regulations regarding the working in hauling conditions of a rake of vehicles type BM3-CAF with a shunting locomotive.

### **D.4. Additional remarks**

**D.4.1. Remark no.1:** The investigation commission found out that although the metro transport is a railway activity, there is no national reference document that stipulates the design, construction and performance requirements, as well as the standards for testing the equipments from the composition of the metro infrastructure and vehicles running on it, of railway type (Regulations for the Technical Operation). For new projects or for their maintenance, the authority responsible should have a list of the national applicable instruments, that regulate the basic issues of safety and security for vehicles, infrastructure and passenger travelling, like *safety management, means of intervention and saving passengers, traffic safety, radiocommunications, fires fights, electromagnetic compatybility*, etc., that should be updated with regularity and that be reference for all local administrations that wish to promote investments in the underground passenger transport. The main ojective of this document has to be the that of specifying the conformity standards for the construction, endowment and operation of the metro transport in a compatible way with their safety, where the passenger security prevail.

**D.4.2. Remark no.2:** For automatic safety critical systems that run complex tasks in the operation activity and are based on processes controlled by the software (vehicles, instalations of command and control, etc), they have to meet the safety and security requirements for the dissemination of the confidence within the passengers and users of the metro and railway transport. The command and control both of some technical systems and of the railway product made upon the microprocessor technology are programmable systems thorough a software, that imposes the need to meet with the safety field standards, in order to ensure that the system or the product is safe and viable. In practice, all the equipments, of different sizes, that comply with certain specific task are associated, consisting so called machine. The programm for the command and control of the machine (software) conects a set distributed by technical systems (controllers) and sensors in order to run repeatedly a certain task, according to requirement of human operator intervention. This software is used like an engine for decision making in the automatic complete processes and consists in a series of algorithms that have effect on a certain type of control on the machine, being a specific condition. In most part of the applications of command and control of the machine, the data are sent to it by sensors system, and the machine uses these data, combines them with the operator action, determines a certain condition and runs an algorithm predefined for condition.

In the railway and metro transport the single requirement of conformity for the use of the software at the railway critical products is [NR.5], that stipulates that the railway product is any „*software for the rolling stock, running track, railway signalling, power supply, control and command of the railway traffic (...)*” (according art.8 from the annex no.2), and has to be homologated. No matter how elaborated a software for command and control of a railway vehicle can be, in order to increase the confidence in this, the manufacturer has to meet with all the safety field standards, so ensuring that it is safe and reliable, and in order to introduce it on the market, the field authority has to use the practice from the quality management system: certification in accordance with the standards.

**D.4.3. Remark no.3:** The requirement to use the automatic safety critical systems for running tasks more and more complex increased continously in the railway field, but, at the same time, the manufacturers have to be concerned also about the technical limits and constraints in the independence these systems can or have to run their tasks. In the curent railway industry, the products and processes based on software are designed routinely, based on the technical aknowledge got in other fields. To work with elements known is a simple activity where the behaviour of the technical system can be anticipated, but it is fully justified to state that the software became a constituent of the critical safety systems, the human factors being, it itself, like an important component in their creation and use (fuctioning). The posibilities to integrate the human factor in a certain critical safety system based on software, these depend on its capacity to decide on the share for the processing of the information resulted from the respective system.

The human factor complies with the functions from the technical context in real time, the quality and the speed of answer in time (that is its performances), depending on the precision of estimation the time available for the running of the respective operations, especially in the situations with high risks. In these cases, the term „*operation*” includes: processing of the information received from stimulus, finding/awareness of the risk situation, making the decision and carrying out of the necessary actions on the critical safety system in order to eliminate the risk situation. For the human being to make a mistake is something natural, being one of the important components of the learning process based on the experience getting from mistakes, the human factor learning more from errors and less from successes. Generally, after a vehicle answer, non-anticipated by the driver, this has anxiety feelings, like a negative atitude against the critical safety system, this atitude inhibiting the learning process and the performance, increasing in a such way the error rate and cascade intensification of the anxiety, reaching the stress condition. In this situation, the stress factors become decisive in the allocation of the resources and driver attention payment, and it is important that he be prepared for the critical situations anticipated on a simulator, in order to decrease the stress. Upon it, the idea is that, it is very important to use the training of the human operator, in order to integrate into the technical context, the simulation thorough the involvement in the virtual realities, being appropriate the training using a simulator. The investigation commission found that the drivers of the metro trasins are not trained for the critical situations, that the engineers simulate on equipments

similar to the vehicle interface on which they work, in order to see their response and maybe to rectify the inconsistent actions. This type of training for the user of a modern vehicle becomes very necessary as a critical safety system has an elaborated software and as the uncertainty degree of its answer is not properly controlled by the manufacturer.

### **D.5. Measures taken**

After the incident, on the 16th April 2019, in order to avoid some similar events, the management of the TEM Operation Depot issued an Order no.M.06.605.02/3866/16.04.2019 disposing that the hauling of the trains type BM3-CAF with shunting locomotive type LDH be made only with the train accumulators disconnected.

### **E. SAFETY RECOMMENDATIONS**

Considering the findings following the investigation, the commission recommends that for reducing the risk of occurrence and preventing some similar incidents, that in slightly different conditions can lead to serious accidents, Romanian Railway Safety Authority-ASFR ask:

- *METROREX take care that the manufacturer TEM BM3-CAF shall re-assess the vehicle software, so it ensures a proper safety level, including in case of its operation by hauling;*
- *METROREX takes care that the manufacturer TEM BM3-CAF shall added in the Driver Manual with the operations needed to be performed during the operation in hauling condition, if the rake of vehicles type BM3-CAF is coupled at a shunting locomotive.*

\*

\*      \*

*Prezentul Raport de Investigare se va transmite Autorității de Siguranță Feroviară Română-ASFR în calitate de autoritate de stat în domeniul transportului de călători cu metroul, SC TMB METROREX SA – operatorul de transport cu metroul proprietar al TEM BM3-CAF, CONSTRUCCIONES Y AUXILIAR DE FERROCARRILES SA Beasain, Spania – furnizor feroviar al TEM-BM3, ALSTOM TRANSPORT SA Romania – operator de întreținere al TEM-CAF BM3 și victimei incidentului feroviar.*