

**NORMATIV PRIVIND REALIZAREA ȘI URMĂRIREA  
ÎN TIMP A PROTECȚIEI STRUCTURILOR SUBTERANE  
ALE METROULUI, ÎMPOTRIVA CURENȚILOR DE  
DISPERSIE PRODUȘI DE CIRCULAȚIA  
TRENURILOR DE METROU**

**INDICATIV NE 017-03**

## **CUPRINS**

<b>1. Generalități</b> .....	173
1.1. Scop – domeniu de aplicare .....	173
1.2. Terminologie .....	174
<b>2. Prevederi cu caracter general</b> .....	177
<b>3. Reglementări privind realizarea protecției structurilor subterane ale metroului împotriva curenților de dispersie produși de circulația trenurilor de metrou</b> .....	179
3.1. Reglementări pentru faza de proiectare .....	179
3.2. Reglementări pentru faza de execuție .....	188
<b>4. Reglementări privind urmărirea în timp a protecției structurilor subterane ale metroului împotriva curenților de dispersie</b> .....	199
4.1. Întreținerea sistemului de protecție .....	199
4.2. Monitorizarea sistemului de protecție .....	200

### **ANEXE**

<b>Anexa A. Metoda de măsurare a conductanței per unitatea de lungime pentru calea de rulare</b> .....	207
--	-----

<b>Anexa B.</b> Metoda de măsurare al densităților de curent din solul din jurul tunelului (metoda gradientului de potențial) .....	210
<b>Anexa C.</b> Reglementări legislative și tehnice .....	212
<b>Anexa D.</b> Standarde .....	213
<b>Anexa E.</b> Normative .....	214
<b>Anexa F.</b> Standarde europene .....	215

<b>NORMATIV PRIVIND REALIZAREA ȘI URMĂRIREA ÎN TIMP A PROTECȚIEI STRUCTURILOR SUBTERANE ALE METROULUI, ÎMPOTRIVA CURENȚILOR DE DISPERSIE PRODUȘI DE CIRCULAȚIA TRENURILOR DE METROU</b>	<b>Indicativ NE 017-03</b>
---	--------------------------------

## **Cap. 1. GENERALITĂȚI**

### **1.1. Scop – domeniu de aplicare**

**1.1.1.** Prezentul normativ cuprinde prevederile cu caracter tehnic privind proiectarea și executarea mijloacelor de protecție a structurilor subterane ale metroului împotriva curenților de dispersie produși de sistemul de tracțiune al ramelor de metrou, precum și reglementări privind monitorizarea și întreținerea acestora, conform cu prevederile Legii 10/1995 privind calitatea în construcții.

**1.1.2.** Protecția structurilor subterane ale metroului împotriva coroziunii provocate de factori alții decât curenții de dispersie produși de sistemul de tracțiune al ramelor de metrou nu face obiectul prezentului normativ.

**1.1.3.** Prevederile prezentului normativ sunt obligatorii, în limitele stabilite de prevederile sale, și se aplică încă din faza de construcție a structurilor subterane ale metroului, precum și la structurile existente, acolo unde se menționează acest lucru.

**1.1.4.** Structurile subterane ale metroului ce fac obiectul prezentului normativ sunt tunelele, galeriile și stațiile de metrou.

**1.1.5.** La eventualele modificări care se efectuează asupra structurilor existente, aflate în exploatare, prevederile prezentului normativ sunt obligatorii numai dacă prin aceste modificări se înrăutățesc condițiile de protecție împotriva coroziunii datorate curenților de dispersie.

## 1.2. Terminologie

În scopul acestui normativ, sunt folosite următoarele definiții:

- 1. Cădere de tensiune în calea de rulare** – Diferența de potențial electric în diferite puncte ale căii de rulare ca urmare a circulației curentului de tracțiune
- 2. Centură principală de drenaj** – Circuit electric cu scopul de a conduce curenții de dispersie dintr-o structură din beton armat înspre bara negativă a sistemului electric de tracțiune
- 3. Conductanță** – Abilitatea unui circuit de a trece curent prin acesta. Valoarea este obținută prin raportul dintre curentul din circuit (în amperi) și tensiunea (în volți), și este exprimat prin unitatea de măsură numită Siemens
- 4. Conductivitate** – Conductanța per unitatea de lungime
- 5. Curent de coroziune** – Curentul electric care apare ca rezultat al funcționării pilei de coroziune
- 6. Curent de protecție** – Curentul proiectat să circule din mediul său electrolitic într-o structură metalică și care protejează catodic structura

- 7. Curent injectat** – Curent direct furnizat dintr-o sursă de alimentare externă, cu scopul de a proteja catodic o structură
- 8. Curenți de dispersie** – Curenți ce străbat alte căi decât cele pentru care au fost proiectați
- 9. Drenaj al curenților de dispersie** – Un mijloc electric prin care curenții de dispersie sunt îndepărtați din structură prin intermediul unui conductor
- 10. Drenaj polarizat** – Formă de drenaj al curenților de dispersie în care legătura între structura protejată și sistemul de tracțiune include un dispozitiv unidirecțional cum ar fi un redresor sau un releu și contactor
- 11. Electrode de referință** – Electrode cu un potențial stabil și reproductibil, care poate fi folosit ca referință pentru măsurarea potențialelor de electrode. Poate fi: electrode normal de hidrogen, electrode de calomel, electrode de clorură de argint, electrode de sulfat de cupru etc.
- 12. Electrode de referință (Cu/CuSO<sub>4</sub>, Cu<sup>2+</sup>)** – Un electrode de referință ce constă în cupru într-o soluție saturată de sulfat de cupru
- 13. Electrode de referință (Ag/AgCl, Cl<sup>-</sup>)** – Un electrode ce constă în argint îmbrăcat în clorură de argint într-un electrolit ce conține ioni de Cl<sup>-</sup>
- 14. Electrode de sacrificiu** – Electrodele la care are loc disoluția (coroziunea) metalului
- 15. Electrolit** – Mediu în care curentul electric este transportat prin ioni
- 16. Instalație de injecție de curent** – Redresor sau altă sursă de c.c. ce furnizează curent direct unei structuri protejate cu

- scopul de a realiza potențialul de protecție necesar
17. *Joantă de izolație* Joantă care întrerupe continuitatea electrică într-o structură, dar care nu afectează integritatea sa mecanică
18. *Monitorizarea sistemului de protecție* Totalitatea acțiunilor de urmărire în timp a sistemului de protecție
19. *Pasivare* Micșorarea vitezei de coroziune prin formarea unui strat pasiv
20. *Polarizarea electrodului* Modificarea potențialului de electrod
21. *Polarizare anodică* Deplasarea potențialului de electrod spre valori mai electropozitive
22. *Polarizare catodică* Deplasarea potențialului de electrod spre valori mai electronegative
23. *Potențial de electrod* Tensiune măsurată în circuitul extern între un electrod și un electrod de referință în contact cu același electrolit
24. *Potențialul structurii* Potențialul unei structuri raportat la acela al unui electrod de referință situat în electrolitul imediat adiacent structurii
25. *Protecție catodică* Protecție electrochimică obținută prin descreșterea potențialului de coroziune până la o valoare la care viteza de coroziune a metalului este semnificativ redusă
26. *Protecție electrochimică* Protecție anticorozivă realizată prin controlul electric al potențialului de coroziune
27. *Structură* Suprafață metalică în contact cu un electrolit

## Cap. 2. PREVEDERI CU CARACTER GENERAL

2.1. Proiectele de structuri subterane de metrou, precum și proiectele de instalații aferente acestora care pot da naștere la curenți de dispersie vor cuprinde în mod obligatoriu și măsurile prevăzute în acest normativ pentru protecția contra coroziunii datorate curenților de dispersie produși de circulația ramelor de metrou.

2.2. În proiecte se vor prevedea atât operațiile de verificare a instalațiilor de protecție, conform art. 3.2.14, 3.2.15 și 3.2.16, cât și cele de monitorizare a stării acestora, conform cap. 4.2.

2.3. Verificarea respectării prezentului normativ de către proiectant, cât și extern, de către specialiști avizați ai M.L.P.T.L.

2.4. Recepția lucrărilor de protecție împotriva coroziunii datorate curenților de dispersie se va face cu respectarea condițiilor tehnice și efectuând toate probele și verificările prevăzute la cap. 3.2.14, 3.2.15 și 3.2.16.

În cadrul asistenței tehnice, specialiștii proiectantului vor participa la toate probele și verificările menționate în proiecte.

La recepție vor participa și specialiștii desemnați din partea beneficiarului.

2.5. Se vor încheia procese verbale între constructorul structurii de beton (prin procesele verbale de lucrări ascunse încheiate la timpul respectiv), constructorul ansamblului căii de rulare și liniei de contact, substații electrice etc. precum și constructorul lucrărilor specifice pentru protecția împotriva coroziunii datorate curenților de dispersie (scurtcircuitări, prize de potențial, drenaje prin dispozitive de drenaj cu diode etc.) și beneficiar, asistați de proiectanții respectivelor lucrări specifice.

În cazul în care beneficiarul nu are în dotare aparatura specială de măsură și control utilizată la lucrările de protecție a tunelelor, galeriilor și stațiilor de metrou împotriva curenților de dispersie, aceasta va fi prevăzută în documentațiile tehnico-economice.

**2.6.** Se interzice recepționarea provizorie a tunelelor, galeriilor și stațiilor de metrou, fără lucrările de protecție împotriva coroziunii datorate curenților de dispersie produși de circulația ramelor de metrou.

La execuția tunelelor, galeriilor și stațiilor de metrou se va verifica corecta aplicare și execuție a măsurilor de protecție împotriva coroziunii datorate curenților de dispersie produși de circulația ramelor de metrou prevăzute în documentația tehnico-economică, întocmindu-se cu această ocazie între beneficiar și executant un proces verbal privind calitatea lucrărilor.

**2.7.** Se interzice recepționarea definitivă și punerea în funcțiune a tunelelor, galeriilor și stațiilor de metrou fără executarea lucrărilor de protecție împotriva coroziunii datorate curenților de dispersie produși de circulația ramelor de metrou prevăzute în proiecte.

**2.8.** Punerea în funcțiune a instalațiilor de protecție împotriva coroziunii datorate curenților de dispersie produși de circulația ramelor de metrou se va face odată cu punerea în funcțiune a tunelelor, galeriilor și stațiilor de metrou sau la cel mult trei luni de la darea acestora în exploatare.

**2.9.** Executanții lucrărilor de reparații sau revizii a tunelelor, galeriilor și stațiilor de metrou sunt obligați să fie dotați cu aparatura specială de măsură și control privind lucrările de protecție împotriva coroziunii datorate curenților de dispersie.

### **Cap. 3. REGLEMENTĂRI PRIVIND REALIZAREA PROTECȚIEI STRUCTURILOR SUBTERANE ALE METROULUI ÎMPOTRIVA CURENȚILOR DE DISPERSIE PRODUȘI DE CIRCULAȚIA TRENURILOR DE METROU**

#### **3.1. Reglementări pentru faza de proiectare**

Principalele cauze care conduc la apariția curenților de dispersie, și implicit a fenomenului de coroziune electrochimică a structurilor din beton armat ale metroului sunt:

- căderea de tensiune în calea de rulare;
- rezistența de izolație dintre șinele căii de rulare și structura de beton armat;
- existența unui mediu electrolitic de speța a II-a (beton umed) care favorizează propagarea acestor curenți într-un mediu ionic, și nu electronic.

**3.1.1.** În proiectele de instalații electrice aferente sistemului de tracțiune se va admite o cădere medie de tensiune în calea de rulare de 50 V/km.

**3.1.2.** Pentru micșorarea căderii de tensiune în calea de rulare, la elaborarea proiectelor tehnice se vor lua următoarele măsuri:

a) Se vor alege judicios numărul și amplasarea punctelor (centrelor) de întoarcere a curentului de tracțiune din șinele căii de rulare către centrii negativi din substația electrică de tracțiune. De regulă, se vor prevedea câte două puncte de întoarcere pe fiecare sens de circulație, din care unul amplasat în centrul de greutate al sarcinii, la demarajul trenului, iar celălalt în capătul opus al stației.

b) Caracteristicile electrice ale șinelor căii de rulare trebuie să asigure o rezistență electrică care nu trebuie să depășească  $13 \text{ m}\Omega/\text{km}$  de cale de rulare dublă. În cazul în care lungimea unei interstații depășește valoarea medie de  $1,5 \text{ km}$  și profilul interstației nu este energetic, acest lucru conducând la valori ridicate ale căderii de tensiune în calea de rulare, se recomandă ranforsarea electrică a șinei în zonele de demaraj, cu cabluri electrice de cupru având secțiunea de  $400 \text{ mm}^2$ .

c) Se vor prevedea conexiuni electrice repetate între cele două șine ale căii de rulare a metroului, utilizându-se în acest sens bobine de joantă.

d) Se vor adopta schemele de alimentare în paralel, pe ambele capete, a secțiunilor (intersecțiilor) liniei de tracțiune, din substațiile electrice învecinate.

e) Creșterea rezistenței electrice longitudinale a căii de rulare datorită joantelor nu va depăși  $5 \%$  din valoarea rezistenței electrice longitudinale a șinelor căii de rulare.

**3.1.3.** Proiectele tehnice vor avea în vedere asigurarea continuității electrice a căii de rulare în zona macazelor, a intersecțiilor, a liniilor de garare, etc., acolo unde este necesară menținerea joantelor izolante. Continuitatea electrică a șinei la joantele izolante va putea fi asigurată prin eclise electrice a căror rezistență va fi echivalentă rezistenței unui cupon de șină de cca.  $1 \text{ m}$  lungime. Eclisele vor fi realizate cu două conductoare din cupru, foarte flexibile, cu izolație din cauciuc pentru  $1,5 \text{ kV}$ , prevăzute la capete cu papuci din cupru, cositorii, fixați prin presiune pe suprafața laterală proaspăt curățită a șinei căii de rulare, cu ajutorul unor piese speciale de strângere (buloane cu cap conic).

**3.1.4.** Continuitatea electrică poate fi asigurată și prin bobine de joantă racordate la fiecare din cele două șine ale căii prin câte două

conductoare de cupru foarte flexibile, izolate, fixate cu presiune pe șină, în mod similar ecliselor electrice pe bornele bobinelor de joantă, cu buloane de strângere cu 2 piulițe. Se vor prevedea lungimi egale ale cablurilor de conexiune a bobinelor de joantă la cele două șine ale căii și strângerea cât mai bună și egală a acestora la ambele șine pentru a se evita disimetriile în circulația curentului de tracțiune prin cele două șine ale căii și prin cele două jumătăți ale bobinei de joantă.

**3.1.5.** Soluțiile adoptate prin proiecte pentru realizarea fundației căii de rulare și a izolației șinelor căii de rulare față de fundație vor avea în vedere asigurarea unei rezistențe electrice de izolație (rezistența laterală de balast) de  $10 \Omega \cdot \text{km}$  la montaj și de minim  $5 \Omega \cdot \text{km}$  în condiții de exploatare cu calea în stare murdară și umedă. Având în vedere importanța acestui parametru asupra limitării curenților de dispersie, în proiecte se va recomanda ca nivelul izolației electrice a căii să fie menținut în exploatare la valori cât mai apropiate de valoarea impusă la montaj ( $10 \Omega \cdot \text{km}$ ).

**3.1.6.** În proiectele de instalații electrice pentru tunele și galerii se vor prevedea lucrări speciale pentru asigurarea continuității electrice a structurilor din beton armat. Aceste lucrări sunt următoarele:

a) La proiectarea structurii fundației căii de rulare se va avea în vedere realizarea continuității electrice a plaselor și barelor de armare pe toată lungimea interstației. În acest sens, barele de armare prezentate în fig. 3.1. și montate din  $2 \text{ în } 2 \text{ m}$  vor fi sudate între ele în mai multe puncte. Plasele de armare care unesc în partea superioară a fundației aceste structuri din fier-beton vor fi suprapuse pe  $20 \text{ cm}$  unele cu altele și vor fi sudate în minim 5 puncte. Se va asigura continuitatea prin sudură pe toată lungimea tunelului a barelor de armare de la partea superioară a fundației care alcătuiesc structura de tip A și B din fig. 3.1.

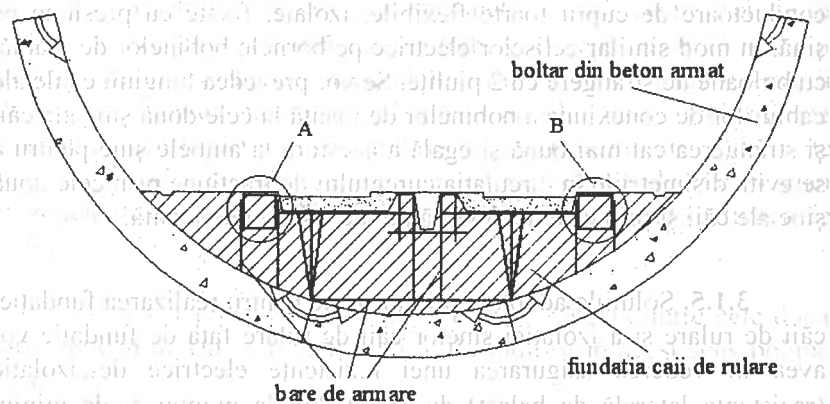


Fig. 3.1. Modul de armare al fundației căii de rulare

- b) Se va impune montarea de centuri principale de drenaj în lungul tunelurilor și galeriilor. Centura principală de drenaj va fi realizată pe fiecare tunel, fie din bară de cupru cu secțiunea minimă de  $100 \text{ mm}^2$ , fie din bară de fier de secțiune minimă de  $700 \text{ mm}^2$ .
- c) Centura principală de drenaj va fi realizată din tronsoane de bară de 6 m lungime unite între ele fie prin piese de înădare și rosturi de dilatare eclisate corespunzător (la barele de cupru), fie prin cordon de sudură (la barele de fier).
- d) Din 30 în 30 de metri se vor realiza legături electrice de la armătura de oțel a tunelului sau galeriei la centura principală de drenaj prin conductoare de cupru de  $16 \text{ mm}^2$ .
- e) La fiecare 100 m se va realiza legătura electrică între plasele din structura de armare a fundației căii și centura principală de drenaj, utilizând în acest sens conductori de cupru de  $50 \text{ mm}^2$ . De asemenea, în dreptul fiecărei stații se va realiza legătura electrică dintre aceste plase și minusul redresorului de tracțiune utilizând conductori de cupru de  $100 \text{ mm}^2$ .

f) În cazul tunelurilor și galeriilor nou proiectate, se va prevedea o execuție pe tronsoane de 30 m a structurilor subterane din beton armat. Fiecare tronson va fi legat la centura de drenare a curenților de dispersie. Nu se va mai realiza legătura de continuitate între inelele de bolțari adiacente care fac parte din două tronsoane consecutive. Izolația împotriva apelor de infiltrație se va realiza utilizând neopren armat de 5 mm grosime pe toată lungimea zonei de îmbinare, izolație care va asigura de asemenea o rezistență electrică de ordinul zecilor de  $k\Omega$  între două tronsoane succesive.

g) La proiectarea bolțarilor se vor prevedea borne pentru conexiunile exterioare. Aceste borne se vor realiza din plăcuțe de oțel inox de 5 mm grosime, sudate în interiorul bolțarului la armătura care asigură continuitatea. Pentru realizarea continuității electrice între bolțarii alăturați ai aceluiași inel, precum și între bolțarii alăturați ai inelelor succesive ale tunelului, în proiecte se vor prevedea conexiuni prin bare de inox având diametrul de  $\Phi 15 \text{ mm}$ .

3.1.7. În vederea limitării fenomenului de coroziune electrochimică a structurilor din beton armat ca urmare a circulației ionice a curenților de dispersie, în proiectele de instalații aferente tunelurilor și galeriilor se va utiliza soluția drenajului polarizat al acestor curenți, din centura principală de drenaj către calea de rulare și către bara negativă a redresorilor de tracțiune. Acesta se va realiza prin dispozitive de drenaj cu diode semiconductoare, care permit circulația curentului într-o singură direcție, și care realizează o conducție electronică a curenților de dispersie către sursa generatoare (vezi figurile 3.2 și 3.3)

NOTA 1: Drenajul poate furniza o rezistență liniară sau depinzând de tensiune, în majoritatea cazurilor ajustabilă, cu scopul de a limita intensitatea curentului la sursa de influență.

NOTA 2: Legătura oricărei structuri la bara negativă din substația electrică de tracțiune prin intermediul unui dispozitiv de drenaj polarizat va conduce la creșterea curentului de dispersie per total. Prin urmare, conectarea oricărei structuri conducătoare la bara negativă trebuie să se facă numai având în vedere efectul global asupra celorlalte structuri care pot fi influențate. Aceasta este general valabilă numai în cazul în care structura ce trebuie a fi protejată nu este în legătură cu alte structuri.

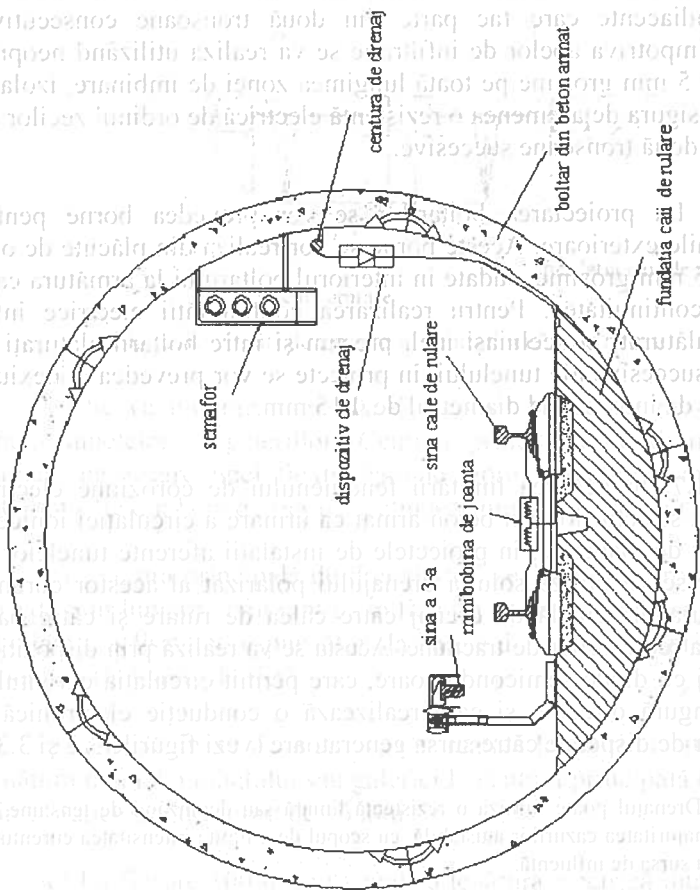


Fig. 3.2. Drenaj polarizat la tunelul de metrou

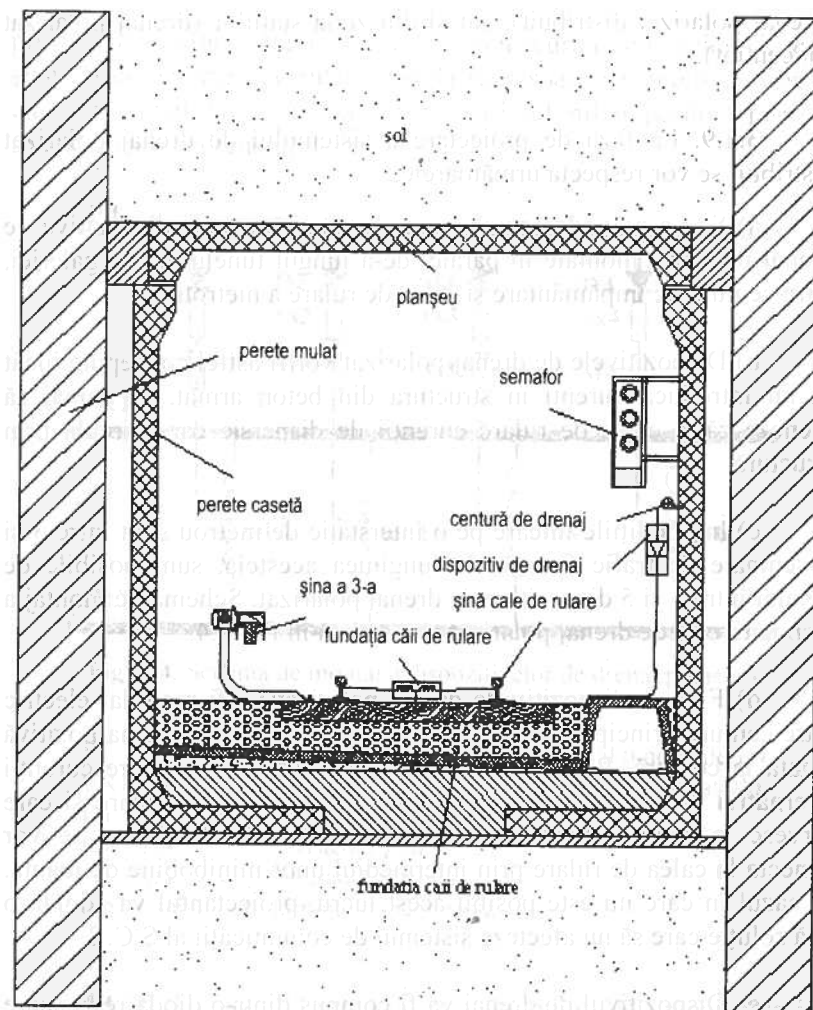


Fig. 3.3. Drenaj polarizat la galeria de metrou

3.1.8. Proiectele pentru realizarea drenajului polarizat al curenților de dispersie vor avea în vedere atât zona interstațiilor



(drenaj polarizat distribuit), cât și din zona stațiilor (drenaj polarizat concentrat).

**3.1.9.** La faza de proiectare a sistemului de drenaj polarizat distribuit se vor respecta următoarele:

a) Se va prevedea amplasarea distribuită a unor dispozitive de drenaj polarizat montate în paralel de-a lungul tunelului sau galeriei, între centura de împământare și calea de rulare a metroului.

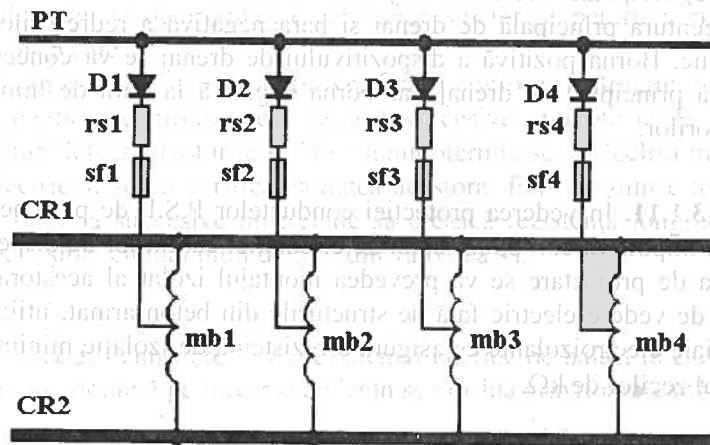
b) Dispozitivele de drenaj polarizat vor fi astfel concepute încât să nu introducă curenți în structura din beton armat, ci numai să dreneze către calea de rulare curenții de dispersie care circulă prin structură.

c) În condițiile în care pe o interstație de metrou sunt între 3 și 5 semnale de trafic funcție de lungimea acesteia, sunt posibile de montat între 3 și 5 dispozitive de drenaj polarizat. Schema de montaj a dispozitivelor de drenaj polarizat este redată în fig. 3.4.

d) Fiecare dispozitiv de drenaj polarizat va fi racordat electric între centura principală de drenaj și calea de rulare, cu borna pozitivă legată la centură. Pentru a nu se produce dezechilibre între curenții alternativi care circulă prin cele două șine ale căii de rulare și care servesc la supravegherea traficului, dispozitivele de drenaj se vor conecta la calea de rulare prin intermediul unor minibobine de joantă. În cazul în care nu este posibil acest lucru, proiectantul va adopta o altă soluție care să nu afecteze sistemul de comunicații al S.C.B.

e) Dispozitivul de drenaj va fi compus dintr-o diodă redresoare de putere, având valoarea curentului direct mediu ce trece prin diodă de 410 A, inseriată cu o rezistență de limitare a curentului pe diodă având valoarea de 18 mΩ și o siguranță fuzibilă pentru protecția acesteia în cazul punerii șinei a 3-a la potențialul tunelului. Tensiunea inversă pe diodă va fi cel puțin egală cu cea de tracțiune, pentru a se

preveni deteriorarea acesteia în cazul unui scurtcircuit accidental între șina a treia și calea de rulare. Dioda redresoare va trebui să aibă un curent nominal invers cât mai mic (de ordinul miliamperilor), pentru a se realiza astfel drenajul polarizat.



**Fig. 3.4.** Schema de montaj a dispozitivelor de drenaj polarizat distribuite pe tunel sau galerie

- PT – armătură tunel/galerie (potențial tunel/galerie)
- CR1, CR2 – șina 1 și șina 2 a căii de rulare (bara negativă)
- D1 ÷ D4 – dispozitive de drenaj
- rs1 ÷ rs4 – rezistență șunt
- sf1 ÷ sf4 – siguranță fuzibilă
- mb1 ÷ mb4 – minibobine de joantă

**3.1.10.** La faza de proiectare al sistemului de drenaj polarizat concentrat se vor respecta următoarele:

a) Se va prevedea amplasarea unor dispozitive de drenaj polarizat la fiecare capăt al stației montate în tablourile de secționari.

b) Fiecare dispozitiv de drenaj polarizat va fi realizat dintr-un grup de diode redresoare de putere. Aceste diode vor fi dimensionate

pentru a putea corespunde și la curenții maximi de scurtcircuit  $I_k = 45$  kA, precum și la supratensiunile maxime de comutație în linia de tracțiune  $U_s = 1500 \div 2200$  V.

c) Dispozitivele de drenaj concentrat vor fi racordate electric între centura principală de drenaj și bara negativă a redresorilor de tracțiune. Borna pozitivă a dispozitivului de drenaj se va conecta la centura principală de drenaj, iar borna negativă la bara de minus a redresorilor.

**3.1.11.** În vederea protecției conductelor P.S.I. de pe tunele și galerii împotriva coroziunii datorate circulației curenților de dispersie, la faza de proiectare se va prevedea montajul izolat al acestora din punct de vedere electric față de structurile din beton armat, utilizând materiale electroizolante ce asigură o rezistență de izolație minimă de ordinul zecilor de k $\Omega$ .

## 3.2. Reglementări pentru faza de execuție

**3.2.1.** La lucrările de execuție a protecției structurilor subterane ale metroului împotriva curenților de dispersie vor fi respectate reglementările pentru faza de proiectare menționate la subcap. 3.1.

**3.2.2.** Pentru micșorarea rezistenței electrice longitudinale a căii de rulare, în cadrul lucrărilor de construcții-montaj se vor lua următoarele măsuri:

a) Șinele căii de rulare se vor suda electric cap la cap prin sudură electrică prin contact și presiune, în tronsoane cât mai lungi posibil, de  $120 \div 400$  m, cu verificarea calității sudurilor obținute.

b) Verificarea îmbinărilor prin sudură dintre tronsoanele de șină se va face prin măsurarea rezistenței electrice de trecere a cărei

valoare nu va trebui să depășească valoarea rezistenței electrice a unui cupon de șină de 3 m lungime. Bornele aparatului de măsură vor fi plasate la 10 cm de o parte și de alta a rostului sudat.

Verificarea șinelor căii de rulare se va face conform „Instrucțiunilor pentru determinarea defectelor șinelor și pentru verificarea șinelor în cale“.

În cazul în care în urma verificării conform instrucțiunilor mai sus menționate, tronsoanele de șină succesive obținute ca la pct. a) prezintă defecte, rosturile sudate aluminotermic se vor eclisa mecanic și electric și se va verifica calitatea acestora. Eclisele dintre tronsoanele de șină succesive nu trebuie să crească rezistența longitudinală totală a șinei cu mai mult de 5 % din valoarea sa.

**3.2.3.** Pentru creșterea rezistenței laterale de balast în cazul căii de rulare montată pe traverse de lemn se vor lua următoarele măsuri:

a) Se vor utiliza traverse de lemn de bună calitate având minim 16 cm grosime, impregnate în creozot și se va interpune o placuță izolantă din polietilenă sau neopren, de 4 mm grosime, între traversă și placa metalică de susținere (fixare) a șinei.

b) Dimensiunile în plan ale plăcuței izolante vor trebui să depășească cu minimum  $5 \div 10$  mm dimensiunile plăcii metalice de susținere a șinei.

c) Adâncimea de înșurubare a tirfoanelor în traversa de lemn va fi cu cel puțin 3 cm mai mică decât grosimea traversei.

d) Între talpa șinei și balast se va păstra o distanță minimă de 30 mm, atât în linie curentă cât și în stații. Balastul utilizat va fi de bună calitate și cu posibilitatea de întreținere în stare curată și uscat.

**3.2.4.** Pentru creșterea rezistenței laterale de balast în cazul căii de rulare montată pe beton se vor lua următoarele măsuri:

a) Rezistența de izolație a șinelor montate pe traverse din beton armat se va asigura prin plăci de izolare din polietilenă sau neopren de 5 mm grosime, ale căror dimensiuni în plan vor trebui să depășească cu cel puțin  $5 \div 10$  mm, pe fiecare latură, dimensiunile plăcii metalice de susținere a șinei.

b) Prinderea plăcilor metalice de traversele din beton armat se va face cu ajutorul unor tirfoane izolate corespunzător prin dibluri din polietilenă cu coeficient redus de tasare, rășini siliconice armate cu fibre de sticlă etc. montate la fabricația traverselor, cu grija de a păstra distanța de conturare între blochetul din beton armat al traversei și tirfon de minim 10 mm.

c) Se recomandă utilizarea unor galoși și plăci de cauciuc izolant electric (fără negru de fum) pentru montarea elastică a traverselor în fundație și respectarea adâncimii de îngropare a galoșului în betonul fundației (cu evitarea îngropării totale).

d) Dispozitivele metalice auxiliare de consolidare a prinderii șinei de blochet, de ancorare a traverselor față de pereții tunelelor etc. se vor monta cu dublă izolație față de șină. Suprafața metalică se va lăcuși cu lacuri electroizolante cu mare rezistență mecanică și se vor interpune piese electroizolante suplimentare din polietilenă între dispozitiv și construcțiile din beton armat.

**3.2.5.** Nu se va admite venirea în contact direct sau indirect, prin apă, a șinelor căii de rulare cu construcțiile metalice sau din beton armat învecinate și nici cu conductele metalice care o subtraversează.

**3.2.6.** În cazul când unele echipamente sau construcții metalice sunt obligate a veni în contact cu șina căii de rulare, aceste echipamente sau construcții metalice se vor monta izolat electric față de structura de beton armat a metroului.

**3.2.7.** Se va realiza continuitatea metalică directă prin sudură electrică între  $10 \div 15$  % din armăturile longitudinale și transversale

ale structurii de beton armat a metroului. Prin aceasta se urmărește realizarea unei circulații electronice a curenților de dispersie prin structura din beton armat și eliminarea sau limitarea circulației ionice a acestora.

**3.2.8.** Continuitatea electrică a armăturilor din structurile subterane ale metroului se va realiza prin executarea următoarelor lucrări:

a) La fundația din beton armat a căii de rulare, continuitatea se va asigura prin sudură electrică a patru bare principale longitudinale a fundației, între aceste bare și barele transversale și între plasele metalice succesive ale fundației. Se va asigura de asemenea legătura electrică repetată între armăturile fundației căii de rulare și armăturile tunelului.

b) La structura de beton armat a tunelurilor, realizată cu bolțari prefabricați, continuitatea se va asigura prin sudură electrică între armăturile longitudinale și transversale ale bolțarului, între aceste armături și plasele metalice din sârmă ale bolțarilor, precum și între armături și cele 4 borne pentru conexiuni electrice exterioare. Bornele pentru conexiunile exterioare între bolțari se vor realiza din plăcuțe de oțel inox de 5 mm grosime, sudate în interiorul bolțarului la armătura care asigură continuitatea. Se va asigura continuitatea electrică între bolțarii alăturați ai aceluiași inel, precum și între bolțarii alăturați ai inelelor succesive ale tunelului, prin cablu flexibil de cupru de  $25 \text{ mm}^2$ , mufat la capete cu papuci din cupru, și legat la bornele de conexiuni prin prindere cu șurub de cupru.

c) La structura de beton armat a galeriilor (pereți mulați, caseta, stâlpi, planșee, radier, construcții, anexe etc.) continuitatea se va asigura prin sudură electrică între armăturile panoului de perete mulat, legătura electrică metalică între panourile succesive ale peretelui mulat, realizată prin bare longitudinale din oțel sudate la armăturile panourilor sau prin legături metalice sudate între armăturile panourilor și armăturile planșeului, legături prin sudură electrică între armăturile

casetei și de asemenea legături electrice prin lire metalice de dilatație, la rosturile totale ale construcției, sudate la armăturile adiacente rosturilor.

d) La structura de beton armat a stațiilor de metrou, continuitatea se va asigura în mod similar ca la structura de beton armat a galeriilor.

**3.2.9.** Se va executa ranforsarea centurii principale a tunelului în zonele de demaraj ale trenurilor prin racordarea în paralel la aceasta a cablului pentru măsuratori de protecție anticorozivă, dispus în tunel în zonele de demaraj. Racordarea se va face în exploatare, pe perioada dintre două măsuratori succesive.

**3.2.10.** Se vor prevedea puncte de acces electric la armătura de oțel a tunelului și galeriei (prize de potențial) în zona de demaraj a trenurilor, în dreptul bobinei de joantă pentru întoarcerea curentului de tracțiune din cale. Prizele de potențial vor fi montate la ambele capete ale unei interstații pe următoarele amplasamente: la 50 ÷ 60 m distanță de capătul stației, apoi la 100 m, la 200 m, la 400 m și la 600 m.

**3.2.11.** Prizele de potențial vor fi racordate electric, prin cablu CYAbY 1 × 25 mm<sup>2</sup> la tablourile electrice cu borne amplasate la capetele stației (în detentă) pentru a permite efectuarea, în timpul circulației trenurilor, a măsurătorilor privind potențialul electric al armăturilor, căderile de potențial în lungul tunelului etc.

**3.2.12.** La execuția lucrărilor de construcții-montaj pentru sistemul de drenaj polarizat distribuit menționat la art. 3.1.9. se vor avea în vedere următoarele:

a) Dispozitivele de drenaj polarizat se vor conecta după caz, între armătura casetei și priza mediană a bobinei de joantă, între armătura casetei și priza mediană a minibobinei de joantă sau între centura de împământare și priza mediană a minibobinei de joantă.

b) Fiecare dispozitiv de drenaj polarizat se va monta într-o carcasă metalică, etanșată conform IP54.

c) Cunoscând valoarea curentului maxim de dispersie necesar a fi drenat și numărul de dispozitive de drenaj se va calcula curentul direct pentru o diodă. Pornind de la această valoare, stabilirea curentului nominal direct al diodei se va face pe baza unui factor de corecție ce ține cont de încărcarea neuniformă a diodelor pe perioada demarajului unui tren și de datele de catalog ale diodelor alese.

d) Dimensionarea rezistenței de limitare a tensiunii directe pe diodă se va face pe baza determinării supratensiunii directe maxime ce poate apărea pe o diodă și în urma stabilirii curentului nominal direct al diodei.

e) Legătura dintre rezistența-șunt și priza mediană a minibobinei de joantă va fi izolată față de carcasa dispozitivului de drenaj.

f) Cablul legat la carcasă se va conecta la centura de împământare, iar cablul care iese izolat din carcasă se va lega la priza mediană a minibobinei (sau bobinei) de joantă. Acest cablu se va monta aparent pe perete, în țevă de PVC, și aparent pe fundația căii, montat în țevă de oțel.

g) Dispozitivele de drenaj se vor monta aparent pe peretele tunelului. Înălțimea de montare va fi de minim 2,5 m, iar fixarea se va face cu dibluri conexpand.

h) Cablurile de legătură de la fiecare dispozitiv de drenaj vor fi de tip FY 25 mm<sup>2</sup>.

i) Lungimea cablului de legătură de la carcasa dispozitivului la centura de împământare va fi de 0,5 m.

j) Lungimea cablului de legătură de la dispozitiv la minibobina de joantă va fi de 4,5 m. Acesta se va monta pozat pe perete și pe fundul tunelului, va fi protejat în tub de PVC Φ18 mm și fixat cu scoabe și dibluri conexpand.

k) Pentru dispozitivele de drenaj care se leagă la armătura casei, în cazul în care nu există legături scoase din armătură, se vor executa spargerii în perete și se va suda câte o platbandă de Ol-Zn  $40 \times 4$  mm la armătură.

l) Pentru legăturile de la centura de împământare și de la borna prizei mediane a minibobinei de joantă, se vor executa găuri de  $\Phi 6$  mm atât în platbanda de cupru cât și în borna de cupru. Pentru un contact electric cât mai bun la legături, se vor folosi papuci ștanțați din cupru  $6 \times 6,8$  iar șuruburile M6, șaibele și piulițele vor fi cadmate.

m) Înainte de montajul dispozitivelor de drenaj polarizat, fiecare dispozitiv în parte se va verifica din punct de vedere electric. Rezistența electrică între carcasă și capătul conductorului de legătură izolat va trebui să fie mică în sens direct ( $R \rightarrow 0$ ) și mare în sens invers (zeci de  $K\Omega$ ).

n) Înainte de conectarea dispozitivelor de drenaj la prizele mediane ale minibobinelor de joantă, se va verifica continuitatea centurii de împământare din cupru de pe tunel și se va reface acolo unde este întreruptă.

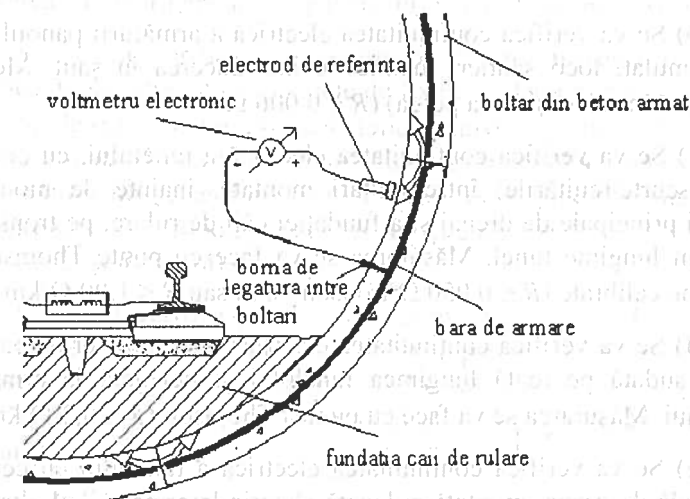
o) În vederea funcționării în parametri a sistemului de protecție prin drenaj polarizat distribuit, se va verifica și menține starea de curățenie a căii de rulare de pe tunel.

p) Se va verifica prezența în calea de rulare a unor corpuri metalice (sau bune conductoare electric) străine, care ar putea scurtcircuita izolația de la talpa șinelor. Acolo unde se vor găsi astfel de materiale acestea se vor îndepărta.

**3.2.13.** La execuția lucrărilor de construcții-montaj pentru sistemul de drenaj polarizat distribuit în cazul tunelelor și galeriilor existente, se vor avea în vedere următoarele:

a) Dimensionarea sistemului de drenaj polarizat, în sensul determinării numărului de dispozitive de drenaj necesare și a locurilor de amplasare se va face pe baza măsurătorilor din teren.

b) Dispozitivele de drenaj se vor amplasa în dreptul fiecărui semnal de trafic, precum și în zonele anodice identificate prin măsurătorile de potențial electrochimic al armăturii structurii de-a lungul interstației respective. Măsurarea potențialului electrochimic al armăturii se va realiza folosind un voltmetru cu impedanță de intrare reglabilă în trepte și mai mare de  $10 M\Omega$  și un electrod de referință Ag/AgCl/0,5mKCl, conform figurii 3.5.



**Fig. 3.5.** Măsurarea potențialului electrochimic al armăturii tunelului

c) Prin corelarea valorilor potențialelor electrochimice din teren cu diagrama de polarizare a fierului în beton umed se va determina densitatea de curent, iar prin înmulțirea acesteia cu suma secțiunilor laterale ale armăturilor dintr-un inel se va stabili curentul maxim de dispersie ce străbate structura tunelului.

d) Conectarea dispozitivelor de drenaj polarizat de pe un fir al interstației se va face într-o singură noapte. Nu se admite conectarea pe rând, pe durata mai multor nopți, a acestor dispozitive.

**3.2.14.** La executarea lucrărilor de construcție a tunelului sau galeriei se vor efectua următoarele probe și verificări:

a) Se va verifica continuitatea electrică a armăturii interioare a bolțarilor și legăturilor la bornele electrice (dozele) bolțarilor. Aceasta se va verifica la furnizor pe fiecare bolțar. Se va măsura cu ohmmetrul rezistența electrică între fiecare din cele 4 borne (doze) ale bolțarului ( $R \leq 0,006 \Omega$ ).

b) Se va verifica continuitatea electrică a armăturii panoului de perete mulat, loco șantier, înainte de introducerea în șanț. Metoda de măsură va aceeași ca la pct. a) ( $R \leq 0,006 \Omega$ ).

c) Se va verifica continuitatea electrică a tunelului, cu conexiunile (scurtcircuitările) între bolțari montate, înainte de montarea centurii principale de drenaj și a fundației căii de rulare, pe tronsoane de 50 m lungime tunel. Măsurarea se va face cu punte Thomson și cordoane calibrate ( $R \leq 0,050 \Omega/\text{tronson } 50 \text{ m}$  sau  $R < 1,00 \Omega/\text{km}$ ).

d) Se va verifica continuitatea electrică a centurii principale de drenaj sudată pe toată lungimea tunelului și nelegată la armătura betonului. Măsurarea se va face cu puntea Thomson ( $R \leq 0,3 \Omega/\text{km}$ ).

e) Se va verifica continuitatea electrică a tunelului cu centura principală de drenaj montată și legată electric la armăturile bolțarilor, precum și cu fundația căii de rulare executată. Se va verifica cu puntea Thomson,  $R \ll 0,3 \Omega/\text{km}$ .

f) Se va verifica continuitatea electrică a pereților mulați, după montarea și sudarea la armăturile panourilor a barei de legături de  $\Phi 25$  din oțel-beton. Se va măsura cu puntea Thomson luându-se  $R \leq 0,05 \Omega/\text{tronson } 50 \text{ m}$ , respectiv  $R \leq 1 \Omega/\text{km}$ .

g) Se va verifica existența conexiunilor electrice între planșeul radier și pereții laterali ai casetei, executate prin sudură electrică cu

densitatea de minim 1 sudură/ml, după care se vor încheia procese verbale de efectuare a lucrărilor ascunse.

h) Se va monta centura principală de drenaj în interiorul casetei în lungul galeriei și se va racorda electric prin sudură la fiecare  $30 \pm 40 \text{ m}$  distanță la armătura peretelui, după care se va măsura continuitatea electrică cu puntea Thomson luându-se  $R \leq 0,050 \Omega/\text{tronson } 50 \text{ m}$ , respectiv  $R \leq 1 \Omega/\text{km}$ .

**3.2.15.** La executarea lucrărilor de construcții-montaj pentru realizarea căii de rulare se vor efectua următoarele probe și verificări:

a) Se va verifica la furnizor pe fiecare traversă rezistența electrică de izolație între tirfoanele de fixare a plăcii metalice suport a șinei căii de rulare și antretoaza metalică a traversei bibloc ( $R \geq 10 \text{ k}\Omega$  în stare umedă și murdară). Pentru traversa monobloc, măsurătoarea se va realiza între cele două plăci metalice de susținere a șinelor căii de rulare ( $R > 2 \times 20 \text{ k}\Omega$  în stare uscată și curată și  $R > 2 \times 10 \text{ k}\Omega$  în stare umedă și murdară).

b) Se va verifica pe șantierul de montaj, înainte de betonare, rezistența electrică de izolație a fiecărui panou de cale de rulare. Rezistența de izolație se măsoară între șină și fiecare antretoază ( $R \geq 20 \text{ k}\Omega$  în stare uscată și curată și  $R \geq 10 \text{ k}\Omega$  în stare umedă și murdară).

c) Se va verifica rezistența electrică de trecere la sudurile panourilor, prin metoda voltampermetrului. Rezistența electrică a sudurii trebuie să fie mai mică decât a unui cupon de 3 m de șină nesudată. După montarea ecliselor mecanice și electrice, valoarea acesteia trebuie să fie mai mică decât a unui cupon de 1 m lungime șină nesudată.

d) Se va verifica rezistența electrică a fiecărei eclise longitudinale a căii de rulare. Rezistența măsurată trebuie să fie mai mică decât rezistența unui cupon de șină de 1 m lungime.

e) Se va verifica vizual și mecanic execuția și corectitudinea eclisărilor între cele două căi de rulare paralele prin eclisele electrice între medianele bobinelor de joantă de la capetele stației și în celelalte puncte din tunel prevăzute în proiect.

f) Se va verifica corectitudinea pozării balastului sau turnării betonului și păstrarea distanței de izolație față de șinele căii de rulare.

g) Se va măsura rezistența laterală de izolație a căii de rulare față de centura principală de drenaj și se va verifica dacă  $Rb \geq 10 \Omega/\text{km}$  la calea uscată și curată, respectiv de  $5 \Omega/\text{km}$  la calea umedă și murdară.

**3.2.16.** La executarea lucrărilor pentru șina a 3-a se vor efectua următoarele probe și verificări:

a) Se va verifica la furnizor cu tensiune mărită de încercare (20 kV) fiecare izolator al consolei de susținere a șinei și după montarea suportilor în cale, dar înainte de suspensia șinei a 3-a, cu Megohmetru de 2500 V. Rezistența de izolație trebuie să fie mai mare de  $200 \text{ M}\Omega$  în stare uscată și curată și mai mare de  $100 \text{ M}\Omega$  în stare umedă și murdară.

b) Se va verifica rezistența de izolație a șinei a 3-a față de centura principală de drenaj, după montarea șinei a 3-a la cotă și după îndepărtarea balastului care vine în contact cu suportii. Rezistența de izolație trebuie să fie mai mare decât  $0,65 \text{ M}\Omega/\text{km}$  în stare uscată și curată, respectiv  $0,33 \text{ M}\Omega/\text{km}$  în stare umedă și murdară, dar nu trebuie să fie mai mică de  $0,1 \text{ M}\Omega/\text{km}$ .

c) Se va verifica șina a 3-a la aplicarea tensiunii mărite de 10 kV, 15 minute pentru linie nouă în stare uscată.

d) Se va verifica continuitatea șinei a 3-a pe interstație în mod deosebit la rosturile de dilatare unde se va verifica existența și corectitudinea montajului eclisei de dilatare și eclisei electrice de susținere.

e) Se va măsura rezistența electrică în lungul șinei a 3-a, folosindu-se pentru conductor de întoarcere, cea de-a 2-a linie de contact a instalației, prin metoda voltampermetrului. Valoarea măsurată trebuie să fie  $R \leq 0,015 \Omega/\text{km}$ .

## **4. REGLEMENTĂRI PRIVIND URMĂRIREA ÎN TIMP A PROTECȚIEI STRUCTURILOR SUBTERANE ALE METROULUI ÎMPOTRIVA CURENȚILOR DE DISPERSIE**

### **4.1. Întreținerea sistemului de protecție**

**4.1.1.** În scopul îmbunătățirii izolației între șine și beton, se va întreține pe cât posibil curățenia căii de rulare, îndepărtând depunerile de praf (cum ar fi cele care rămân de pe urma frânării trenurilor) și alte depuneri de materiale electro-conductoare care pot face „pod” între spațiul gol dintre traverse și fundația căii, sau după caz, între blochet și patul de balast.

**4.1.2.** Se va măsura conductivitatea între șine și armătură conform anexei A, înainte și după fiecare operație de curățire menționată la art. 4.1.1., precum și în cazul înlocuirii șinelor căii de rulare sau când prin măsurători se constată că potențialele electrochimice prezintă abateri față de domeniul de protecție.

**4.1.3.** În concordanță cu standardul EN 50122-2 conductanța per kilometru pentru un sistem de transport în masă în formație deschisă într-un tunel trebuie să fie mai mică sau cel puțin egală cu  $0,1 \text{ S}/\text{km}$ . În cazul în care conductivitatea între șine și armătură nu se va reduce mai jos de  $0,1 \text{ S}/\text{km}$ , se va înlocui căptușeala de izolație între traverse și fundația căii.

**4.1.4.** Se vor inspecta vizual, o dată la trei luni, toate legăturile între șine controlând lipsa ori pierderea buloanelor și apariția semnelor coroziunii. Toate șuruburile care asigură conectarea electrică vor fi strânse la momentul maxim admisibil, folosind o cheie dinamometrică. Se vor inspecta de asemenea toate legăturile căii de rulare și se vor efectua îmbunătățirile care se impun.

4.1.5. Se vor inspecta vizual, din trei în trei luni, toate legăturile între boltări. Vor fi restabilite legăturile lipsă, folosind cablu de cupru de 25 mm<sup>2</sup> și cleme de ondulare. Legăturile corodate vor fi înlăturate cu peria de sârmă și restrânse.

4.1.6. Din două în două luni vor fi inspectate centura longitudinală de cupru (de împământare), incluzând și legăturile între aceasta și armătură, în vederea descoperirii discontinuităților; acolo unde se consideră necesar, acestea vor fi reparate.

## 4.2. Monitorizarea sistemului de protecție

4.2.1. În vederea monitorizării sistemului de protecție a structurilor subterane ale metroului împotriva coroziunii datorate circulației curenților de dispersie, fiecare dispozitiv de drenaj polarizat montat pe tunel sau galerie va fi inseriat cu un șunt de măsură conform figurii 4.1. De-a lungul fiecărei interstații, de la capete spre punctul de mijloc, se va poza câte un cablu de semnalizare cu mai multe perechi de fire, la care se vor conecta șunt-urile de măsură respective, câte un șunt la fiecare pereche de fire. În capetele stațiilor adiacente fiecărei interstații, cablul de semnalizare corespunzător respectivei jumătăți de interstație va fi racordat într-o cutie cu borne. Cablul de semnalizare va fi ecranat, iar secțiunea conductorilor cablului va fi aleasă astfel încât să nu introducă erori de măsurare.

4.2.2. Personalul de exploatare care se va ocupa de monitorizarea sistemului de protecție va fi dotat cu un calculator portabil echipat cu un dispozitiv de interfață pentru măsurarea de tensiuni continue și transmisie de date care se va conecta la aceste cutii cu borne. Măsurătorile și determinările efectuate în cadrul monitorizării sistemului de protecție va fi supervizată de către personal calificat și cu experiență în domeniu.

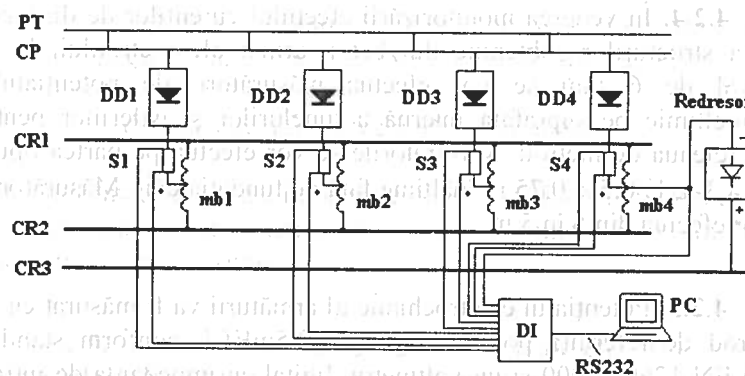


Fig. 4.1. Schema de monitorizare a sistemului de drenaj polarizat distribuit

PT	= armătură tunel (potențial tunel);
CP	= centură de împământare;
CR1, CR2	= șina 1 și șina 2 a căii de rulare (bara negativă);
CR3	= șina 3 a căii de rulare (bara pozitivă);
DD1 ÷ DD4	= dispozitiv de drenaj polarizat;
S1 ÷ S4	= șunturi de măsură;
mb1 ÷ mb4	= minibobine de joantă;
DI	= dispozitiv de interfață;
PC	= calculator PC;
RS232	= conector și cablu de comunicație serială

4.2.3. La fiecare 30 de zile, personalul de exploatare va verifica eficiența sistemului de drenaj polarizat distribuit pentru fiecare interstație de metrou, prin măsurarea cu ajutorul echipamentului specificat la art. 4.2.1. a curenților drenați de către dispozitivele de drenaj. În cazul în care, prin măsurători repetate pentru mai multe demaraje ale trenurilor pe o anumită interstație, se constată că prin anumite dispozitive de drenaj nu circulă nici un curent, se va proceda la o verificare a acestora în perioada de oprire a circulației trenurilor și se vor remedia eventualele defecte.



**4.2.4.** În vederea monitorizării efectului curenților de dispersie asupra structurilor subterane din beton armat ale metroului, la un interval de 6 luni se vor efectua măsurători ale potențialului electrochimic pe suprafața internă a tunelurilor și galeriilor pentru toată rețeaua de metrou. Măsurătorile se vor efectua pe partea opusă șinei a 3-a, la  $0,5 \div 0,75$  m înălțime față de fundația căii. Măsurătorile se vor efectua din 5 în 5 m.

**4.2.5.** Potențialul electrochimic al armăturii va fi măsurat cu un electrod de referință portabil Ag/AgCl/0,5mKCl, conform standardului EN 12696/2000 și un voltmetru digital cu impedanța de intrare mai mare de 10 M $\Omega$ .

**4.2.6.** Nu se recomandă utilizarea unui electrod de referință portabil Cu/CuSO<sub>4</sub> pentru măsurarea potențialului electrochimic pe suprafețe din beton datorită riscului ridicat al erorilor de măsurare ce pot apărea în cazul prelingerii sulfatului de cupru pe suprafața betonului.

**4.2.7.** Înainte de aplicarea electrodului de referință pe suprafața din beton din zona de măsură, aceasta se va umezi local, în vederea realizării mai rapide a unui mediu electrolitic propice măsurătorii. Citirea valorii măsurate se va face după realizarea echilibrului electrochimic și stabilizarea potențialului măsurat.

**4.2.8.** Rezultatele măsurătorilor se vor stoca într-o bază de date care va cuprinde:

- poziția punctelor de măsurare, respectiv distanța (exprimată în metri) față de stația de plecare a trenului pe fiecare sens de mers, folosind reperele de pe tunel sau galerie;
- valoarea potențialului electrochimic în punctul de măsurare, exprimată în mV Cu/CuSO<sub>4</sub>, prin convertirea măsurătorii cu electrod Ag/AgCl/0,5mKCl;

- valoarea densității de curent corespunzătoare potențialului electrochimic măsurat extrasă din curba de polarizare a fierului beton;
- data la care a fost efectuată măsurătoarea.

Informațiile stocate în baza de date vor fi folosite pentru analiza evoluției în timp a densităților de curent ale armăturilor și implicit a fenomenului de coroziune.

**4.2.9.** În urma determinărilor experimentale efectuate conform standardului ASTM C876-91 pe probe din beton armat, extrase din tunel prin carotare, curbele de polarizare arată că în domeniul potențialelor electrochimice cuprins între  $-500$  mV  $\div$   $0$  mV Ag/AgCl/0,5mKCl oțelul este pasivat, cu o intensitate a curentului de coroziune foarte mică, aproximativ  $4,4$   $\mu$ A/cm<sup>2</sup>, și cu o viteză de coroziune (penetrație) de  $0,053$  mm/an din secțiunea armăturii de fier-beton de  $\Phi 12$  mm, grupa de rezistență foarte stabilă, nota de apreciere 3. Acest domeniu de valori ale potențialelor electrochimice este considerat domeniul de siguranță în ceea ce privește coroziunea structurilor din beton armat.

**4.2.10.** În cazul în care potențialele electrochimice măsurate pe suprafața internă a tunelului sau galeriei sunt de valori din ce în ce mai mari față de domeniul de siguranță, acest lucru indică o creștere a vitezei de coroziune spre valori din ce în ce mai mari. În general această situație apare în cazul porțiunilor de interstații în care există infiltrații de apă și o izolație slabă a căii de rulare, în apropierea joantelor sau la capetele stațiilor (zonele de accelerare și decelerare a trenurilor de metrou).

**4.2.11.** În condițiile în care măsurarea potențialelor electrochimice indică apariția fenomenului de coroziune a armăturii din structura de beton a bolțarilor de tip A sau B, precum și a pereților casetă și planșeului, se va efectua o monitorizare periodică a evoluției

vitezei de coroziune. În vederea delimitării zonei afectate de coroziune se va realiza un set de măsurători din 0,5 în 0,5 m în jurul punctului de măsură unde a fost depistată coroziunea.

**4.2.12.** Monitorizarea evoluției coroziunii în zona delimitată conform 4.2.11. va fi efectuată inserând catozi mici cu diametrul de 8 mm și lungimea de 50 mm din titan platinat sau din alt material inert, instalați în cavități forate pe toată grosimea structurii din beton armat. Cavitățile vor fi astupate cu un mortar special fără contracție (expansiv sau cu contracție compensată). Cu ajutorul catozilor inserați în structura din beton armat se va monitoriza variația densității de curent și a vitezei de coroziune pe toată grosimea structurii (vezi fig. 4.2. și art. 4.2.13). Determinările vitezei de coroziune vor fi repetate periodic la un interval de 3 luni pentru zonele afectate de acest fenomen.

**4.2.13.** Viteza de coroziune se va calcula după următoarea formulă:

$$v_{cor} = \frac{E_{Fe} \cdot j}{\gamma \cdot F},$$

unde:  $E_{Fe}$  = echivalentul electrochimic al fierului (27,92 pentru fier bivalent);

$j$  = densitatea de curent;

$\gamma$  = densitatea fierului (7800 kg/m<sup>3</sup>);

$F$  = constanta Faraday (96500 As).

**4.2.14.** În cazul în care monitorizarea periodică a vitezei de coroziune a structurilor subterane de metrou afectate de acest fenomen indică o evoluție agravantă în pofida măsurilor de protecție adoptate prin prezentul normativ, cauza acestei situații poate fi acțiunea altor factori de coroziune decât curenții de dispersie produși de circulația trenurilor de metrou. În aceste condiții beneficiarul va solicita proiectantului general al structurilor subterane de metrou analiza

posibilității de aplicare a unor soluții complementare (protecție catodică prin injecție de curent pe arii restrânse sau refacerea stabilității structurii prin realizarea unui inel secundar).

**4.2.15.** În cazul apariției fenomenului de coroziune la structurile subterane din beton armat de la metrou ca urmare a acțiunii curenților de dispersie produși de circulația trenurilor de metrou, există riscul ca în funcție de permeabilitatea și structura chimică a solului, de nivelul pânzei freatice și gradul de etanșare la extrados a tunelului, fenomenul să se extindă și la structurile metalice din exteriorul tunelului (galeriei). De aceea se recomandă ca la depistarea acestui fenomen la structurile subterane de metrou, monitorizarea să cuprindă și determinarea densităților de curent în solul din jurul acestor structuri. Se consideră că nu se produc fenomene de coroziune în structurile metalice îngropate în sol, în exteriorul tunelelor și galeriilor de metrou, atunci când valorile densităților de curent determinate prin metoda gradientului de potențial (vezi anexa B) sunt de ordinul  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

**4.2.16.** În cazul în care densitățile de curent menționate la art. 4.2.15. indică riscul producerii coroziunii la structurile metalice aflate în vecinătatea tunelelor și galeriilor de metrou, personalul specializat de la metrou va proceda la următoarele:

a) verificarea și refacerea (dacă este cazul) izolației dintre calea de rulare și structurile din beton armat pe porțiunea respectivă;

b) verificarea, refacerea (dacă este cazul) sau suplimentarea sistemului de drenaj distribuit de pe tunel pe porțiunea respectivă;

c) verificarea și refacerea (dacă este cazul) continuității centurii de drenaj pe toată lungimea interstației respective;

d) verificarea și refacerea (dacă este cazul) legăturilor care realizează continuitatea electrică dintre bolțari;

e) verificarea și refacerea (dacă este cazul) legăturilor dintre tronsoanele de tunel (galerie) și centura de drenaj.

## Metoda de măsurare a conductanței per unitatea de lungime pentru calea de rulare

### A.1. Generalități

Măsurarea rezistenței șinei este necesară pentru a găsi relația între curentul din șină și tensiunea rezultată pentru determinarea corespunzătoare a conductanței per unitatea de lungime.<sup>1</sup>

Variațiile între valorile citite trebuie luată în considerare prin efectuarea mai multor măsurători. Trebuie investigate diferențele semnificative ce rezultă din schimbarea polarității a circuitului de măsură.

Metoda este validă numai dacă aceste măsurători sunt făcute fără vre-un curent de tracțiune. Acolo unde nu este posibil, măsurătorile trebuie efectuate în același timp în scopul de a elimina efectul curentilor alții decât curentul măsurat.

Punctele de măsură la calea de rulare trebuie să fie la cel puțin 1 m față de punctele de injecție.

### A.2. Măsurarea rezistenței șinei

Pentru măsurarea rezistenței șinei este recomandată metoda arătată în figura A.1. Căderea de tensiune longitudinală  $U_A$  și  $U_B$  este măsurată pentru fiecare din cele două secțiuni adiacente ale șinei. Rezistența șinei 1 și a șinei 2 este calculată în concordanță cu ecuațiile din figura A.1.1.

<sup>1</sup> Curentul continuu măsurat  $I$  este comutat periodic între pozițiile Închis și Deschis pentru a verifica celelalte efecte în perioada de poziție Deschis. Tensiunea rezultată este:  $\Delta U = U_{\text{închis}} - U_{\text{deschis}}$

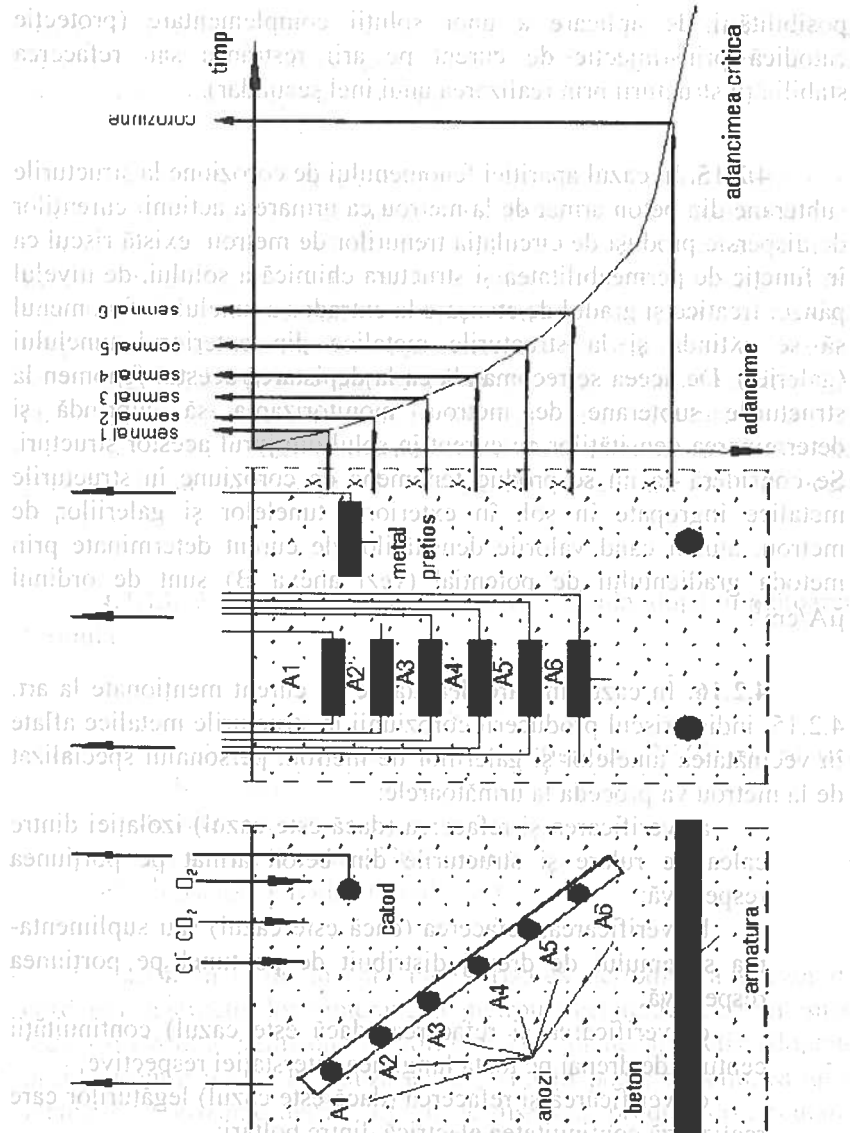


Fig. 4.2. Metoda de monitorizare a vitezei de coroziune (ridicarea diagramei de coroziune).

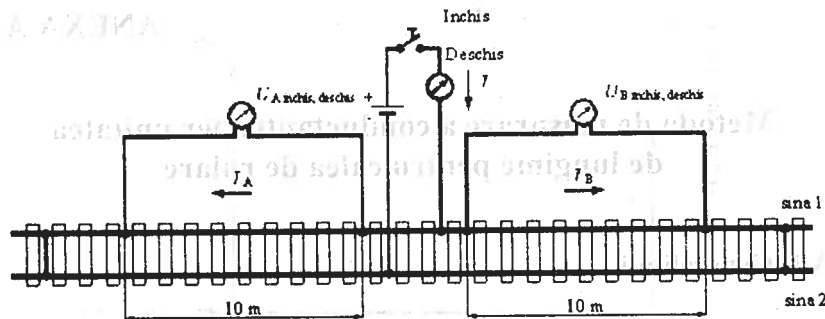


Fig. A.1. Măsurarea rezistenței șinei pentru o șină de 10 m lungime

$$R_{S10m} = \frac{(U_{A \text{ închis}} - U_{A \text{ deschis}}) + (U_{B \text{ închis}} - U_{B \text{ deschis}})}{I}$$

unde:

- $I$  este curentul injectat, în Amperi
- $R_{S10m}$  este rezistența longitudinală a unei porțiuni de șină 1 de 10 m, în Ohmi; idem pentru șina 2
- $U_{\text{închis, deschis}}$  este căderea de tensiune în șina 1, în Volți, cu și fără injecție de curent; idem pentru șina 2

### A.3. Determinarea conductanței per unitatea de lungime între șine și tunel

Un mod special de măsură și secvența de măsură permite măsurarea conductanței per unitatea de lungime fără a avea nevoie de joantele de izolație ale șinei. Conductanța per unitatea de lungime,  $G'_{ST}$ , va fi măsurată în concordanță cu figura A.2.

Curentul continuu măsurat,  $I$ , injectat între șine și structură, este închis și deschis periodic. Sunt măsurate valorile necesare pentru determinarea  $G'_{ST}$  din ecuația din figura A.2. În special curenții  $I_{SA}$  și  $I_{SB}$  pot fi obținuți cu ajutorul procedurii descrise în A.2. și arătate în figura A.1.

Trebuie ca nici o conexiune accidentală și nici un dispozitiv de limitare a tensiunii între calea de rulare și structura tunelului să influențeze măsurătorile.

Experiențele practice au arătat că lungimea  $L$  a unei porțiuni măsurate nu trebuie să depășească 4 km.

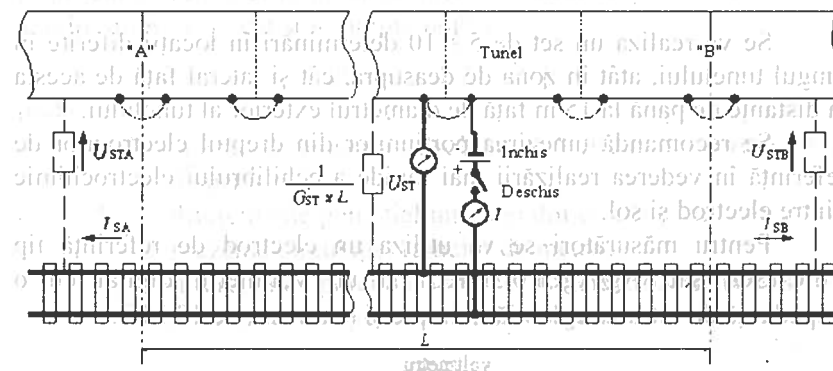


Fig. A.2. Măsurarea conductanței per unitatea de lungime.

$G'_{ST}$ , între șine și tunel

$$G'_{ST} = \frac{3}{L} \times \frac{I - I_{SA} - I_{SB}}{\Delta U_{ST} + \Delta U_{STA} + \Delta U_{STB}} \quad \Delta U = U_{\text{închis}} - U_{\text{deschis}}$$

unde:

- $G'_{ST}$  este conductanța per unitatea de lungime între șine și tunel, în Siemens per kilometru;
- $I$  este curentul injectat în Amperi;
- $I_{SA, SB}$  este curentul care circulă între capetele A, B ale porțiunii măsurate, în Amperi;
- $L$  este lungimea porțiunii ce trebuie măsurată, în kilometri;
- $U_{ST}$  este tensiunea între șină și tunel în punctul de injecție, în Volți;
- $U_{STA}, U_{STB}$  este tensiunea între șină și tunel la capetele A și B ale porțiunii de tunel, în Volți.

## ANEXA B.

### Metoda de măsurare al densităților de curent din solul din jurul tunelului (metoda gradientului de potențial)

Se va realiza un set de 5 ÷ 10 determinări în locații diferite în lungul tunelului, atât în zona de deasupra, cât și lateral față de acesta la distanțe de până la 15 m față de diametrul exterior al tunelului.

Se recomandă umezirea porțiunilor din dreptul electrozilor de referință în vederea realizării mai rapide a echilibrului electrochimic dintre electrod și sol.

Pentru măsurători se va utiliza un electrod de referință tip Cu/CuSO<sub>4</sub> sau Ag/AgCl/0.5mKCl și un voltmetru digital cu o impedanță de intrare reglabilă în trepte și mai mare de 10 MΩ.

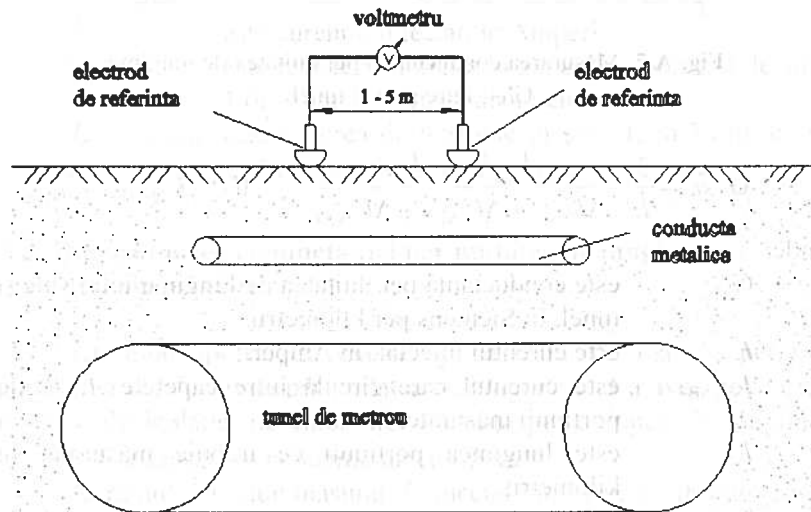


Fig. B.1. Metoda de măsurare al densităților de curent din solul din jurul tunelului

Citirea valorii măsurate se va face după realizarea echilibrului electrochimic și stabilizarea potențialului măsurat.

În vederea eliminării erorilor de măsură datorate circulației prin sol și a altor curenți de dispersie decât cei produși de sistemul de tracțiune de la metrou, se vor preleva măsurători atât în prezența cât și în absența circulației ramelor de metrou. Măsurătorile se vor efectua atât în timpul zilei cât și în timpul nopții.

$$\Delta U = U_{on} - U_{off} \text{ [V]}$$

unde:

$\Delta U$  = căderea de tensiune în sol datorată circulației curenților de dispersie;

$U_{on}$  = diferența de potențial între cei doi electrozi de referință în prezența circulației ramelor de metrou;

$U_{off}$  = diferența de potențial între cei doi electrozi de referință în absența circulației ramelor de metrou.

$$\Delta U = \rho_{sol} \cdot d_e \cdot j_d$$

unde:

$\rho_{sol}$  = rezistivitatea solului;

$d_e$  = distanța dintre cei doi electrozi;

$j_d$  = densitatea de curent de dispersie prin sol.

Prin urmare, densitatea de curent de dispersie din solul din jurul tunelului este:

$$j_d \text{ [}\mu\text{A/cm}^2\text{]} = \frac{10^3 \cdot \Delta U \text{ [mV]}}{\rho_{sol} \text{ [}\Omega \cdot \text{cm]}\cdot d_e \text{ [cm]}}$$

## ANEXA C.

### Reglementări legislative și tehnice

- Legea nr. 10/1995 : Lege privind calitatea în construcții
- Legea nr. 50/1991 : Lege privind autorizarea executării construcțiilor și unele măsuri pentru realizarea locuințelor (republicată în 1997 și 1998)

## ANEXA B.

### Standarde

- STAS 833-72 : Tracțiune electrică urbană. Prescripții pentru reducerea curenților vagabonzi
- SR EN ISO 8044:2000 : Coroziunea metalelor și aliajelor. Termeni și definiții
- SR 7335-12 : 1998 : Protecția anticorozivă. Construcții metalice îngropate. Protecția catodică a conductelor de oțel
- C 876 - 91 : Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete

## Normative

I.14-76 Normativ pentru protecția contra coroziunii a construcțiilor metalice îngropate

## Standarde europene

Prezentul normativ se aliniază la cerințele următoarelor standarde europene:

EN 50122-1 – 1998	Railway applications – Fixed installations – Part 1 : Protective provisions relating to electrical safety and earthing
EN 50122-2 – 1998	Railway applications – Fixed installations – Part 2 : Protective provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems
IEC 50(811)	International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 811: Electric traction
prEN 50162	Protection against corrosion by stray current from d.c. systems
EN 12696:2000	Cathodic protection of steel in concrete