A XIII-a Conferinţă Naţională multidisciplinară – cu participare internaţională,
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii româneşti",
SEBEŞ, 2013

DESCĂRCĂRI SUB FORMĂ DE TRĂSNET. RISCURI/PERICOLE - partea I-a

Garibald POPESCU

DOWNLOADS IN THE FORM OF LIGHTNING. RISKS/HAZARDS - part I -

The article presents: terminology; the main risks/hazards arising from electricity atmospheric effects; risk/danger of the fibrillation lightning current through the human body; risks\/hazards generated by downloads in the form of globular lightning; preventive measures for the management of risks/hazards that can be generated from domestic if in the form of lightning discharges; preventive measures for the management of risks\/hazards other than domestic ones, which can be generated in the case of landings in the form of lightning strikes

Cuvinte cheie: trasnet, descarcari, terminologie, riscuri/pericole, electricitate atmosferica, trasnet globular, control, prevenire

Keywords: lightening, downloads, terminology, risks/hazards, atmospheric electricity, lightning ball, control, prevention

1. Terminologie

Pericol - stare care precede unui eveniment (accident de muncă, incendiu, explozie, descărcare sub formă de trăsnet etc.); datorită importanţei pe care termenul o prezintă, acesta este adus la rang de concept; în relaţia om - maşină/utilaj/instalaţie/activitate/mediu, există împrejurări, situaţii etc., care generează pericole controlabile prin măsuri, care poartă numele de măsuri de control; aplicarea acestor

măsuri, presupun controlul prin anularea pericolelor; termenul necesită acţiunea factorului uman utilizând măsuri cu timp de acţiune/răspuns, imediat/redus, în sensul că măsurile trebuie aplicate imediat pentru a controla o situaţie/stare; în sensul definiţiei, pericolul admite codomeniul[34] de definiţie [0,1].

Risc - probabilitate globală de realizare a unui eveniment; (accident de muncă, incendiu, explozie, descărcare sub formă de trăsnet etc.); datorită importanţei pe care termenul o prezintă, acesta a fost adus la rang de concept; în relaţia om – maşină /utilaj /instalaţie /activitate /mediu, există împrejurări, situaţii etc., prin intermediul cărora se pot genera stări care pot fi controlabile doar prin aplicarea de măsuri, denumite în continuare, măsuri de control; aplicarea măsurilor puse în discuţie, presupun controlul şi limitarea riscurilor, prin reducerea acestora, nu prin anularea lor; termenul presupune acţiunea factorului uman utilizând măsuri cu timp de acţiune/răspuns, pe termen lung, prin utilizarea conceptului de previziune; în sensul definiţiei, riscul admite codomeniul de definiţie (0,1]..

2. Elemente generale referitoare la existenţa instalaţiilor de protecţie împotriva descărcărilor electrice atmosferice

Dintre riscurile/pericolele care se pot pune în discuţie sunt poluarea psihică determinată de existenţa instalaţiilor împotriva descărcărilor electrice atmosferice.

Simpla existenţă a instalaţiilor de protecţie, diversitatea modului de construcţie, diversitatea construcţiilor şi instalaţiilor tehnologice, caracterizate de modul cum sunt dispuse, conexiunile, modul de instalare, gradul de aglomerare al construcţiilor şi/sau instalaţiilor tehnologice etc., în raport cu arhitectura construcţiilor /instalaţiilor care trebuie protejate împotriva descărcărilor electrice atmosferice etc., poate să genereze poluare psihică/disconfort psihic.

Pentru evaluarea riscurilor determinate de descărcările electrice atmosferice, este necesar să se ţină seama de următorii factori principali: mediul înconjurător în care este dispusă construcţia, tipul/categoria construcţiei, conţinutul construcţiei care urmează să fie protejată, gradul de ocupare al construcţiei, eventualele consecinţele care pot fi generate de descărcările electrice atmosferice determinate de trăsnet etc.

---

[34] **CODOMÉNIU,** *codoménii,* s.n. (Mat.) Mulţimea valorilor luate de o funcţie, care rezultă în urma atribuirii variabilei independente a tuturor valorilor din domeniul său de definiţie. (cf. fr. *codomaine*, engl. *codomain*, it. *codominio*).

De asemenea, protecţia contrucţiilor şi instalaţiilor tehnologice la eventualele descărcări electrice atmosferice, este necesar să se realizeze în raport şi cu riscurile/pericolele generate de efectele/riscurile/pericolele de consecinţă secundare ale acestor descărcări (incendiu, explozie, accidente de natură: mecanică, termică etc.).

3. Riscuri/pericole determinate de efectele electricităţii atmosferice

Loviturile directe determinate de descărcările sub formă de trăsnet, generează câmpuri electromagnetice şi riscuri/pericole generate de supratensiuni, în reţelele de telecomunicaţii.

O importantă relaţie de cauzalitate a raportului mediu - factor uman, este determinată de impactul pe care astfel de manifestări le generează asupra omului.

Principalele riscuri/pericole care pot genera poluare psihică, pot fi determinate/se datorează:

- efectelor luminoase determinate de generarea fulgerelor, în cadrul aceluiaşi nor sau între nori diferiţi;
- descărcărilor electrice atmosferice/trăsnete dintre un nor /nori şi pământ la construcţii şi instalaţii tehnologice exterioare şi pentru construcţii având caracter deosebit;
- tunetelor/undelor mecanice, generate de descărcările electrice atmosferice, în anumite condiţii şi împrejurări;
- efectelor luminoase generate de efluviile cu efect corona în zonele de munte/deal cu/fără fond forestier.

Consecinţele directe/indirecte sunt determinate de generarea post-fenomen a riscurilor/pericolelor: de incendiu, de explozie, mecanice, electrice, termice, chimice, avarii, şoc electric prin atingere directă/indirectă, supratensiune de pas, de coroziune etc.

Descărcările electrice atmosferice, generează următoarele principale efecte cu conotaţie de natură psihică: termice/calorice, mecanice/sonore, electromagnetice, chimice, fiziologice, vizuale etc.

Situaţii conexe, determinate de alte riscuri/pericole, care se pot genera, sunt determinate de descărcările electrice sub formă globulară, fenomene care admit o frecvenţă de aparţie relativ redusă.

Prezenţa obiectelor, oamenilor etc., determină modificarea configuraţiei câmpului electric natural.

Dacă pe timp senin, intensitatea câmpului electric la sol, determinat de sarcina electrică negativă a pământului este de

aproximativ 120-130 V/m, în regim perturbat, câmpul electric la sol poate atinge valori de circa 100 ori mai mari.

Sub norii încărcaţi electric - dipoli electrici, câmpul aeroelectric poate atinge intensităţi ridicate, în mod uzual de circa -10^4 V/m, iar în cazuri excepţionale se poate ajunge la valori de -10^5 V/m.

Prezenţa unui om, având înălţimea egală cu 1,70 m, determină creşterea câmpului electric, în zona capului, la circa $2 \cdot 10^2$ V/m, pe timp senin şi până la -$5 \cdot 10^4$ V/m sub un nor încărcat electric.

Existenţa unor vârfuri ascuţite (vârfuri ale unor arbori, catarge ale unor vase etc.) determină modificarea configuraţiei câmpului electric al pământului, fiind probabilă, generarea unor fenomene de descărcare electrică, numite focurile “Sfântului Elm”.

Norul, care poate determina riscuri/pericole de acumulare a unor importante cantităţi de sarcină electrică cu consecinţe pentru obiectele de la sol (oameni, animale, clădiri etc.) şi din aer (aeronave etc.) este norul cumulonimbus.

Datele experimentale existente, relevă faptul că, pentru un nor se pot face următoarele observaţii:

- prezenţa acestuia aflat la înălţimea de 3 km deasupra pământului, se face simţită până la circa 20 km faţă de centrul său;
- la circa 10 km, pe orizontală, câmpul electric este pozitiv şi atinge valoarea maximă de aproximativ 450 V/m;
- la circa 6 km de axul norului, intensitatea câmpului electric la sol, este nulă;
- într-o zonă circulară cu diametrul de circa 12 km, câmpul electric la sol este negativ, sub nor, poate să atingă valori maxime egale cu - 30 kV/m şi în mod uzual -10 kV/m, valoare, care corespunde unei diferenţe de potenţial dintre nor şi pământ de aproximativ $6 \cdot 10^4$ kV.

Există indicaţii ale unor date înregistrate, prin care se pune în evidenţă faptul că s-au generat descărcări sub formă de trăsnet, la distanţe de 96 km pe orizontală, faţă de centrul norului de furtună.

În cazul, în care, norul încărcat electric, se află la o înălţime redusă în raport cu solul sau în cazul zonelor muntoase, intensitatea câmpului electric la sol, poate să atingă valori ridicate (până la 100 kV/m), astfel că în punctele de curbură mare, câmpul electric foarte intens, poate determina apariţia unor fenomene de descărcare electrică observabile sub forma unor egrete luminoase.

Aceste descărcări, sunt cunoscute sub numele de focurile “Sfântului Elm”.

Când cantitatea de sarcină electrică din zonele încărcate ale norului, devine suficient de mare, iar norul se află la o distanţă suficient de mică faţă de pământ, intensitatea câmpului electric în zona acestuia,

poate depăşi o anumită valoare (circa $3 \cdot 10^3$ kV/m) situaţie care generează dezvoltarea unor procese de descărcare electrică.

O formă specială a descărcării sub formă de trăsnet, o reprezintă trăsnetul globular, fenomen insuficient cunoscut şi deci, controversat în egală măsură.

Câmpul aeroelectric, precum şi descărcările electrice din atmosferă, generează importante efecte asupra organismelor vii.

Depăşirea unor valori ale duratei şi intensităţii câmpului electric, la care sunt expuse organismele vii, poate să conducă la perturbarea activităţii sistemului nervos și deci, la generarea de riscuri/pericole de apariţie a unor afecţiuni grave.

Datele experimentale pun în evidenţă faptul că, organismul uman plasat pe o durată nedefinită, într-un câmp electric de 5 kV/m, nu este afectat; pentru valori mai mari ale câmpului electric, expunerea organismului uman trebuie limitată ca durată.

În cazul apariţiei descărcărilor sub formă de trăsnet, efectele acestuia se manifestă nu numai asupra obiectelor parcurse de curentul de trăsnet, existând riscul/pericolul de afectare, inclusiv a persoanelor şi/sau obiectelor aflate la vecinătăţi.

În mod uzual, s-au înregistrat curenţi de trăsnet cu amplitudini de 5- 40 kA, dar se cunosc cazuri în care curentul de trăsnet a ajuns la valori de peste 300 kA.

Diferenţa de potenţial între nor şi pământ poate atinge valori egale cu 10^8-10^9 V, iar sarcina electrică transportată pe canalul de trăsnet, poate să atingă valori egale cu 20 C.

Energia degajată de trăsnet, este relativ redusă (10^{10} J), durata procesului de descărcare, fiind de circa 100 microsecunde.

Trăsnetul, ca şi fenomen electric, determină aceleaşi efecte care se generează la trecerea curentului electric printr-un material:

- efectul termic al descărcării sub formă de trăsnet, la materialele cu structură metalică, este materializat prin urme de încălzire sau prin topirea structurilor lovite;

- efectul termic al descărcării sub formă de trăsnet, atunci când acesta loveşte structuri cu conductivitate redusă (copaci, stâlpi din lemn, structuri din cărămidă etc.), determină fenomene care sunt determinate de intensa încălzire locală a traseului parcurs şi de apariţia unor puternice suprapresiuni determinate de evaporarea bruscă a apei; în cazul în care sunt loviţi arbori, curentul de trăsnet parcurge partea umedă (cu conductibilitate ridicată) a structurii acestora; în solurile cu rezistenţă electrică mare (nisip cuarţos) se generează topirea nisipului, se formează sticlă, în punctul de impact al trăsnetului;

- efectul termic al descărcării sub formă de trăsnet, la lovirea unor materiale combustibile (fân, paie, arbori etc.) este însoţit de expulzarea/împrăştirea explozivă, în multe dintre cazuri, fără aprinderea acestora, dacă descărcarea este de durată redusă şi de mare amplitudine; aprinderea este posibilă doar dacă, descărcarea este de mică intensitate, dar de durată mare; astfel de situaţii pot să se genereze în cazul curentului electric care parcurge canalul ionizat al primei descărcări principale.

Dimensionarea incorectă a instalaţiilor de protecţie împotriva descărcărilor electrice atmosferice, poate genera importante pagube materiale determinate de riscul/pericolul trecerii curentului de trăsnet prin circuite de iluminat, conducte de apă, cabluri telefonice etc.

Aceste fenomene sunt însoţite de importante perturbaţii electromagnetice, cu influenţe negative asupra sistemelor de transfer a informaţiilor prin radio.

Atunci când au loc descărcări sub formă de trăsnet, plafonul de nori se dezvoltă cu probabilitate mare la înălţimi reduse faţă de sol; situaţiile de acest gen, determină scăderea considerabilă a temperaturii mediului.

4. Efectul de vârf. Paratrăsnetul ca aplicaţie

Aspectele teoretice referitare la variaţia densităţii locale a sarcinii electrice, în funcţie de raza de curbură din zonă, sunt analizate în mod uzual pe baza unui corp conductor de forma unui elipsoid de rotaţie.

Densitatea de sarcină electrică pe suprafaţa unui elipsoid de rotaţie este maximă la extremitatea alungită a acestuia şi admite expresia:

$$\sigma_{f\,\max.} = \frac{q}{4\cdot\pi\cdot\sqrt{3}}\cdot\frac{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}{abc} = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} q_K}{4\cdot\pi\cdot\sqrt{3}}\cdot\frac{1}{r_{\min.}} \qquad (1)$$

în care

$$r_{\min.} = \frac{abc}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}} \qquad (2)$$

este raza minimă de curbură a elipsoidului; a, b, c - semiaxele elipsoidului de rotaţie corespunzătoare axelor de coordonate x, y, z; q - cantitatea de sarcină electrică acumulată.

Din relaţiile prezentată anterior, se observă faptul că, atunci când elipsoidul se alungeşte şi deci raza $r_{min.}$ scade, densitatea de sarcină electrică, preluată/cedată, creşte.

În cazul general, pentru un corp conductor de formă oarecare (figura 1, a), densitatea de sarcină electrică se repartizează neuniform, fiind dependentă de raza locală de curbură; în punctul cu rază de curbură minimă (curbură maximă) rezultă o densitate maximă de sarcină electrică.

La limită, atunci când raza de curbură este nulă (vârfuri sau muchii ascuţite), densitatea de sarcină electrică şi intensitatea locală a câmpului electric sunt teoretic infinite (figura 1, b).

Deoarece prezenţa vârfurilor sau a muchiilor ascuţite, în cazul unei configuraţii electrice, conduce la deformarea câmpului electric, prin intensificarea sa, în construcţia echipamentelor electrice, sunt adoptate măsuri pentru evitarea zonelor care determină densităţi mari ale sarcinii electrice, zone în care apare "efectul de capăt" sau "efectul de muchie".

Utilizarea vârfurilor ascuţite sub formă de piepteni metalici, la maşinile electrostatice cum sunt de exemplu maşina lui Wimshurst[35], generatorul Van der Graaf etc., permite transferul sarcinilor electrice de la corpuri încărcate cu electricitate spre electrozii maşinii.

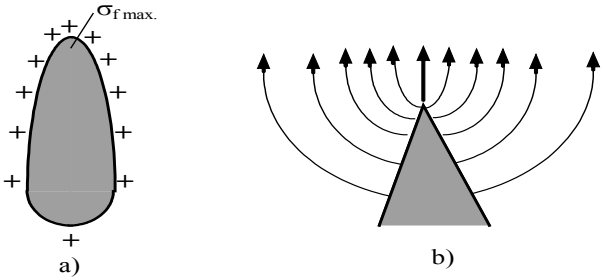

Figura 1- Repartiţia sarcinii electrice pe suprafaţa unui corp conductor de formă oarecare a) şi configuraţia liniilor de câmp în cazul unui vârf ascuţit b).

5. Riscul/pericolul de fibrilaţie la trecerea curentului de trăsnet prin corpul uman

Trecerea curentului electric prin corpul uman este însoţit de fenomene ale căror efecte se manifestă sub diverse forme.

Efectele curentului electric asupra omului sunt:

- calorice, manifestate prin arsuri;

[35] James Wimshurst (1832 - 1903) perfecționează mașina electrostatică care devine capabilă să genereze tensiuni înalte, ce vor fi utilizate în noi domenii de studii și cercetare. Aceasta se compune acum din două discuri de sticlă ce se rotesc în plan vertical în sensuri opuse, iar sarcina electrică era colectată de două bare metalice.

- mecanice, manifestate prin ruperea ţesuturilor şi/sau lezarea vaselor sanguine într-o măsură mai mare sau mai mică;

- chimice, prin electroliza sângelui;

- biologice, prin alterarea proceselor metabolice caracteristice materiei vii.

Intensitatea curentului electric a cărui limită de suportabilitate a fost stabilită experimental şi care se consideră ca fiind fără pericol, este de:

- 10 mA, în cazul curentului alternativ de frecvenţă 50 Hz;

- 50 mA, în cazul curentului continuu.

Sensibilitatea factorului uman faţă de curentul electric, diferă de la o persoană la alta; din acest punct de vedere, s-a constatat experimental, că femeile şi copii sunt mai sensibili.

Intensitatea de prag pentru aceste categorii de persoane este mai redusă cu 30 % în raport cu intensitatea de prag specifică pentru bărbaţi.

Fenomenele care au loc în organism, urmare trecerii curentului electric, sunt reprezentate prin tulburări cardiace, dereglări ale sistemului nervos etc., şi definesc noţiunea de electrocutare sau de şoc electric.

Sub acţiunea curentului electric se generează contracţii/destinderi ale muşchiului inimii, situaţie în care funcţionarea inimii se manifestă ca o stare de fibrilaţie.

Curentul electric acţionează asupra centrilor sistemului nervos central care comandă circulaţia sanguină şi respiraţia, situaţie care conduce la compromiterea funcţionării normale a inimii şi/sau la oprirea respiraţiei; aceste efecte pot fi identificate ca fiind simptomele cele mai importante în cazul electrocutării.

Corpul uman se comportă ca un sistem de reglare închis, în care componentele principale sunt inima şi aparatul respirator, care îşi asigură reciproc funcţionarea astfel încât cedarea unei funcţii poate să corespundă distrugerii în final, a întregului organism.

Muşchii care participă la producerea respiraţiei, se contractă puternic generând sufocarea, simptom caracteristic electrocutării.

În muşchiul inimii se induce în mod permanent, o tensiune electrică necesară funcţionării normale; pentru fiecare contracţie, inima îşi creează în interiorul său stimulul necesar; din acest punct de vedere, inima este un organ care se autoexcită.

Frecvenţa bătăilor inimii variază între 1,1 Hz şi 1,3 Hz.

La trecerea curentului electric prin organism, inima primeşte o anumită tensiune; dacă curentul electric depăşeşte o anumită intensitate, şi variaţia di/dt atinge o anumită pantă, muşchiul tinde să se contracte.

Această contracţie se adaugă contracţiilor inimii produse pe cale naturală; ca rezultat al acestui efect, sistemul de comandă şi de propagare a excitaţiilor poate fi perturbat, generând funcţionarea anormală şi periculoasă a inimii.

Formele de manifestare a fenomenelor determinate de trecerea curentului electric prin organism depind de frecvenţa şi de natura curentului.

Curentul electric alternativ, generează tulburări cardiace şi respiratorii la tensiuni de 70 V spre deosebire de curentul continuu pentru care aceste fenomene apar abia la valori de 120-140 V.

Valorile de frecvenţă care prezintă cele mai mari riscuri/pericole pentru organismul uman sunt cuprinse în intervalul 50-100 Hz.

În general, un nerv nu răspunde la excitaţii de frecvenţe mai mari de 10^3 Hz. La trecerea unui curent cu frecvenţa de 15-300 MHz organismul se comportă ca un dielectric cu pierderi mari.

Faptul că nu orice excitaţie electrică generează fibrilaţia inimii se datorează sensibilităţii diferenţiate a acesteia în diferite stări de contracţie.

O altă situaţie care poate genera riscuri/pericole de accidentare datorat curentului electric se poate materializa prin apariţia unor leziuni locale, denumite traumatisme electrice (arsuri electrice şi/sau metalizare a pielii) o reprezintă arcurile electrice.

Arsurile, apar în general datorită dezvoltării unor temperaturi foarte mari în arcul electric; metalizarea pielii se produce datorită pătrunderii în tegument a stropilor de metal topit.

6. Exemple de riscuri/pericole generate de descărcări sub formă de trăsnet

Exemple foarte rare, cunoscute de lumea ştiinţifică, referitoare la descărcările sub formă de trăsnet, sunt:

- în Marea Britanie, în spaţiul aerian al unui aeroclub sportiv, a avut loc o descărcare electrică sub formă de trăsnet, pe un planor aflat în zbor, în care se afla un instructor şi elevul pilot; planorul a fost distrus în totalitate, instructorul şi elevul pilot, s-au salvat paraşutându-se; deşi foarte rară o astfel de situaţie, aceasta este necesar să fie luată în calcul, întrucât acolo unde se generează curenţi ascensionali cu anumite caracteristici, există cu mare probabilitate, riscul/pericolul generării unor nori de furtună în perioade de timp foarte scurte;

- la N.A.S.A., în cadrul programului spaţial, de lansare a rachetei AC 67 în anul 1987, aceasta a fost distrusă urmare căderii

unui trăsnet, la 48 de secunde de la iniţierea procedurii de decolare; probleme similare, au avut loc şi în cazul rachetei Delta 5.

Una dintre măsurile de securitate, aplicată de N.A.S.A în prezent, este aceea că, nici o procedură de iniţiere a decolării unei rachete sau navete, nu se poate realiza, dacă există riscul/pericolul determinat de prezenţa unui nor/unor formaţiuni de nori, dacă acesta /aceştia, se află la distanţe mai mici de 16 km faţă de spaţiul de lansare; în acest mod, se controlează intensitatea câmpului electric, care este necesar să admită valori medii de aproximativ 100-250 V/m.

BIBLIOGRAFIE

[1] Golovanov, N., Popescu, G., Dumitrana, T., Coatu, S., *Evaluarea riscurilor generate de descărcări electrostatice*, Editura tehnică, Bucureşti, 2000.
[2] Eleonora, D., Popescu, S., Benga, M., Darie, E., Popescu, G., *Efecte fiziologice şi riscul de fibrilaţie la trecerea curentului electric prin corpul uman*, Conferinţa Naţională cu participare Internaţională "Instalaţii pentru construcţii şi confortul ambiental", ediţia a 14-a, 14-15 aprilie 2005, Timişoara, Editura Politehnica Timişoara, 2005.
[3] Popescu, G., Golovanov, N., *Riscuri /pericole care se pot genera la impactul instalaţiilor electrice cu mediul înconjurător şi cu fiinţele vii* (partea I-a), publicaţia Obiectiv, Revistă Naţională de Specialitate pentru Securitate şi Sănătate în Muncă, nr.1/2009.
[4] Popescu, G., Golovanov, N., *Riscuri /pericole care se pot genera la impactul instalaţiilor electrice cu mediul înconjurător şi cu fiinţele vii* (partea a II-a), publicaţia Obiectiv, Revistă Naţională de Specialitate pentru Securitate şi Sănătate în Muncă, nr.2/2009.
[5] Popescu, G., Golovanov, N., *Riscuri /pericole care se pot genera la impactul instalaţiilor electrice cu mediul înconjurător şi cu fiinţele vii* (partea a III-a), publicaţia Obiectiv, Revistă Naţională de Specialitate pentru Securitate şi Sănătate în Muncă, nr.3 /2009.
[6] Popescu, G., Darie, E., *Riscuri/pericole determinate de descărcările sub formă de trăsnet*, Buletinul Pompierilor nr.2/2009, Editura Ministerului Administraţiei şi Internelor, Bucureşti, 2009.

Lect. univ. Dr.Ing. Garibald POPESCU
Academia de Poliţie" Alexandru Ioan Cuza"
Facultatea de Pompieri