

BREVIAR DE CALCULE

PROIECTAREA PTAB

Liviu Popa - 0770903710
29.06.2026

Drepturi de autor și utilizarea catalogului

© 2026 Liviu-Cornel POPA. Toate drepturile rezervate.

Prezentul Brevia de calcule pentru proiectarea PTAB, inclusiv structura de codificare, textele tehnice, descrierile produselor, tabelele, schemele, imaginile, fișele de produs, anexele, logigramele, formularele, modelele de verificare, explicațiile tehnice, precum și modul de organizare a informațiilor, constituie o operă/documentație tehnică protejată de legislația aplicabilă în materia dreptului de autor și a drepturilor conexe.

Titularul drepturilor declară și rezervă în mod expres toate drepturile patrimoniale și morale asupra conținutului catalogului, precum și asupra oricăror actualizări, revizuirii, extrase, adaptări, traduceri, baze de date, selecții și aranjamente ale conținutului.

Este interzisă, fără acordul scris prealabil al titularului, orice reproducere, copiere, scanare, distribuire, publicare, transmitere, încărcare pe platforme informatice, modificare, adaptare, traducere, extragere sistematică de conținut, reambalare, reutilizare în documentații concurente sau integrare în baze de date, aplicații software, oferte, caiete de sarcini ori materiale comerciale.

Utilizarea breviarului este permisă exclusiv în scopul analizării, ofertării, achiziției, proiectării, avizării, recepției, exploatării și mentenanței PTAB, în limitele documentului transmis și numai pentru procedura, proiectul sau raportul contractual pentru care breviarul a fost pus la dispoziție.

Nicio dispoziție din prezentul catalog nu transferă, cesionează sau licențiază utilizatorului vreun drept de autor, drept asupra bazei de date, drept asupra mărcilor, desenelor, modelelor, know-how-ului, secretelor comerciale ori altor drepturi de proprietate intelectuală.

Este permisă numai citarea limitată a unor extrase, în măsura permisă de lege, cu indicarea completă a sursei, a titularului, a denumirii documentului, a versiunii și a datei, fără afectarea exploatării normale a operei și fără prejudicierea intereselor legitime ale titularului.

În cazul utilizării neautorizate, titularul își rezervă dreptul de a solicita încetarea utilizării, retragerea materialelor, repararea prejudiciului, despăgubiri și orice alte măsuri prevăzute de lege.

Titular drepturi: Liviu-Cornel POPA

Document: Breviar de calcule – proiectarea PTAB

Versiune: V0.0

Data: 29.06.2026

Contact: liviu.popa@relatiiclienti.eu, 0770903710

Cuprins

I. DIMENSIONAREA ELECTRICĂ	5
1. Principiul de proiectare și sursele de date.....	5
2. Lista calculelor de dimensionare electrică	6
3. Explicații metodologice pe grupe.....	8
3.1. Sarcină, putere și alegerea transformatorului	8
3.2. Curentul JT, curentul MT și TDRI	8
3.3. Cabluri, bare și căderi de tensiune.....	8
3.4. Pierderi, eficiență și cost de exploatare	8
3.5. Regim deformant, dezechilibru și N/PEN.....	9
3.6. Compensarea energiei reactive	9
3.7. Servicii auxiliare, UPS și MS/SCADA	9
4. Date care trebuie colectate înainte de calcul final.....	9
5. Referințe utilizate în model	9
II. CALCULE DE SCURTCIRCUIT.....	10
1. Scopul calculelor	10
2. Surse obligatorii ale informațiilor de intrare.....	10
3. Formule principale utilizate	10
4. Lista completă a calculelor.....	11
5. Interpretarea rezultatelor și verificări obligatorii.....	15
6. Limitări și responsabilitate de proiectare	15
III. VERIFICAREA SOLICITĂRILOR LA SCURTCIRCUIT	16
1. Scopul verificării	16
2. Lista tuturor calculelor și verificărilor.....	16
3. Formule de bază și sursa fiecărei informații	17
4. Lista verificărilor incluse	18
5. Interpretarea rezultatului	18
6. Observații tehnice importante.....	19
7. Documente probatorii obligatorii pentru închiderea verificării	19
IV. TABLOUL DE DISTRIBUȚIE JT / TDRI (ANSAMBLU DE JOASĂ TENSIUNE)	20
1. Scopul verificării TDRI	20
2. Lista calculelor și verificărilor incluse	20
3. Verificări care NU trebuie omise.....	21
4. Standarde și documente de referință incluse în model	21
5. Limitări și condiții de utilizare	21
V. PROTECȚIE ȘI SELECTIVITATE	22
1. Scop și domeniu de aplicare	22
2. Lista calculelor și verificărilor	22
3. Formule principale	22
4. Tabel de verificare detaliată	23
5. Documente care trebuie predate la final.....	24
6. Observații finale.....	24
VI. PUNERE LA PĂMÂNT ȘI ECHIPOTENȚIALIZARE.....	25
1. Domeniu și rol în proiectarea PTAB	25
2. Lista calculelor și verificărilor	25
3. Formule principale utilizate	26
4. Criterii de verificare rapidă	26
5. Documente probatorii minime.....	26
6. Limitări și reguli de utilizare	27
VII. COORDONAREA IZOLAȚIEI ȘI PROTECȚIA LA SUPRATENSIUNI	28
1. Scopul calculului	28
2. Lista calculelor și verificărilor	28
3. Date de intrare și sursa fiecărei informații	28
4. Formule principale	29
4.1. Alegerea tensiunii maxime și a nivelului de izolare	29
4.2. Distanțe de izolare.....	29
4.3. Distanța de fugă și CTI.....	29
4.4. Alegerea descărcătorului MT.....	29
4.5. SPD pe joasă tensiune, auxiliare și comunicații	29

5. Criterii de conformitate rapidă	30
6. Documente probatorii necesare	30
7. Observații pentru proiectant.....	30
8. Standardele și documentele utilizate ca surse	30
VIII. CALCULE TERMICE, VENTILAȚIE ȘI CONTROL CONDENS.....	32
1. Lista calculelor și verificărilor incluse	32
2. Formule principale	32
2.1. Pierderi transformator:.....	32
2.2. Suma puterilor disipate:.....	32
2.3. Aport solar orientativ:	32
2.4. Disipare prin anvelopă, model simplificat:.....	32
2.5. Putere de evacuat prin aer:	33
2.6. Debit aer necesar:.....	33
2.7. Conversie debit:.....	33
2.8. Suprafață brută minimă grile:	33
2.9. Debit forțat efectiv:	33
2.10. Număr minim ventilatoare:	33
2.11. Temperatură interioară maximă:.....	33
2.12. Punct de rouă - formula Magnus:.....	33
2.13. Criteriu risc condens:	33
2.14. Putere minimă anticondens:	33
3. Criterii de conformitate și neconformitate	33
4. Observații pentru proiectare.....	34
5. Checklist minimal de documente probatorii.....	34
IX. CALCULE MECANICE ȘI STRUCTURALE (ANVELOPA DE BETON).....	35
1. Scopul calculului	35
2. Lista completă a calculelor și verificărilor	35
3. Date de intrare și sursa informației	35
4. Formule operaționale.....	36
5. Documente probatorii minime.....	36
6. Observații.....	37
7. Limitări	37
X. CALCULE GEOTEHNICE ȘI DE FUNDARE	38
1. Scopul setului de calcule	38
2. Lista calculelor și verificărilor	38
3. Sursele datelor de intrare	39
4. Formule și criterii de verificare.....	39
5. Documente probatorii obligatorii	40
6. Reguli de interpretare a verdictului	40
XI. CALCULE SPECIALE ȘI DE SIGURANȚĂ	41
1. Scopul calculelor speciale și de siguranță	41
2. Lista completă a calculelor/verificărilor	41
3. Formule și criterii de verificare.....	42
3.1. Arc intern / IAC.....	42
3.2. Volumul cuvei de retenție a uleiului	42
3.3. Risc la trăsnet și LPS/SPD.....	42
3.4. Rezistență la foc și propagarea incendiului	42
3.5. Zgomotul transformatorului.....	42
4. Sursele informațiilor de intrare	42
5. Observații de proiectare și limitări.....	43
6. Checklist de documente probatorii	43
XII. DURABILITATE, FINISAJE ȘI CONFORMITATE DE PRODUS.....	44
1. Scopul documentului	44
2. Încadrarea în borderoul de calcule.....	44
3. Date de intrare și sursa informației	44
4. Formule și relații de calcul	45
5. Lista completă de calcule/verificări.....	45
6. Documente probatorii minime.....	46
7. Reguli de verdict	46
8. Observații finale pentru proiectare și recepție	47
XIII. CALCULE FUNCȚIONALE, DE MEDIU ȘI DOCUMENTAȚIE.....	48
1. Scopul setului de calcule	48

2. Lista completă a calculelelor și verificărilor	48
3. Formule operaționale și sursa datelor	48
4. Explicații pe grupe de verificare.....	49
4.1. Iluminat, acces și evacuare	49
4.2. Compatibilitate electromagnetică	49
4.3. Consum propriu tehnologic	49
4.4. Analiza costului pe ciclul de viață.....	49
4.5. Mediu și SSM.....	49
4.6. FAT, SAT, PIF și documentație	49
5. Documente minime obligatorii	49
6. Reguli de verdict	50

I. DIMENSIONAREA ELECTRICĂ

Scop.

Documentul explică setul complet de calcule de dimensionare electrică pentru un PTAB MT/JT, inclusiv calculele care apar în borderoul de proiectare și calculele suplimentare necesare pentru ca alegerea transformatorului, TDRI, cablurilor, barelor, compensării reactive și serviciilor auxiliare să fie trasabilă.

Limită de utilizare.

Modelul este un instrument de proiectare preliminară.

Rezultatele trebuie validate prin proiect tehnic autorizat, date OD/ATR, fișe ale producătorilor, scheme de scurtcircuit, studii de protecții și condiții reale de amplasament.

Pentru standarde se verifică ediția SR/EN/IEC aplicabilă la data proiectării și cerințele OD/beneficiarului.

1. Principiul de proiectare și sursele de date

Dimensionarea electrică se conduce de la ieșire spre intrare:

- se pornește de la
 - o sarcina ce trebuie livrată,
 - o numărul și tipul plecărilor JT,
 - o regimul de exploatare,
 - o rezerva de dezvoltare,
 - o cerințele MS/SCADA și
 - o condițiile beneficiarului;
- apoi se aleg
 - o transformatorul,
 - o TDRI,
 - o cablurile,
 - o barele și
 - o auxiliarele.

Verificarea se face invers, dinspre rețea spre sarcină, folosind datele OD:

- o tensiune,
- o scurtcircuit disponibil,
- o regim de neutru și
- o condiții de protecție.

Sursă	Date obținute	Folosit la	Document probator
Beneficiar / client	Lista receptoarelor, puteri, profil de consum, simultaneitate, dezvoltări viitoare, număr plecări	P_cerută, S_nec, n0, rezerve, compensare	Cerere ofertă, temă proiectare, liste consumatori
OD / ATR / studiu soluție	U_MT, punct de racordare, S_sc sau I_k la PCC, regim neutru, limite de tensiune, cerințe protecții	I_MT, căderi tensiune, compatibilitate rețea, verificări protecții	ATR, aviz tehnic, studiu soluție, date scurtcircuit
Fișă transformator	S_tr, U, P0, Pk, uk, rk/xk, grupe conexiuni, pierderi, ulei, accesorii	I_JT/I_MT, pierderi, reglaj/cădere tensiune, ecodesign	Fișă tehnică, raport încercări, certificat conformitate
Fișe cabluri și bare	R, X, Iz, factori de pozare, material, secțiuni, I_cw/I_pk	Ampacitate, căderi tensiune, pierderi, stabilitate termică/electrodinamică	Fișe producător, cataloage, rapoarte încercări

Fișe TDRI / aparataj	In, I _{cw} /I _{pk} , încălzire, intrări, ieșiri, protecții, măsură	Cod TDRI, încărcare TDRI, plecări, bare, N/PE/PEN	Fișă TDRI, schemă monofilară, design verification
Măsurători / analizor PQ	cosφ, THDi, armonici, dezechilibru, curent nul/PEN	Compensare, derating, N/PEN, calitate energie	Raport analizor, curbe de sarcină
Catalog PTAB și anexe	Clase PTAB, coduri, matrice TDRI, compatibilități, MS/SCADA	Transformă rezultatele de calcul în configurație PTAB coerentă	Catalog PTAB, Anexa 001, 002, 007, 008

2. Lista calculelor de dimensionare electrică

Tabelul de mai jos include calculele necesare pentru a încheie corect dimensionarea electrică.

Nr.	Calcul	Formula	Sursa datelor	Standard / metodă
1	Putere activă cerută	$P_{cerută} = P_{inst} \times k_s \times k_u \times k_{dev} \times k_{rez}$	Beneficiar: listă receptoare, profil, coeficienți	SR EN 60076-1; EN IEC 62271-202; metodă proiect
2	Putere aparentă necesară	$S_{nec} = P_{cerută} / \cos\phi / \beta_{max}$	Curba de sarcină, cosφ, criteriu de încărcare	SR EN 60076-1; EN IEC 62271-202
3	Treaptă standard transformator	$S_{std} = \text{următoarea treaptă standard} \geq S_{nec}$	Catalog PTAB, puteri standard, cerință OD	Catalog PTAB clase L1-H1; EN 60076
4	Clasă PTAB	$L1 \leq 63; L2 \leq 250; M1 \leq 630; M2 \leq 1600; H1 \leq 3150 \text{ kVA}$	Catalog PTAB / Registru coduri	Catalog PTAB Cap.2.1; Anexa 001/002
5	Grad încărcare transformator	$\beta = S_{nec} / S_{tr}$	S_{nec} din calcul, S_{tr} din fișă	SR EN 60076-1; criteriu exploatare
6	Rezervă de putere	$S_{rez} = S_{tr} - S_{nec}$	S_{tr} , S_{nec}	Metodă proiect / cerință OD
7	Curent nominal JT	$I_{JT} = S_{tr} / (\sqrt{3} \times U_{JT})$	Fișă transformator, U_{JT}	Catalog PTAB Cap.8.2; PE 132; EN 60076
8	Curent nominal MT	$I_{MT} = S_{tr} / (\sqrt{3} \times U_{MT})$	ATR/OD, fișă transformator	PE 132; NTE 401; EN 60076
9	Curent JT necesar din sarcina calculată	$I_{JT_{nec}} = S_{nec} / (\sqrt{3} \times U_{JT})$	S_{nec} , U_{JT}	EN 60076; SR HD 60364
10	Curent minim TDRI cu rezervă	$I_{TDRI_{min}} = I_{JT} \times k_{TDRI}$	I_{JT} , rezervă dezvoltare	EN/IEC 61439; Catalog PTAB / Anexa 007
11	Treaptă TDRI standard	$I_{TDRI} = \text{următoarea treaptă standard} \geq I_{TDRI_{min}}$	Matrice TDRI, fișă TDRI	Catalog PTAB Cap.8; Anexa 007; EN/IEC 61439
12	Grad încărcare TDRI	$g_{TDRI} = I_{JT} / I_{TDRI}$	I_{JT} , I_{TDRI}	EN/IEC 61439; Anexa 007
13	Cod TDRI	$Cod = TDRI - [I]A$	Registru coduri, rezultat TDRI	Catalog PTAB Cap.8.1; Anexa 002
14	Curent mediu pe plecare JT	$I_{O_{med}} = I_{JT} / n_O$	Schema TDRI, număr plecări	Anexa 007; SR HD 60364
15	Capacitate totală plecări JT	$P_{O_{total}} = n_O \times P_{O_{max}}$	Schema JT, listă consumatori	SR HD 60364; Anexa 007
16	Număr poziții TDRI	$n_{total} = n_O + n_{rez}$	Schema TDRI, cerință rezervă	Anexa 007; Catalog PTAB

17	Pierderi transformator la încărcare	$P_{loss} = P_0 + P_k \times \beta_{med}^2$	Fișă transformator, curba de sarcină	SR EN 60076-1; Reg. (UE) 548/2014 și 2019/1783
18	Energie anuală pierdută în transformator	$E_{loss} = P_{loss} \times h_{an}$	P_{loss} , ore funcționare	SR EN 60076-1; metodă proiect
19	Cost anual pierderi	$C_{loss} = E_{loss} \times c_E$	Preț energie / ipoteză beneficiar	Metodă economică proiect
20	Componentă reactivă u_k	$x_k = \sqrt{(u_k^2 - r_k^2)}$	Fișă transformator	SR EN 60076-1
21	Reglaj/cădere tensiune transformator	$\Delta u_{tr\%} \approx r_k \cos\varphi + x_k \sin\varphi$	Fișă transformator, $\cos\varphi$	SR EN 60076-1; SR EN 50160
22	Cădere tensiune JT	$\Delta U_{JT} = \sqrt{3} \times I/n \times (R \cos\varphi + X \sin\varphi) \times L/1000$	Plan cabluri, fișe cabluri	SR HD 60364-5-52; SR CEI 60287; SR EN 50160
23	Cădere tensiune JT %	$\Delta u_{JT\%} = \Delta U_{JT} / U_{JT} \times 100$	ΔU_{JT} , U_{JT}	SR HD 60364; SR EN 50160
24	Cădere tensiune MT	$\Delta U_{MT} = \sqrt{3} \times I_{MT} \times (R \cos\varphi + X \sin\varphi) \times L/1000$	Plan cabluri MT, fișe cabluri	PE 132; SR HD 60364; IEC 60287
25	Cădere tensiune totală	$\Delta u_{total\%} = \Delta u_{tr} + \Delta u_{JT} + \Delta u_{MT}$	Rezultate parțiale	SR EN 50160; SR HD 60364
26	Factor total corecție cabluri	$K_{total} = K_T \times K_G \times K_P \times \dots$	Condiții pozare, sol, temperatură, grupare	SR HD 60364-5-52; IEC 60287
27	Curent admisibil cablu JT corectat	$I_{z_corr} = I_z \times n_{par} \times K_{total}$	Fișă cablu, plan pozare	SR HD 60364-5-52; IEC 60287
28	Grad încărcare cabluri JT	$g_{cab} = I_{JT} / I_{z_corr}$	I_{JT} , I_{z_corr}	SR HD 60364-5-52
29	Curent admisibil cablu MT corectat	$I_{z_MT_corr} = I_{z_MT} \times K_{total}$	Fișă cablu MT, plan pozare	IEC 60287; SR HD 60364
30	Pierderi Joule traseu JT	$P_{JT} = 3 \times (I/n)^2 \times R \times L/1000 / 1000$	Plan cabluri, fișă cablu	SR CEI 60287; metodă proiect
31	Secțiune minimă bare	$A_{min} = I_{TDRI} / J_{bare}$	Fișă TDRI, criteriu proiect	EN/IEC 61439-1/-2; SR EN 60865-1
32	Grad încărcare bare	$g_{bare} = I_{TDRI} / (A_{prop} \times J_{bare})$	Fișă TDRI, desen bare	EN/IEC 61439; SR EN 60865-1
33	Curent neutru din armonici triplene	$I_{N_H3} \approx 3 \times I_{fază} \times H3$	Analizor PQ, profil sarcini	SR HD 60364; IEC 61000; EN 50160
34	Curent dimensionare N/PEN	$I_{N_dim} = \max(I_{N \text{ măsurat}}, I_{N_H3})$	Măsurători, calcul armonici	SR HD 60364; EN/IEC 61439
35	Factor armonic estimativ	$K_h \approx 1 + (THDi/100)^2$	Analizor PQ, profil sarcini	IEC 61000; EN 50160; EN 60076
36	Transformator deratat pentru armonici	$S_{derat} = S_{tr} / K_h$	Fișă transformator, analiză armonici	IEC 61000; EN 60076; EN 50160
37	Putere reactivă inițială	$Q1 = P_{cerută} \times \tan(\arccos(\cos\varphi_1))$	Măsurători, curba de sarcină	SR EN 60831; EN 50160
38	Putere reactivă țintă	$Q2 = P_{cerută} \times \tan(\arccos(\cos\varphi_2))$	Cerință OD/beneficiar	SR EN 60831; EN 50160

39	Putere de compensare	$Q_c = \max(Q_1 - Q_2, 0)$	Q_1, Q_2	SR EN 60831
40	Baterie rotunjită la pas	$Q_{c_std} = \text{CEILING}(Q_c, Q_{step})$	Fișă baterie, pas trepte	SR EN 60831
41	Rezonanță baterie-condensatoare	$h_{res} \approx \sqrt{(S_{sc}[kVA] / Q_c[kVar])}$	S_{sc} de la OD, Q_c	IEC 61000; SR EN 60831
42	Compatibilitate compensare cu THDi	dacă THDi mare → baterie detunată/filtre	Analizor PQ	IEC 61000; EN 50160; SR EN 60831
43	Putere auxiliară	$P_{aux_kW} = P_{aux} / 1000$	Schema servicii auxiliare	EN/IEC 61439; Matrice MS/SCADA
44	Curent DC auxiliar	$I_{DC} = P_{aux} / (U_{DC} \times \eta)$	Fișe UPS/RTU	IEC 61439; cerințe MS/SCADA
45	Capacitate baterie UPS	$C_{Ah} = P_{aux} \times t / (U_{DC} \times \eta \times DoD)$	Cerință OD, MS/SCADA, fișă UPS	IEC 61439; cerințe SCADA; metodă proiect
46	Energie servicii auxiliare	$E_{aux} = P_{aux_kW} \times h_{an}$	Schema auxiliare	Metodă proiect
47	Curent regim n-1	I_{n-1} = curentul pe calea rămasă în funcție de schema de redundanță	OD, schema buclă, proiect	SR HD 60364-5-52; IEC 60287
48	Secțiune economică	$\min(C_{investiție} + C_{pierderi \text{ actualizate}})$	Cost conductor, preț energie, durată, pierderi	Decizia ANRE 269/2003; metodă economică
49	Verdict preliminar	conform dacă S_{tr} , TDRI, cabluri, bare și tensiune sunt OK	Rezultate calculate	Catalog PTAB; Anexa 003; standarde aplicabile

3. Explicații metodologice pe grupe

3.1. Sarcină, putere și alegerea transformatorului

Prima ipoteză de proiectare este sarcina reală care trebuie livrată.

Puterea instalată nu este egală automat cu puterea transformatorului.

Se aplică simultaneitatea, utilizarea, factorul de dezvoltare, rezerva și gradul maxim de încărcare admis.

Alegerea transformatorului se face pe treapta standard imediat superioară rezultatului, cu verificarea că anvelopa este dimensionată pentru puterea maximă prevăzută, nu doar pentru echiparea inițială.

3.2. Curentul JT, curentul MT și TDRI

Curentul JT se calculează cu formula trifazată $I = S / (\sqrt{3} \times U)$. La 0,4 kV rezultă aproximativ 1,443 A pentru fiecare kVA.

TDRI se stabilește după curentul nominal al tabloului, barelor și întreruptorului general, nu doar după puterea în kVA a transformatorului.

Se declară separat numărul de intrări de putere, plecările echipate și rezervele.

3.3. Cabluri, bare și căderi de tensiune

Căderea de tensiune se determină pe traseul critic, cu rezistența și reactanța reale ale cablului, lungimea reală și factorul de putere.

Curentul admisibil se corectează cu toți factorii de pozare: temperatură, grupare, sol, conductoare paralele, tip izolație și condiții de instalare.

Barele TDRI se verifică preliminar prin densitate de curent, iar producătorul ansamblului trebuie să confirme încălzirea și ținerea la scurtcircuit.

3.4. Pierderi, eficiență și cost de exploatare

Pierderile transformatorului se separă în pierderi în gol și pierderi în sarcină.

Energia anuală pierdută depinde de profilul de încărcare, nu doar de puterea nominală.

Calculul costului pierderilor este util pentru comparații tehnico-economice și pentru secțiunea economică a conductoarelor.

3.5. Regim deformant, dezechilibru și N/PEN

Sarcinile neliniare pot impune derating pentru transformator, cabluri și N/PEN.

Armonicile triplene se însumează în conductorul neutru.

De aceea curentul prin nul nu se deduce mecanic din curenții de fază, ci se verifică prin măsurători sau calcul armonic.

3.6. Compensarea energiei reactive

Puterea bateriei de condensatoare se calculează din diferența dintre puterea reactivă la cosφ existent și puterea reactivă la cosφ țintă.

Dacă există armonici, se verifică riscul de rezonanță și se analizează baterii detunate sau filtre.

3.7. Servicii auxiliare, UPS și MS/SCADA

În PTAB cu MS/SCADA, serviciile auxiliare devin parte a dimensionării electrice: RTU, comunicații, încălzire anticondens, iluminat, ventilare, încărcător baterii și UPS.

Capacitatea bateriei se calculează din puterea auxiliară, autonomia cerută, tensiunea sistemului, randament și adâncimea admisă de descărcare.

4. Date care trebuie colectate înainte de calcul final

Sursa	Informații obligatorii
De la OD / ATR	Tensiune MT; S_{sc}/I_k la punctul de racordare; regim neutru; nivel izolație; cerințe protecții; limite de tensiune; condiții compensare reactivă; cerințe SCADA.
De la beneficiar	Lista completă de receptoare; puteri active/reactive; regim de funcționare; curbe de sarcină; simultaneitate; dezvoltare viitoare; număr plecări; consumatori critici; restricții de zgomot/spațiu.
De la producător transformator	P_0 , P_k , u_k , r_k/x_k , curenți, tip răcire, masă, ulei, nivel izolație, încercări, nivel pierderi/ecodesign, grupa vectorială.
De la producător TDRI	I_n , I_{cw} , I_{pk} , bare, număr intrări/ieșiri, încălzire, protecții, N/PE/PEN, rapoarte de verificare proiect EN/IEC 61439.
De la producător cabluri	R , X , I_z , secțiune, material, izolație, temperaturi, curenți de scurtă durată, factori de corecție, condiții de pozare.
Din măsurători / analiză PQ	cosφ real, THDi/THDu, armonici dominante, dezechilibru, curent neutru/PEN, curbe de sarcină.

5. Referințe utilizate în model

- CATALOG PTAB – PRODUSE STANDARDIZATE ed. 1, rev. 0 - clase PTAB, codificare, TDRI, reguli de compatibilitate.
 - ANEXA 007 – Matrice TDRI PTAB – curent nominal JT, intrări/ieșiri, trepte TDRI.
 - ANEXA 002 – Registrul codurilor PTAB – structura codului PTAB și reguli de validare.
- SR EN/IEC 60076,
- EN IEC 62271-202,
- EN/IEC 61439-1/-2,
- SR HD 60364-5-52,
- IEC/CEI 60287,
- SR EN 50160,
- SR EN 60831,
- IEC 61000,
- PE 132,
- NTE 401,
- Decizia ANRE 269/2003 – se verifică ediția aplicabilă la data proiectării.

II. CALCULE DE SCURTCIRCUIT

1. Scopul calculelor

Calculul de scurtcircuit nu este doar o valoare unică I_k .

El trebuie tratat pe scenarii: maxim/ minim, MT/ JT, bare PTAB/ capăt de plecare, trifazat/ bifazat/ monofazat, cu/ fără contribuții locale, cu verificarea TDRI, celulelor MT, întreruptoarelor, conductoarelor și protecțiilor.

2. Surse obligatorii ale informațiilor de intrare

Categorie date	Valori necesare	Sursa primară	Observații
Operator de distribuție / ATR	$S_{k_Q_max}$, $S_{k_Q_min}$, regim neutru MT, curent de punere la pământ, timp de declanșare impus	OD / ATR / studiu de soluție / aviz tehnic	Fără date OD, rezultatul este preliminar.
Transformator	S, U, u_k , P_k , toleranțe, vector group, stabilitate la scurtcircuit	Fișă transformator / raport încercări	Datele producătorului sunt obligatorii pentru RT, XT și verificare.
Cabluri MT/JT	R_1 , X_1 , R_0 , X_0 , lungime, pozare, temperatură	Fișe cabluri / proiect trasee / SR CEI 60287	Pentru I_k minim se verifică temperatura maximă.
TDRI / tabloul JT	I_{cw} , I_{pk} , I_{cu}/I_{cs} , bare, întreruptor general, plecări	Raport TDRI / fișe aparataj / SR EN 61439	Se verifică la I_k total, inclusiv contribuții locale dacă există.
Celule MT	I_k , I_{pk} , capacitate de rupere/închidere, timp admis	Fișă celule MT / rapoarte încercări / SR EN 62271	Se verifică pentru I_k MT la bornele PTAB.
Protecții	Reglaje, pickup, timp de declanșare, curbe	Studiu protecții / OD / proiect	Obligativ pentru sensibilitate și selectivitate.
Sarcini locale	Motoare, generatoare, PV, BESS, invertoare	Beneficiar / fișe echipamente	Se introduc doar dacă pot contribui la scurtcircuit.

3. Formule principale utilizate

Calcul	Formula	Utilizare	Observații
Curent nominal transformator	$I_n = S / (\sqrt{3} \times U)$	Se folosește pentru curenții MT/JT nominali și pentru alegerea inițială TDRI.	Se validează cu standardul aplicabil și datele reale de proiect.
Impedanța sursei din puterea de scurtcircuit	$Z_Q = U_n^2 / S_k$	Datele S_k se obțin de la OD; pentru calcule detaliate se separă R și X.	Se validează cu standardul aplicabil și datele reale de proiect.
Separarea R/X	$R = Z \times (R/X) / \sqrt{1 + (R/X)^2}$, $X = Z / \sqrt{1 + (R/X)^2}$	Raportul R/X se obține de la OD sau se justifică prin proiect.	Se validează cu standardul aplicabil și datele reale de proiect.
Impedanța transformatorului	$Z_T = u_k\% \times U_{JT}^2 / S_{MVA}$	Se calculează pe partea JT pentru scurtcircuitul la barele TDRI.	Se validează cu standardul aplicabil și datele reale de proiect.
Rezistența transformatorului	$R_T = P_k \times 1000 / (3 \times I_n^2)$	P_k este pierderea în sarcină din fișa transformatorului.	Se validează cu standardul aplicabil și datele reale de proiect.
Scurtcircuit trifazat	$I_{k3} = c \times U_n / (\sqrt{3} \times Z)$	Se calculează separat pentru maxim și minim.	Se validează cu standardul aplicabil și datele reale de proiect.

Scurtcircuit bifazat	$I_{k2} \approx (\sqrt{3} / 2) \times I_{k3}$	Aproximare uzuală când se folosesc aceleași impedanțe de secvență pozitivă/negativă.	Se validează cu standardul aplicabil și datele reale de proiect.
Scurtcircuit monofazat	$I_{k1} = \sqrt{3} \times c \times U_{LL} / 2Z_1 + Z_0 $	Necesită impedanța homopolară a traseului și schema de legare la pământ.	Se validează cu standardul aplicabil și datele reale de proiect.
Curent de vârf	$i_p = \kappa \times \sqrt{2} \times I_k''$	κ se determină din raportul R/X conform IEC 60909.	Se validează cu standardul aplicabil și datele reale de proiect.
Factor de vârf	$\kappa = 1,02 + 0,98 \times e^{(-3R/X)}$	Formulă de lucru pentru verificarea solicitării electrodinamice.	Se validează cu standardul aplicabil și datele reale de proiect.
Curent echivalent termic	$I_{th} = I_k \times \sqrt{(t_k \times k_{th})}$	Se folosește pentru verificarea I_{cw}/I^2t .	Se validează cu standardul aplicabil și datele reale de proiect.
Energie termică	$I^2t = (I_k \times 1000)^2 \times t$	Se compară cu rezistența termică a conductoarelor/aparatelor.	Se validează cu standardul aplicabil și datele reale de proiect.
Putere de scurtcircuit	$S_k = \sqrt{3} \times U \times I_k$	Se exprimă în MVA dacă U este în kV și I_k în kA.	Se validează cu standardul aplicabil și datele reale de proiect.
Secțiune PE/PEN la defect	$S_{min} = I_{fault} \times \sqrt{t} / k$	Verificare adiabatică; k depinde de material și izolație.	Se validează cu standardul aplicabil și datele reale de proiect.

4. Lista completă a calculelor

Nr.	Domeniu	Calcul / verificare	Formula tehnică	Sursa / standard
1	Bază date	Puterea aparentă transformator în MVA	$S_{MVA} = S_{kVA} / 1000$	Fișă trafo / proiect / SR EN 60076-1
2	Bază date	Tensiunea fază-neutru JT	$U_0 = U_{LL} / \sqrt{3}$	Tensiune JT proiect / SR EN 60909-0
3	Bază date	Curent nominal transformator pe JT	$I_{nJT} = S / (\sqrt{3} \times U_{JT})$	Fișă trafo / Matrice TDRI / Catalog PTAB §8; PE 132
4	Bază date	Curent nominal transformator pe MT	$I_{nMT} = S / (\sqrt{3} \times U_{MT})$	Fișă trafo / OD / PE 132; NTE 401
5	Sursă MT	Impedanța echivalentă sursă MT pentru I_k max	$ZQ = U_{MT}^2 / S_{k_Q_{max}}$	OD / ATR / studiu soluție / SR EN 60909-0; PE 134/1995
6	Sursă MT	Componenta R a sursei MT pentru I_k max	$R = Z \times (R/X) / \sqrt{(1+(R/X)^2)}$	OD / ipoteză R/X / SR EN 60909-0
7	Sursă MT	Componenta X a sursei MT pentru I_k max	$X = Z / \sqrt{(1+(R/X)^2)}$	OD / ipoteză R/X / SR EN 60909-0
8	Sursă MT	Impedanța echivalentă sursă MT pentru I_k min	$ZQ = U_{MT}^2 / S_{k_Q_{min}}$	OD / ATR / studiu soluție / SR EN 60909-0; PE 134/1995
9	Sursă MT	Componenta R a sursei MT pentru I_k min	$R = Z \times (R/X) / \sqrt{(1+(R/X)^2)}$	OD / ipoteză R/X / SR EN 60909-0

10	Sursă MT	Componenta X a sursei MT pentru I _k min	$X = Z / \sqrt{1 + (R/X)^2}$	OD / ipoteză R/X / SR EN 60909-0
11	Sursă echiv. JT	R sursă raportat la JT pentru I _k max	$R_{QJT} = R_{QMT} \times (U_{JT}/U_{MT})^2 / n_{surse}$	OD + raport transformare / SR EN 60909-0
12	Sursă echiv. JT	X sursă raportat la JT pentru I _k max	$X_{QJT} = X_{QMT} \times (U_{JT}/U_{MT})^2 / n_{surse}$	OD + raport transformare / SR EN 60909-0
13	Sursă echiv. JT	R sursă raportat la JT pentru I _k min	$R_{QJT} = R_{QMT} \times (U_{JT}/U_{MT})^2 / n_{surse}$	OD + raport transformare / SR EN 60909-0
14	Sursă echiv. JT	X sursă raportat la JT pentru I _k min	$X_{QJT} = X_{QMT} \times (U_{JT}/U_{MT})^2 / n_{surse}$	OD + raport transformare / SR EN 60909-0
15	Transformator	Impedanță totală transformator nominală pe JT	$ZT = uk\% \times U_{JT}^2 / S_{MVA}$	Fișă trafo / SR EN 60076-1; SR EN 60909-0
16	Transformator	Impedanță transformator pentru I _k max	$ZT_{min} = ZT \times (1 - \text{toleranță } uk)$	Fișă trafo / toleranțe / SR EN 60076; SR EN 60909-0
17	Transformator	Impedanță transformator pentru I _k min	$ZT_{max} = ZT \times (1 + \text{toleranță } uk)$	Fișă trafo / toleranțe / SR EN 60076; SR EN 60909-0
18	Transformator	Rezistența echivalentă transformator nominală	$RT = Pk \times 1000 / (3 \times I_n^2)$	Fișă trafo / pierderi sarcină / SR EN 60076-1
19	Transformator	Rezistența transformator la cald pentru I _k min	$RT_{hot} = RT \times k_{temp}$	Temperatură conductor / proiect / SR EN 60909-0
20	Transformator	Reactanța transformator nominală	$XT = \sqrt{ZT^2 - RT^2}$	Fișă trafo / SR EN 60076-1; SR EN 60909-0
21	Transformator	Reactanța transformator pentru I _k max	$XT_{min} = \sqrt{ZT_{min}^2 - RT^2}$	Fișă trafo / toleranțe / SR EN 60909-0
22	Transformator	Reactanța transformator pentru I _k min	$XT_{max} = \sqrt{ZT_{max}^2 - RT_{hot}^2}$	Fișă trafo / toleranțe / SR EN 60909-0
23	Transformator paralel	R transformatoare echivalente pentru I _k max	$R_{eq} = RT / n_{tr}$	Schema monofilară / SR EN 60909-0
24	Transformator paralel	X transformatoare echivalente pentru I _k max	$X_{eq} = XT_{min} / n_{tr}$	Schema monofilară / SR EN 60909-0
25	Transformator paralel	R transformatoare echivalente pentru I _k min	$R_{eq} = RT_{hot} / n_{tr}$	Schema monofilară / SR EN 60909-0
26	Transformator paralel	X transformatoare echivalente pentru I _k min	$X_{eq} = XT_{max} / n_{tr}$	Schema monofilară / SR EN 60909-0
27	JT - bare PTAB	R total până la bare JT pentru I _k max	$R\Sigma = R_{QJT} + R_{Teq}$	OD + trafo / SR EN 60909-0
28	JT - bare PTAB	X total până la bare JT pentru I _k max	$X\Sigma = X_{QJT} + X_{Teq}$	OD + trafo / SR EN 60909-0
29	JT - bare PTAB	Z total până la bare JT pentru I _k max	$Z\Sigma = \sqrt{R\Sigma^2 + X\Sigma^2}$	Calcul / SR EN 60909-0
30	JT - bare PTAB	Scurtcircuit trifazat maxim la barele JT	$I_{k3max} = c_{max} \times U_{JT} / (\sqrt{3} \times Z\Sigma)$	OD + trafo + proiect / SR EN 60909-0; NTE 006/06/00
31	JT - bare PTAB	Factor de vârf κ la bare JT	$\kappa = 1,02 + 0,98 \times e^{(-3R/X)}$	R/X total / SR EN 60909-0
32	JT - bare PTAB	Curent de șoc/de vârf la bare JT	$i_p = \kappa \times \sqrt{2} \times I_k''$	I _k și κ / SR EN 60909-0

33	JT - bare PTAB	Constanta de timp a componentei aperiodice	$\tau = X/(2\pi fR)$	R/X total / SR EN 60909-0
34	JT - bare PTAB	R total până la bare JT pentru I _k min	$R\Sigma = R_{JT_min} + R_{Teq_hot}$	OD + trafo / SR EN 60909-0
35	JT - bare PTAB	X total până la bare JT pentru I _k min	$X\Sigma = X_{JT_min} + X_{Teq_max}$	OD + trafo / SR EN 60909-0
36	JT - bare PTAB	Z total până la bare JT pentru I _k min	$Z\Sigma = \sqrt{(R\Sigma^2 + X\Sigma^2)}$	Calcul / SR EN 60909-0
37	JT - bare PTAB	Scurtcircuit trifazat minim la barele JT	$I_{k3min} = c_{min} \times U_{JT} / (\sqrt{3} \times Z\Sigma)$	OD + trafo + temperatură / SR EN 60909-0; NTE 006/06/00
38	JT - bare PTAB	Scurtcircuit bifazat maxim la barele JT	$I_{k2max} \approx \sqrt{3}/2 \times I_{k3max}$	Calcul / SR EN 60909-0
39	JT - bare PTAB	Scurtcircuit bifazat minim la barele JT	$I_{k2min} \approx \sqrt{3}/2 \times I_{k3min}$	Calcul / SR EN 60909-0
40	Cabluri JT	R1 cablu JT până la punctul verificat	$R1 = r1 \times L$	Fișă cablu / traseu / SR CEI 60287; SR HD 60364-5-52
41	Cabluri JT	X1 cablu JT până la punctul verificat	$X1 = x1 \times L$	Fișă cablu / traseu / SR CEI 60287; SR HD 60364-5-52
42	Cabluri JT	R0 cablu JT până la punctul verificat	$R0 = r0 \times L$	Fișă cablu / traseu / Producător / metodă proiect
43	Cabluri JT	X0 cablu JT până la punctul verificat	$X0 = x0 \times L$	Fișă cablu / traseu / Producător / metodă proiect
44	JT - capăt plecare	R total până la capăt plecare pentru I _k max	$R\Sigma = R_{bus_max} + R_{cablu}$	Calcul / SR EN 60909-0; NTE 006/06/00
45	JT - capăt plecare	X total până la capăt plecare pentru I _k max	$X\Sigma = X_{bus_max} + X_{cablu}$	Calcul / SR EN 60909-0; NTE 006/06/00
46	JT - capăt plecare	Z total până la capăt plecare pentru I _k max	$Z\Sigma = \sqrt{(R\Sigma^2 + X\Sigma^2)}$	Calcul / SR EN 60909-0
47	JT - capăt plecare	Scurtcircuit trifazat maxim la capăt plecare	$I_{k3max_far} = c_{max} \times U / (\sqrt{3} \times Z)$	OD + trafo + cablu / SR EN 60909-0; NTE 006/06/00
48	JT - capăt plecare	R total până la capăt plecare pentru I _k min	$R\Sigma = R_{bus_min} + R_{cablu} \times k_{temp}$	Calcul / SR EN 60909-0
49	JT - capăt plecare	X total până la capăt plecare pentru I _k min	$X\Sigma = X_{bus_min} + X_{cablu}$	Calcul / SR EN 60909-0
50	JT - capăt plecare	Z total până la capăt plecare pentru I _k min	$Z\Sigma = \sqrt{(R\Sigma^2 + X\Sigma^2)}$	Calcul / SR EN 60909-0
51	JT - capăt plecare	Scurtcircuit trifazat minim la capăt plecare	$I_{k3min_far} = c_{min} \times U / (\sqrt{3} \times Z)$	OD + trafo + cablu + temp. / SR EN 60909-0; NTE 006/06/00
52	JT - capăt plecare	Scurtcircuit bifazat minim la capăt plecare	$I_{k2min_far} \approx \sqrt{3}/2 \times I_{k3min_far}$	Calcul / SR EN 60909-0
53	JT - defect L-PE/L-N	R0 total aproximativ până la defect	$R0\Sigma \approx R1\Sigma \times kZ0 + R0_{cablu}$	Schemă JT / date cablu / trafo / SR EN 60909-0; SR HD 60364-4-41

54	JT - defect L-PE/L-N	X0 total aproximativ până la defect	$X0\Sigma \approx X1\Sigma \times kZ0 + X0_cablu$	Schemă JT / date cablu / trafo / SR EN 60909-0; SR HD 60364-4-41
55	JT - defect L-PE/L-N	Impedanță secvențială pentru defect monofazat	$Zsum = 2Z1 + Z0 $	Z1, Z2, Z0 / SR EN 60909-0
56	JT - defect L-PE/L-N	Scurtcircuit monofazat minim la capăt plecare	$Ik1min = \sqrt{3} \times cmin \times U_{LL} / 2Z1 + Z0 $	Z secvențe / schema de legare / SR EN 60909-0; NTE 006/06/00
57	MT - OD	Scurtcircuit trifazat maxim pe MT la sursă/OD	$Ik3MT = Sk_Q_max / (\sqrt{3} \times U_MT)$	OD / ATR / PE 134/1995; SR EN 60909-0
58	MT - OD	Scurtcircuit trifazat minim pe MT la sursă/OD	$Ik3MTmin = Sk_Q_min / (\sqrt{3} \times U_MT)$	OD / ATR / PE 134/1995; SR EN 60909-0
59	Cabluri MT	R1 cablu MT până la PTAB	$R1MT = r1 \times L$	Fișă cablu MT / traseu / SR CEI 60287
60	Cabluri MT	X1 cablu MT până la PTAB	$X1MT = x1 \times L$	Fișă cablu MT / traseu / SR CEI 60287
61	MT - borne PTAB	Scurtcircuit trifazat maxim MT la PTAB cu cablu MT	$Ik3MT_PT = cmax \times U_MT / (\sqrt{3} \times ZQ + Zcab)$	OD + cablu MT / PE 134/1995; SR EN 60909-0
62	MT - borne PTAB	Scurtcircuit trifazat minim MT la PTAB cu cablu MT	$Ik3MTmin_PT = cmin \times U_MT / (\sqrt{3} \times ZQ + Zcab)$	OD + cablu MT / PE 134/1995; SR EN 60909-0
63	MT - punere la pământ	Curent de punere la pământ MT	IE = valoare OD sau U0/Rn sau $3U0\omega C0$	OD / regim neutru / capacități rețea / PE 134/1995; SR EN 60909-0; SR EN 50522
64	Putere de scurtcircuit	Putere scurtcircuit maximă pe bare JT	$SkJT = \sqrt{3} \times U_JT \times Ik3$	Calcul / PE 134/1995; SR EN 60909-0
65	Putere de scurtcircuit	Putere scurtcircuit maximă pe MT la PTAB	$SkMT = \sqrt{3} \times U_MT \times Ik3$	Calcul / PE 134/1995; SR EN 60909-0
66	Solicitare termică	Curent echivalent termic la bare JT	$Ith = Ik \times \sqrt{t_k \times k_th}$	Timp de declanșare / protecții / SR EN 60909-0; SR EN 60865-1
67	Solicitare termică	Energia I^2t pentru verificarea conductorului/aparatului	$I^2t = (Ik \times 1000)^2 \times t$	Ik, timp declanșare / SR EN 60949; SR EN 60865-1
68	Curent de rupere	Curent de rupere simetric estimat	$Ib = \mu \times Ik''$	μ din IEC/aparat/proiect / SR EN 60909-0; SR EN 62271/61439
69	Transformator	Curent de scurtcircuit limitat doar de transformator	$Ik_tr \approx I_nJT / uk$	Fișă trafo / SR EN 60076-5
70	Contribuții sarcini	Curent nominal total motoare JT	$I_m = P / (\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi \times \eta)$	Listă consumatori / SR EN 60909-0
71	Contribuții sarcini	Contribuție motoare la scurtcircuit	$Ik_m \approx k_m \times I_m$	Date motoare / ipoteze IEC / SR EN 60909-0
72	Contribuții surse	Curent nominal invertore/PV/BESS	$I_inv = P / (\sqrt{3} \times U)$	Fișe invertore / proiect / IEC 60909 / grid code / fișe producător
73	Contribuții surse	Contribuție limitată invertore/PV/BESS	$Ik_inv = k_inv \times I_inv$	Fișe invertore / proiect / Fișe echipamente / cerințe OD

74	Total JT	Ik3 maxim total la bare JT cu contribuții locale	$I_{k_total} = I_{k_grid} + I_{k_mot} + I_{k_inv}$	Calcul / SR EN 60909-0; proiect
75	Total JT	ip total la bare JT cu contribuții locale	$ip_total = \kappa \times \sqrt{2} \times I_{k_total}$	Calcul / SR EN 60909-0
76	Verificare TDRI	Marjă Icw TDRI	Marjă = $I_{cw_disponibil} - I_{th_calculat}$	Raport TDRI / SR EN/IEC 61439-1/-2
77	Verificare TDRI	Marjă Ipk TDRI	Marjă = $I_{pk_disponibil} - ip_total$	Raport TDRI / SR EN/IEC 61439-1/-2
78	Verificare JT	Marjă capacitate rupere întreruptor general JT	Marjă = $I_{cu}/I_{cs} - I_{k_total}$	Fișă întreruptor / SR EN/IEC 60947-2; SR EN/IEC 61439
79	Verificare MT	Marjă Ik celule MT	Marjă = $I_{k_celulă} - I_{k3MT_PT}$	Fișă celule MT / SR EN/IEC 62271
80	Verificare MT	Marjă Ipk celule MT	Marjă = $I_{pk_celulă} - ip_MT$	Fișă celule MT / SR EN/IEC 62271; SR EN 60909
81	Verificare protecții	Raport sensibilitate protecție la capăt plecare	$Raport = I_{k1min_A} / (I_{pickup} \times k_{sens})$	Reglaje protecții / NTE 006/06/00; SR HD 60364-4-41
82	Verificare protecții	Curent minim disponibil pentru protecții	$I_{k_min\ disponibil} = I_{k1min_far} \times 1000$	Calcul / NTE 006/06/00
83	Verificare protecții	Curent minim necesar pentru sensibilitate	$I_{necesar} = I_{pickup} \times k_{sens}$	Reglaje protecții / NTE 006/06/00
84	PE/PEN - termic	Secțiune minimă PE/PEN la defect	$S_{min} = I_{fault} \times \sqrt{t/k}$	Ik1, timp, material / SR EN 50522; SR HD 60364-5-54
85	Listă documente	Necesitate document de confirmare OD	OD confirmă Sk max/min, regim neutru, curent defect pământ	OD / ATR / aviz / studiu de soluție
86	Listă documente	Necesitate raport TDRI/echipamente	Se confirmă Icw/Ipk/Icu/Ik prin rapoarte	Producător TDRI/celule/aparataj / SR EN 61439; SR EN 62271

5. Interpretarea rezultatelor și verificări obligatorii

- **Ik3 max:** dimensionează capacitatea de rupere/închidere, Icu/Ics, Icw/Ipk, solicitări termice și electrodinamice.
- **Ik3/Ik2/Ik1 min:** verifică sensibilitatea protecțiilor și declanșarea la capătul plecărilor.
- **ip:** verifică solicitarea electrodinamică a barelor, suporturilor, celulelor MT și TDRI.
- **Ith și I²t:** verifică stabilitatea termică a aparaturii, barelor, cablurilor și conductorului PE/PEN.
- **Sk:** permite compararea cu datele OD și dimensionarea echipamentelor pe niveluri de tensiune.
- **Contribuții locale:** motoarele, generatoarele, invertoarele, BESS/PV pot crește curentul în punctul de defect și trebuie declarate.
- **Verificări TDRI/celule/aparataj:** marjele negative înseamnă neconformitate sau necesitatea alegerii unui echipament cu ținere superioară.

6. Limitări și responsabilitate de proiectare

Formulele din reprezintă un model de lucru pentru proiectare preliminară și verificare tehnică. Proiectantul trebuie să confirme ipotezele, datele OD și datele producătorilor.

Pentru rețele cu regim neutru special, compensare Petersen, rezistențe de neutru, generare distribuită semnificativă sau transformatoare paralele neidentice, se introduce modelul complet de secvențe și se actualizează formulele corespunzător.

Standardele și normativele trebuie verificate în versiunea aplicabilă la data proiectului, la data PIF și conform cerințelor OD/beneficiarului.

III. VERIFICAREA SOLICITĂRILOR LA SCURTCIRCUIT

Acesta este setul de calcule aferent verificării solicitărilor la scurtcircuit obligatorii pentru o soluție tehnică verificabilă.

Pentru proiect final, fiecare valoare se înlocuiește cu datele reale din ATR/OD, proiect, fișe de echipamente și rapoarte de încercare.

1. Scopul verificării

Verificarea solicitărilor la scurtcircuit confirmă că elementele PTAB rezistă efectelor maxime produse de defectele electrice: forțe electrodinamice, încălzire rapidă, energie I^2t , curenți de vârf, curenți de scurtă durată, capacitate de rupere și închidere a aparatajului și comportarea ansamblului prefabricat.

Verificarea nu înlocuiește calculul curenților de scurtcircuit.

Se bazează pe rezultatele acestuia și propagă solicitările către echipamentele reale alese.

2. Lista tuturor calculelor și verificărilor

Nr.	Domeniu	Calcul / verificare	Aplicabilitate	Intrări obligatorii	Formula / criteriu	Sursă	Documente rezultate
1	Bare/ conductoare	Forța electrodinamică între faze	MT și JT, bare TDRI, legături trafo	ip, distanță între axe, geometrie	$f \approx 2 \cdot 10^{-7} \cdot ip^2 / a$	SR EN 60865-1	Memoriu calcul
2	Bare/ conductoare	Forța pe izolatori/ suporturi/ terminale	Când există bare sau conductori rigizi	f, l, puncte fixare	$F = f \cdot l$	SR EN 60865-1	Plan suporturi + calcul
3	Bare/ conductoare	Moment, săgeată, tensiuni mecanice	Bare cu deschideri între suporturi	F, l, W, material	$M = f \cdot l^2 / 8$; $\sigma = M / W$	SR EN 60865-1 + fișă material	Calcul mecanic
4	Conductoare / cabluri	Solicitare termică I^2t	Toate conductoarele solicitate	Ith, t	$I^2t = I^2 \cdot t$	SR EN 60909-0; SR EN 60865-1	Memoriu calcul
5	Conductoare / cabluri	Secțiune adiabatică minimă fază	Cabluri, bare, conexiuni	I, t, k	$S_{min} = I \sqrt{t/k}$	SR EN 60949; SR HD 60364	Calcul secțiune
6	PE/ N/ PEN	Secțiune adiabatică PE/ PEN/ N	Scheme TN/TT; defect la pământ	I defect, t, k, S	$S_{min} = I \sqrt{t/k}$	SR HD 60364-5-54; SR EN 50522	Calcul PE/PEN
7	TDRI	Icw/ Ipk bare principale TDRI	Toate TDRI	Ith_JT, ip_JT, raport TDRI	$Icw \geq Ith$; $Ipk \geq ip$	SR EN/IEC 61439-1/-2	Raport TDRI
8	TDRI	Icu/ Ics/ Icm întreruptor general JT	ACB/ MCCB	Ik_JT, ip_JT, fișă aparat	$Icu/ Ics \geq Ik$; $Icm \geq ip$	SR EN/IEC 60947-2	Fișă aparat
9	TDRI	Protecții plecări JT la scurtcircuit	Fiecare plecare JT	Ik max/ min plecare, Icu/ Ics	capacitate $\geq$ solicitare	SR HD 60364; SR EN/IEC 60947	Listă plecări verificată

10	MT	Icw/ Ipk celule MT	Celule linie/ trafo/ măsură	Ith_MT, ip_MT, fișă celule	Icw≥Ith; Ipk≥ip	IEC 62271	Fișe/ certificate
11	MT	Rupere/ închidere întreruptor/ separator sarcină	Aparataj MT	Ik_MT, ip_MT, Ib/Icm	Ib≥Ik; Icm≥ip	IEC 62271-100/-105	Fișe aparataj
12	MT	Siguranțe fuzibile MT	Dacă există protecție cu fuzibile	Ik_MT, Irup, curbe	Irup≥Ik și coordonare trafo	SR EN 60282-1	Studiu coordonare
13	Trafo	Stabilitate la scurtcircuit transformator	Toate transformatoarele	fișă trafo, Ik, uk	confirmare SR EN 60076-5	SR EN 60076-5	Raport/ declarație trafo
14	Ansamblu PTAB	Icw/ Ipk ansamblu prefabricat	Toate PTAB	Icw/Ipk certificat, solicitări	certificat ≥ solicitări	EN IEC 62271-202	Certificat/DoP
15	Ansamblu PTAB	Arc intern / evacuare presiune	AI, M2/H1, subteran, dacă se cere	IAC, durată, amplasare	certificat IAC / analiză risc	EN IEC 62271-202	Raport IAC/ plan gaze
16	Măsură/ protecții	TC/ TT la curent termic/ dinamic	Dacă există măsură /protecție	Ith_dyn, Itermic, burden	clasă și ținere ≥ solicitări	SR EN/IEC 61869	Fișe TC/ TT

3. Formule de bază și sursa fiecărei informații

- **Forța electrodinamică între conductoare paralele:**
 $f = \mu_0 / (2\pi) \cdot ip^2 / a \approx 2 \cdot 10^{-7} \cdot ip^2 / a$ [N/m]
- ip se obține din calculul de scurtcircuit SR EN 60909-0;
- distanța a se obține din desenul TDRI/celule;
- verificarea se corelează cu SR EN 60865-1 și raportul producătorului.
- **Forța pe deschidere:**
 $F = f \cdot l$ [N]
- l este distanța dintre suporturi/izolatori, preluată din desenul cotate al sistemului de bare.
- **Moment încovoietor maxim:**
 $M = f \cdot l^2 / 8$ [N·m]
- ipoteză simplificată pentru bară simplu rezemată;
- proiectul final poate folosi schema statică reală din documentația producătorului.
- **Modul de rezistență dreptunghiular:**
 $W = n \cdot b \cdot h^2 / 6$ [mm³]
- b, h și n se preiau din desenul sistemului de bare;
- dacă producătorul declară direct W, se folosește valoarea declarată.
- **Tensiunea mecanică:**
 $\sigma = M \cdot 1000 / W$ [MPa]
- σ admis se preia din fișa materialului barei/suportului sau din raportul de încercare.
- **Solicitarea termică:**
 $I^2t = (I_{th} \cdot 1000)^2 \cdot t$ [A²s]
- Ith vine din calculul de scurtcircuit;
- t vine din studiul de protecții și selectivitate.
- **Secțiunea adiabatică minimă:**
 $S_{min} = I \cdot \sqrt{t} / k$ [mm²]
- k se stabilește după material și izolație din SR HD 60364/SR EN 60949 sau din fișa produsului.
- **Verificarea de scurtă durată:**
 $I_{cw_admis} \geq I_{th_calculat}$
- Icw admis se obține din raportul de încercare al TDRI/ celulei/ aparatului/ ansamblului PTAB.

- **Verificarea de vârf:**
 $I_{pk_admis} \geq I_{p_calculat}$
 - I_{pk} admis se obține din fișa sau raportul de încercare al echipamentului.
- **Rupere și închidere aparataj:**
 $I_{cu}/I_{cs}/I_b \geq I_k''$;
 $I_{cm} \geq I_p$
 - capacitățile declarate se obțin din fișa tehnică a întreruptorului/ fuzibilului/ celulei.

4. Lista verificărilor incluse

Nr.	Verificare	Ce face proiectantul	Date de intrare	Sursă
1	Forța electrodinamică JT	calculează f [N/m] din I_{p_JT} și distanța între bare	I_{p_JT} , a_{bare}	SR EN 60865-1
2	Forța pe deschidere	calculează F [N] pe suport/izolator	f , l_{span}	SR EN 60865-1
3	Modul rezistență bare	calculează W pentru bare dreptunghiulare paralele	n , b , h	desen/fișă bare
4	Moment maxim	calculează M [N·m]	f , l_{span}	calcul mecanic
5	Tensiune mecanică	compară σ cu σ admis	M , W , σ admis	fișă material
6	Factor siguranță mecanic	compară SF cu cerința minimă	σ , σ admis	proiect/ caiet sarcini
7	I^2t JT	calculează energia termică solicitantă	I_{th_JT} , t	SR EN 60909-0
8	S_{min} conductor/ bare	compară secțiunea minimă cu secțiunea propusă	I , t , k , S	SR EN 60949
9	I_k termic admis	calculează curentul termic admis de conductor	k , S , t	SR EN 60949
10	S_{min} PE/PEN	verifică secțiunea PE/ PEN	I defect, t , k , S_{PE}	SR HD 60364-5-54
11-12	I_{cw}/I_{pk} TDRI	compară I_{cw}/I_{pk} TDRI cu I_{th}/I_p calculate	raport TDRI	EN/IEC 61439
13-14	I_{cw}/I_{pk} MT	compară celulele MT cu solicitările MT	fișă celule MT	IEC 62271
15-20	Rupere/închidere aparataj	compară $I_b/ I_{cu}/ I_{cs}/ I_{cm}/ I_{rup}$ cu I_k/I_p	fișe aparataj	IEC 62271 / IEC 60947 / SR EN 60282-1
21-22	I_{cw}/I_{pk} PTAB	compară ansamblul PTAB cu solicitările maxime	certificat PTAB	EN IEC 62271-202
23-25	Verificări documentare	terminale, TC/TT, arc intern	fișe/rapoarte	standardele aplicabile

5. Interpretarea rezultatului

- **CONFORM:** valoarea admisă/documentată este mai mare sau egală cu valoarea calculată. Verificarea rămâne preliminară dacă documentul probatoriu nu este atașat.
- **NECONFORM:** una dintre valorile admise este sub solicitarea calculată. Soluția trebuie schimbată: echipament cu $I_{cw}/I_{pk}/I_{cu}/I_{cs}$ superior, distanțe mai mari între suporturi, secțiune mai mare, timp de declanșare mai mic sau altă configurație.
- **DE COMPLETAT:** calculul numeric nu este suficient sau nu există date din fișa producătorului. Nu se acceptă recepția finală fără document probatoriu.

6. Observații tehnice importante

- Pentru soluția finală a forței electrodinamice se preferă raportul de încercare al sistemului de bare/ TDRI și calculele detaliate conform geometriei reale.
- Curenții de scurtcircuit se preiau din calculul de scurtcircuit realizat anterior sau din datele furnizate de OD, apoi se folosesc ca solicitări de verificare.
- I_{cw}/I_{pk} ale TDRI, celulelor MT și ansamblului PTAB sunt valori declarate de producător prin fișe și rapoarte. Proiectantul le verifică față de solicitările calculate.
- Secțiunea adiabatică a conductorului depinde de material, izolație, temperaturi inițiale/finale și durata defectului. Coeficientul k trebuie înlocuit cu valoarea corectă pentru conductorul real.
- Pentru PTAB cu acces interior, clase M2/H1, soluții subterane sau configurații cu risc crescut, verificarea la arc intern și evacuarea presiunii/ gazelor devine critică și trebuie tratată documentar separat.

7. Documente probatorii obligatorii pentru închiderea verificării

1. Memoriu de calcul scurtcircuit: I_k'' , i_p , I_{th} , S_k , I_b , curenți minimi și maximi.
2. Studiu de protecții și selectivitate: timpi de declanșare, curbe, reglaje, coordonare MT/JT.
3. Fișe celule MT: I_{cw} , I_{pk} , capacitate de rupere/închidere, arc intern dacă se impune.
4. Fișe TDRI și raport EN/IEC 61439: I_{cw} , I_{pk} , bare, întreruptor general, plecări, N/PE.
5. Fișe aparataj JT: I_{cu} , I_{cs} , I_{cm} , categorii de utilizare și condiții de montaj.
6. Fișe cabluri/ bare/ conectoare: secțiune, material, k , I_{adm} , I_k admis, temperaturi, metodă pozare.
7. Certificat/ raport PTAB conform EN IEC 62271-202 și documente de conformitate ale producătorului.

IV. TABLOUL DE DISTRIBUȚIE JT / TDRI (ANSAMBLU DE JOASĂ TENSIUNE)

1. Scopul verificării TDRI

TDRI este ansamblul de joasă tensiune care preia energia din transformatorul MT/JT și o distribuie către plecările JT, asigurând protecția, măsura, comanda, semnalizarea și integrarea în sistemele MS/SCADA, după caz.

În proiectare, TDRI nu se verifică doar după puterea transformatorului, ci după curentul nominal, schema JT, bare, întreruptor general, plecări, curenți de scurtcircuit, încălzire, protecție la atingere, PE/N, condiții de exploatare și documente probatorii.

Formula de bază pentru curentul transformatorului pe partea JT este:

$$\mathbf{I = S / (\sqrt{3} \times U_{LL})}$$

Pentru $U_{LL} = 0,4 \text{ kV}$, rezultă aproximativ:

$$\mathbf{I[A] \approx 1,443 \times S[kVA].}$$

Regula practică folosită:

$$\mathbf{I_{req} = I_{JT} \times (1 + rezervă dezvoltare).}$$

iar codul TDRI minim este prima treaptă standard cu

$$\mathbf{I_n \text{ TDRI} \geq I_{req}.}$$

2. Lista calculelor și verificărilor incluse

Nr.	Calcul / verificare	Formulă / criteriu	Sursa informației	Aplicabilitate
1	Curent nominal pe partea JT	$I = S / (\sqrt{3} \times U_{LL})$	fișă transformator, ATR, schema JT, Catalog PTAB §8 / Anexa 007	obligatoriu
2	Curent de proiect TDRI	$I_{req} = I_{JT} \times (1 + rezervă)$	curba de sarcină, cerințe beneficiar, plan dezvoltare	obligatoriu
3	Alegere cod TDRI minim	prima treaptă cu $I_n \geq I_{req}$	Matrice TDRI / Catalog PTAB	obligatoriu
4	Grad de încărcare TDRI	$k = I_{req} / I_n \text{ TDRI} \leq 1$	TDRI ales, curent calculat	obligatoriu
5	Întreruptor general JT	$I_{n_CB} \geq I_{req}$; reglaje L/S/I/G după transformator și selectivitate	fișă întreruptor, studiu protecții, SR EN/IEC 60947-2	obligatoriu
6	Capacitate de rupere a întreruptorului general	$I_{cu}/I_{cs} \geq I_{k_JT}$	calcul scurtcircuit, fișă aparat	obligatoriu
7	Ținere la scurtcircuit TDRI	$I_{cw_decl} \geq I_{k_JT}$ și $I_{pk_decl} \geq i_p$	raport TDRI, SR EN/IEC 61439-1/-2, calcul scurtcircuit	obligatoriu
8	Verificare termică I^2t	$I_{cw}^2 \times t_{cw} \geq I_k^2 \times t_{prot}$	raport TDRI, timp protecție, curbe aparat	obligatoriu
9	Limite de supratemperatură	$\Delta T_{est} = \Delta T_{test} \times (I_{req}/I_n)^2 + \text{corecție ambient}$	raport încercare încălzire TDRI; SR EN/IEC 61439-1	obligatoriu, cu raport producător
10	Proprietăți dielectrice	U_{test} declarată $\geq$ cerință standard/proiect	raport dielectric TDRI; SR EN/IEC 61439-1	obligatoriu
11	Bară faze	$I_{n_bare} \geq I_{req}$; I_{cw}/I_{pk} bare $\geq$ curenți calculați	fișă TDRI, desen bare, raport încercare	obligatoriu
12	Bară N	S_N conform schemă; 100% fază când THD/dezechilibru impune	schema JT, analiza armonici, SR HD 60364, SR EN/IEC 61439	obligatoriu
13	Bară PE și echipotențializare	S_{PE} conform curent defect și regulilor PE	SR HD 60364-5-54, SR EN 50522, schema PE	obligatoriu

14	Plecări JT	$I_b \leq I_{n_protecție} \leq I_{z_cablu}$; $I_{cu}/I_{cn} \geq I_k$; $\Delta U\% \leq \text{limită}$	lista plecărilor, SR HD 60364-5-52, fișe protecții	obligatoriu
15	Măsură JT / TC / analizor	raport TC, clasă, burden, FS/ALF conform funcției	schema măsură, SR EN/IEC 61869, cerințe OD	dacă există măsură
16	Protecție la atingere, IP/IK, bariere	IP/IK declarat; continuitate PE; capace/ecrane	SR EN 60529, SR EN 62262, SR EN/IEC 61439	obligatoriu
17	SCADA/MS pentru TDRI	listă DI/DO/AI/AO + măsuri + comenzi corelate cu MS	Anexa 008 MS/SCADA, fișe RTU	MS2–MS4 sau după proiect
18	Documente probatorii	fișă TDRI + schemă + listă plecări + rapoarte + manual	Anexa 007 / Anexa 009 / dosar tehnic	obligatoriu

3. Verificări care NU trebuie omise

- coerența dintre codul PTAB, codul TDRI, schema monofilară și numărul real al plecărilor JT;
- declararea separată a intrărilor de putere, intrărilor auxiliare, intrărilor de măsură și ieșirilor de putere;
- verificarea spațiului de racordare, accesului la aparataj, accesului la bară, accesului pentru mentenanță și înlocuire;
- verificarea compatibilității TDRI cu nivelul MS/SCADA și cu lista DI/DO/AI/AO;
- verificarea barierei de protecție, a capotelor, a accesului controlat și a protecției împotriva atingerii directe;
- verificarea marcajelor, etichetării plecărilor, identificării PE/N și a documentelor de exploatare;
- verificarea ventilației compartimentului TDRI când încărcarea, temperatura ambientă sau echipamentele auxiliare pot genera supraîncălzire;
- verificarea rezervei constructive pentru plecări viitoare, fără a confunda rezerva neechipată cu plecarea echipată;
- verificarea că raportul de încercare se referă la ansamblul ofertat sau la o variantă de proiect demonstrabil echivalentă.

4. Standarde și documente de referință incluse în model

- Borderou de calcule de proiectare PTAB – secțiunea IV: Tabloul de distribuție JT / TDRI.
- Catalog PTAB – Produse standardizate, Ed. 1 Rev. 0, capitolul 8 – Clase standard TDRI.
- Anexa 007 – Matrice TDRI, Ed. 1 Rev. 0.
- Anexa 009 – Model fișă tehnică PTAB, Ed. 1 Rev. 0.
- SR EN/IEC 61439-1 și SR EN/IEC 61439-2 – ansambluri de joasă tensiune.
- SR EN/IEC 60947-2 – aparataj de joasă tensiune, întreruptoare automate.
- SR EN/IEC 60269 – siguranțe fuzibile de joasă tensiune, dacă sunt utilizate.
- SR HD 60364-4-41, SR HD 60364-5-52 și SR HD 60364-5-54 – protecție, cabluri, PE/N.
- SR EN 50522 – legarea la pământ a instalațiilor de putere peste 1 kV c.a., pentru corelarea PE/echipotențializare PTAB.
- SR EN 60909-0 – calcul curenți de scurtcircuit.
- SR EN 60529 și SR EN 62262 – grade IP și IK.
- SR EN/IEC 61869 – transformatoare de măsură, dacă există măsură/analizor/contor/RTU.

5. Limitări și condiții de utilizare

Pentru ansamblurile TDRI, conformitatea finală se stabilește prin documente probatorii: rapoarte de încercare de tip/rutină, declarații de conformitate, fișe tehnice, scheme, calcule de selectivitate, calcule de scurtcircuit și verificări de amplasament.

Orice valoare introdusă fără document justificativ trebuie tratată ca ipoteză și confirmată înainte de recepție, FAT/ SAT/ PIF sau includere în contract.

V. PROTECȚIE ȘI SELECTIVITATE

1. Scop și domeniu de aplicare

Documentul descrie setul de calcule/verificări pentru protecție și selectivitate în cadrul proiectării PTAB MT/JT.

Se tratează reglajele protecțiilor maxime și homopolare, selectivitatea MT-JT, alegerea siguranțelor fuzibile MT, evitarea declanșării la curentul de magnetizare al transformatorului, protecția la suprasarcină, funcționarea în paralel, transformatoarele de măsură și alimentarea în c.c./UPS pentru protecții, comandă și SCADA.

Acceptarea finală se face pe baza curbelor reale timp-curent, a parametrilor OD și a fișelor producătorilor, cu documentare în proiect, FAT/SAT/PIF și procesul-verbal de reglaje.

2. Lista calculelor și verificărilor

Nr.	Calcul / verificare	Aplicabilitate	Sursă primară	Document probatoriu
1	Reglaj protecții maxime de curent și homopolare	Obligatoriu	NTE 401; PE 134/1995; OD	Plan reglaje, scheme, studiu scurtcircuit
2	Selectivitate MT – siguranțe/relee – întreruptor general JT	Obligatoriu	NTE 401; curbe aparataj	Studiu selectivitate cu curbe
3	Alegerea/ coordonarea siguranțelor fuzibile MT cu transformatorul	Dacă protecția trafo este cu fuzibil	SR EN 60282-1; SR EN/IEC 62271-105	Curbe fuzibile, fișe celule, fișă trafo
4	Curent de magnetizare/ inrush – evitarea declanșării	Obligatoriu	SR EN 60076-1; fișă transformator	Curbe releu/fuzibil, fișă trafo
5	Protecția la suprasarcină a transformatorului	Obligatoriu	SR EN 60076-7; PE 132	Reglaj IG JT/releu, fișă trafo
6	Funcționarea în paralel a transformatoarelor	Dacă sunt ≥ 2 transformatoare	SR EN 60076-1	Analiză paralel, fișe trafo
7	Transformatoare de măsură/ protecție: burden, clasă, FLP/ FS	Dacă există măsură/ protecție	SR EN/IEC 61869	Calcul secundar, fișe TC/ TT
8	Servicii proprii și c.c.: baterie, redresor, UPS	Dacă protecții/ automatizări în c.c. sau $MS \geq 1$	SR EN 50272; Matrice MS	Calcul autonomie, fișe baterii/UPS
9	Selectivitate IG JT – plecări JT	Obligatoriu pentru TDRI	SR EN/IEC 61439; SR EN/IEC 60947-2	Curbe întreruptoare/ MPR, listă plecări
10	Protecții plecări JT și coordonarea cu cablurile	Obligatoriu pe fiecare plecare	SR HD 60364; SR EN/IEC 60947-2	Listă plecări, calcul cabluri
11	Logică de interblocare pentru telecomandă	MS3-MS4	Matrice MS/SCADA; cerințe OD	Listă I/O, logică, FAT/ SAT
12	Plan final de reglaje și trasabilitate PIF	Obligatoriu	NTE 401; cerințe OD	PV reglaje, setări finale, fotografii releu/ HMI

3. Formule principale

• Curent nominal pe partea MT:

$$I_{MT} = S_n / (\sqrt{3} \times U_{MT})$$

- S_n în kVA și U_{MT} în kV dau curentul în A.

• Curent nominal pe partea JT:

$$I_{JT} = S_n / (\sqrt{3} \times U_{JT})$$

- la $U_{JT} = 0,4$ kV rezultă aproximativ $I_{JT} \approx 1,443 \times S[\text{kVA}]$.

• **Curent de sarcină de calcul:**

$$I_{load} = k_{load} \times I_{JT}$$

- folosit pentru verificarea reglajului I_r al întreruptorului general JT.

• **Sensibilitate protecție maximală MT:**

$$K_{sens} = I_{k,min_MT} / I_{>}$$

- criteriul orientativ: $K_{sens} \geq k_{sens}$ impus de OD/proiect.

• **Protecție homopolară MT:**

$$2 \times I_{c,rezidual} \leq I_{0>} \leq I_{f,pământ,min} / k_{sens}$$

- intervalul exact depinde de regimul neutrului MT și de condițiile OD.

• **Selectivitate temporizată:**

$$\Delta t = t_{amonte} - t_{aval} \geq \Delta t_{min}$$

- Δt_{min} se stabilește din NTE 401, fișe aparataj și cerințe OD.

• **Curent de magnetizare:**

$$I_{inrush} \approx k_{inrush} \times I_{MT}$$

- valoare orientativă;
- verificarea reală se face pe curba transformatorului și a protecției.

• **Protecție suprasarcină transformator:**

$$I_{load} \leq I_{r_JT} \leq k_{adm} \times I_{JT}$$

- k_{adm} se stabilește conform regimului termic admis și SR EN 60076-7.

• **Verificare TC/TT:**

$$S_{burden,nom} \geq k_{rezervă} \times S_{burden,calcul}$$

- include rele, aparate, cleme și cabluri secundare.

• **Autonomie baterie c.c./UPS:**

$$C_{Ah} = I_{cc} \times t_{autonomie} / DOD \times k_{aging}$$

- capacitatea instalată trebuie să fie cel puțin egală cu valoarea calculată.

4. Tabel de verificare detaliată

Nr.	Verificare	Criteriu de acceptare	Standard / sursă	Document probatoriu
1	Reglaj $I_{>}$ MT	$I_{kmin_MT} / I_{>} \geq k_{sens}$ și $I_{>}$ peste curentul maxim de sarcină admis	NTE 401; PE 134/1995; OD	Studiu scurtcircuit, plan reglaje
2	Reglaj $I_{>>}$ MT	$I_{>>}$ peste inrush sau temporizat/ blocat la energizare; sub pragurile de defect relevante	SR EN 60076-1; releu MT	Curbe releu și trafo
3	Reglaj $I_{0>}$ MT	Peste curenții reziduali normali și sub defectul minim de pământ/ k_{sens}	NTE 401; OD	Date regim neutru, plan reglaje
4	Fuzibile MT	Curba nu declanșează la inrush și elimină defectul în timpul admis	SR EN 60282-1; SR EN/IEC 62271-105	Curbe fuzibil, fișe celule
5	IG JT I_r /Isd/Ii	$I_{load} \leq I_r \leq I_{n_TDRI}$; Isd/Ii asigură protecția și selectivitatea	SR EN/IEC 60947-2; 61439	Fișă IG, schema TDRI
6	Selectivitate MT-JT	Curbele amonte și aval au marjă de timp/ energie suficientă pe domeniul de defect	NTE 401; fișe aparataj	Studiu selectivitate
7	Selectivitate IG JT-plecări	Defectul pe plecare se elimină de protecția plecării fără declanșarea nejustificată a IG	SR HD 60364; 61439; 60947-2	Curbe plecări, listă JT
8	Protecția la suprasarcină trafo	Reglajul nu permite încărcare peste limita admisă termic	SR EN 60076-7; PE 132	Fișă trafo, calcul termic

9	TC/TT	Burden nominal, clasă și FLP/FS potrivite scopului; secundarele protejate	SR EN/IEC 61869	Fișe TC/ TT, calcul secundar
10	C.c./UPS	Autonomie și putere suficiente pentru protecții, comenzi, RTU, comunicații	SR EN 50272; Matrice MS	Calcul autonomie, fișe UPS
11	Interblocări telecomandă	Selector L/R, confirmări, blocări, jurnalizare și teste complete	Matrice MS/ SCADA; OD	Listă I/ O, FAT/ SAT

5. Documente care trebuie predate la final

Document	Conținut minim	Moment
Studiu protecții și selectivitate	Curbe MT/JT, reglaje, scenarii de defect, concluzii	Proiect tehnic / DDE
Plan de reglaje	Setări rele, fuzibile, întreruptoare, protecții plecări	Înainte de PIF
Scheme MT/ JT și TDRI	Aparate, TC/TT, conexiuni, PE/N, auxiliare	Ofertare / Proiect / Livrare
Liste semnale/ comenzi/ măsuri	DI/ DO/ AI/ AO, L/ R, SOE, alarme, interblocări	MS2-MS4
Rapoarte FAT/SAT/PIF	Teste protecții, test declanșare, alimentare c.c., telecomenzi	Recepție / PIF
PV reglaje finale	Valorile finale introduse în aparate și confirmarea OD	PIF

6. Observații finale

Pentru PTAB, protecția și selectivitatea nu se dimensionează izolat.

Reglajele se corelează cu transformatorul instalat, curentul nominal TDRI, curenții de scurtcircuit MT/JT, regimul neutrului, schema de distribuție, numărul de plecări JT, nivelul MS/SCADA și condițiile OD.

Lipsa documentelor probatorii pentru reglaje, curbe și teste trebuie tratată ca neconformitate documentară până la completare.

VI. PUNERE LA PĂMÂNT ȘI ECHIPOTENȚIALIZARE

Document de lucru pentru proiectarea și verificarea sistemului de legare la pământ, a barelor PE/N/PEN, a legăturilor de echipotențializare și a protecției la atingere directă/indirectă pentru PTAB.

Documentul nu substituie proiectul tehnic autorizat, avizul operatorului de distribuție, calculele detaliate conform standardelor aplicabile și buletinele PRAM/SAT/PIF.

1. Domeniu și rol în proiectarea PTAB

Punerea la pământ și echipotențializarea au rolul de a limita tensiunile periculoase, de a asigura declanșarea protecțiilor la defect, de a reduce diferențele de potențial între masele metalice accesibile și de a permite exploatarea/mentenanța în siguranță a PTAB. Sistemul se verifică atât ca priză de pământ, cât și ca sistem de conductoare PE, bonding, bare PE/N/PEN și interfețe MT/JT/anvelopă.

În Catalogul PTAB, sistemul de legare echipotențială și bara PE sunt cerințe comune obligatorii pentru toate configurațiile. Se conectează elementele metalice accesibile, carcusele celulelor MT, carcusele TDRI, transformatorul, ecranele cablurilor, suporturile metalice, echipamentele auxiliare și barele PE/N/PEN, după caz.

2. Lista calculelor și verificărilor

Nr.	Calcul / verificare	Aplicabilitate	Standard / normativ	Document rezultat
1	Rezistența de dispersie a prizei de pământ	Toate PTAB	SR EN 50522; 1.RE-IP 30	Buletin PRAM, memoriu calcul
2	Curentul de punere la pământ / curentul de defect	Toate PTAB	SR EN 50522; SR EN 60909-0	Date OD/ATR, calcul scurtcircuit
3	Tensiunea de atingere	Toate PTAB	SR EN 50522; NTE 001/03/00	Memoriu calcul atingere
4	Tensiunea de pas	Toate PTAB	SR EN 50522	Memoriu calcul pas
5	Creșterea de potențial a prizei de pământ – EPR / UE	Toate PTAB	SR EN 50522	Memoriu calcul
6	Secțiunea conductoarelor de legare la pământ / PE	Toate PTAB	SR EN 50522; SR HD 60364-5-54	Plan PE, calcul secțiuni
7	Legăturile de echipotențializare, continuitatea și bara PE	Toate PTAB	SR EN 50522; Catalog PTAB Cap.12.3	Plan echipotențializare, buletin continuitate
8	Tensiuni transferate prin cabluri / conducte / ecrane	Dacă există trasee conductive care ies din zona prizei	SR EN 50522	Analiză tensiuni transferate
9	Protecția la atingere directă și indirectă pe JT	Toate PTAB	SR HD 60364-4-41; Catalog PTAB §12.4	Schemă PE/ N/ PEN, studiu protecții
10	Legarea la pământ a ecranelor cablurilor MT/JT	Toate PTAB cu cabluri ecranate/ armate	SR EN 50522; SR HD 60364-5-54	Plan cabluri/ PE
11	Verificarea separării/ legării N-PE/ PEN în TDRI	După schema JT	SR HD 60364-4-41/-5-54; SR EN/IEC 61439	Schemă TDRI

12	Verificarea continuității ușilor, grilelor, ramelor, capacelor și pieselor înglobate	Anvelopă cu elemente metalice	Catalog PTAB §12.3; Anexa 010	Buletin continuitate
----	--	-------------------------------	-------------------------------	----------------------

3. Formule principale utilizate

Formulele de mai jos sunt relații de proiectare și verificare preliminară.

Pentru proiectul final, distribuția potențialelor, coeficienții de atingere/ pas și influențele rețelelor metalice externe trebuie stabilite prin metoda admisă de proiectant conform SR EN 50522 și 1.RE-Ip 30.

- $\rho_c = \rho \times k_s$ - rezistivitatea corectată a solului
- $r_{eq} = \sqrt{(A / \pi)}$ - raza echivalentă pentru o suprafață de priză aproximată
- $R_{grid,est} \approx \rho_c / (4 \times r_{eq})$ - estimare preliminară pentru priză tip plasă/inel
- $I_E = I_{defect} \times sf$ - curentul efectiv care se închide prin priza analizată
- $U_E = EPR = R_A \times I_E$ - creșterea de potențial a prizei de pământ
- $R_{T,max} = U_{Tp} / I_E$ - rezistența maximă permisă din condiția de tensiune de atingere
- $U_{T,est} = k_T \times U_E$ - estimarea tensiunii de atingere pentru verificare preliminară
- $U_{S,est} = k_S \times U_E$ - estimarea tensiunii de pas pentru verificare preliminară
- $U_{tr,est} = k_{tr} \times U_E$ - estimarea tensiunii transferate prin conductoare care ies din zona prizei
- $S_{min} = I \times \sqrt{t} / k$ - secțiunea minimă adiabatică a conductorului de protecție / legare la pământ
- $Z_s \times I_a \leq U_0$ - condiția de declanșare automată în schema TN
- $R_A \times I_{\Delta n} \leq U_L$ - condiția uzuală de protecție în schema TT

4. Criterii de verificare rapidă

Verificare	Criteriu	Observații
Rezistența prizei	$R_A \leq R_{OD}$ și $R_A \leq R_{T,max}$	Dacă OD/ATR impune valoare mai strictă, aceasta prevalează.
EPR	$U_E = R_A \times I_E$	Nu este singur criteriu de acceptare; se corelează cu atingere/pas și tensiuni transferate.
Tensiune de atingere	$U_{T,est} \leq U_{Tp}$	U_{Tp} se stabilește conform standardelor aplicabile și timpului de declanșare.
Tensiune de pas	$U_{S,est} \leq U_{Sp}$	Se verifică în zone accesibile operatorului/ publicului.
Secțiune conductor PE	$S_{propus} \geq S_{min}$	Se verifică materialul, temperatura inițială/ finală, curentul și durată.
Continuitate PE/ bonding	R_{cont} măsurat $\leq$ limită procedură/proiect	Toate elementele metalice accesibile trebuie măsurate și documentate.
Protecție TN	$Z_s \leq U_0/I_a$	Se verifică la capetele relevante ale circuitelor.
Protecție TT	$R_A \times I_{\Delta n} \leq U_L$	Se verifică dacă schema este TT sau dacă există RCD-uri relevante.
Tensiuni transferate	Necesită analiză dacă există conductoare externe	Pot impune separări galvanice, izolații, SPD sau bonding controlat.

5. Documente probatorii minime

Moment	Documente / verificări
În proiectare	ATR/aviz OD, date de scurtcircuit, regim neutru, studiu geotehnic/ rezistivitate, plan priză, plan PE, schemă TDRI/ PE/ N/P EN, calcul atingere/ pas/ EPR.
La livrare/ montaj	Plan echipotentializare anvelopă, fișe celule MT/ TDRI/ transformator, plan cabluri, plan piese înglobate, instrucțiuni montaj.
La SAT/ PIF	Buletin PRAM, buletin continuitate PE/ bonding, verificare protecții, PV PIF, verificări TDRI/celule și confirmarea marcajelor PE/ N/ PEN.

În exploatare/ mentenanță	Verificări periodice PRAM/continuitate, inspecții ale legăturilor PE, uși/ grile/ capace, revizii după intervenții și după modificări de schemă.
------------------------------	--

6. Limitări și reguli de utilizare

- Coeficienții kT, kS și ktr sunt intrări de proiectare și trebuie justificați.
- Pentru fiecare lucrare se introduc datele reale din ATR/OD, măsurători, proiect, fișe tehnice și buletine PRAM.
- Dacă există neconformități la tensiune de atingere/pas, secțiune PE sau continuitate, proiectul trebuie revizuit: geometrie priză, mărire electrozi, strat de suprafață, reducere timp declanșare, bonding suplimentar, separări galvanice sau alte măsuri validate.
- Pentru PTAB cu acces interior, subteran/semiîngropat, transformatoare în ulei sau infrastructură critică, analiza trebuie tratată ca element de siguranță critică și corelată cu ventilația, incendiu, arc intern, evacuare și mentenanță.

VII. COORDONAREA IZOLAȚIEI ȘI PROTECTIA LA SUPRATENSIUNI

1. Scopul calculului

Coordonarea izolației stabilește compatibilitatea dintre nivelul de izolație al echipamentelor MT/JT, supratensiunile care pot apărea în exploatare și dispozitivele de protecție la supratensiuni montate în PTAB.

Rezultatul urmărit este ca transformatorul, celulele MT, cablurile, TDRI, circuitele auxiliare și echipamentele SCADA să suporte solicitările normale și tranzitorii fără conturnări, perforări de izolație, deteriorarea materialelor sau risc pentru personal.

În proiectarea PTAB, această etapă nu se limitează la alegerea unui descărcător.

Se verifică împreună: nivelul de izolație MT, distanțele fază-fază și fază-pământ, distanțele de fugă, CTI al materialelor, controlul condensului, descărcătoarele MT, SPD-urile JT, protecția circuitelor auxiliare și integrarea alarmelor în MS/SCADA.

2. Lista calculelor și verificărilor

Nr.	Calcul / verificare	Sursa principală
1	Nivel de izolație MT, Um, Ud și LIWV/BIL	ATR/OD, fișe echipamente, SR EN 60071, Catalog §13.3
2	Coordonare BIL echipamente MT vs descărcător MT	Fișe celule/trafo/DRV, SR EN 60071, SR EN 60099
3	Ținere la frecvență industrială 50 Hz / 1 min	Fișe echipamente, rapoarte dielectric
4	Distanțe fază-fază	Catalog §13.4, standarde IEC/SR EN și fișe echipament
5	Distanțe fază-pământ	Catalog §13.5, standarde IEC/SR EN și fișe echipament
6	Distanțe de fugă	Catalog §13.6, nivel poluare, mediu, fișe echipament
7	CTI minim materiale electroizolante	Catalog §13.7, fișe materiale și rapoarte încercare
8	Separare MT/JT și bariere izolante	Plan compartimentare, Catalog §13.9-13.10
9	Control condens din perspectivă dielectrică	Catalog §13.8, amplasament, ventilație, higrostat
10	Alegere descărcător MT – Uc, Ur, TOV, In, energie	OD, SR EN 60099-4/-5, fișe producător
11	Nivel total de protecție MT, inclusiv conductoare	Plan montaj, fișă DRV, SR EN 60071-2
12	Protecție SPD JT la origine TDRI	SR HD 60364-4-443, SR HD 60364-5-534, SR EN 61643
13	Coordonare SPD JT în trepte și protecția auxiliarelor/SCADA	Scheme auxiliare, RTU, UPS, comunicații, fișe SPD
14	Alarmă SPD în MS/SCADA și documente probatorii	Anexa 008 MS/SCADA, FAT/SAT/PIF, listă I/O

3. Date de intrare și sursa fiecărei informații

Informație	Sursă	Observație
Un MT, Um, regim rețea	ATR, aviz OD, studiu de soluție, schemă monofilară	Proiectantul nu trebuie să presupună regimul neutru; se solicită de la OD.
Nivel izolație echipamente	Fișă celule MT/RMU, fișă transformator, fișă cabluri/terminali	Se ia cea mai mică valoare declarată dintre componentele protejate.
Nivel poluare și mediu	Studiu amplasament, chestionar beneficiar, condiții OD, climat local	Influențează distanța de fugă, condensul și CTI.
Distanțe de montaj	Plan cotate PTAB, plan terminale cabluri, fișe producător	Distanțele interne ale celulelor se probează prin rapoarte de tip; interfețele se verifică prin proiect.

DRV MT	Fișă descărcător, curbe TOV, Up la In, clasă energie	Uc/Ur/TOV se verifică pentru regimul real al rețelei.
SPD JT și auxiliare	Schemă TDRI, schema JT TN/TT/IT, fișe SPD, RTU, UPS	Se verifică și circuitele de comunicații și semnalizarea de defect SPD.
Risc trăsnet/LPS	Studiu SR EN 62305, tip alimentare aeriană/subterană, amplasament	Poate impune SPD Tip 1 și măsuri suplimentare de echipotențializare.

4. Formule principale

4.1. Alegerea tensiunii maxime și a nivelului de izolație

Tensiunea maximă a echipamentului se alege astfel încât să fie cel puțin egală cu nivelul cerut de rețeaua OD și cu platforma standardizată a echipamentelor MT.

$$U_{m,utilizat} = \max(U_{m,OD} ; U_{m,echipament} ; U_{m,proiect})$$

Pentru PTAB pe rețele 6/10/20 kV, se urmăresc valorile de lucru pentru Um, tensiunea de ținere la frecvență industrială și LIWV/BIL.

Valorile trebuie confirmate în proiect din SR EN 60071-1/-2, NTE 001/03/00 și fișele echipamentelor.

4.2. Distanțe de izolare

$$D_{fază-fază,măsurat} \geq D_{fază-fază,min}$$

$$D_{fază-pământ,măsurat} \geq D_{fază-pământ,min}$$

Distanțele minime provin din standardele și fișele echipamentelor.

Pentru celule prefabricate sau RMU, distanțele interne sunt demonstrate prin încercările de tip, dar distanțele de montaj, terminale, treceri și interfețe cu alte echipamente se verifică prin proiect.

4.3. Distanța de fugă și CTI

$$L_{fugă,min} = U_m \times l_{specific}$$

$$CTI_{declarat} \geq CTI_{min,clasă PTAB}$$

$l_{specific}$ se alege în funcție de poluare, umiditate, condens, depuneri conductive și cerințele producătorului.

CTI minim se stabilește prin catalog și se probează prin fișe sau rapoarte pentru materialele electroizolante.

4.4. Alegerea descărcătorului MT

$$U_{c,min} = U_m \times K_e / \sqrt{3}$$

$$TOV_{suportat}(t) \geq TOV_{calculat}(t)$$

$$U_{p,total} = U_{p,DRV} + \Delta U_{legături}$$

$$M_{izolație} = LIWV / U_{p,total} \geq M_{min}$$

K_e este factorul de defect la pământ și se obține de la OD sau din studiul de rețea.

Pentru rețele compensate sau izolate, TOV poate fi de durată, iar Uc/Ur trebuie verificat pe curba producătorului descărcătorului.

4.5. SPD pe joasă tensiune, auxiliare și comunicații

$$U_{p,total,JT} = U_{p,SPD} + \Delta U_{legături}$$

$$U_{p,total,JT} \leq U_w / M_{min}$$

$$U_{c,SPD} \geq U_0 \times k_{siguranță}$$

SPD-ul JT se alege în funcție de schema TN/TT/IT, categoria de supratensiune a echipamentului, existența LPS sau a liniilor aeriene, distanțele de cablare și sensibilitatea circuitelor RTU/SCADA/UPS.

Pentru niveluri MS2-MS4 se recomandă includerea stării/alarmelor SPD în lista I/O și verificarea acestora la FAT/SAT/PIF.

5. Criterii de conformitate rapidă

Domeniu	Criteriu	Observație
Um	Um utilizat $\geq$ Um recomandat	Neconform dacă echipamentul este sub nivelul rețelei.
LIWV/BIL	LIWV declarat $\geq$ LIWV recomandat	Se ia valoarea minimă dintre celule, transformator, terminale și cabluri.
Distanțe	D_măsurat $\geq$ D_min	Se verifică fază-fază și fază-pământ.
Distanță de fugă	L_fugă declarat $\geq$ L_fugă calculată	Se corelează cu poluarea și condensul.
CTI	CTI declarat $\geq$ CTI minim	Materialele cu CTI sub minim sunt neconforme.
DRV MT	Uc, TOV și marja LIWV/Up_total conforme	Uc prea mic sau TOV insuficient pot conduce la avarie a descărcătorului.
SPD JT	Up_total $\leq$ Uw/M_min și Uc suficient	Include efectul lungimii conductoarelor de legătură.
Documente	Fișe, rapoarte, planuri, matrice conformitate	Lipsa probelor face verificarea neacceptabilă.

6. Documente probatorii necesare

Nr.	Document
1	Fișe tehnice celule MT/RMU, transformator, cabluri și terminale
2	Rapoarte de încercare pentru niveluri dielectrice: 50 Hz, impuls trăsnet, distanțe interne validate
3	Fișe materiale electroizolante și rapoarte CTI, acolo unde sunt relevante
4	Plan cotate de compartimentare, terminale, treceri și interfețe MT/JT
5	Fișă descărcător MT: Uc, Ur, In, I _{max} /energie, Up, curbe TOV, condiții de montaj
6	Schemă TDRI și fișe SPD JT: tip, Uc, Up, I _{imp} /In/I _{max} , contact alarmă
7	Schema auxiliarelor AC/DC, UPS, comunicații și protecția circuitelor RTU/SCADA
8	Studiu SR EN 62305 / justificare LPS și supratensiuni atmosferice, dacă este aplicabil
9	Matrice de conformitate, FAT/SAT/PIF și verificarea alarmelor SPD în SCADA, dacă se aplică

7. Observații pentru proiectant

- Nu se acceptă reducerea nivelului de izolație prin soluții compacte neverificate sau prin modificarea anvelopei fără revalidarea echipamentelor.
- Distanțele și protecția dielectrică trebuie corelate cu ventilarea și controlul condensului. Condensul poate transforma o soluție aparent conformă într-una neconformă în exploatare.
- Lungimile conductoarelor descărcătoare și SPD-urilor trebuie păstrate cât mai mici. În caz contrar, nivelul de protecție efectiv poate depăși nivelul de ținere al echipamentului.
- Pentru PTAB cu MS2-MS4, defectul SPD/DRV și evenimentele relevante trebuie tratate ca semnale de exploatare, nu doar ca elemente locale neobservabile.
- În proiectul final se vor înscrie valorile exacte din standardele aplicabile, fișele producătorilor și cerințele OD/beneficiarului.

8. Standardele și documentele utilizate ca surse

- Borderou de calcule de proiectare PTAB – secțiunea VII: Coordonarea izolației și protecția la supratensiuni.
- Catalog PTAB – Produse standardizate, capitolul 13: Parametri dielectricsi standard.
- Catalog PTAB – Anexa 004: configurații interzise privind protecția dielectrică și electrică.
- Catalog PTAB – Anexa 008: Matrice MS/SCADA, alarmă SPD și telemăsuri de calitate energie.
- NTE 001/03/00 – condiții tehnice privind instalațiile electrice de tensiune mai mare de 1 kV, în măsura aplicabilă.

- SR EN 60071-1 / SR EN 60071-2 – coordonarea izolației.
- SR EN 60099-4 / SR EN 60099-5 – descărcătoare cu oxizi metalici și ghid de aplicare.
- SR EN 61936-1 – instalații electrice de tensiune mai mare de 1 kV c.a.
- SR EN/IEC 62271 seria – aparataj MT și ansambluri prefabricate.
- SR HD 60364-4-443 și SR HD 60364-5-534 – protecția instalațiilor JT la supratensiuni și alegerea SPD.
- SR EN 61643 seria – dispozitive de protecție la supratensiuni pentru joasă tensiune.
- SR EN 62305 seria – protecția împotriva trăsnetului.
- Fișele producătorilor și rapoartele de încercare pentru celule MT, transformatoare, TDRI, DRV, SPD, cabluri, terminale, RTU/UPS.

VIII. CALCULE TERMICE, VENTILAȚIE ȘI CONTROL CONDENS

1. Lista calculelor și verificărilor incluse

Nr.	Calcul / verificare	Date necesare	Sursă principală
1	Pierderile transformatorului la factorul real de încărcare	P0, Pk, k încărcare	Fișă transformator, SR EN/IEC 60076, ecoproiectare
2	Suma puterilor disipate în anvelopă	P_trafo, P_TDRI, P_MT, P_SCADA, P_aux, cabluri, bare	Fișe echipamente, scheme, calcule proiect
3	Aport solar și disipare prin anvelopă	A_solar, G, alpha, U_env, A_env	Plan amplasament, finisaje, calcul termic
4	Bilanț termic și clasa anvelopei 10K/20K/30K	P_de_proiectare, ΔT estimat	EN IEC 62271-202, cerință beneficiar
5	Debit de aer necesar	P, rho, cp, ΔT admis	Anexa 010, calcul ventilație
6	Suprafața grilelor de admisie/evacuare	Q_v_admis, eta_grilă, colmatare	Fișe grile, plan ventilație
7	Ventilație forțată și redundanță	Q ventilator, derating, N instalat, N rezervă	Fișe ventilatoare, Anexa 005, MS/SCADA
8	Temperatura interioară maximă	T_ext,max + ΔT	Date climatice, fișe echipamente
9	Verificarea limitelor echipamentelor	T_int ≤ T_lim	Fișe trafo/TDRI/SCADA/UPS/baterii
10	Punct de rouă și risc de condens	T, RH, T_dp, marjă	Date mediu, senzori, analiză amplasament
11	Puterea rezistențelor anticondens	V, W/m ³ , factor rezervă	Fișe echipamente, schema auxiliare
12	Drenaj, etanșări și mentenanță	verificări calitative documentate	Plan drenaj, plan mentenanță, SAT/PIF
13	Monitorizare temperatură/umiditate	listă I/O, alarmă, comenzi auxiliare	Anexa 008, cerințe OD/beneficiar

2. Formule principale

2.1. Pierderi transformator:

$$P_{\text{trafo}} = P_0 + k^2 \times P_k$$

- P0 și Pk se preiau din fișa transformatorului;
- k este factorul de încărcare calculat din curba de sarcină.

2.2. Suma puterilor disipate:

$$P_{\text{pierderi}} = P_{\text{trafo}} + P_{\text{TDRI}} + P_{\text{MT}} + P_{\text{SCADA}} + P_{\text{aux}} + P_{\text{cabluri}} + P_{\text{bare}} + P_{\text{ventilatoare}}$$

- se includ toate sursele de căldură care rămân în anvelopă.

2.3. Aport solar orientativ:

$$P_{\text{solar}} = A_{\text{solar}} \times G \times \alpha / 1000$$

- se aplică unde radiația solară influențează semnificativ temperatura interioară.

2.4. Disipare prin anvelopă, model simplificat:

$$P_{\text{conducție}} = U_{\text{env}} \times A_{\text{env}} \times \Delta T / 1000$$

- se utilizează doar ca verificare orientativă dacă există date privind anvelopa.

2.5. Putere de evacuat prin aer:

$$P_{\text{aer}} = \max(0, P_{\text{pierderi}} + P_{\text{solar}} - P_{\text{conducție}}) \times f_{\text{siguranță}}$$

- include marja de proiectare stabilită de proiectant/beneficiar.

2.6. Debit aer necesar:

$$Q_{\text{aer}} = P_{\text{aer}} / (\rho \times c_p \times \Delta T)$$

- Q în m³/s dacă P este în W

2.7. Conversie debit:

$$Q[\text{m}^3/\text{h}] = Q[\text{m}^3/\text{s}] \times 3600$$

2.8. Suprafață brută minimă grile:

$$A_{\text{grile}} = Q_{\text{aer}} / (v_{\text{admis}} \times \eta_{\text{grilă}} \times (1 - f_{\text{colmatare}}))$$

- se verifică separat admisia și evacuarea.

2.9. Debit forțat efectiv:

$$Q_{\text{forțat}} = (N_{\text{instalat}} - N_{\text{rezervă}}) \times Q_{\text{fan}} \times f_{\text{derating}}$$

- pentru N+1 ventilatorul de rezervă nu se ia în calcul la debitul disponibil normal.

2.10. Număr minim ventilatoare:

$$N_{\text{min}} = \text{CEILING}(Q_{\text{req}} / (Q_{\text{fan}} \times f_{\text{derating}}), 1)$$

- se rotunjește la număr întreg superior.

2.11. Temperatură interioară maximă:

$$T_{\text{int,max}} = T_{\text{ext,max}} + \Delta T_{\text{calc}}$$

- se compară cu limita cea mai restrictivă a echipamentelor.

2.12. Punct de rouă - formula Magnus:

$$\gamma = \ln(RH/100) + aT/(b+T);$$

$$T_{\text{dp}} = b\gamma/(a-\gamma) - a = 17,27;$$

$$b = 237,7 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ pentru estimare uzuală.}$$

2.13. Criteriu risc condens:

$$T_{\text{suprafață}} \leq T_{\text{dp}} + \text{marjă} \Rightarrow \text{risc condens}$$

- dacă există risc se impune soluție anticondens documentată.

2.14. Putere minimă anticondens:

$$P_{\text{heat,req}} = V_{\text{anvelopă}} \times p_{\text{specific}} \times f_{\text{rezervă}}$$

- valoare orientativă;
- se validează cu fișele încălzitoarelor, higrostatului și termostatului.

3. Criterii de conformitate și neconformitate

Verificare	Conform	Neconform
P_pierderi documentate	Toate sursele de căldură sunt identificate și au document probatoriu.	Lipsă fișe, valori generice sau „conform” fără valori.
Bilanț termic	ΔT calculat este încadrat în clasa anvelopei și nu produce derating neacceptat.	ΔT peste clasa admisă sau T_{int} peste limita echipamentelor.
Ventilație naturală	A_{admisie} și A_{evacuare} efective $\geq A_{\text{min}}$; traseu liber fără recirculare.	Grile obturate, suprafață liberă insuficientă, traseu aer blocat.

Ventilație forțată	$Q_{\text{fortat}} \geq Q_{\text{req}}$, alimentare protejată, alarmă defect, acces mentenanță.	Ventilator fără semnalizare defect sau fără redundanță când este cerută.
Condens	$T_{\text{suprafață}} > T_{\text{dp}} + \text{marjă}$ sau există încălzire/ventilație/drenaj/etanșare adecvate.	Risc condens fără higrostat/rezistențe/senzori sau fără analiză.
SI/SB și zone umede	Drenaj, hidroizolație, etanșări, control condens și verificare acces.	Infiltrații, lipsă drenaj, lipsă alarmă apă/umiditate unde este necesar.
Documentație	Calcul termic, calcul ventilație, plan grile, scheme auxiliare, listă I/O, manual mentenanță.	Documente incomplete sau necorelate cu planul real al anvelopei.

4. Observații pentru proiectare

- Pentru PTAB subterane sau semiîngropate, controlul condensului și drenajul trebuie tratate împreună cu ventilația, hidroizolația și accesul de intervenție.
- Pentru transformatoare uscate, în special M1-H1, controlul condensului și depunerilor conductive este critic pentru menținerea nivelului de izolație.
- Ventilația forțată nu trebuie aleasă doar pentru a reduce gabaritul grilelor; ea introduce dependență de alimentare auxiliară, semnalizare defect și mentenanță.
- Datele din workbook sunt relaționate: modificarea pierderilor, temperaturii exterioare, clasei ΔT , grilelor sau ventilatoarelor modifică automat verdictul termic și cerințele de ventilare.
- Pentru recepție/PIF se atașează calculul termic, calculul ventilației, planul traseelor de aer, fișele grilelor/ventilatoarelor, schema anticondens și lista semnalelor MS/SCADA, dacă se aplică.

5. Checklist minimal de documente probatorii

Nr.	Document
1	Fișă transformator cu P0, Pk, masă, volum ulei, limite termice
2	Fișă TDRI și raport/verificare supratemperatură ansamblu JT
3	Fișe celule MT și echipamente auxiliare care disipă căldură
4	Calcul pierderi cabluri/bare interne, unde este relevant
5	Calcul termic și clasa anvelopei conform EN IEC 62271-202
6	Calcul debit aer și suprafețe grile admisie/evacuare
7	Plan ventilație cu traseu aer, zone neobturabile și acces mentenanță
8	Fișe grile: IP, suprafață liberă, protecție anti-ploaie/rozătoare/insecte
9	Fișe ventilatoare, schemă auxiliară și alarmă defect, dacă există ventilație forțată
10	Analiză condens: temperatură, RH, punct de rouă, soluție anticondens
11	Fișe rezistențe anticondens, termostat/higrostat, senzori T/RH
12	Plan drenaj, hidroizolație și etanșări pentru SI/SB sau zone umede
13	Listă I/O MS/SCADA pentru temperatură, umiditate, ventilatoare și anticondens, dacă se aplică

IX. CALCULE MECANICE ȘI STRUCTURALE (ANVELOPA DE BETON)

1. Scopul calculului

Calculul mecanic și structural al anvelopei PTAB verifică dacă structura de beton, radierul, pereții, planșeul/acoperișul, piesele înglobate, punctele de ridicare și elementele de acces pot prelua în siguranță acțiunile permanente, utile, climatice, seismice, geotehnice, de transport și de montaj.

Rezultatul trebuie să fie compatibil cu echipamentele reale instalate, cu gabaritul de transport, cu metoda de ridicare, cu durata de viață și cu condițiile de amplasament.

2. Lista completă a calculelor și verificărilor

Nr.	Calcul / verificare	Standard / normativ	Sursa datelor
1	Acțiuni permanente, utile și tehnologice	SR EN 1991-1-1; SR EN 1990	Fișe echipamente, masă anvelopă, plan acoperiș, încărcări de mentenanță
2	Acțiunea zăpezii pe acoperiș	CR 1-1-3; SR EN 1991-1-3	Localitate, altitudine, zonă climatică, formă acoperiș
3	Acțiunea vântului pe pereți/acoperiș	CR 1-1-4; SR EN 1991-1-4	Localitate, rugozitate teren, dimensiuni PTAB, coeficienți de presiune
4	Acțiunea seismică și ancorarea echipamentelor grele	P100-1; SR EN 1998	ag, clasă importanță, masă totală, masă transformator/TDRI, ancore
5	Împingerea pământului pe pereți părți îngropate	SR EN 1997; NP 112	h îngropare, γ sol, φ , Ka, apă, drenaj
6	Subpresiunea apei freatice și flotabilitatea	SR EN 1990; SR EN 1997	Nivel apă, radier, volum îngropat, greutate totală
7	SLU beton armat: încovoiere, tăiere, torsiune	SR EN 1992; SR EN 1990; CR 0	Geometrie, armare, beton, combinații acțiuni
8	SLS: deschiderea fisurilor și săgeți	SR EN 1992	Clasa de expunere, armare, element, sarcini de serviciu
9	Stabilitate generală: răsturnare și alunecare	SR EN 1990; SR EN 1997	Greutate, acțiuni orizontale, coeficient frecare, geometrie
10	Transport, ridicare și montaj: urechi, inserții, impact dinamic	SR EN 1992; specificații producător	Masă ridicată, număr puncte, k dinamic, capacitate macara
11	Gabarit interior/exterior și trasee de înlocuire fără demolare	Anexa 010 PTAB; Catalog PTAB	Fișe echipamente, plan acces, plan mentenanță
12	Piese înglobate, ancore, console, fixări echipamente	SR EN 1992; SR EN 1992-4; P100-1	Fișe ancore, reacțiuni echipamente, plan fixări
13	Goluri cabluri, străpungeri, rosturi, armări locale și etanșări	SR EN 1992; Catalog PTAB; Anexa 010	Plan cabluri, detalii etanșare, plan armare
14	Uși, trape, grile, capace: rezistență mecanică/IP/IK	SR EN 62262; SR EN/IEC 60529; Catalog PTAB	Fișe producător, rapoarte test, amplasament public

3. Date de intrare și sursa informației

Categorie date	Date concrete necesare	Sursa recomandată	Observație
Geometrie anvelopă	L_ext, l_ext, H_ext, grosimi pereți/radier/ acoperiș, goluri, trape, rosturi	desen cotelat anvelopă, proiect structural, fișă producător	Valorile trebuie să fie numerice, nu „conform”.
Mase echipamente	masă anvelopă, transformator, celule MT, TDRI, SCADA, cabluri	fișe tehnice, rapoarte producător, plan ridicare	Se ia în calcul masa maximă echipată.

Acțiuni climatice	sarcină zăpadă, presiune vânt, coeficienți de formă/presiune	CR 1-1-3, CR 1-1-4, date amplasament	Se calculează pentru amplasamentul real.
Seism	ag, categorie importanță, factori de comportare/amplificare, ancorări	P100-1, SR EN 1998, proiect structural	Obligatoriu pentru echipamente grele și anvelopă.
Geotehnic	p_admisibil, γ sol, ϕ , nivel apă, tasări, lichefiere, drenaj	studiu geotehnic, NP 112, SR EN 1997	Pentru SI/SB și fundații.
Capacități structurale	M_Rd, V_Rd, w_k admis, f_lim, capacitate ancore/puncte ridicare	memoriu structură, SR EN 1992, rapoarte încercare	Nu se inventează; se declară/calculă.

4. Formule operaționale

Formula	Explicație
$A_{bază} = L_{ext} \times l_{ext}$	aria de bază utilizată pentru presiunea medie pe teren și uplift.
$V_{beton} \approx 2 \times (L_{ext} + l_{ext}) \times H_{ext} \times t_{perete} + L_{ext} \times l_{ext} \times (t_{radier} + t_{acoperiș})$	estimare preliminară a volumului betonului; masa declarată de producător prevalează dacă există.
$G_{total} = G_{anvelopă} + G_{transformator} + G_{MT} + G_{TDRI} + G_{SCADA} + G_{cabluri}$	greutatea totală echipată, folosită la stabilitate, seism, ridicare și transport.
$S_{zăpadă} = s_k \times \mu_i \times A_{acoperiș}$	sarcina de zăpadă se ia din CR 1-1-3 / SR EN 1991-1-3 pentru amplasamentul real.
$F_{vânt} = q_p \times c_{pe} \times A_{ref}$	forța orizontală simplificată din vânt, utilizată la răsturnare/alunecare.
$F_{seism} \approx G_{total} \times (a_g/g) \times S/q$	estimare preliminară; proiectul seismic complet trebuie să aplice P100-1 și SR EN 1998.
$p_{medie} = G_{total} / A_{bază}$	verificare preliminară a presiunii medii pe teren; se corelează cu geotehnica.
$FS_{răsturnare} = M_{rezistent} / M_{răsturnare}$	verdict OK dacă factorul este cel puțin egal cu factorul minim stabilit în proiect.
$FS_{alunecare} = \mu \times G_{total} / (F_{vânt} + F_{seism} + F_{pământ})$	verificare preliminară a stabilității la alunecare.
$F_{pământ} = 0,5 \times K_a \times \gamma_{sol} \times h^2 \times L$	împingere activă simplificată pentru pereți îngropați; aplicabil SI/SB.
$U = \gamma_{apă} \times h_{apă} \times A_{bază}$	subpresiunea apei; se verifică flotabilitatea când radierul este sub nivelul apei.
$M_{Ed} \leq M_{Rd}; V_{Ed} \leq V_{Rd}$	regula generală de verificare SLU pentru pereți, radier și planșeu.
$w_k \leq w_{adm}; f_{calc} \leq f_{lim}$	regula generală de verificare SLS pentru fisuri și săgeți.
$F_{punct\,ridicare} = G_{total} \times k_{dinamic} / n_{puncte}$	verifică fiecare punct de ridicare/insertie și se corelează cu planul de macara.

5. Documente probatorii minime

- desen cotate general al anvelopei, cu secțiuni prin pereți, radier, acoperiș și goluri;
- memoriu de calcul structural conform Eurocoduri / P100 / CR 0 / normative românești aplicabile;
- studiu geotehnic și date de amplasament pentru fundare, presiune pe teren, tasări, apă freatică și lichefiere;
- plan de armare, detalii piese înglobate, ancore, puncte de ridicare, console și fixări echipamente;
- plan de transport, manipulare, ridicare și montaj, inclusiv masă pe colet, centru de greutate și capacitate macara;

- fișele tehnice ale echipamentelor instalate: transformator, celule MT, TDRI, SCADA, ventilatoare, grile, uși, capace, trape;
- rapoarte/certificate pentru beton, armare, prefabricate, IP/IK, finisaje și protecții mecanice;
- plan de acces, mentenanță și traseu de extracție transformator/TDRI/celule fără demolare.

6. Observații

Dacă una dintre verificări indică „NECONFORM”, geometria, armarea, punctele de ridicare, masa sau soluția de amplasare trebuie revizuite înainte de acceptarea configurației.

7. Limitări

Dimensionarea finală a elementelor de beton armat, armarea efectivă, verificarea detaliată la seism, calculul geotehnic, calculul la foc, verificarea elementelor prefabricate și verificarea ancorărilor trebuie realizate în proiectul structural complet, cu combinațiile de acțiuni și coeficienții parțiali stabiliți de proiectant.

X. CALCULE GEOTEHNICE ȘI DE FUNDARE

1. Scopul setului de calcule

Acest document prezintă lista operațională de calcule geotehnice și de fundare necesare pentru proiectarea unui post de transformare în anvelopă de beton.

Setul acoperă verificările necesare pentru o soluție executabilă, montabilă și recepționabilă: presiuni pe teren, capacitate portantă, tasări, stabilitate, subpresiune/flotabilitate, lichefiere, săpături, compactare, drenaj, cote și planeitate.

Important: formulele sunt destinate pre-dimensionării și verificării documentare.

Proiectul final se validează de proiectantul de specialitate pe baza studiului geotehnic, proiectului structural, cerințelor OD/beneficiarului și condițiilor reale de amplasament.

2. Lista calculelor și verificărilor

Nr .	Calcul / verificare	Relație principală	Sursa / standard	Aplicabilitate	Document probatoriu
1	Capacitatea portantă a terenului de fundare	$q_{avg}=N/A$; $q_{max}=q_{avg}(1+6e_x/L+6e_y/B)$; $q_{max}\leq p_{adm}$ sau $q_{max}\cdot\gamma_R\leq q_{Rd}$	NP 112; SR EN 1997; studiu geotehnic	Toate PTAB	Studiu geotehnic; calcul fundație
2	Tasări absolute	$s\approx q\cdot B\cdot(1-\nu^2)\cdot I_s/E_s$ sau $\Sigma(\Delta\sigma_i\cdot H_i/E_i)$	NP 112; SR EN 1997	Toate PTAB	Calcul tasări
3	Tasări diferențiale / rotire	$\Delta s/L\leq$ limita admisă	NP 112; SR EN 1997	Toate PTAB, mai ales M2/H1 și echipamente grele	Calcul geotehnic
4	Riscul de lichefiere	$FoS_{liq}=CRR/CSR$	P100-1; SR EN 1998-5	Zone seismice cu apă freatică ridicată	Studiu geotehnic/seismic
5	Stabilitatea săpăturii/taluzurilor	$FoS_{taluz}\geq Fos_{min}$	SR EN 1997	SI/SB sau fundare sub cota terenului	Plan săpătură/sprijinire
6	Stabilitatea la alunecare	$FoS=\mu\cdot N/H$	SR EN 1997; SR EN 1998	PTAB cu acțiuni orizontale/seism/vânt	Calcul stabilitate
7	Stabilitatea la răsturnare	$FoS_x=N\cdot B/(2M_x)$; $FoS_y=N\cdot L/(2M_y)$	SR EN 1997; SR EN 1998	PTAB expuse la seism/vânt, H1/M2	Calcul stabilitate
8	Flotabilitate / subpresiune	$FoS=N/(\gamma_w\cdot V_{dislocat})$	SR EN 1997; studiu hidrogeologic	SI/SB, apă freatică ridicată	Calcul subpresiune, plan drenaj
9	Adâncime de îngheț	$d_{fundare}\geq d_{îngheț}$ sau soluție justificată	Normativ local; proiect geotehnic	Toate PTAB	Proiect fundație
10	Compactarea stratului suport	$D_{realizat}\geq D_{min}$	Proiect fundație; laborator geotehnic	Toate PTAB	Buletin compactare; PV lucrări ascunse
11	Drenaj și hidroizolații la fundare	$i_{drenaj}\geq i_{min}$; verificare nivel apă/cote	Anexa 010; proiect drenaj	SI/SB, zone inundabile/umede	Plan drenaj; PV cote

12	Cote, planeitate și nivelment	abatere≤toleranță admisă	Anexa 010; instrucțiuni producător	Toate PTAB înainte de montaj	PV cote; ridicare topografică
----	-------------------------------	--------------------------	------------------------------------	------------------------------	-------------------------------

3. Sursele datelor de intrare

Date necesare	Cine le furnizează	Document probatoriu
Plan amplasament, cote CTN/CTA, coordonate, restricții de spațiu	Beneficiar / proiectant / topograf	Plan de situație, ridicare topo, aviz amplasament
Tip amplasare ST/SI/SB, cod PTAB, acces AE/AI, masă/gabarit	Proiectant PTAB / producător	Cod PTAB, fișe anvelopă, plan transport/ridicare
Stratificație, p_{adm}/q_{Rd} , E_s/E_{oed} , γ , c , ϕ , nivel apă	Studiu geotehnic	Raport geotehnic verificat
Mase echipamente: anvelopă, transformator, TDRI, celule MT, SCADA, cabluri	Producători / integrator	Fișe tehnice, declarație masă, plan ridicare
Acțiuni orizontale, momente, seism, vânt, zăpadă	Proiectant structură	Calcul structural și acțiuni Eurocod/P100
Grad compactare, planeitate, cote, aliniere goluri cabluri	Executant / laborator / topograf	PV lucrări ascunse, buletine laborator, PV cote
Cerințe OD/beneficiar privind acces, drenaj, servitute, intervenție	Operator distribuție / beneficiar	Avize, temă proiectare, caiet de sarcini

4. Formule și criterii de verificare

Calcul	Formulă	UM	Sursa datelor	Criteriu
Aria fundației	$A=L \cdot B$	m^2	L și B din plan fundație	$A > 0$
Forța verticală totală	$N = \Sigma m \cdot k \cdot g / 1000$	kN	fișe de masă + coeficient de rezervă	$N > 0$ și documentată
Presiunea medie	$q_{avg} = N/A$	kPa	N și A	$q_{avg} \leq p_{admisibil}$
Presiunea maximă	$q_{max} = q_{avg}(1 + 6e_x/L + 6e_y/B)$	kPa	excentricități din calcul mase	$q_{max} \leq p_{admisibil}$
Presiunea minimă	$q_{min} = q_{avg}(1 - 6e_x/L - 6e_y/B)$	kPa	excentricități din calcul mase	$q_{min} \geq 0$
Verificare portantă de calcul	$\eta_{Rd} = q_{max} \cdot \gamma_R / q_{Rd}$	-	q_{Rd} și γ_R din proiect geotehnic	$\eta_{Rd} \leq 1$
Tasare elastică orientativă	$s = q_{avg} \cdot B \cdot (1 - \nu^2) \cdot I_s / E_s$	mm	E_s , ν , I_s din studiul geotehnic	$s \leq s_{admisibil}$
Tasare pe straturi	$s_{total} = \Sigma (\Delta \sigma_i \cdot H_i / E_i)$	mm	stratificație și E_i	$s_{total} \leq s_{admisibil}$
Tasare diferențială	$\Delta s / L \leq \text{limita admisă}$	mm/m	tasări pe colțuri/zone	conform proiect
Alunecare	$FoS = \mu \cdot N / H$	-	μ din studiu, H din calcul structural	$FoS \geq \text{limită proiect}$
Răsturnare X/Y	$FoS_x = N \cdot B / (2M_x)$; $FoS_y = N \cdot L / (2M_y)$	-	momente din calcul structural	$FoS \geq \text{limită proiect}$
Flotabilitate	$FoS = N / (\gamma_w \cdot V_{dislocat})$	-	volum dislocat și nivel apă	$FoS \geq \text{limită proiect}$

Lichefiere	FoS_liq=CRR/CSR	-	CRR/CSR din studiu geotehnic/seismic	FoS_liq≥limită proiect
Compactare	D_realizat≥D_min	%	laborator/PV lucrări ascunse	conform proiect
Planeitate	abatere_măsurată≤abatere_admisă	mm	PV cote / instrucțiuni producător	conform pentru montaj

5. Documente probatorii obligatorii

Document	Ce trebuie să conțină	Regim
Studiu geotehnic	stratificație, p_{adm}/q_{Rd} , E_s/E_{oed} , c , φ , γ , apă freatică, recomandări fundare	obligatoriu
Calcul fundație	presiuni, tasări, stabilitate, dimensiuni, armare/radier, cote	obligatoriu
Plan fundație și plan drenaj	cote, strat suport, goluri cabluri, drenaj, hidroizolație, detalii montaj	obligatoriu
Fișe mase/gabarite	anvelopă, transformator, TDRI, celule MT, SCADA, cabluri	obligatoriu
PV lucrări ascunse și buletine compactare	strat suport, compactare, calitate execuție	obligatoriu la execuție
PV cote / nivelment	planeitate, aliniere, cote finale de montaj	obligatoriu înainte de montaj
Studiu hidrologic / plan intervenție	dacă amplasamentul este inundabil, SI/SB sau cu apă freatică ridicată	condiționat
Plan sprijinire/taluzare	pentru săpături adânci sau soluții semiîngropate/subterane	condiționat

6. Reguli de interpretare a verdictului

NECONFORM înseamnă că ipotezele curente nu îndeplinesc criteriul introdus; soluția trebuie recalculată, modificată sau justificată/avizată.

ATENȚIE indică o situație care poate fi acceptabilă numai cu măsuri suplimentare sau justificare: drenaj, hidroizolație, adâncire fundație, compactare suplimentară, schimbare cotă sau aviz de specialitate.

N/A se utilizează numai când verificarea nu se aplică: de exemplu flotabilitatea cu $V_{dislocat}=0$ pentru un PTAB suprateran fără volum sub nivelul apei.

Conformitatea finală nu rezultă doar din workbook; se stabilește prin proiect, documente probatorii și recepția lucrărilor pe amplasament.

Notă privind standardele:

standardele și normativele se aplică în ediția în vigoare la data proiectării/execuției. În cazul în care cerințele OD/beneficiarului sau condițiile de amplasament sunt mai restrictive, se aplică cerința mai restrictivă.

XI. CALCULE SPECIALE ȘI DE SIGURANȚĂ

1. Scopul calculelor speciale și de siguranță

Calcululele speciale și de siguranță completează dimensionările electrice, mecanice, termice și geotehnice.

Ele urmăresc să dovedească faptul că PTAB-ul nu este doar funcțional, ci exploatabil în siguranță la defecte severe, incendiu, scurgeri de ulei, trăsnet, zgomot și intervenții de urgență.

Pentru fiecare verificare trebuie să existe atât rezultat numeric sau verdict tehnic, cât și document probatoriu.

În borderoul de proiectare, această secțiune include: suprapresiunea internă din arc intern și calificarea IAC, volumul cuvei de retenție a uleiului, riscul la trăsnet, rezistența la foc și nivelul de zgomot al transformatorului.

Documentul de față adaugă și verificările operaționale necesare care susțin recepția și exploatarea: decompresie, uși/capace compatibile cu IAC, acces de intervenție, marcaje, interblocări, alarme SCADA și documentarea soluțiilor speciale.

2. Lista completă a calculelor/verificărilor

Nr.	Domeniu	Calcul/verificare	Sursă principală	Document probatoriu
1	Arc intern / IAC	Verificarea calificării IAC a ansamblului și a celulelor MT; curent și timp certificat; decompresie/evacuare gaze; uși, capace, grile și rosturi compatibile.	Borderou XI; EN IEC 62271-202; SR EN/IEC 62271-200; Catalog PTAB §12.16/§17.11	Raport IAC, plan decompresie, fișe echipamente
2	Indicator I^2t pentru arc	Calcul comparativ I^2t proiectat versus I^2t certificat, doar ca indicator de acoperire, fără a înlocui încercarea IAC.	SR EN 60909-0; SR EN 60865-1; raport IAC	Calcul scurtcircuit și raport IAC
3	Retenție ulei	Volumul minim al cuvei: 100% ulei + apă din precipitații/stingere + rezervă; acces pentru curățare; etanșeitate la ulei/apă.	NTE 007/08/00; Catalog §12.14; legislație mediu	Fișă trafo, plan cuvă, calcul retenție, test etanșeitate
4	Trăsnet / LPS	Calcul risc SR EN 62305; stabilire necesar LPS; utilizarea armăturii ca ecran/bonding; corelare SPD.	SR EN 62305; proiect supratensiuni	Calcul risc, plan LPS, scheme SPD, plan PE
5	Incendiu / REI-EI	Rezistență la foc a pereților, ușilor, rosturilor și trecerilor de cabluri; detecție incendiu; evacuare fum/gaze.	P118; NP 099-04; Catalog §12.15	Scenariu incendiu, certificate REI/EI, plan compartimentare
6	Zgomot	Nivel de presiune acustică la receptor și comparare cu limita admisă; corelare cu ventilația dacă se folosesc ecrane acustice.	EN IEC 62271-202 Anexa B; SR 10009; EN IEC 60076-10	Fișă trafo, calcul acustic, plan amplasament
7	Acces/intervenție	Căi de acces, evacuare operator, marcaje, securizare uși/trape, semnalizare pericol electric.	Catalog §15; SR EN 61936-1; Legea 319/2006	Plan acces, plan marcaje, manual exploatare
8	Monitorizare siguranță	Alarme arc intern, fum, apă, temperatură, acces, SPD; selector local/distanță și interblocări la MS3–MS4.	Anexa 008 MS/SCADA; Catalog §9	Listă I/O, scheme SCADA, FAT/SAT/PIF
9	Soluții speciale	OLTC, buclă MT, prosumator, compensare/filtre, drenaj activ, infrastructură critică – analiză de risc și aviz explicit.	Anexa 005 configurații condiționate; cerințe OD/beneficiar	Studiu soluție, analiză risc, aviz beneficiar/OD

3. Formule și criterii de verificare

3.1. Arc intern / IAC

Verificarea de bază este o verificare de acoperire între solicitarea din proiect și calificarea certificată a echipamentelor/anvelopei. Pentru IAC, proba decisivă rămâne raportul de încercare de tip și planul de decompresie/evacuare gaze.

$$I_{k,proiect} \leq I_{k,IAC}$$

$$t_{proiect} \leq t_{IAC}$$

$$I^2 t_{proiect} = I_{k,proiect}^2 \times t_{proiect}$$

$$I^2 t_{IAC} = I_{k,IAC}^2 \times t_{IAC}$$

Criteriul practic în workbook este: raport IAC existent, curent IAC certificat mai mare sau egal cu I_k proiectat, durată IAC certificată mai mare sau egală cu timpul de defect, decompresie documentată și uși/capace compatibile cu soluția încercată.

3.2. Volumul cuvei de retenție a uleiului

Pentru transformator în ulei sau OLTC, sistemul de retenție se verifică numeric și documentar. Volumul util nu se dimensionează numai după ulei, ci și după apa ce poate intra în cuvă sau volumul de stingere impus prin scenariu.

$$V_{apă} = A_{colectare} \times h_{apă}$$

$$V_{min} = (V_{ulei} + V_{apă} + V_{stingere}) \times (1 + r_{rezervă})$$

$$Raport_{acoperire} = V_{cuvă,util} / V_{min}$$

Criteriul este $Raport_{acoperire} \geq 1$, cu acces de mentenanță și etanșeitate documentată. Lipsa retenției sau o cuvă neetanșă conduce la neconformitate critică.

3.3. Risc la trăsnet și LPS/SPD

Calculul detaliat se face conform SR EN 62305. Workbook-ul verifică rezultatul proiectului de risc și existența măsurilor LPS/SPD necesare.

$$R \leq R_T$$

dacă $R > R_T \Rightarrow$ se implementează LPS/SPD conform nivelului rezultat din calcul

Armătura anvelopei poate contribui la ecranare și echipotențializare numai dacă legăturile sunt proiectate, măsurate și documentate în schema PE/echipotențializare.

3.4. Rezistență la foc și propagarea incendiului

$$REI_{declarat} \geq REI_{cerut}$$

$$EI_{ușă/trapă,declarat} \geq EI_{cerut}$$

Se verifică pereții, ușile, capacele, rosturile, trecerile de cabluri și scenariul de evacuare fum/gaze. Pentru amplasamente subterane, transformatoare în ulei sau infrastructură critică, cerințele de detecție și intervenție devin mai severe.

3.5. Zgomotul transformatorului

Formula din workbook este o aproximație de câmp liber pentru etapa de proiectare și ofertare. În amplasamente rezidențiale sau sensibile se cere calcul acustic complet, eventual măsurători și verificarea simultană a ventilației.

$$L_{pA} \approx L_{WA} + 10 \cdot \log_{10}(n) - 20 \cdot \log_{10}(r) - 11 + K_{reflexii} - A_{ecran}$$

$$Marjă_{zgomot} = Limită_{admisă} - L_{pA}$$

Criteriul este $Marjă_{zgomot} \geq 0$ dB și confirmarea că eventualele ecrane/carcase acustice nu obturează ventilația sau evacuarea căldurii.

4. Sursele informațiilor de intrare

Informație	Sursa primară	Observație
I_k proiectat și timp defect	ATR/studiu de soluție OD + calcul scurtcircuit + protecții	Necesare pentru verificarea IAC și $I^2 t$.
Raport IAC	Producător/integrator PTAB, celule MT, anvelopă	Trebuie să corespundă configurației reale, nu unei variante asemănătoare.

Volum ulei	Fișa transformatorului	Se folosește volumul real al transformatorului oferat/livrat.
Volum apă/stingere	Date amplasament, scenariu incendiu, proiect drenaj/mediu	1 mm de apă pe 1 m ² înseamnă 1 litru.
Risc trăsnet	Calcul SR EN 62305 și plan amplasament	Include caracteristicile structurii și serviciile conectate.
REI/EI	Scenariu incendiu, P118/NP 099, fișe producător	Se aplică cerința mai restrictivă.
LWA și receptor zgomot	Fișă transformator și plan amplasament	Se verifică limita aplicabilă din SR 10009/aviz local/cerință beneficiar.
Alarmer și interblocări	Nivel MS, schema SCADA și Matricea MS/SCADA	Se probează prin listă I/O și FAT/SAT/PIF.

5. Observații de proiectare și limitări

- Calculele de arc intern nu se reduc la o formulă de presiune: pentru acceptare se cere raport IAC corespunzător configurației reale, inclusiv poziția ușilor, capacele, grilele și traseele de decompresie.
- Pentru ulei, conformitatea se stabilește numai dacă volumul util al cuvei, accesul la cuvă și etanșeitatea sunt simultan îndeplinite.
- Pentru trăsnet, rezultatul calculului de risc decide nivelul LPS/SPD; workbook-ul doar verifică introducerea și aplicarea rezultatului.
- Pentru incendiu, fișele REI/EI și scenariul de incendiu prevalează asupra unei valori orientative introduse în tabel.
- Pentru zgomot, formula simplificată este acceptabilă pentru screening; în zone rezidențiale se cere calcul acustic detaliat și verificarea ventilației.
- Pentru MS/SCADA, nivelul declarat trebuie să corespundă echipării reale; supradecларarea nivelului MS fără RTU, listă I/O și teste este neconformitate documentară.

6. Checklist de documente probatorii

Document	Obligatoriu când	Rol în verificare
Raport IAC / încercare tip	M1–H1, acces interior sau cerință beneficiar	Dovedește comportarea la arc intern și decompresie.
Plan decompresie / evacuare gaze	Arc intern / SB / AI	Arată traseul gazelor și compatibilitatea ușilor/capacelor.
Fișă transformator cu volum ulei și LWA	Transformator în ulei / calcul zgomot	Intrare pentru retenție și zgomot.
Plan cuvă și calcul retenție	Transformator în ulei/OLTC	Dovedește volumul, accesul și etanșeitatea.
Calcul risc SR EN 62305	Toate PTAB	Stabilește necesarul LPS/SPD.
Scenariu incendiu / fișe REI-EI	Toate, critic pentru ulei/SB/H1	Dovedește rezistența la foc și protecția la propagare.
Calcul acustic	Zone rezidențiale/sensibile	Dovedește încadrarea în limita de zgomot.
Listă I/O, FAT/SAT/PIF	MS2–MS4 sau monitorizare impusă	Dovedește alarmele, interblocările și telecomanda.

XII. DURABILITATE, FINISAJE ȘI CONFORMITATE DE PRODUS

1. Scopul documentului

Prezentul document descrie modul de verificare a durabilității anvelopei PTAB, a finisajelor exterioare/interioare, a protecției anticorozive a elementelor metalice, a claselor de expunere ale betonului, a etanșărilor și a conformității de produs.

Verificările nu înlocuiesc proiectul de specialitate, rapoartele de încercare ale producătorului, documentele de conformitate, avizele beneficiarului/operatorului de distribuție sau recepția fizică FAT/SAT/PIF.

Orice trimitere la standarde se interpretează cu mențiunea „sau echivalent”, dacă soluția echivalentă asigură cel puțin același nivel de performanță și siguranță.

2. Încadrarea în borderoul de calcule

Nr.	Calcul/verificare	Standard / normativ	Sarcina	Aplicabil
1	Clasa de coroziune și sistemul anticoroziv al elementelor metalice	ISO 12944; ISO 9223; Catalog §14.9	P	DA
2	Clasa de expunere a betonului, acoperirea cu armătură și durabilitatea	SR EN 1992-1-1; SR EN 206	Pr	DA
3	Conformitatea elementelor prefabricate din beton – CE/DoP	Reg. (UE) 2024/3110; SR EN 206; SR EN 13369	P	DA
4	Durata de viață a finisajelor; protecție UV / anti-graffiti / hidrofobizare	Catalog §14.5–14.10	P	DA
5	Etanșarea cablurilor, trecerilor și rosturilor	Catalog §12.8	P/Pr	DA

3. Date de intrare și sursa informației

Domeniu	Ce se colectează	Sursa informației	Document probatoriu
Clasă PTAB, cod PTAB	Codul complet PTAB și clasa de putere	beneficiar/OD, catalog PTAB, proiectant	fișă tehnică, cod PTAB, matrice configurații
Mediu de amplasare	rural, urban, industrial, salinitate, subteran/umiditate, infrastructură critică	beneficiar/OD, studiu de amplasament, proiectant	plan amplasament, studiu mediu, cerere ofertă
Durată de viață proiectată	durata de exploatare urmărită pentru anvelopă și finisaje	beneficiar, proiectant, producător	caiet de sarcini, fișă produs
Beton și armare	clasă beton, clase expunere, acoperire armătură, oțel, control execuție	proiectant structură, producător prefabricat	proiect structură, certificate beton/oțel
Finisaje	sistem exterior/interior, RAL, protecție UV, anti-graffiti, hidrofobizare	producător finisaje, beneficiar, proiectant	fișe material, certificate, manual mentenanță
Elemente metalice	uși, grile, balamale, capace, trape, ancore, șuruburi, suporturi	producător anvelopă/aplicator acoperiri	certificate acoperire, fișe uși/grile
Etanșări	treceri cabluri, rosturi, uși, capace, acoperiș, soclu/radier	proiectant, producător anvelopă	detalii constructive, PV etanșare, certificate
Conformitate produs	CE/DoP, declarații, rapoarte de încercare, trasabilitate	producător/integrator	DoP, marcaj CE, rapoarte tip/rutină, matrice conformitate

4. Formule și relații de calcul

Formulele sunt relații operaționale pentru verificarea preliminară.

Valorile finale trebuie validate prin proiect, fișe tehnice și documente probatorii.

- **Clasa de coroziune cerută:** $C_{req} = \max(C_{clasă\ PTAB}, C_{mediu\ amplasare})$ — Se alege cerința mai severă dintre clasa PTAB și agresivitatea mediului.
- **Verificarea sistemului anticoroziv:** $\text{Rank}(C_{decl}) \geq \text{Rank}(C_{req})$ — C_{decl} este clasa declarată în fișa sistemului anticoroziv.
- **Acoperirea nominală a armăturii:** $c_{nom} = c_{min,dur} + \Delta c_{dev}$ — $c_{min,dur}$ rezultă din clasa de expunere, iar Δc_{dev} din controlul execuției.
- **Verificarea acoperirii:** $c_{decl} \geq c_{nom}$ — c_{decl} se preia din proiectul structural sau din documentația producătorului.
- **Durata minimă a finisajului:** $D_{req} = \max(D_{clasă}, D_{risc\ public}, D_{infrastructură\ critică})$ — Se aplică durata minimă cea mai severă.
- **Verificarea duratei finisajului:** $D_{decl} \geq D_{req}$ — D_{decl} se preia din fișele sistemului și manualul de mentenanță.
- **Protecție anti-graffiti:** Necesari = DA dacă amplasament public sau risc vandalism — Se validează prin fișa sistemului și metoda de curățare.
- **Hidrofobizare:** Necesari = DA dacă amplasare SI/SB sau risc de umiditate/infiltrații — Nu substituie hidroizolația, drenajul sau etanșările constructive.
- **Protecție UV:** Necesari = DA pentru exterior/ST — Se verifică prin fișa sistemului de finisaj.
- **Scor conformitate:** $\text{Scor} = N_{conform} / (N_{conform} + N_{neconform})$ — Scor orientativ; neconformitățile eliminatorii prevalează asupra scorului.

5. Lista completă de calcule/verificări

Nr.	Calcul/verificare	Formulă/relație	Sursă	Date de intrare
1	Clasă coroziune după clasă PTAB	$C_{clasă} = \text{lookup}(\text{clasă PTAB})$	ISO 12944; ISO 9223; Catalog §14.9	cod PTAB, clasă PTAB
2	Clasă coroziune după mediu	$C_{mediu} = \text{lookup}(\text{mediu})$	ISO 9223; cerințe OD/ beneficiar	studiu amplasament, mediu
3	Clasă coroziune finală	$C_{req} = \max(C_{clasă}, C_{mediu})$	ISO 12944; Catalog §14.9	rezultatele 1 și 2
4	Verificare anticorozivă metal	$\text{Rank}(C_{decl}) \geq \text{Rank}(C_{req})$	ISO 12944; ISO 9223	fișă sistem, certificate acoperire
5	Clase expunere beton	XC/XF/XA/XD/XS pe zone	SR EN 206; SR EN 1992-1-1	amplasare, geotehnic, mediu
6	Acoperire armătură	$c_{nom} = c_{min,dur} + \Delta c_{dev}$	SR EN 1992-1-1	proiect structural
7	Verificare c_{nom}	$c_{decl} \geq c_{nom}$	SR EN 1992-1-1; SR EN 206	plan armare, certificate
8	Conformitate prefabricat	CE/DoP depus = DA	Reg. (UE) 2024/3110; SR EN 13369	producător
9	Durată finisaje	$D_{decl} \geq D_{req}$	Catalog §14.5– 14.10; §14.17	fișe finisaje
10	Protecție UV	aplicabil ST/ exterior	Catalog §14.5	amplasare, fișe finisaj
11	Anti-graffiti	aplicabil public/ vandalism	Catalog §14.6	cerințe urbanism/beneficiar
12	Hidrofobizare	aplicabil SI/ SB/ umiditate	Catalog §14.7	amplasare, risc apă

13	Hidroizolații acoperiș/ soclu/ radier	fără infiltrații; pantă/ scurgeri/ etanșări	Anexa 010; proiect constructiv	detalii constructive
14	Etanșări cabluri/ rosturi/ uși	documentate și verificate	Catalog §12.8; Anexa 004	detalii, certificate, PV
15	Marcaje durabile	plan + recepție vizuală	Anexa 010; Matrice conformitate	plan marcaje, foto recepție
16	Manual mentenanță	există și este complet	Catalog §14.17	manual producător
17	Recepție finisaje	checklist FAT/ SAT/ PIF închis	Catalog §14.18; Anexa 010	PV FAT/SAT/PIF

6. Documente probatorii minime

Document	Regim	Emitent	Sursă	Observații
DoP / CE pentru prefabricat	obligatoriu	producător	Reg. (UE) 2024/3110; SR EN 13369	lipsa documentului blochează recepția
Certificate beton și oțel	obligatoriu	producător	SR EN 206; SR EN 1992-1-1	se corelează cu clasa de expunere
Plan armare și acoperire	obligatoriu	proiectant structură	SR EN 1992-1-1	necesar pentru durabilitate
Fișe finisaj exterior/interior	obligatoriu	producător/aplicator	Catalog §14.17	include RAL, UV, curățare, retuș
Certificate acoperiri metalice	obligatoriu	aplicator/producător	ISO 12944; ISO 9223	uși, grile, balamale, capace, ancore
Fișă anti-graffiti	condiționat	producător	Catalog §14.6	zone publice/risc vandalism
Fișă hidrofobizare	condiționat	producător	Catalog §14.7	SI/SB/umiditate
Detalii/PV etanșare	obligatoriu	proiectant/producător	Catalog §12.8	treceri cabluri, rosturi, uși, capace
Plan marcaje	obligatoriu	proiectant/producător	Anexa 010	pericol electric, compartimente, exploatare
Manual mentenanță	obligatoriu	producător	Catalog §14.17	curățare, retuș, revopsire, inspecții

7. Reguli de verdict

Verdict	Criteriu
CONFORM	Toate verificările obligatorii sunt conforme, documentele sunt depuse și nu există contradicții între cod, fișă, planuri, rapoarte și matrice.
CONFORM CONDIȚIONAT	Există observații minore sau documente care pot fi completate înainte de livrare/PIF, fără afectarea siguranței, durabilității sau exploatarei.
NECONFORM / REMEDIERE	Există cel puțin o neconformitate eliminatorie sau lipsesc documente care probează valorile declarate.
RESPINS LA RECEPȚIE	Există neconformități majore: lipsă DoP/CE, lipsă etanșări, finisaje degradate, fisuri structurale, protecție anticorozivă insuficientă, documentație contradictorie sau imposibilitatea verificării durabilității.

8. Observatii finale pentru proiectare și receptie

Durabilitatea și finisajele trebuie tratate ca parte a sistemului de protecție al anvelopei PTAB, nu ca element exclusiv estetic.

Verificarea trebuie să acopere betonul, armătura, elementele metalice, etanșările, hidroizolațiile, marcajele, documentele de conformitate, mentenanța și condițiile reale de amplasament.

Pentru configurații speciale, materiale alternative, amplasamente agresive, zone publice sau infrastructură critică, se va solicita echivalență tehnică documentată, avizul beneficiarului/operatorului și, după caz, rapoarte de încercare suplimentare.

XIII. CALCULE FUNCȚIONALE, DE MEDIU ȘI DOCUMENTAȚIE

1. Scopul setului de calcule

Acest document stabilește modul de verificare pentru grupa „Funcționale, mediu și documentație”, corespunzătoare secțiunii XIII din borderoul de calcule de proiectare PTAB. Grupa nu se limitează la calcule numerice: include verificări funcționale, verificări de mediu, verificări FAT/SAT/PIF și verificarea completitudinii documentației tehnice. O soluție PTAB poate fi corect dimensionată electric și structural, dar neacceptabilă la recepție dacă nu asigură exploatarea, mentenanța, documentele probatorii, condițiile de mediu și testele necesare.

Borderoul include explicit: iluminatul interior normal și de siguranță/evacuare, spațiile și distanțele de lucru, compatibilitatea electromagnetică, bilanțul CPT și analiza LCC cu capitalizarea pierderilor. Setul a fost completat cu verificări care nu apar explicit în borderou, dar sunt necesare pentru o proiectare PTAB completă: acces și evacuare operator, capacitate I/O pentru MS/SCADA, FAT/SAT/PIF, plan de mediu, SSM, documentație obligatorie, registru de neconformități și predarea dosarului as-built.

2. Lista completă a calculelor și verificărilor

Nr.	Categorie	În borderou	Sarcina	Documente probatorii
1	Funcțional	Da	Pr	Plan iluminat, fișe corpuri, schemă auxiliare
2	Funcțional	Da	Pr	Fișă UPS/baterie, proiect iluminat
3	Funcțional	Da	Pr	Plan acces cotat, plan mentenanță
4	Funcțional	Completare	Pr	Plan evacuare, analiză risc, proiect SSM/incendiu
5	Funcțional	Completare	Pr/P	Plan extracție, plan ridicare, manuale echipamente
6	EMC	Da	P/Pr	Rapoarte EMC, trasee conductori, curenți relevanți
7	Auxiliare	Da	Pr	Fișe auxiliare, schemă servicii auxiliare
8	Economic	Da condiționat	Pr	Fișe trafo, preț energie, curbă sarcină, ofertă
9	SCADA	Completare	P/Pr	Listă semnale, mapare SCADA, PV FAT/SAT
10	Mediu	Completare	Pr/P	Plan mediu, calcul retenție, proceduri de intervenție
11	Recepție	Completare	P/Pr/OD	PV FAT/SAT/PIF, registru NC
12	Documentație	Completare	P/Pr	Index documente, FTP, scheme, matrice conformitate

3. Formule operaționale și sursa datelor

Calcul	Formulă	Sursa datelor	Standard / document
Iluminat normal	$N = \text{ceil}(A \times E / (\Phi \times UF \times MF))$	A – suprafață; E – iluminare cerută; Φ – flux corp; UF/MF – factori proiect	NP I7/2011; SR EN 12464-1; Catalog §12.11
Putere iluminat	$P_{\text{ilum}} = N \times P_{\text{corp}}$	N din calcul; P Corp din fișa corpului de iluminat	Fișe corpuri; NTE 013/16/00 pentru CPT
Autonomie siguranță	$E_{\text{bat}} \geq P_{\text{siguranță}} \times t_{\text{autonomie}} / \eta$	Putere corpuri, autonomie, randament UPS/baterie	SR EN 1838; NP I7/2011
Culoar / spațiu lucru	$l_{\text{proiectat}} \geq l_{\text{min}};$ $H_{\text{proiectat}} \geq H_{\text{min}};$ $d_{\text{intervenție}} \geq d_{\text{min}}$	Plan cotat, fișe echipamente, proiect acces	SR EN 61936-1; Catalog §15.12
Cale evacuare	$L_{\text{evacuare}} \leq L_{\text{max}}$ și traseu liber	Plan evacuare, scenariu SSM/incendiu	Legea 319/2006; HG 1146/2006; proiect

Câmp magnetic screening	$B \approx \mu_0 \times I / (2\pi r)$	Curent relevant, distanță față de conductor, traseu conductori	IEC/TR 62271-208; legislație CEM
Capacitate I/O	Rezervă = I/O_disponibile – I/O_cerute	Listă semnale/ comenzi/ măsuri; fișe RTU/PLC	Matrice MS/SCADA; cerințe OD
CPT anual	$E_{CPT} = \Sigma(P_i \times h_i \times k_i) / 1000$	Puteri auxiliare, ore de funcționare, factori utilizare	NTE 013/16/00; proiect
Pierderi transformator	$E_{P0} = P_0 \times 8760$; $E_{Pk} = P_k \times \beta^2 \times 8760$	P0/Pk din fișa trafo; β din curba de sarcină	SR EN/IEC 60076; Reg. UE 548/2014 și 2019/1783
Actualizare LCC	$PV = C_{anual} \times (1 - (1+r)^{-n}) / r$	Cost anual, rată de actualizare, durată analiză	Metodologie achiziție / caiet sarcini
Documentație	$C_{doc} = N_{documente_depuse} / N_{documente_obligatorii}$	Index documente, matrice conformitate, cerințe ofertare/livrare	Anexa 009; Catalog §19.17–19.20

4. Explicații pe grupe de verificare

4.1. Iluminat, acces și evacuare

Pentru PTAB cu acces interior, iluminatul interior, iluminatul de siguranță și culoarul de exploatare sunt condiții funcționale, nu simple accesorii. Verificarea trebuie să confirme că operatorul poate executa manevrele, citirile, verificările și evacuarea în condiții sigure. Se verifică planul de acces cu uși/capace deschise, gabaritul echipamentelor și traseul de ieșire.

4.2. Compatibilitate electromagnetică

Compatibilitatea electromagnetică se probează în principal prin rapoarte de încercare și conformitate ale echipamentelor. În proiect se verifică amplasarea echipamentelor sensibile, traseele de curenți mari, distanțele față de circuite de comandă/măsură și separarea cablurilor. Formula câmpului magnetic are rol de screening și nu înlocuiește analiza EMC completă.

4.3. Consum propriu tehnologic

CPT include iluminatul, încălzirea anticondens, ventilatoarele, RTU/SCADA, comunicațiile, analizorul de calitate, senzorii și încărcătoarele de baterii. Pentru fiecare consumator se folosesc puterea instalată, orele de funcționare și factorul de utilizare. Rezultatul se exprimă în kWh/an și lei/an și se poate utiliza în analiza energetică sau economică.

4.4. Analiza costului pe ciclul de viață

LCC este condiționată de caietul de sarcini. Când este cerută, trebuie să includă costul de achiziție, pierderile transformatorului P0 și Pk, CPT, mentenanța, costurile de mediu/deșeurii și valorile actualizate pe durata de analiză. Ipotezele economice trebuie declarate și identice pentru ofertele comparate.

4.5. Mediu și SSM

Verificările de mediu includ retenția uleiului, prevenirea scurgerilor, gestiunea deșeurilor, ambalajelor și materialelor; refacerea terenului și prevenirea contaminării solului/apelor. Cerințele SSM includ acces controlat, proceduri de lucru MT/JT, instruire, marcaje, PPE și reguli pentru probe/PIF.

4.6. FAT, SAT, PIF și documentație

FAT verifică ansamblul înainte de livrare, SAT verifică montajul și racordurile la amplasament, iar PIF confirmă funcționarea sub tensiune, protecțiile, semnalele, telecomenzile și predarea către exploatare. PIF nu trebuie acceptată cu neconformități critice deschise sau documente eliminatorii lipsă.

5. Documente minime obligatorii

Etapă	Documente / dovezi minime
Ofertare	FTP completă PTAB; matrice conformitate; cod PTAB complet; fișe anvelopă, MT, trafo, TDRI, SCADA; scheme monofilare; plan amplasare; plan gabarit/mentenanță.
Livrare	Rapoarte/certificate încercare, declarații, manuale montaj/exploatare/mentenanță, plan transport/ridicare, documente calitate și trasabilitate.

FAT	PV FAT ansamblu/anvelopă/TDRI/celule/trafo/SCADA, verificări dimensiuni, echipare, conexiuni, marcaje, semnale și documentație.
SAT	PV montaj, PV racorduri, buletine PRAM/continuitate, PV ventilație, PV retenție, PV comunicații, checklist acces/mentenanță.
PIF	PV PIF, setări protecții, rezultate probe funcționale, mapare SCADA finală, parole/proceduri predare, registru NC închis, dosar as-built.

6. Reguli de verdict

Verdict	Criteriu
Conform	Toate verificările aplicabile sunt îndeplinite, documentate și corelate cu codul PTAB, schemele, planurile și fișele echipamentelor.
Conform condiționat	Există observații minore, fără impact asupra siguranței, funcționării sau mentenanței; termenul de remediere este clar, iar PIF nu este afectată.
Neconform / blocant	Lipsește o verificare critică, o probă eliminatorie, un document obligatoriu, o condiție de siguranță, o cerință de mediu sau există contradicții între cod, schemă și echipare.

Notă finală:

Verdictul final aparține proiectantului/ verficatorului și beneficiarului/ operatorului, pe baza documentelor probatorii și a verificărilor FAT/ SAT/ PIF.