

## ***Modulul durate de viață***

Duratele de viață consumate, respectiv rezervele duratelor de viață ale transformatoarelor de putere cu sisteme de izolație pe baza de hârtie și ulei mineral, pot fi determinate conform standardelor IEC 60076-7/2005 sau IEEE C57.91/1995, ținând cont de temperatura hot spot a înfășurărilor transformatorului.

Se reamintește că metoda prezentată în standardele IEC 60076-7/2005 sau IEEE C57.91/1995 se poate utiliza și on-line și se bazează pe *ipoteza* că hârtia de transformator se comportă, în procesul de îmbătrânire termică din transformatorul real, întocmai ca hârtia de transformator aditivată termic și supusă la încercări de îmbătrânire termică unifactor, în laborator, prin expunere la încălzire în ulei de transformator la temperatura constantă de 110 °C, utilizând ca factor de diagnostic rezistența la rupere, cu criteriu de sfârșit de viață 50% din rezistența la rupere inițială după expunere la termică timp de 65.000 ore.

Datorită dificultății practice de măsurare a rezistenței la rupere a hârtiei efectiv utilizate în sistemul de izolație a transformatoarelor reale, la diferite momente din exploatarea transformatorului, informațiile furnizate de modelul hot-spot trebuie corelate cu informațiile obținute prin alte metode, ceea ce justifică eforturile făcute în cadrul acestui Proiect pentru a stabili și alte metode de estimare a duratelor de viață consumate într-o anumită perioadă de funcționare și rezervelor de durată de viață rămase după această perioadă.

În cele ce urmează se prezintă modul în care s-au integrat în DiagElectric cele două aplicații de evaluare a duratelor de viață pentru uleiul de transformator și pentru sistemul de izolația transformatorului.

## **Calculul duratelor de viață a uleiului electroizolant**

Metoda pe baza careia s-a elaborat aplicația software de calcul al duratelor de viață (estimată, consumată și rămasă) ale uleiului de transformator utilizează modelele de îmbătrânire termică Dakin și Montsinger, în două mari categorii de situații: se cunosc sau nu se cunosc parametrii dreptelor duratelor de viață din cele două modele de îmbătrânire.

Aplicația are trei module de calcul:

- a) calcularea duratelor de viață a uleiului supus îmbătrânirii termice la temperatură constantă în timp;
- b) calcularea duratelor de viață a uleiului supus îmbătrânirii termice la temperatură variabilă în timp;
- c) calcularea duratelor de viață a uleiului supus îmbătrânirii termice atunci când nu se cunoaște temperatura, dar se cunosc rezistivitățile uleiului la diferite momente din procesul de îmbătrânire.

În figura 1 este prezentată schema logică a aplicației software pentru calcularea duratelor de viață a uleiului la temperatura constantă, în situația în care constantele a și b ale dreptelor de viață din modelele de îmbătrânire termică Dakin și Montsinger sunt cunoscute. Datele de intrare a și b și temperatura T sunt introduse de la tastatură.

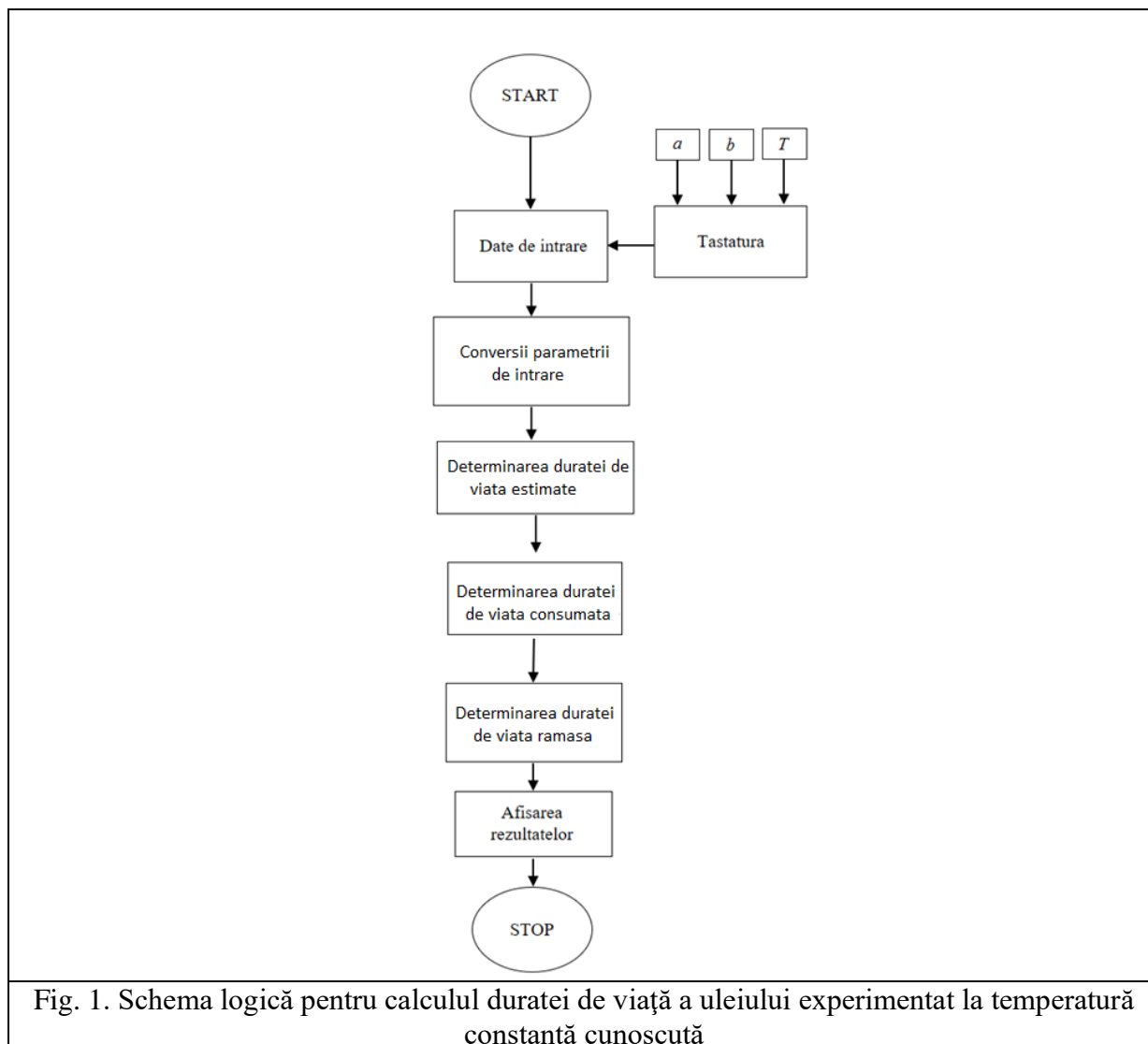
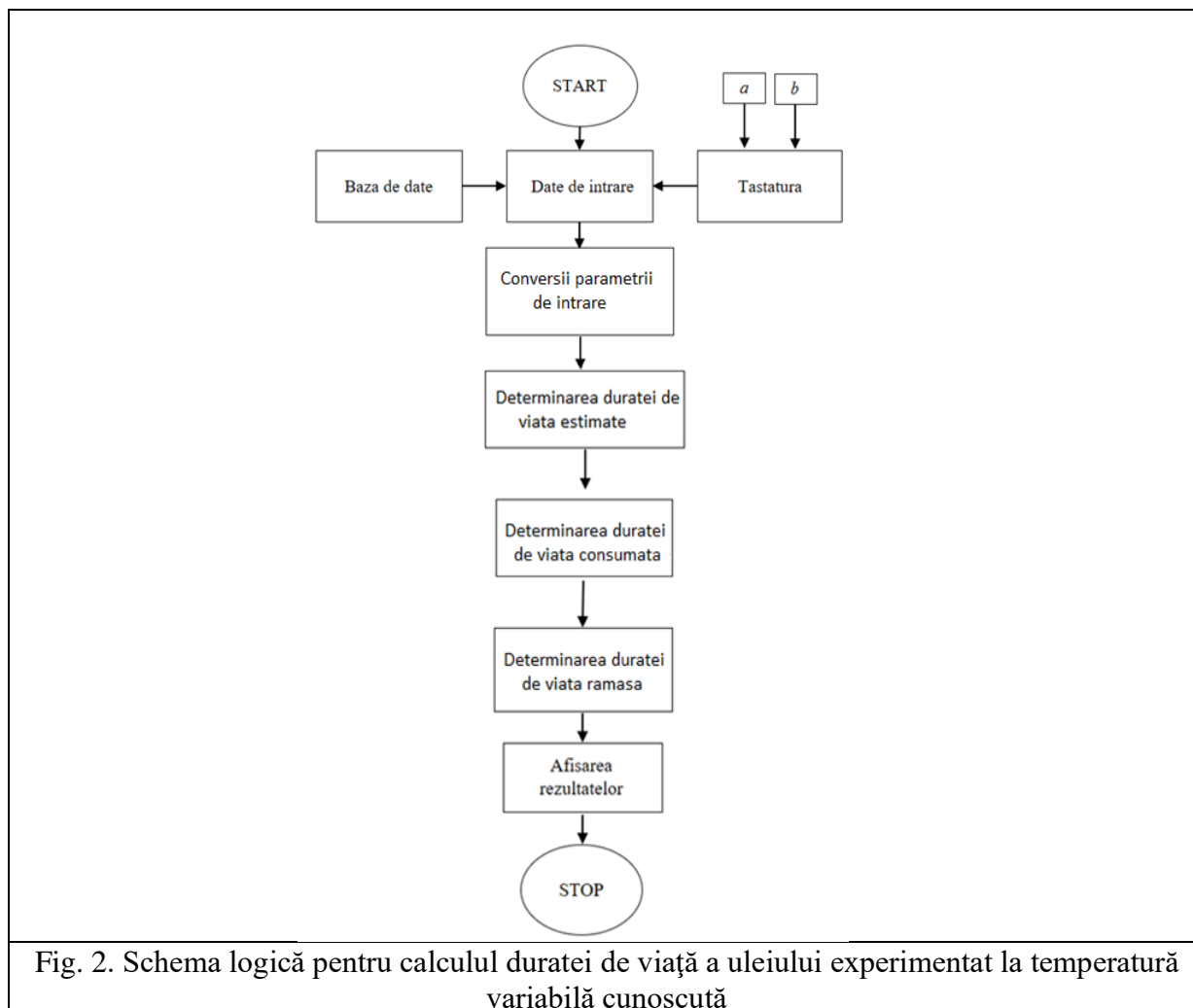


Fig. 1. Schema logică pentru calculul duratei de viață a uleiului experimentat la temperatură constantă cunoscută

In figura 2 este prezentată schema logică a aplicației software pentru calcularea duratelor de viață a uleiului la temperatură variabilă cunoscută, în situația în care constantele  $a$  și  $b$  ale dreptelor de viață din modelele de îmbătrânire termică Dakin și Monsinger sunt cunoscute. Datele de intrare  $a$  și  $b$  sunt introduse de la tastatură. Temperatura  $T$  este extrasă din baza de date dintr-un fișier text ce conține valorile temperaturii uleiului electroizolant.



In figura 3 este prezentata schema logică a aplicației software pentru calcularea duratelor de viață atunci când se cunosc valorile rezistivității uleiului la diferite momente, iar temperatura variază în trepte constante pe intervale de timp, acestea fiind introduse de la tastatură de către utilizator.

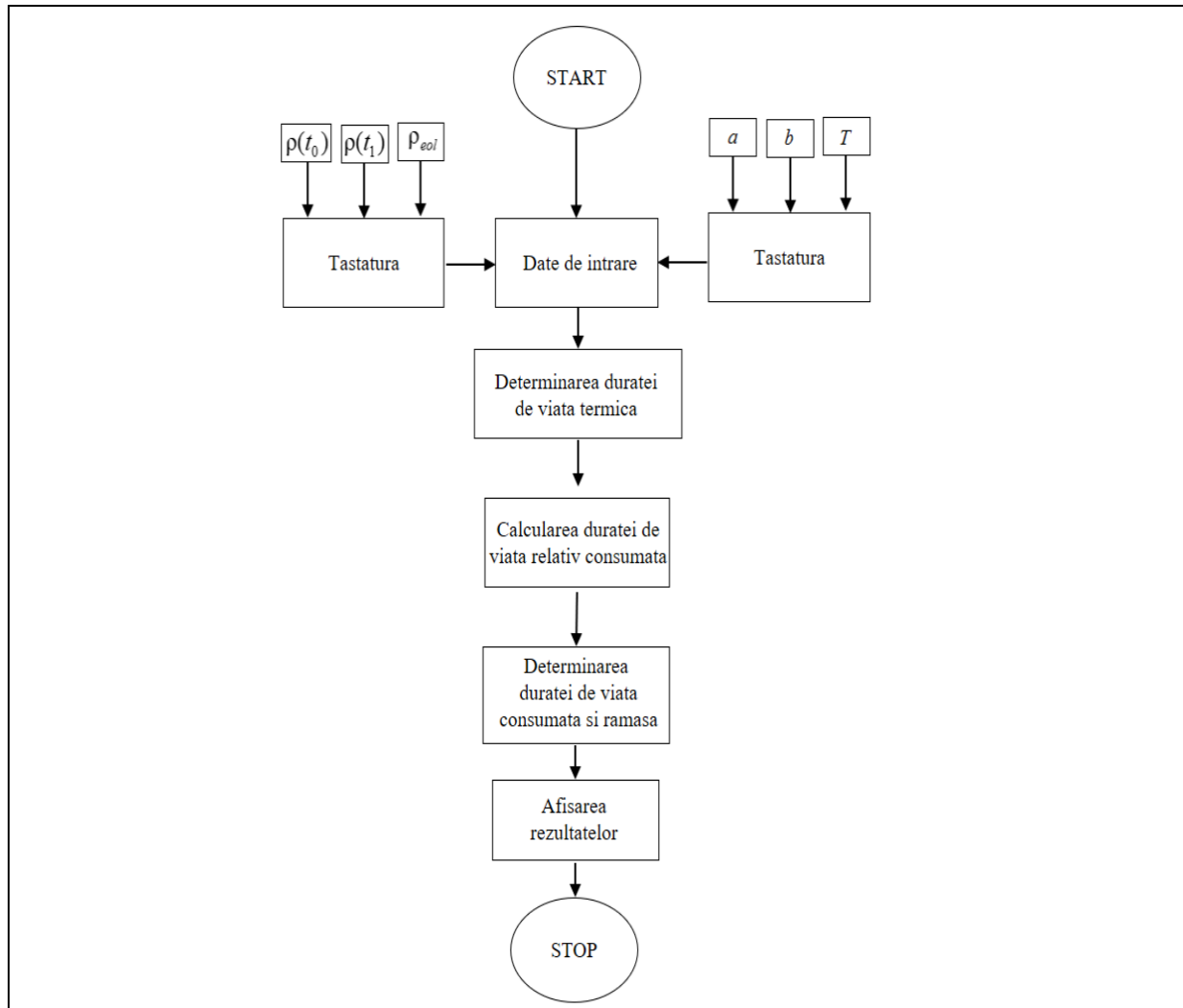



Fig. 3. Schema logică pentru calculul duratei de viață a uleiului pe baza rezistivității cunoscute, considerând temperatura constantă pe intervalele de calcul.

În figurile 4-6 sunt prezentate capturi de ecran cu datele de ieșire ale celor trei situații de calcul al duratelor de viață ale uleiului de transformator.



Fig. 4 Exemple de afișare rezultate de calcul a duratelor de viață a uleiului la temperatură constantă



### Metoda Dakin la temperatura variabila

---

**Metoda folosita**  
Metoda Dakin cu constantele ad si bd


**Variatia temperaturii**  
Temperatura variabila

**Tipul izolatiei**  
Ulei

Constanta ad: -16.17  
Constanta bd [K]: 9770  
Durata de viata estimata [ani]: 24.13

Intervalul de timp t1 [Ani]: 4  
Temperatura [C]: 70  
Intervalul de timp t2 [Ani]: 8  
Temperatura [C]: 80

Durata de viata relativ consumata in 4 ani: 0.16  
Durata de viata relativ consumata in 8 ani: 0.51  
Durata de viata consumata in 4 ani: 3.79 ani  
Durata de viata consumata in 8 ani: 12.28 ani  
Durata de viata ramasa dupa 4 ani: 20.34 ani  
Durata de viata ramasa dupa 8 ani: 11.85 ani



### Metoda Montsinger la temperatura variabila

---

**Metoda folosita**  
Metoda Montsinger cu constantele am si bm

**Variatia temperaturii**  
Temperatura variabila

**Tipul izolatiei**  
Ulei

Constanta am: 17.91  
Constanta bm: 0.0806  
Durata de viata estimata [ani]: 25.12

Intervalul de timp t1 [Ani]: 4  
Temperatura [C]: 70  
Intervalul de timp t2 [Ani]: 8  
Temperatura [C]: 80

Durata de viata relativ consumata in 4 ani: 0.16  
Durata de viata relativ consumata in 8 ani: 0.53  
Durata de viata consumata in 4 ani: 4.08 ani  
Durata de viata consumata in 8 ani: 13.22 ani  
Durata de viata ramasa dupa 4 ani: 21.04 ani  
Durata de viata ramasa dupa 8 ani: 11.90 ani

Fig. 5 Exemple de afişare rezultate de calcul a duratelor de viaţă a uleiului la temperatură variabilă



### Metoda Montsinger cand se cunosc rezistivitatile de volum

---

**Metoda folosita**  
Metoda Montsinger cu rezistente de izolatie

**Variatia temperaturii**  
Temperatura constanta

**Tipul izolatiei**  
Ulei

Rezistivitatea de volum la t0 [GΩm]: 111  
Rezistivitatea de volum la t1 [GΩm]: 110  
Rezistivitatea de volum la t2 [GΩm]: 98.2  
Rezistivitatea sfarsit de viata [GΩm]: 20

Intervalul de timp t1 [Ani]: 4  
Temperatura [C]: 70  
Intervalul de timp t2 [Ani]: 8  
Temperatura [C]: 80

Valoarea constantei am: 11.7284  
Valoarea constantei bm: 0.0999



### Metoda Dakin cand se cunosc rezistivitatile de volum

---

**Metoda folosita**  
Metoda Dakin cu rezistente de izolatie

**Variatia temperaturii**  
Temperatura constanta

**Tipul izolatiei**  
Ulei

Rezistivitatea de volum la t0 [GΩm]: 111  
Rezistivitatea de volum la t1 [GΩm]: 110  
Rezistivitatea de volum la t2 [GΩm]: 98.2  
Rezistivitatea sfarsit de viata [GΩm]: 20

Intervalul de timp t1 [Ani]: 4  
Temperatura [C]: 70  
Intervalul de timp t2 [Ani]: 8  
Temperatura [C]: 80

Valoarea constantei ad: -21.4602  
Valoarea constantei bd: 12100.5141 K  
Energia de activare: 100.6094 kJ/mol

Fig. 6 Exemple de afișare rezultate de calcul a duratelor de viață a uleiului când se cunosc rezistivitățile de volum

### Durata de viață a sistemului de izolație hârtie-ulei

Metoda pe baza căreia s-a elaborat aplicația software de calcul al duratelor de viață (estimată, consumată și rămasă) ale sistemului de izolație a transformatorului utilizează modelele de îmbătrânire termică Dakin și Montsinger, în două mari categorii de situații: se cunosc sau nu se cunosc parametrii dreptelor duratelor de viață din cele două modele de îmbătrânire, asociate cu cunoașterea rezistențelor de izolație ale înfășurărilor și cu cunoașterea variației în timp a temperaturilor acestora. Tabelul următor sintetizează modulele acestei aplicații.

Parametrii dreptelor duratelor de viață	Temperatura de funcționare a sistemului de izolație
Cunoscuți	Constantă în timp, cunoscută
	Variabilă în timp, cunoscută
	Variabilă în timp, necunoscută
Necunoscuți	Constantă în timp, cunoscută
	Variabilă în timp, cunoscută
	Variabilă în timp, necunoscută

Schema logică a unui modul al aplicației software de calcul a duratelor de viață ale sistemelor de izolație ale transformatoarelor este prezentată în fig.7.

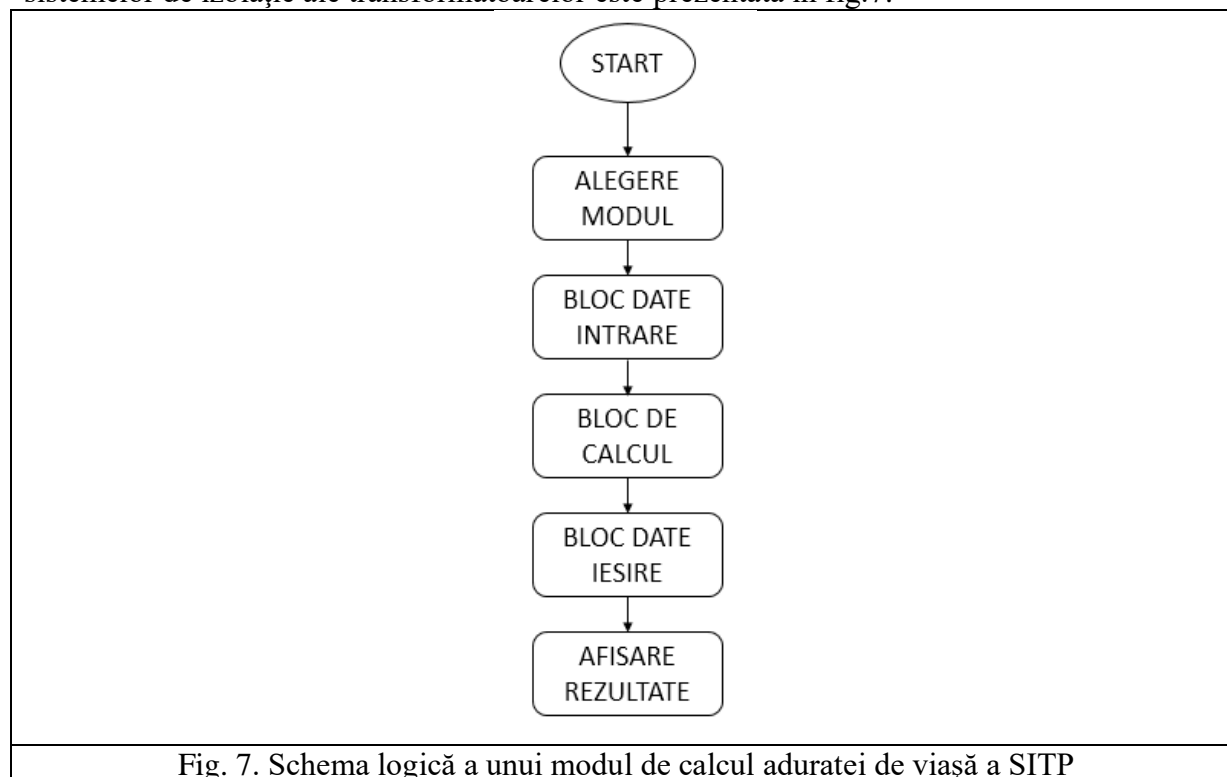


Fig. 7. Schema logică a unui modul de calcul aduratei de viașă a SITP

Conform schemei logice, aplicația software parcurge urmatorii pași:

Pasul 1: deschiderea ferestrei principale (figura 9) și alegerea metodei folosite, în funcție de variația temperaturii, tipul conexiunii și tipul sistemului de izolație.

Pasul 2: după alegerea metodei se deschide o fereastră de calcul.

Pasul 3: se introduc de la tastatură datele necesare calculării duratelor de viață.

Pasul 4: se apasă butonul „Calculare” și se execută programul.

Pasul 5: se afișează rezultatele.


Fereastra principală a aplicației este prezentată în figura 8.



The image shows two side-by-side screenshots of the SIMTECH application's main window. Both windows feature the SIMTECH logo (INTERNATIONAL SYMBOL OF TECHNOLOGY) at the top left. The left window displays a dropdown menu for 'Metoda folosita' with the following options: 'Metoda Dakin cu constantele ad si bd', 'Metoda Dakin cu constantele ad si bd' (highlighted), 'Metoda Montsinger cu constantele am si bm', 'Trecerea din Dakin in Montsinger', 'Trecerea din Montsinger in Dakin', 'Metoda Dakin cu rezistente de izolație', and 'Metoda Montsinger cu rezistente de izolație'. Below the menu is an 'OK' button. The right window shows the same 'Metoda folosita' dropdown set to 'Metoda Dakin cu constantele ad si bd'. Below it, a 'Variatia temperaturii' dropdown is set to 'Temperatura constanta' (highlighted), with other options being 'Temperatura constanta' and 'Temperatura variabila'. An 'OK' button is also present.

Fig.8 Fereastra principală a aplicației de calcul al duratelor de viață ale sistemelor de izolație ale transformatoarelor

În figurile 9-12 se prezintă exemple de afișare a rezultatelor pentru diferite situații de calcul.



The image shows two side-by-side screenshots of the SIMTECH application's calculation results screen. Both screens feature the SIMTECH logo at the top left. The left screen is titled 'Metoda Dakin la temperatura constanta' and shows the following input fields: 'Temperatura [C]' (70), 'Constanta ad' (-16.17), 'Constanta bd [K]' (9770), and 'Intervalul de timp [An]' (2). The 'Metoda folosita' dropdown is set to 'Metoda Dakin cu constantele ad si bd' and 'Variatia temperaturii' is set to 'Temperatura constanta'. The 'Tipul izolatiei' dropdown is set to 'Hartie + Ulei'. Below the input fields is a 'Calculare' button. The results displayed are: 'Durata de viata estimata: 25.12 ani', 'Durata de viata consumata: 2.00 ani', and 'Durata de viata ramasa: 23.12 ani'. The right screen is titled 'Metoda Montsinger la temperatura constanta' and shows the following input fields: 'Temperatura [C]' (70), 'Constanta am' (17.91), 'Constanta bm' (0.0806), and 'Intervalul de timp [An]' (2). The 'Metoda folosita' dropdown is set to 'Metoda Montsinger cu constantele am si bm' and 'Variatia temperaturii' is set to 'Temperatura constanta'. The 'Tipul izolatiei' dropdown is set to 'Hartie + Ulei'. Below the input fields is a 'Calculare' button. The results displayed are: 'Durata de viata estimata: 24.29 ani', 'Durata de viata consumata: 2.00 ani', and 'Durata de viata ramasa: 22.29 ani'.

Fig. 9 Calcularea duratelor de viață a sistemului de izolație hârtie-ulei la temperatură constantă



### Metoda Dakin la temperatura variabila

**Metoda folosita**  
Metoda Dakin cu constantele ad si bd

**Variatia temperaturii**  
Temperatura variabila

**Tipul izolatiei**  
Hartie + Ulei

**Constanta ad**  
-16.17

**Constanta bd [K]**  
9770

**Durata de viata estimata [ani]**  
24.13

**Intervalul de timp t1 [Ani]**  
4

**Temperatura [C]**  
70

**Intervalul de timp t2 [Ani]**  
8

**Temperatura [C]**  
80

**OK** **Calculare**

Durata de viata relativ consumata in 4 ani: 0.16  
 Durata de viata relativ consumata in 8 ani: 0.51  
 Durata de viata consumata in 4 ani: 3.79 ani  
 Durata de viata consumata in 8 ani: 12.28 ani  
 Durata de viata ramasa dupa 4 ani: 20.34 ani  
 Durata de viata ramasa dupa 8 ani: 11.85 ani



### Metoda Montsinger la temperatura variabila

**Metoda folosita**  
Metoda Montsinger cu constantele am si bm

**Variatia temperaturii**  
Temperatura variabila

**Tipul izolatiei**  
Hartie + Ulei

**Constanta am**  
17.91

**Constanta bm**  
0.0806

**Durata de viata estimata [ani]**  
25.12

**Intervalul de timp t1 [Ani]**  
4

**Temperatura [C]**  
70

**Intervalul de timp t2 [Ani]**  
8

**Temperatura [C]**  
80

**OK** **Calculare**

Durata de viata relativ consumata in 4 ani: 0.16  
 Durata de viata relativ consumata in 8 ani: 0.53  
 Durata de viata consumata in 4 ani: 4.08 ani  
 Durata de viata consumata in 8 ani: 13.22 ani  
 Durata de viata ramasa dupa 4 ani: 21.04 ani  
 Durata de viata ramasa dupa 8 ani: 11.90 ani

Fig. 10 Calcularea duratelor de viață a sistemului de izolație hârtie-ulei la temperatură variabilă în două paliere



### Metoda Dakin cand se cunosc rezistentele de izolatie

**Metoda folosita**  
Metoda Dakin cu rezistente de izolatie

**Variatia temperaturii**  
Temperatura constanta

**Tipul izolatiei**  
Hartie + Ulei

**Rezistenta de izolatie la t0 [GG]**  
5.00

**Rezistenta de izolatie la t1 [GG]**  
4.8425

**Rezistenta de izolatie la t2 [GG]**  
4.415

**Rezistenta sfarsit de viata [GG]**  
0.1

**Intervalul de timp t1 [Ani]**  
4

**Temperatura [C]**  
70

**Intervalul de timp t2 [Ani]**  
8

**Temperatura [C]**  
80

**OK** **Calculare**

Valoarea constantei ad: -21.4602  
 Valoarea constantei bd: 12100.5141 K  
 Energia de activare: 100.6094 kJ/mol



### Metoda Dakin cand se cunosc rezistentele de izolatie

**Metoda folosita**  
Metoda Dakin cu rezistente de izolatie

**Variatia temperaturii**  
Temperatura constanta

**Tipul izolatiei**  
Hartie + Ulei

**Rezistenta de izolatie la t0 [GG]**  
5.00

**Rezistenta de izolatie la t1 [GG]**  
4.8425

**Rezistenta de izolatie la t2 [GG]**  
4.415

**Rezistenta sfarsit de viata [GG]**  
0.1

**Intervalul de timp t1 [Ani]**  
4

**Temperatura [C]**  
70

**Intervalul de timp t2 [Ani]**  
8

**Temperatura [C]**  
80

**OK** **Calculare**

Valoarea constantei ad: -21.4602  
 Valoarea constantei bd: 12100.5141 K  
 Energia de activare: 100.6094 kJ/mol

Fig. 11 Calcularea parametrilor dreptelor duratelor de viață a sistemului de izolație hârtie-ulei când se cunosc rezistențele de izolație



### Determinarea parametrilor Montsinger din parametrii Dakin

**Metoda folosita**  
Trecerea din Montsinger in Dakin

**Variatia temperaturii**  
Temperatura constanta

**Tipul izolatiei**  
Hartie + Ulei

**Constanta ad**  
-16.17

**Constanta bd**  
9770.3

**Temperatura T1 [C]**  
70

**Temperatura T2 [C]**  
80

**OK** **Calculare**

Valoarea constantei am: 17.9451  
 Valoarea constantei bm: 0.0806

Fig. 12 Determinarea parametrilor Montsinger din parametrii Dakin