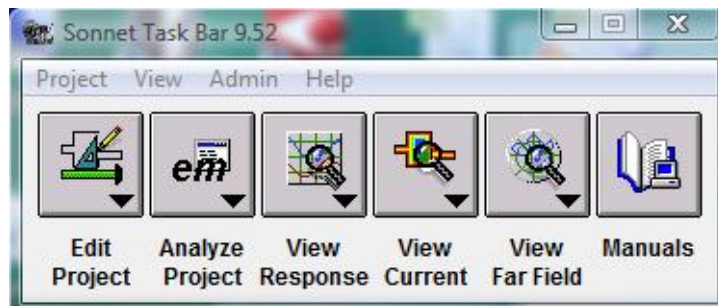


# Laborator 1

## Utilizarea programului de simulare electromagnetă Sonnet

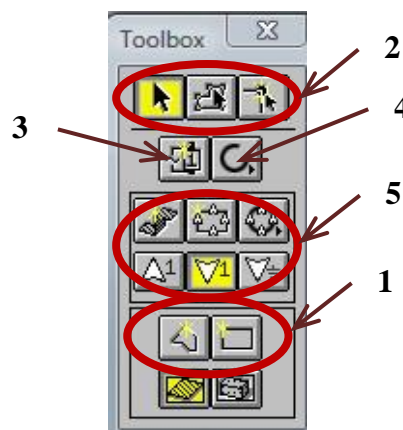
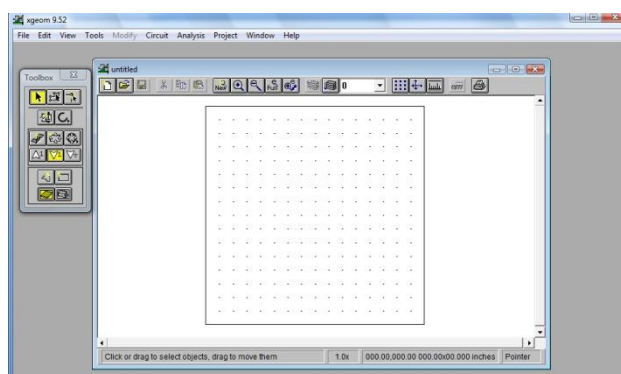
### 1. Prezentarea programului Sonnet

Se pornește din bara de start programul Sonnet. La inițializare devine activă bara de acțiuni a programului care permite lansarea diverselor submodule.




Se poate porni programul (în ordine în figură) de desenare a structurii, analiză, vizualizare rezultate, vizualizare densitate de curent, câmp îndepărtat (radiat) și manualul programului. În practică, de cele mai multe ori, doar programul de desenare este lansat din bară, celelalte aplicații fiind lansate prin intermediul acestuia.

Interfața de desenare este de tip MDI (multiplu document: se pot deschide simultan mai multe structuri) și e relativ simplă. Esențial este că programul Sonnet este considerat un circuit 2.5D, cu semnificația că se presupune existența unor straturi paralele de material dielectric omogen, desenele de circuit aparând pe suprafețele de separație între aceste straturi.

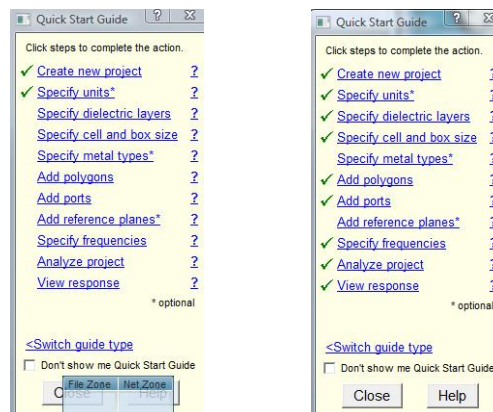


Programul permite desenarea pe suprafața plană de separație între două straturi paralele omogene a unor dreptunghiuri și poligoane metalice (1), tipul de metal putând fi ales în prealabil. Acestor poligoane li se pot adăuga sau deplasa nodurile - 2. Înainte de realizarea analizei este obligatoriu a se defini unul sau mai multe porturi - 3, ca fiind o indicare a locului în care apare excitația în structura respectivă (fixarea valorii câmpului pe o suprafață/punct).

În general e recomandabil, dacă e posibil, să se amplaseze porturile pe marginea cutiei. Pentru ușurarea lucrului, anumite forme complexe mai des întâlnite și care nu pot fi realizate prea ușor cu poligoane (spirală, arc de cerc etc.) beneficiază de programe accesoriu de desenare (4 - click dreapta, sau din meniu "Tools→Add Metalization" ). La un moment dat este vizibilă în zona de desenare o anumite suprafață de separație între straturi, alegerea și vizualizarea planului ales fiind posibilă din bara de butoane cu două butoane și un "combo-box"  . În orice moment se desenează pe un singur plan, cu excepția situației când apare necesitatea introducerii unei legături între nivele (5 - "via hole").

## **2. Mod de lucru în Sonnet**

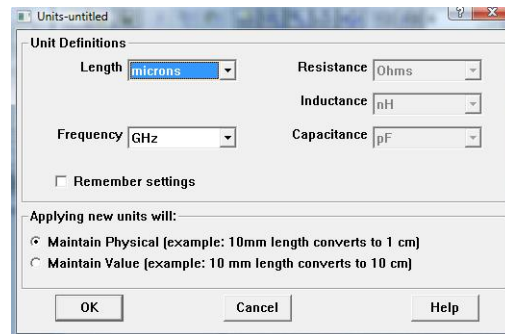
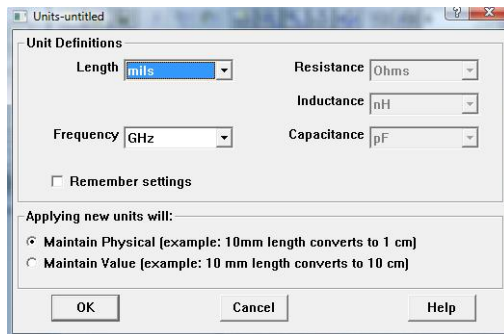
Realizarea cu succes a unei analize în Sonnet presupune îndeplinirea unor pași obligatorii și a unora opționali. Implicit apare pe ecran o bară intitulată "Quick Start Guide" care arată acești pași și de asemenea verifică îndeplinirea lor (această bară e recomandat să nu fie dezactivată).



Majoritatea acestor pași pot fi găsiți în meniu: "Circuit".

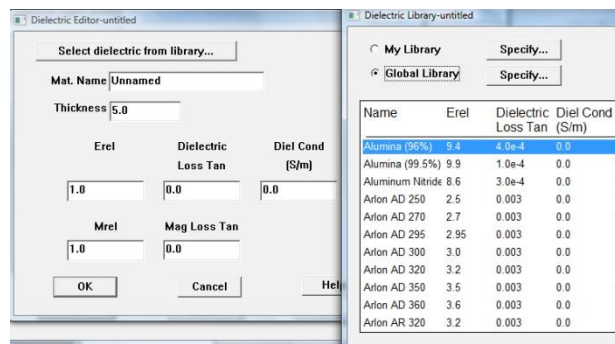
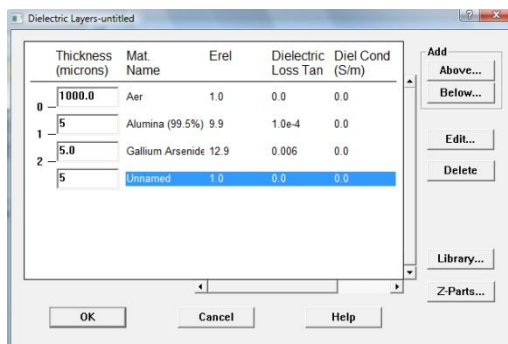
### **2.1. Unități de măsură**

Acest pas nu este chiar atât de inutil pe cât pare. De cele mai multe ori în proiectarea pe substrat dielectric (alumină, PTFE, FR4) se utilizează de cele mai multe ori unitățile englezești datorită standardelor existente ( $1 \text{ mil} = 10^{-3} \text{ inch} = 25.4 \mu\text{m}$ ) iar în proiectarea circuitelor integrate se lucrează în unitățile caracteristice "foundry"-ului utilizat, cel mai des SI. E nevoie de alegerea sistemului de unități utilizat cât mai devreme, deoarece orice schimbare ulterioară duce la apariția unor rotunjiri nedorite, sau la utilizarea unor valori incomode (neexprimabile prin numere intregi). Implicit unitățile de măsură sunt "mil" și "GHz" și trebuie schimbate corespunzător.



## 2.2. Straturi de dielectric

Se reamintește faptul că metoda momentelor presupune structura de analizat închisă într-o cutie metalică paralelipipedică, eventual unele fețe fiind înlocuite cu plane de fixare a structurii câmpului (prin definirea porturilor pe acele fețe). În orice caz, va exista un perete metalic deasupra structurii, și unul dedesupt. Deoarece uzual circuitele de microunde prezintă plan de masă sub circuit, se poate utiliza planul metalic inferior ca fiind parte integrantă a circuitului (este identificat cu notația GND și poate reprezenta un punct final pentru "via hole"). În multe cazuri pereții metalici superior și/sau lateral nu există efectiv în structură și pentru a fi eliminați din funcționarea circuitului trebuie îndepărtați cât mai mult posibil. Dacă pe orizontală, pereții laterali nu pot fi deplasați decât cu creșterea dimensiunii problemei (timp de calcul/memorie necesară) situație care a fost dezbătută la laborator, dimensiunile pe verticală pot fi alese după dorință fără a aduce cu sine o creștere sesizabilă a dimensiunii problemei. Tipic se va introduce unul/două straturi de separare (aer/vid) cu o grosime mult mai mare decât a celorlalte straturi, îndepărtând planul/planurile metalice implicite de zona activă a circuitului.



Name	Erel	Dielectric Loss Tan	Diel Cond (S/m)
Alumina (96%)	9.4	4.0e-4	0.0
Alumina (99.5%)	9.9	1.0e-4	0.0
Aluminum Nitride	8.6	3.0e-4	0.0
Arlon AD 250	2.5	0.003	0.0
Arlon AD 270	2.7	0.003	0.0
Arlon AD 295	2.95	0.003	0.0
Arlon AD 300	3.0	0.003	0.0
Arlon AD 320	3.2	0.003	0.0
Arlon AD 350	3.5	0.003	0.0
Arlon AD 360	3.6	0.003	0.0
Arlon AR 320	3.2	0.003	0.0

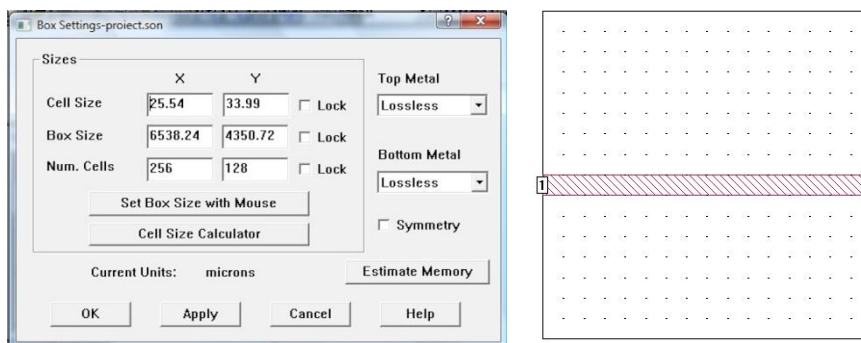
Controlul straturilor de dielectric se realizează din meniu ("Circuit→Dielectric Layers"). Se pot adăuga straturi (Add Above/Bellow) deasupra/sub stratul selectat, șterge/modifica straturile existente. Materialul dielectric se impune prin specificarea parametrilor electrici/magnetici (Edit) sau prin alegerea din biblioteca de materiale uzuală (Global Dielectric Library este o listă de materiale prezentă în program). Odată cu

introducerea straturilor de dielectric apar interfețele numerotate în ordine de la 0 (cea de sub peretele metalic superior implicit) la numărul maxim necesar. Va mai exista, accesibil, peretele metalic implicit inferior, intitulat "GND".

**Important:** În versiunea cu care se lucrează în laborator (9.52) nu există posibilitatea schimbării ordinii straturilor (deplasare sus/jos), deci singura metodă de corecție este stergerea stratului greșit amplasat urmat de adăugarea din nou în poziția dorită. Acest lucru are ca efect **pierderea** eventualelor circuite desenate pe straturile care dispar. Se recomandă fixarea straturilor și verificarea corectitudinii înainte de orice desenare de metalizare. În caz de panică utilizarea comenzilor copy/paste poate fi salvatoare în anumite situații.

### 2.3. Dimensiunea cutiei și a celulelor grilajului

Se alege din meniu ("Circuit→Box"). Fiind dezbătută în detaliu anterior la laborator nu intrăm în detalii.



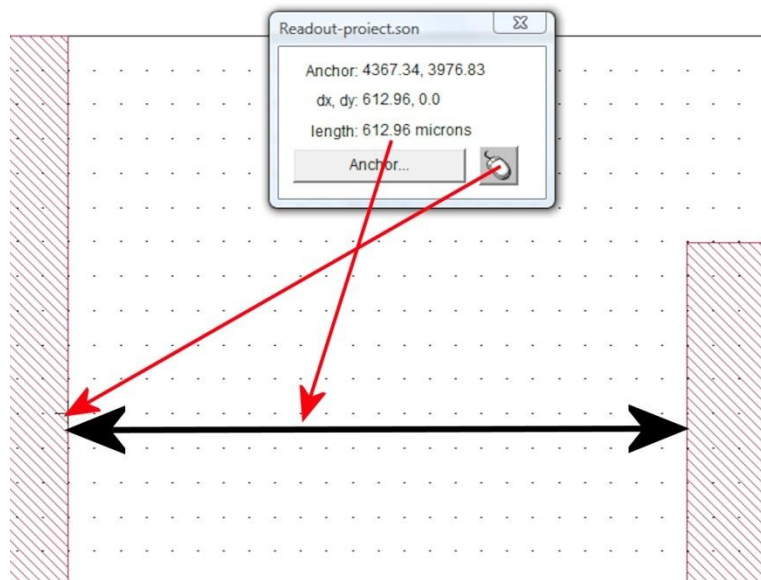
Se reamintește că numai două din cele trei caracteristici sunt independente (dimensiunea cutiei, dimensiunea celulei, numărul de celule) și există posibilitatea de a preveni modificarea valorilor care se doresc fixate ("Lock"). Tipic dimensiunea cutiei este dată de dimensiunea circuitului, locația porturilor (fixarea câmpului) și, în celelalte laterale, de distanța minimă la care un perete metalic nu influențează circuitul. Se va lua bineînțeles în calcul dimensiunea maximă în cazul circuitelor multistrat.

### 2.4. Tipuri de metal

Se accesează din meniu ("Circuit→Metal Types"). În lucrarea de laborator prezentă se va lucra strict cu metal ideal ("Lossless") dar se atrage atenția asupra faptului că la proiect va fi eventual nevoie să se lucreze cu metale cu conductivitate finită **si/sau** cu înălțime finită.

## 2.5. Desenarea structurilor

Urmează desenarea efectivă a circuitului. În acest pas se vor folosi indicațiile Sonnet în bara de stare (dimensiunile curente ale poligoanelor desenate) și se va folosi **intens** facilitatea de măsurare pusă la dispoziție ("View→Measuring Tool") pentru a poziționa corect poligoanele. Se recomandă desenarea inițială a unor dreptunghiuri urmând ca unde este nevoie să se adauge puncte care apoi să fie deplasate unde este nevoie.



**Important:** E obligatoriu ca opțiunea de fixare în nodurile grilei să fie selectată la dimensiunea celulei ("Tools→Snap Setup") pentru a avea o precizie mai bună de calcul, ținând cont de faptul că desenarea între nodurile grilei are ca efect efectuarea calculelor pe o structură lejer diferită de cea desenată efectiv.

## 2.6. Adăugarea porturilor

Metoda momentelor clasică presupune fixarea câmpurilor pe frontiera cutiei. Totuși această metodă a fost extinsă pentru a permite plasarea porturilor în interiorul cutiei. Se recomandă ca atunci când acest lucru este posibil, porturile să fie definite pe frontieră. În această lucrare de laborator va fi aplicată această metodă, pentru o discuție detaliată se poate consulta manualul: din bara de sarcini inițială se alege Manuals→Sonnet User's Guide→Chapter 6 (Ports).

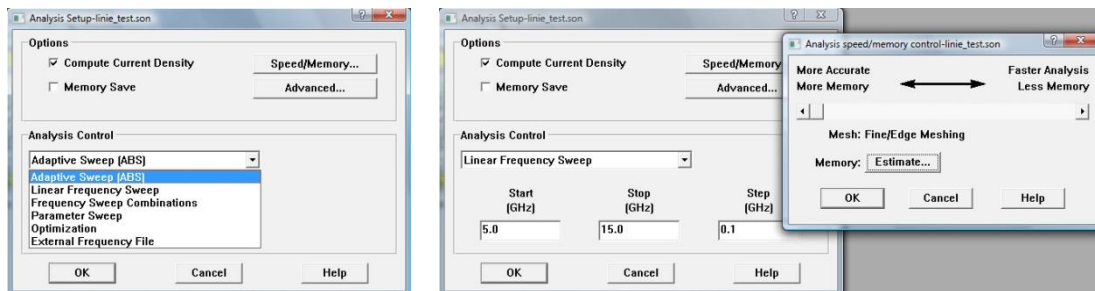
## 2.7. Fixarea planelor de referință

Această opțiune nu va fi utilizată în această lucrare de laborator. Se referă în special la procedeul numit decapsulare ("de-embed") întâlnit atunci când porturile nu se amplasează acolo unde este necesar rezultatul. Programul calculează rezultatele la nivelul porturilor, și se

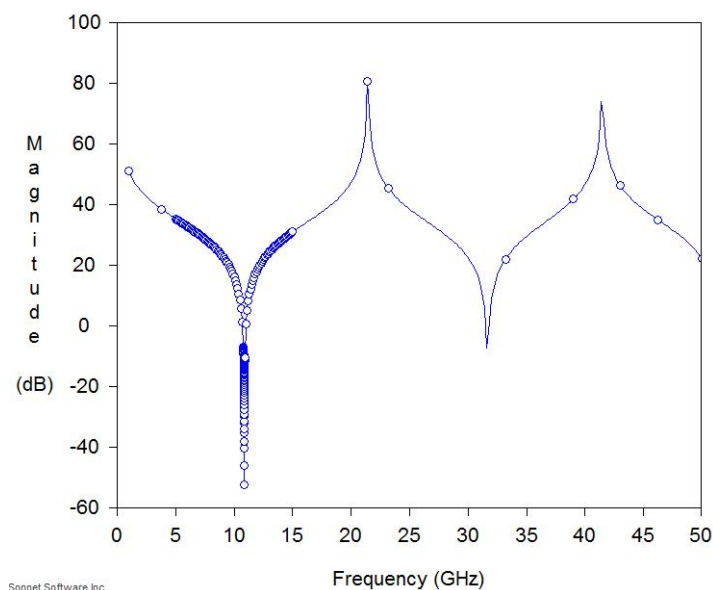
poate calcula care sunt rezultatele la nivelele dorite, prin extragerea analitică a unor secțiuni de linie introduse suplimentar (în general pentru îndepărtarea cutiei de zona activă a circuitului).

## 2.8. Caracteristicile analizei

Se accesează din meniu, "Analysis→Setup". Există mai multe metode de a varia parametrii, în principiu se fixează limitele intervalului de frecvență în care se dorește calculul. Există mai multe metode de variație, în cadrul acestei lucrări de laborator se vor folosi "Adaptive Sweep" și "Linear Frequency Sweep". LFS împarte intervalul de frecvență în diviziuni egale cu dimensiunea pasului, apărând un compromis între precizie și timpul total de calcul. AS calculează efectiv într-un interval într-un număr mai mic de puncte, prin cautarea unor variații tipice în frecvență pentru circuitele de microunde (de exemplu: periodicitate în frecvență și rezonanțe provenite din funcția tangentă). Cu AS calculul este mai rapid (mai puține puncte în domeniul frecvență) dar mai susceptibil la erori. Este metoda recomandată pentru analiza inițială, de verificare rapidă a funcționalității circuitului.



Diferența între AS și LFS poate fi vizualizată în rezultatul prezentat.



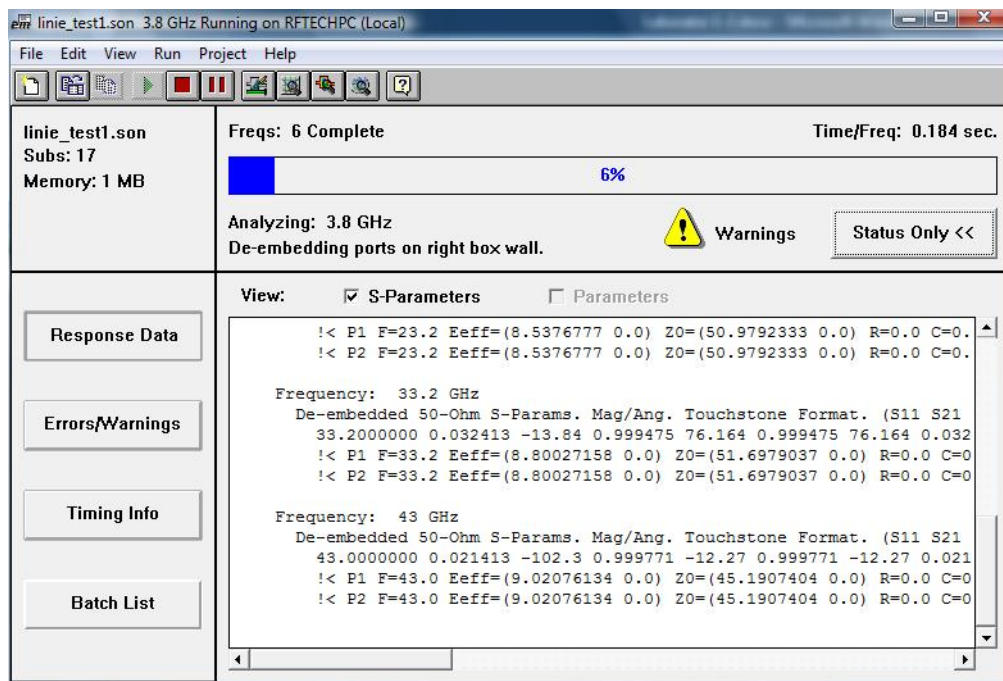


## 2.9. Efectuarea analizei

Efectuarea analizei se realizează cu o altă aplicație din suită (**em**). Această aplicație poate fi accesată din bara de sarcini inițială sau, mai comod, din programul de desenare, din meniu "Project→Analyze" sau " Project→Add to batch" sau cu butonul notat "em".

Interfața programului "em" oferă posibilitatea opririi temporare și definitive a analizei, posibilitatea realizării și gestionării unei liste ("batch") de rulări automate, informații despre parametri calculați și timpul necesar pentru calcul. Se recomandă consultarea cu atenție a informațiilor despre timpul de calcul (pentru estimarea timpului total și gestionarea eficientă a sistemului de calcul: în anumite condiții va fi convenabil adăugarea analizei la o lista - "batch" și rularea ei într-un moment ulterior când sistemul de calcul nu este utilizat).

**Important:** Întotdeauna se va verifica zona Erori/Atenționări (Errors/Warnings) pentru detectarea anumitor probleme de natură de a afecta validitatea rezultatelor (de exemplu prezența în intervalul de frecvență investigat a rezonanțelor cutiei sau dimensiune a celulelor incompatibilă cu intervalul de frecvență).



## 3. Structura de analizat

În lucrarea de laborator se va investiga o linie de transmisie microstrip pe substratul utilizat la curs: GaAs,  $\epsilon_r = 12.9$ ,  $\tan \delta = 6 \times 10^{-3}$ ,  $\sigma \approx 0$ ,  $h = 200 \mu\text{m}$ , o linie cu lățimea de  $150 \mu\text{m}$ .

În acest scop se va analiza o astfel de linie cu lungimea  $2400\mu\text{m}$ , cu detectarea rezonanțelor care apar și prin calcularea impedanței caracteristice și a parametrului constantă dielectrică efectivă.

Se realizează un studiu de convergență și se estimează eroarea obținută.

### Supliment teoretic

Se reamintește că impedanța de intrare într-o linie de lungime  $l$  cu impedanța caracteristică  $Z_0$  închisă cu impedanța  $Z_L$  este dată cu relația:

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_L + jZ_0 \tan(\beta l)}{Z_0 + jZ_L \tan(\beta l)}$$

Din tabelele de variație a parametrilor microstrip, pentru  $\epsilon_r = 12.88$  și  $W/h = 0.75$  se obține  $Z_0 = 49 \div 50\Omega$  și  $\epsilon_{\text{eff}} = 8.47 \div 8.49$ .