

**Dr.ing. NAGY-GYÖRGY Tamás**

*Profesor*

**E-mail:**

[tamas.nagy-gyorgy@upt.ro](mailto:tamas.nagy-gyorgy@upt.ro)

**Tel:**

+40 256 403 935

**Web:**

<http://www.ct.upt.ro/users/TamasNagyGyorgy/index.htm>

**Birou:**

A219

## 2.1 STRUCTURA BETONULUI

### 2.2 TIPURI DE BETON

### 2.3 REZISTENŢELE BETONULUI

### 2.4 DEFORMAŢIILE BETONULUI

## Structure of Concrete / Structura betonului

**Betonul** este un material mixt, un amestec de:

- agregate →
  - naturale → balastieră sau carieră
  - artificiale → zgură/argilă expandată/
  - reciclate



balastieră



carieră

Obs:

- Agregatele mari oferă densitate și asigură rezistența
- Partea fină (nisip) umple golurile dintre agregatele mari și crește rezistența liantului de ciment

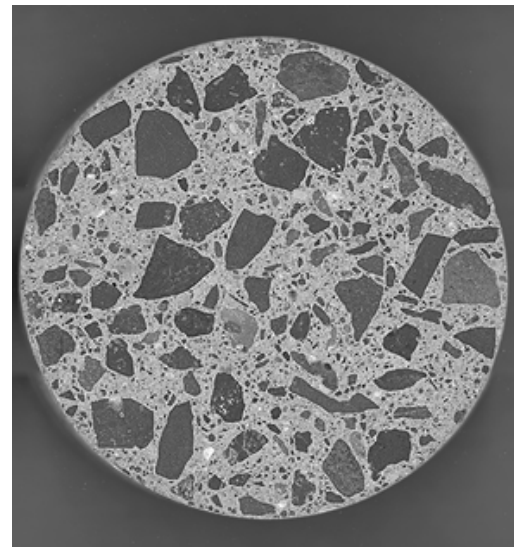
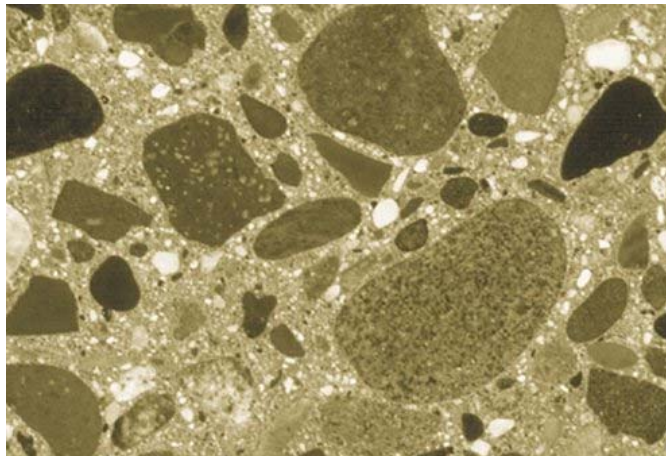
# Structure of Concrete / Structura betonului



Agregat balastieră



Agregat carieră



## Structure of Concrete / Structura betonului

**Betonul** este un material mixt, un amestec de:

- **agregate**

→ naturale → balastieră sau carieră

→ artificiale → zgură/argilă expandată/...

→ reciclate



zgură/argilă expandată



agregate din sticlă expandată



## Structure of Concrete / Structura betonului

**Betonul** este un material mixt, un amestec de:

- **agregate**

→ naturale → balastieră sau carieră

→ artificiale → zgură/argilă expandată/

→ reciclate



”In Japan, recycling rate of concrete debris was 96% in 2000...”

*Koji SAKAI, Prof. of Kagawa University, Japan*

## Structure of Concrete / Structura betonului

**Betonul** este un material mixt, un amestec de:

- **ciment** → CEM I                      ciment portland (obișnuit)
- CEM II                     ciment portland compozit
- CEM III                    ciment de furnal
- CEM IV                    ciment puzzolanic
- CEM V                     ciment compozit
  
- H                         cimenturi hidrotehnice
- SR                     cimenturi rezistente la sulfatați
- II A                    cimenturi albe cu adaosuri
- PR/PG/PV                cimenturi colorate roșu/galben/verde



## Structure of Concrete / Structura betonului

**Betonul** este un material mixt, un amestec de:

- apă

- aditivi (chemical admixtures)

→ reductori de apă (rezistență)

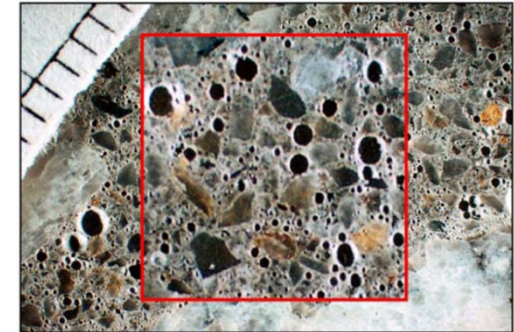
→ antrenori de aer (microporozitate)

→ acceleratori de priză (iarna)

→ întârziatori de priză (vara)

→ plastifianți (lucrabilitate)

→ pentru impermeabilizare (bazine)



porozitatea ↗ ascensiunea capilară ↘





## Structure of Concrete / Structura betonului

**Betonul** este un material mixt, un amestec de:

- **adaosuri (mineral admixtures)**

- zgura granulată de furnal înalt (măcinată sau nemăcinată)
- puzzolana naturală
- puzzolana naturală calcinată
- cenușa zburătoare silicioasă
- cenușa zburătoare calcică
- șist calcinat
- calcar
- silice ultrafină (SUF)

S

P

Q

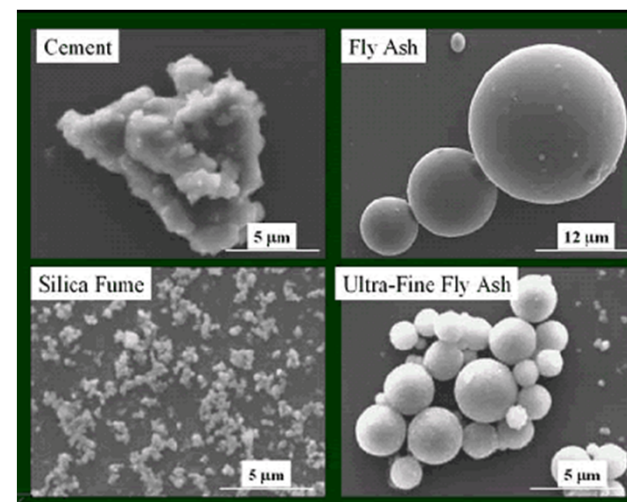
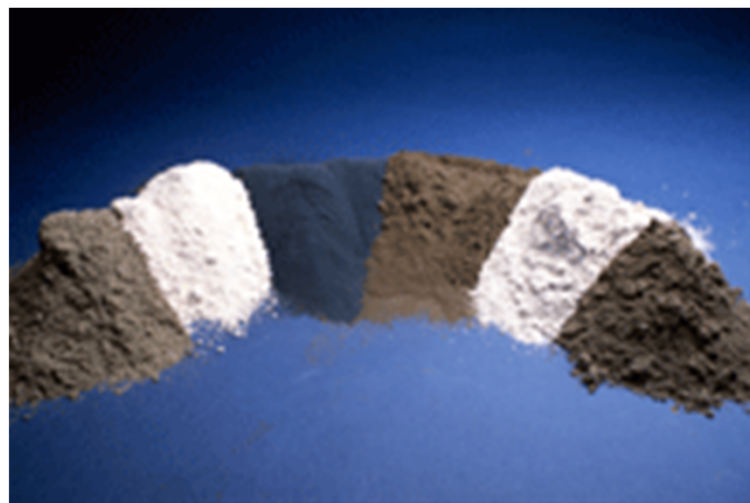
V

W

T

L, LL

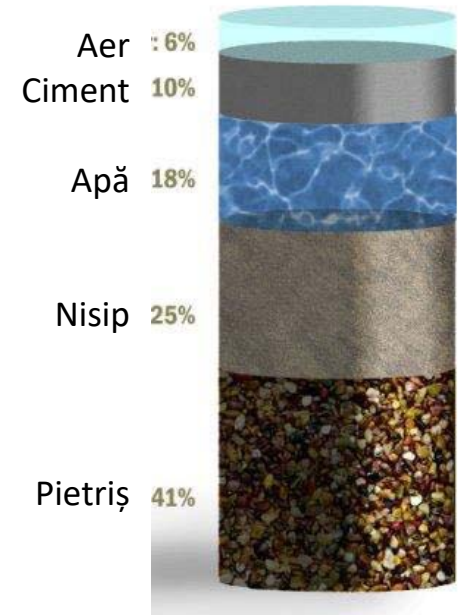
D



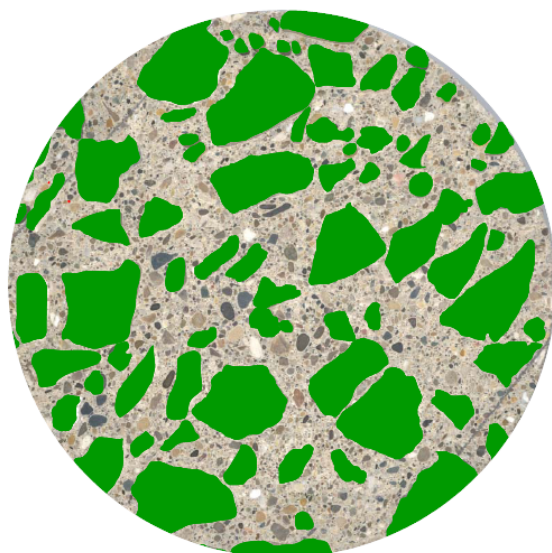
## Structure of Concrete / Structura betonului

**Betonul** este un material mixt, un amestec de:

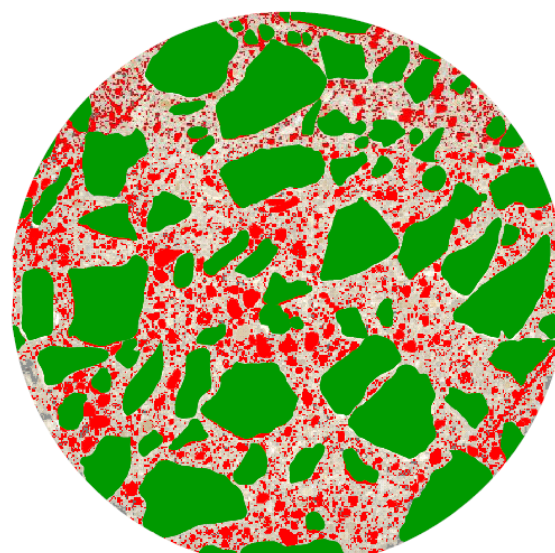
- **agregate** → naturale → balastieră sau carieră
  - artificiale → zgură/argilă expandată
  - reciclate
- **ciment** → Portland
  - Portland cu adaosuri
  - hidrotehnic
  - rezistent la sulfați
- **apă**
- **aditivi** → reductori de apă
  - antrenori de aer
  - acceleratori de priză
  - întârziatori de priză
  - plastifianți
- **adaosuri** → cenușă volantă uscată (zburătoare)
  - zgura granulată de furnal înalt (măcinată sau nemăcinată)
  - silicea ultrafină (SUF) sau silicea amorfă



## Structure of Concrete / Structura betonului

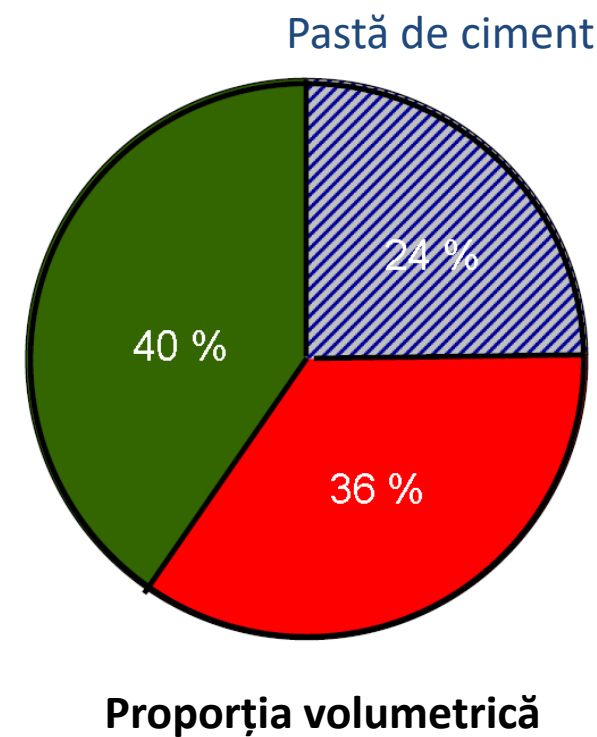


Agregate mari



Agregate fine

70-80 %



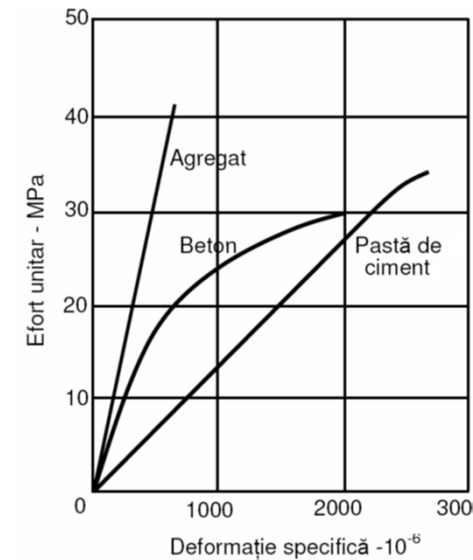
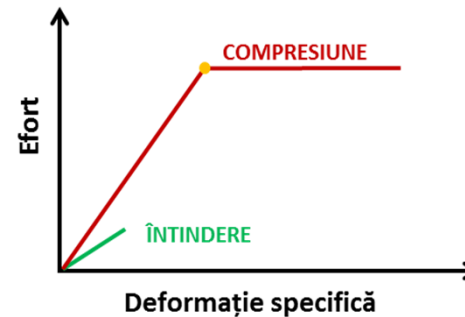
(Weiss J – Purdue University)

## Structure of Concrete / Structura betonului

**Betonul = material bifazic**, format din agregatele înglobate în matricea de piatră de ciment :

- Neomogen
- Anizotrop
- Material elasto-plastic

- **Elasticitate**: datorită agregatelor și a pastei de ciment întărit
- **Plasticitate**: datorită microfisurării
- **Viscozitate**: datorită pastei de ciment neîntărit.



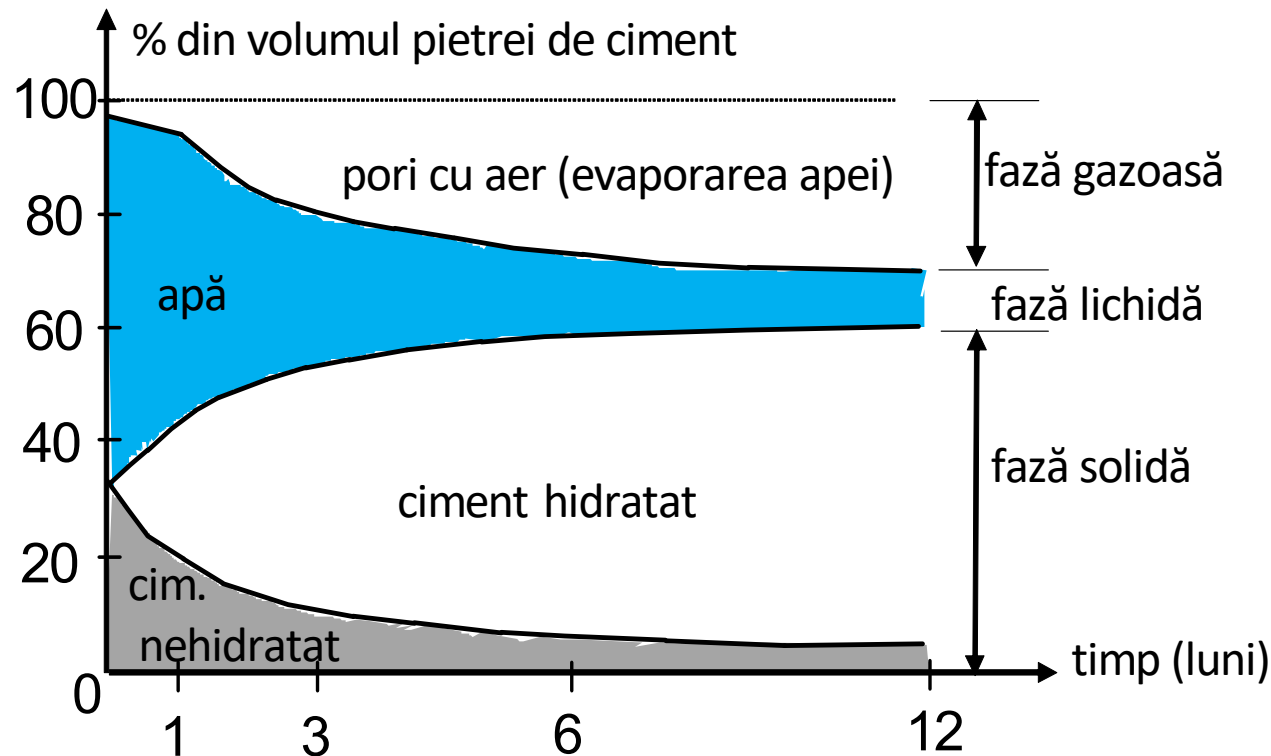
(Mehta&Monteiro, 2003)

**Piatra de ciment** este un pseudosolid, format din:

1. – formațiunile cristaline de ciment întărit, nucleele nehidratate de ciment → **faza solidă**
2. – gelurile cimentului → **faza vâscoasă**
3. – apa legată chimic, fizic și apa liberă → **faza lichidă**
4. – porii capilari și porii de gel care comunică între ei și cu exteriorul → **faza gazoasă**.

## Structure of Concrete / Structura betonului

Evoluția în timp a structurii betonului

**Modificarea volumului fazelor din piatra de ciment**

2.1 STRUCTURA BETONULUI

**2.2 TIPURI DE BETON**

2.3 REZISTENȚELE BETONULUI

2.4 DEFORMAȚIILE BETONULUI

## Types of Concrete / Tipuri de beton

- **BETON PROASPĂT / FRESH CONCRETE**
- **BETON ÎNTĂRIT / HARDENED CONCRETE**
- **BETON SIMPLU / PLAIN CONCRETE**
- **BETON ARMAT / REINFORCED CONCRETE**
- **BETON PRECOMPRIMAT / PRESTRESSED CONCRETE**

$$\rho = 2300 \dots 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho = 2000 \dots 2600 \text{ kg/m}^3$$



## Types of Concrete / Tipuri de beton

### BETOANE SPECIALE

- **BETON UȘOR / LIGHT-WEIGHT CONCRETE (LC)**       $\rho < 2000 \text{ kg/m}^3$ 
  - BETON CU AGREGATE UȘOARE
  - BETON CELULAR (BCA) / CELLULAR CONCRETE
- **BETON GREU / HEAVYWEIGHT CONCRETE**       $\rho > 2600 \text{ kg/m}^3$
- **BETON CU REZISTENȚĂ RIDICATĂ / HIGH STRENGTH CONCRETE**
- **BETON CU ÎNALTĂ PERFORMANȚĂ / HIGH PERFORMANCE CONCRETE (HPC)**
- **BETON MODIFICAT CU POLIMERI / POLYMER-MODIFIED CONCRETE**
- **BETON ARMAT CU FIBRE / FIBER REINFORCED CONCRETE (FRC)**
- **BETON AUTOCOMPACTANT / SELF COMPACTING CONCRETE (SCC)**
- **BETON TORCRETAT / SHOTCRETE**



## 2.1 STRUCTURA BETONULUI

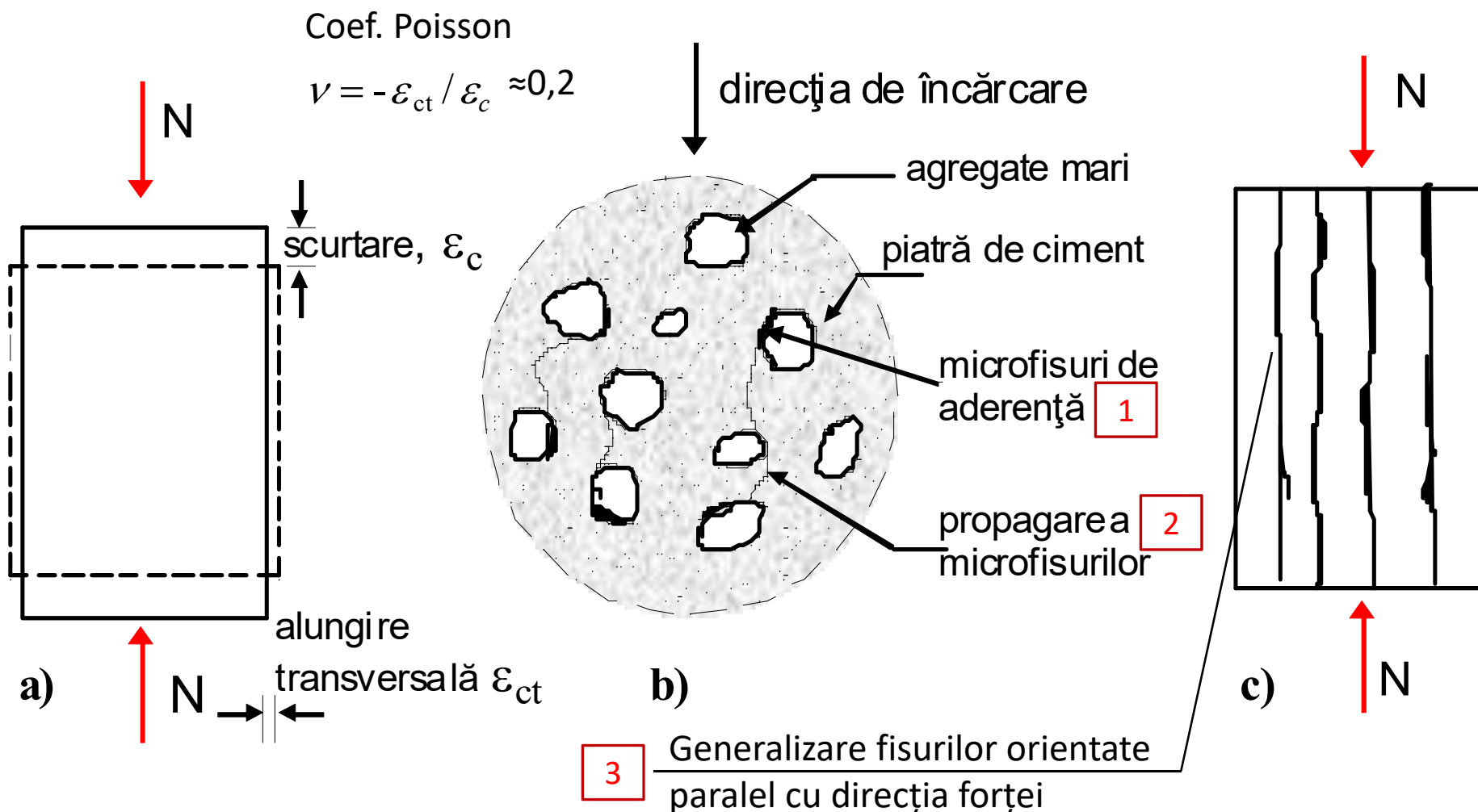
## 2.2 TIPURI DE BETON

## **2.3 REZISTENȚELE BETONULUI**

## 2.4 DEFORMAȚIILE BETONULUI

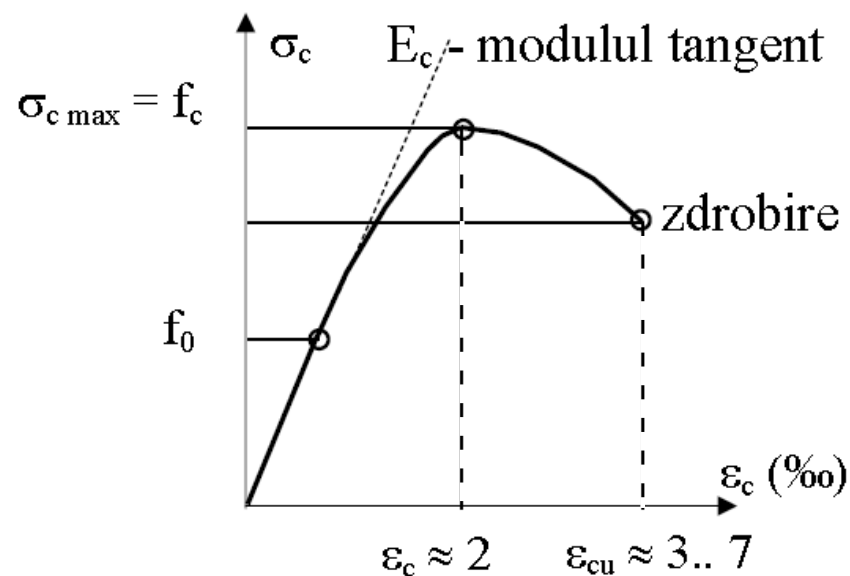
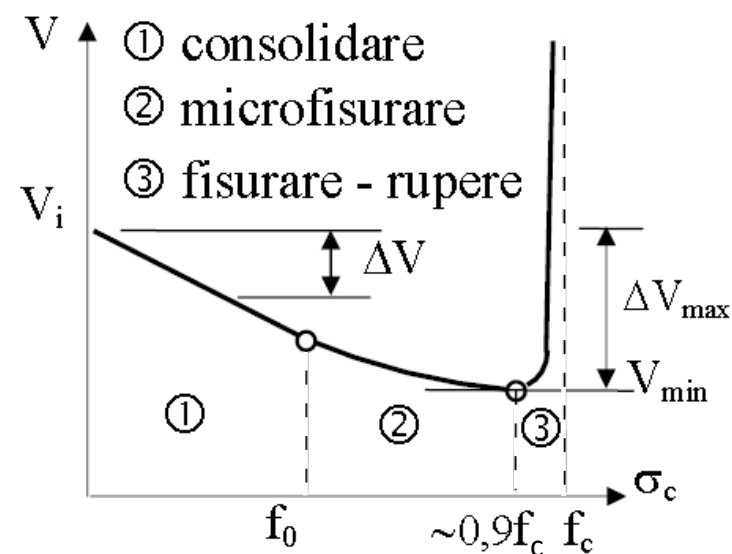
## Concrete strengths / Rezistențele betonului

## Ruperea betonului la compresiune monoaxială – caracter treptat



## Concrete strengths / Rezistențele betonului

## Ruperea betonului la compresiune monoaxială – caracter treptat

Curba  $\sigma_c - \varepsilon_c$  a betonului supus la compresiune

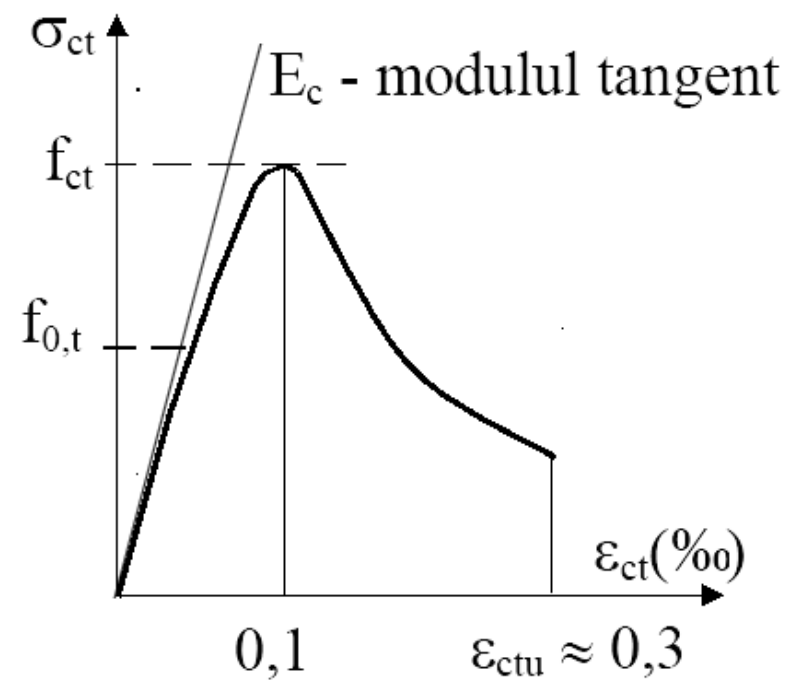
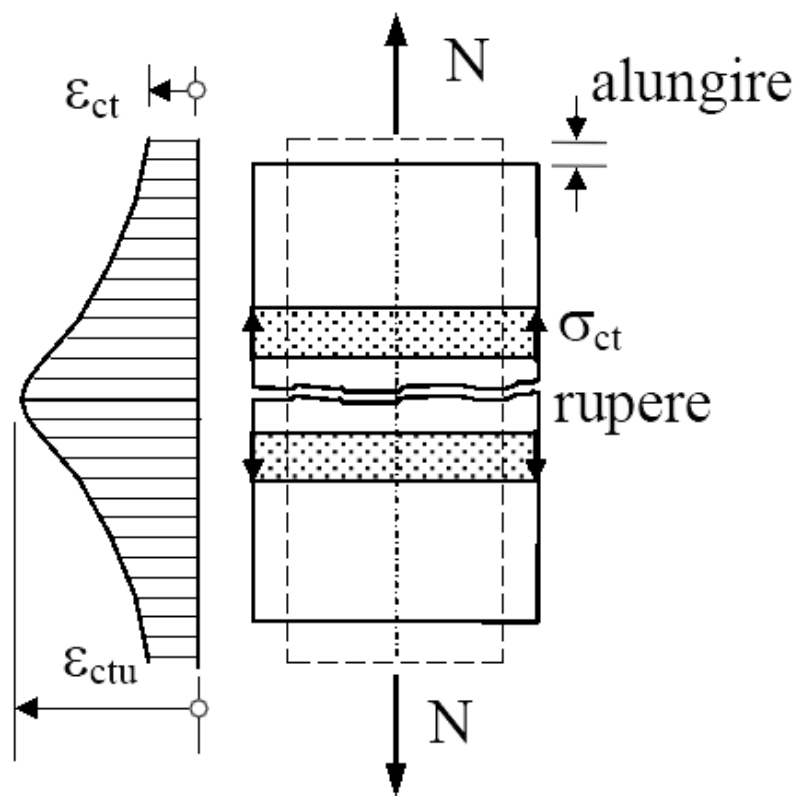
Variația volumului cilindrului comprimat

1. Faza de comportare elastică : **consolidare** → efortul unitar de compresiune este cuprins în intervalul  $0 - f_0$  ( $f_0 =$  rezistența la microfisurare a betonului)
2. Faza de comportare elasto-plastică : **microfisurare** → efortul unitar de compresiune ( $f_0 - 0.9 f_c$ )
3. Faza finală de rupere : **fisurare-rupere** → efortul unitar de compresiune depășește valoarea critică ( $\sim 0.9 f_c$ );

$f_c =$  rezistența cilindrică la compresiune sub încărcări statice de scurtă durată este valoarea maximă atinsă de efortul unitar de compresiune.

## Concrete strengths / Rezistențele betonului

## Ruperea betonului la întindere axială



→ influențat puternic de discontinuități

## Comportarea cilindrului de beton supusă la compresiune centrică



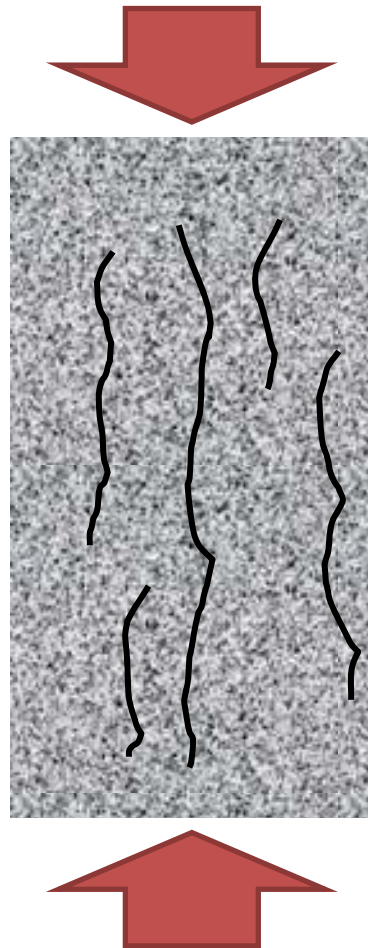
## Concrete strengths / Rezistențele betonului

## Comportarea cilindrului de beton supusă la compresiune centrică



## Concrete strengths / Rezistențele betonului

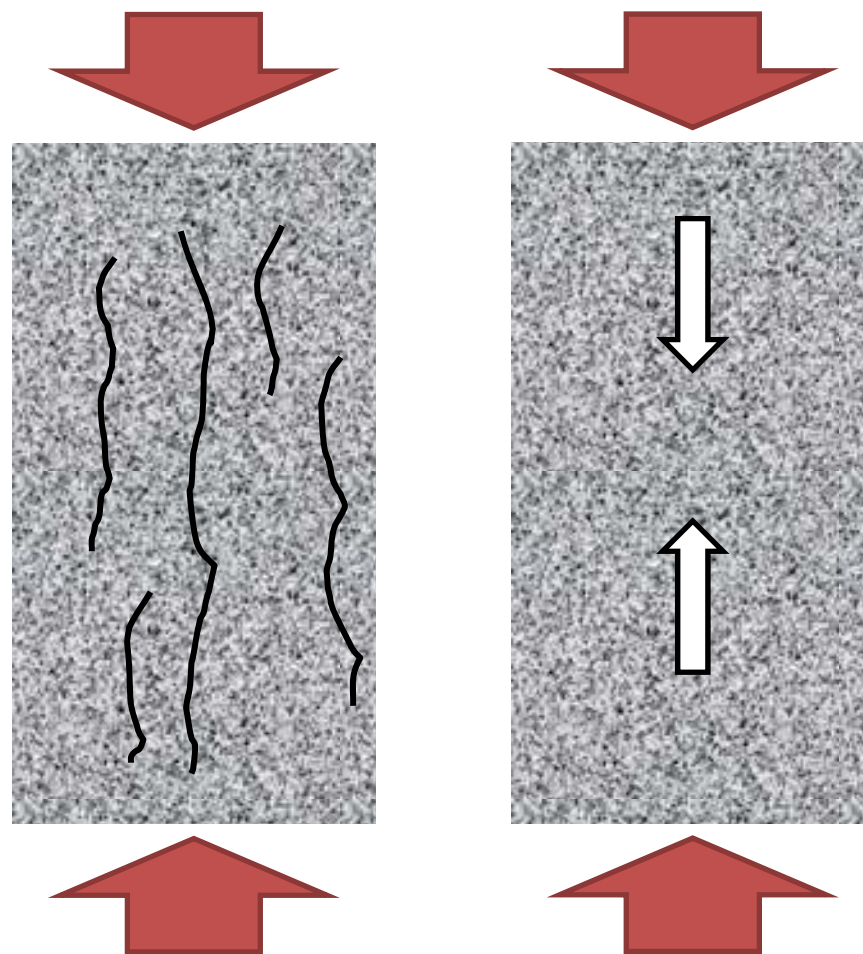
# Comportarea cilindrului de beton supusă la compresiune centrică



**Microfisuri în piatra de ciment**

## Concrete strengths / Rezistențele betonului

## Comportarea cilindrului de beton supusă la compresiune centrică



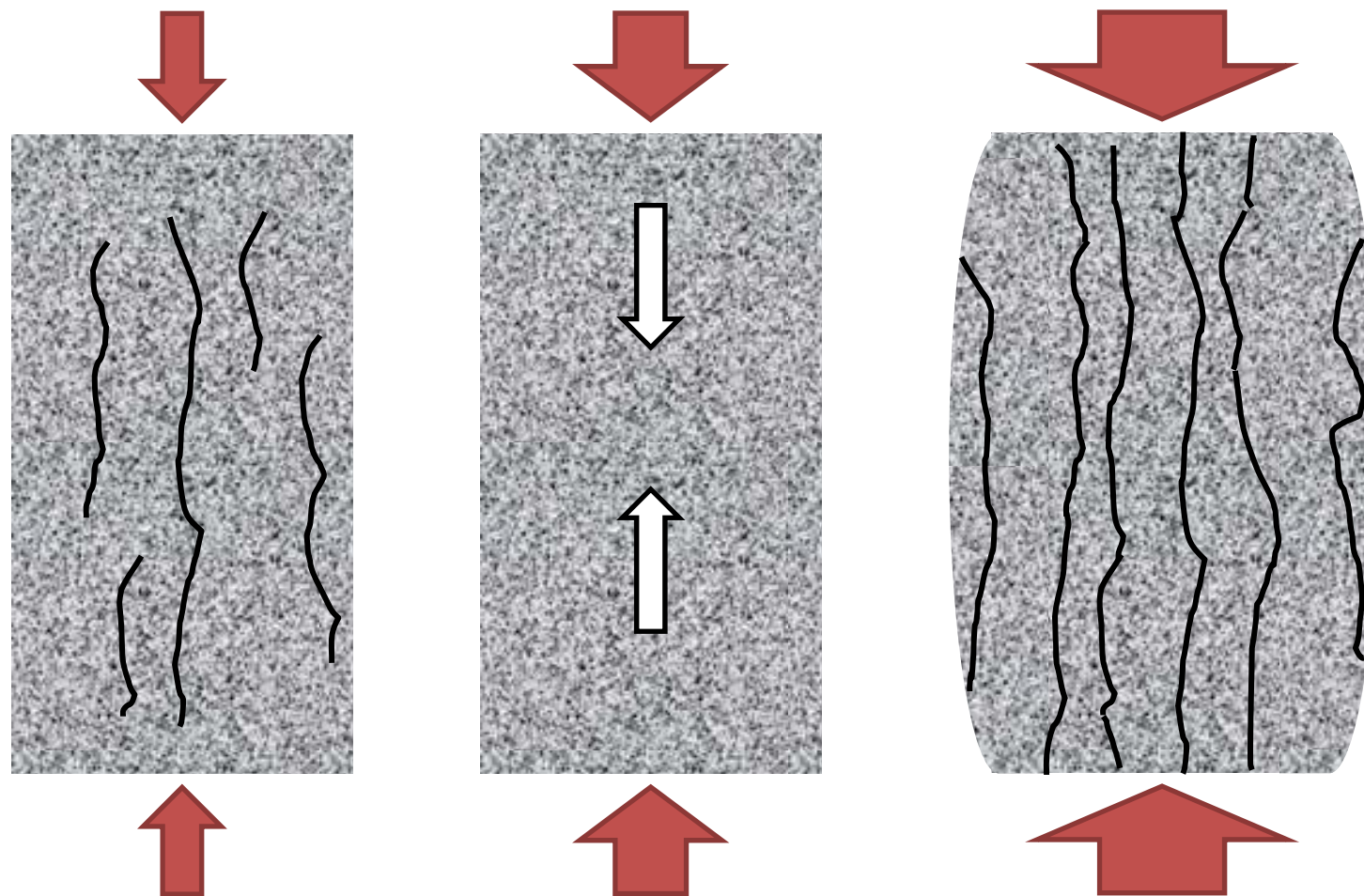
Microfisuri în piatra de ciment

Forțe interioare



## Concrete strengths / Rezistențele betonului

## Comportarea cilindrului de beton supusă la compresiune centrică



Microfisuri în piatra de ciment

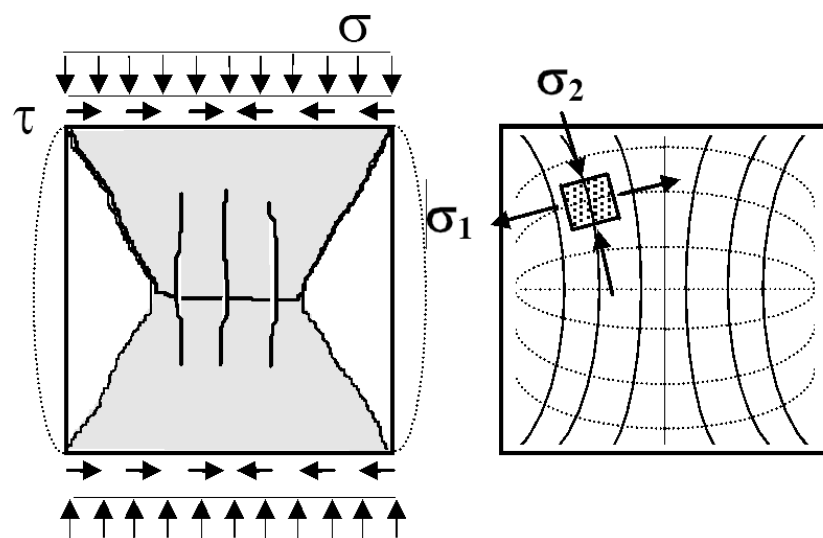
Forțe interioare

Macrofisuri → Cedare

## Concrete strengths / Rezistențele betonului

## Ruperea unui cub de beton cu frecare

→ din cauza frecării între platanele preseii și epruvetă apar sollicitări biaxiale



Încercarea unui cub cu frecare între platane și epruvetă

$\tau$  – eforturi unitare tangențiale → împiedică deformațiile transversale

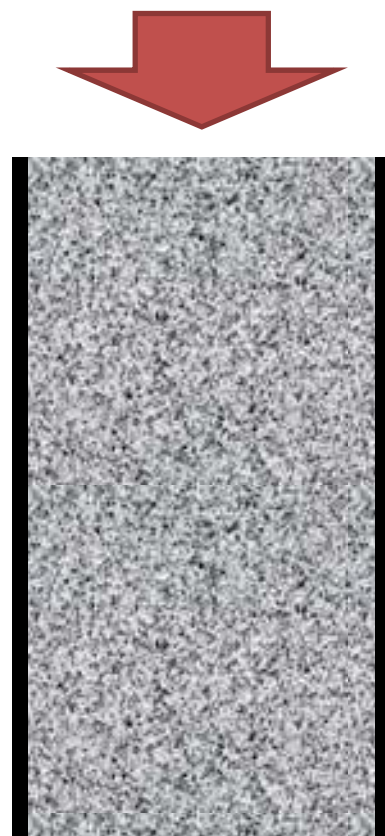
$\sigma$  – eforturi unitare normale

$\sigma_1$  – efort unitar principal de întindere

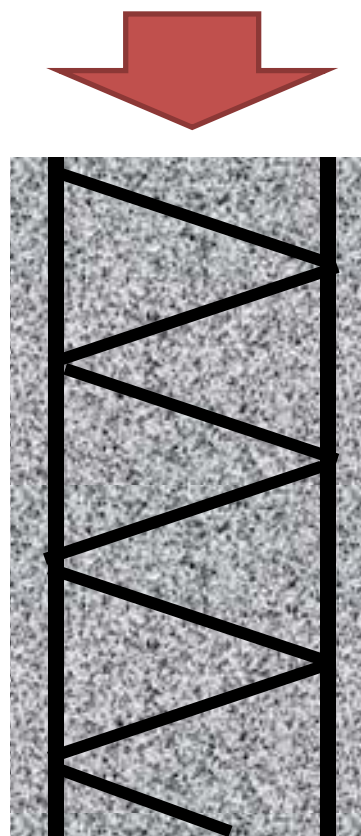
$\sigma_2$  – efort unitar principal de compresiune

## Concrete strengths / Rezistențele betonului

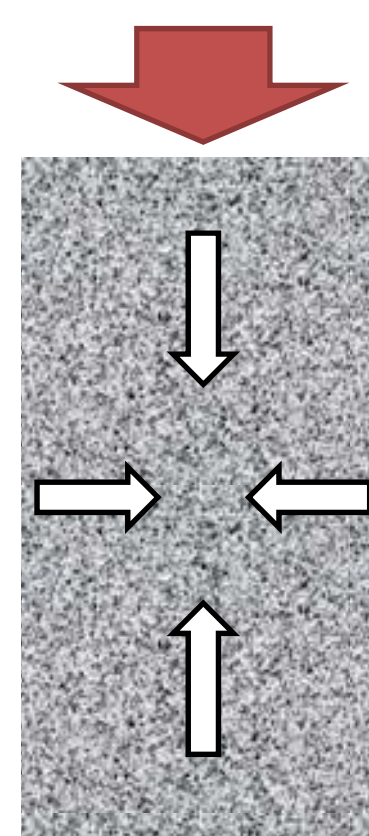
## Comportarea betonului confinat supus la compresiune centrică



Beton confinat  
TUB



Beton confinat  
FRETĂ

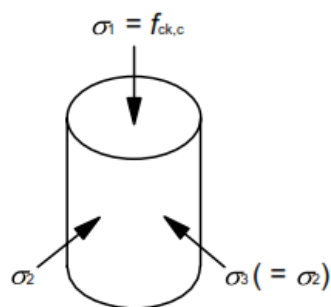


Forțe interioare

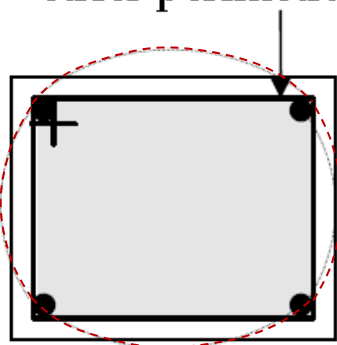
## Concrete strengths / Rezistențele betonului

**Confinarea betonului = Creșterea rezistenței la compresiune a betonului prin crearea de solicitări triaxiale**

→ se realizează prin împiedicarea deformațiilor (în general cu ajutorul etrierilor)

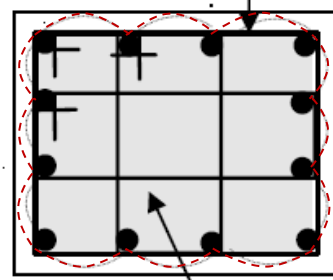


etrier perimetral



efect redus

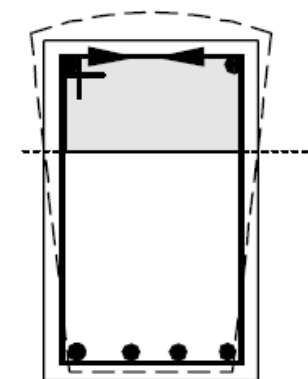
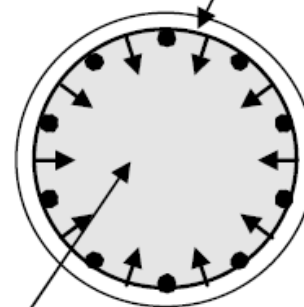
etrier perimetral și interiori



beton cu rezistență sporită

a) stâlpi

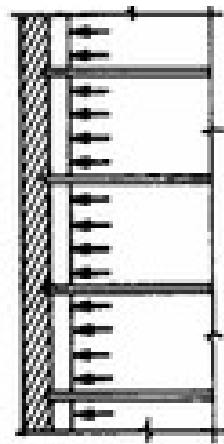
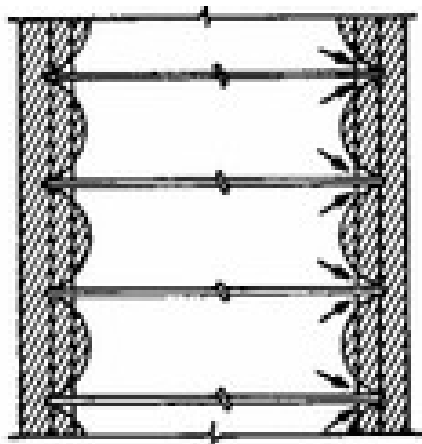
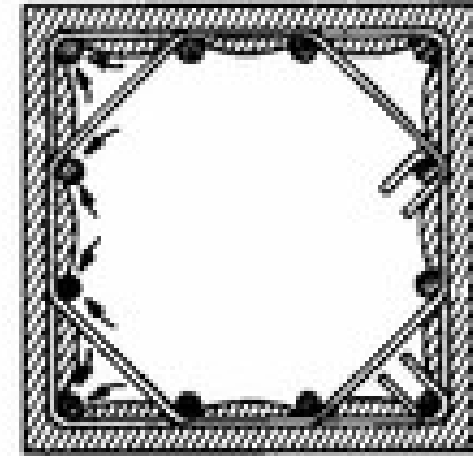
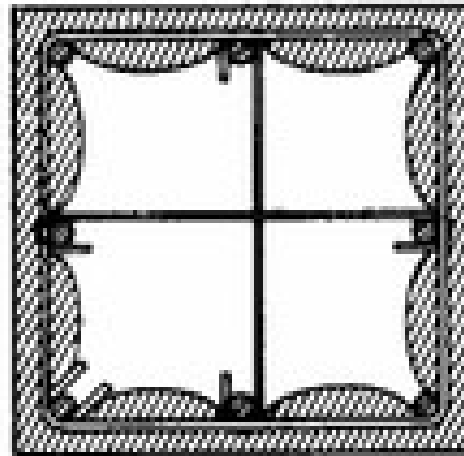
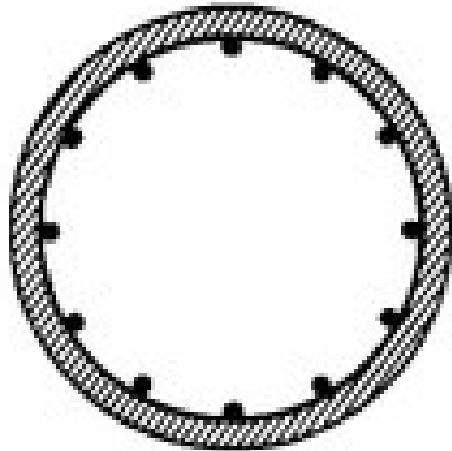
fretă



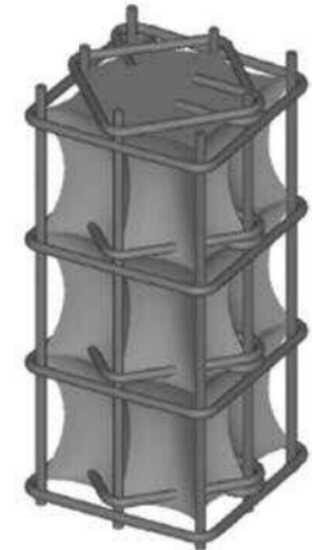
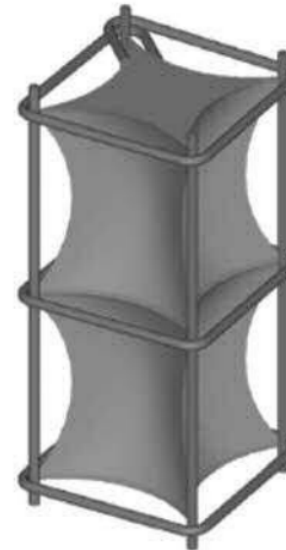
b) grindă

## Concrete strengths / Rezistențele betonului

## Comportarea betonului confinat supus la compresiune centrică

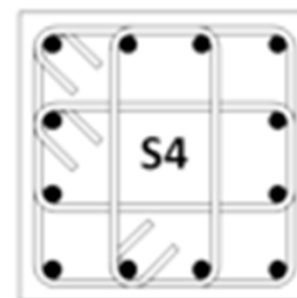
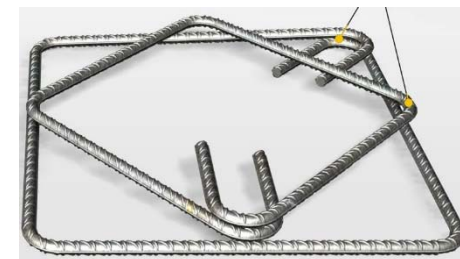
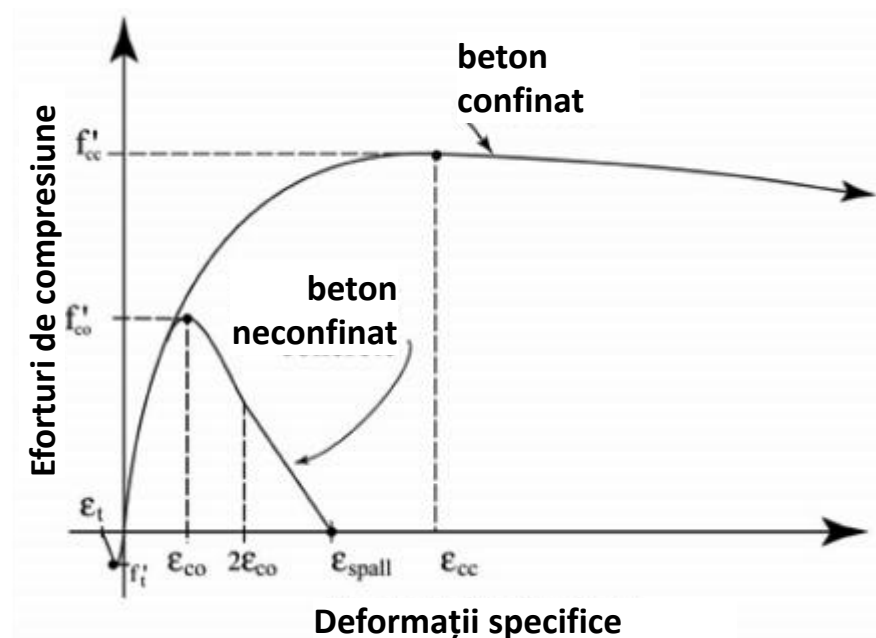


Beton  
neconfinat



## Concrete strengths / Rezistențele betonului

**Confinarea betonului** = Creșterea rezistenței la compresiune a betonului prin crearea de solicitări triaxiale



## Concrete strengths / Rezistențele betonului

**Confinarea betonului** = Creșterea rezistenței la compresiune a betonului prin crearea de solicitări triaxiale

**Fretă**



## Concrete strengths / Rezistențele betonului

## Concluzii privind ruperea betonului:

- **ruperea betonului** se produce prin **decoeziune** (pierderea coeziunii), indiferent de tipul de solicitare, atunci când deformațiile specifice de întindere ating valoarea maximă (ultimă);
- **ruperea** betonului are un **caracter treptat**, datorită acumulării unei cantități critice de degradări, sub formă de microfisuri, apoi de fisuri;
- se poate considera o **comportare elastică** până la valori ale eforturilor unitare care nu depășesc **rezistențele de microfisurare ( $f_o$ )**;
- **comportarea plastică** se datorează apariției și dezvoltării deformațiilor ireversibile, prin **microfisurarea betonului**;
- ruperea betonului simplu are un **caracter casant**, deoarece se produce cu deformații foarte mici.



## Concrete strengths / Rezistențele betonului

## Încercări uzuale pentru beton

Rezistența	Solicitarea	Epruveta	Denumirea	Simbolul
Rezistența la compresiune	Compresiune monoaxială	cilindru	Rezistența cilindrică (clasa betonului)	$f_{cil}$
		cub	Rezistența cubică	$f_{cub}$
		prismă	Rezistența prismatică	$f_{pr}$
Rezistența la întindere	Întindere monoaxială	Prismă, cilindru	Rezistența la întindere	$f_{ct}$
	Întindere prin despicare	cilindru, cub	Rezistența la întindere prin despicare	$f_{ct\ sp}$
	Întindere prin încovoiere	prismă încovoiată	Rezistența la întindere din încovoiere	$f_{ct\ fl}$

## Factorii care influențează rezistențele betonului

### 1. Calitatea materialelor prime

**Ciment**            influențează rezistența doar la vârste mici

**Agregate**        - rezistența  
                      - dimensiunea  
                      - forma  
                      - textura suprafeței  
                      - natura mineralogică  
                      - calitatea (densitate, puritatea, etc)

**Apa**                "...apă potrivită pentru băut..."

## Concrete strengths / Rezistențele betonului

## Factorii care influențează rezistențele betonului

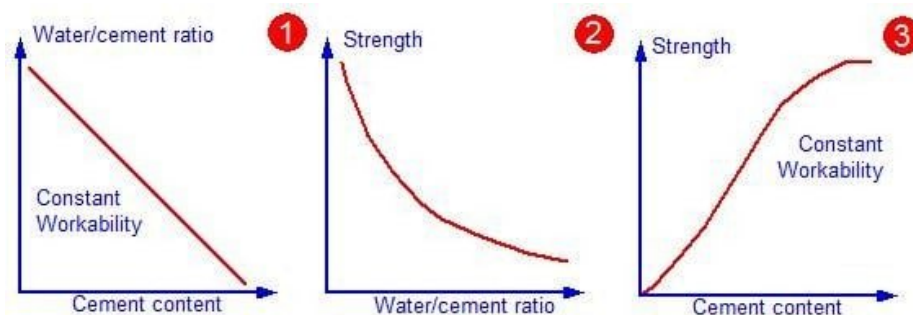
## 2. Proporția constituenților

Raportul A/C  $\searrow \Rightarrow f_c \nearrow$

Aerul antrenat  $\nearrow \Rightarrow f_c \searrow$

Dozajul de ciment  $\nearrow \Rightarrow f_c \nearrow$

Raportul P/N (granulometria)  $\Rightarrow$  lucrabilitatea  $\Rightarrow$  rezistența



## Concrete strengths / Rezistențele betonului

## Factorii care influențează rezistențele betonului

## 3. Condiții de punere în operă

<b>Vibrarea</b>	$\Rightarrow$	<b>Compactitatea</b>	
<b>Compactitatea</b>	$\nearrow$	$\Rightarrow$	$f_c \nearrow$
<b>Omogenitatea</b>	$\nearrow$	$\Rightarrow$	$f_c \nearrow$
<b>Segregare</b>	$\nearrow$	$\Rightarrow$	$f_c \searrow$

## Concrete strengths / Rezistențele betonului

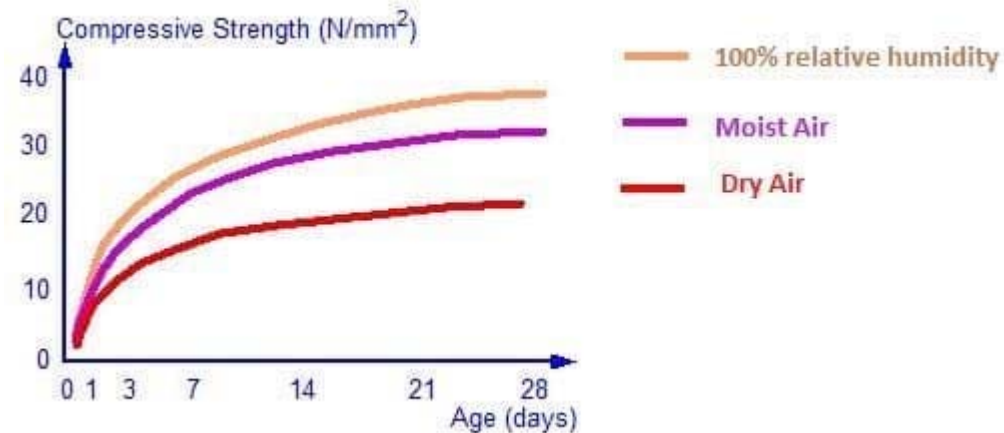
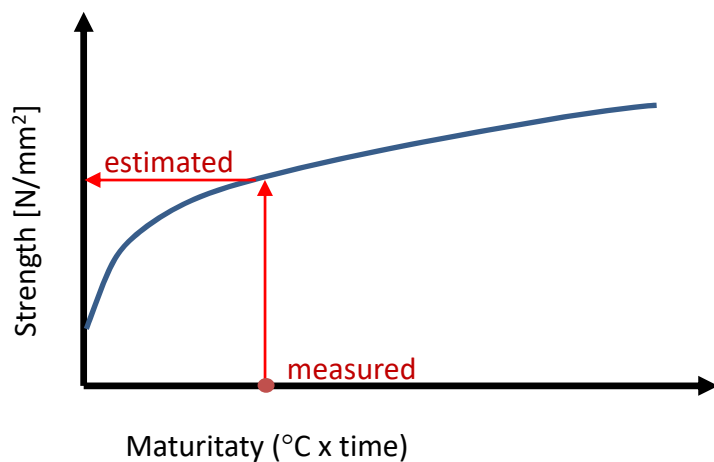
## Factorii care influențează rezistențele betonului

## 4. Condiții de lucru/păstrare

Temperatura  $\nearrow$   $\Rightarrow$  favorizează hidratarea

Umiditatea  $\nearrow$   $\Rightarrow$  favorizează hidratarea

Vârsta = gradul de hidratare



## Factorii care influențează rezistențele betonului

### 5. Condiții de încercare

**Dimensiunea epruvetei**       $\nearrow$        $\Rightarrow$        $f_c \searrow$

**Forma epruvetei**       $f_{c,cub} > f_{c,cilindru}$   
 $f_{c,cub} > f_{c,prismă}$

**Umiditatea probei**       $\nearrow$        $\Rightarrow$        $f_c \searrow$

**Viteza de încărcare**       $\nearrow$        $\Rightarrow$        $f_c \nearrow$

## 2.1 STRUCTURA BETONULUI

## 2.2 TIPURI DE BETON

## 2.3 REZISTENȚELE BETONULUI

## **2.4 DEFORMAȚIILE BETONULUI**

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Cauzele care provoacă deformații :

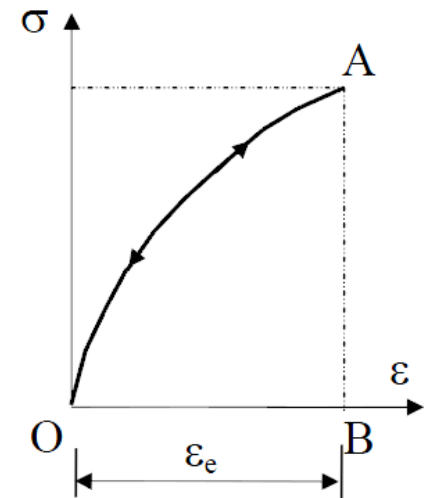
- **INTRINSECI** (proprii) :
  - contracția
  - umflarea
  
- **EXTERIOARE** :
  - încărcări directe
  - deplasări impuse
  - variații de temperatură
  - et cetera



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

**Deformația elastică:**

- se datorează fazei solide (agregate, cristale formate prin întărirea cimentului)
- poate fi liniară sau neliniară;
- la încetarea acțiunii, teoretic corpul revine instantaneu la forma inițială.

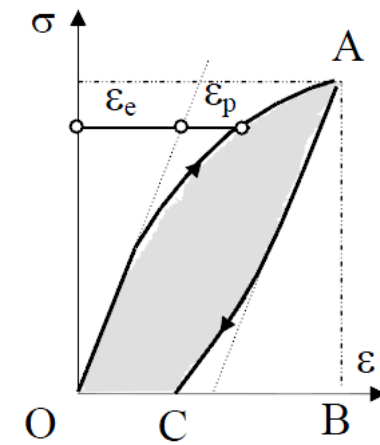


a) elastic neliniar

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

**Deformația plastică:**

- se produce datorită discontinuităților de structură (în special microfisuri), care compromit aderența agregat-piatră de ciment;
- apare la un anumit nivel de solicitare
- crește atât timp cât se menține încărcarea, iar după încetarea acțiunii, constituie deformație ireversibilă.

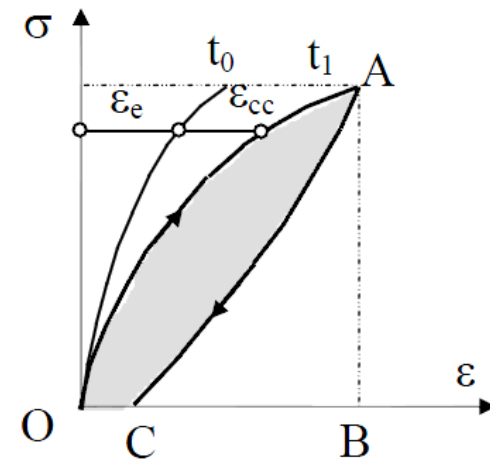


b) elastic - plastic

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

**Deformația vâscoasă:**

- se datorează componentei gelice și este denumită curgere lentă;
- deformația vâscoasă se dezvoltă în timp și este parțial reversibilă după încetarea acțiunii.



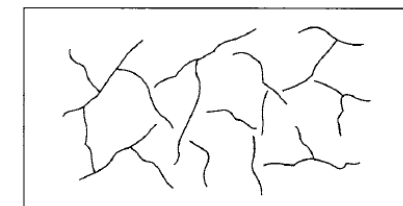
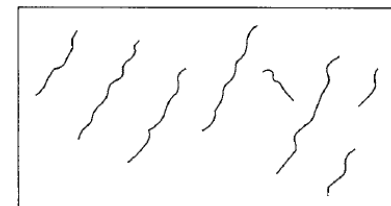
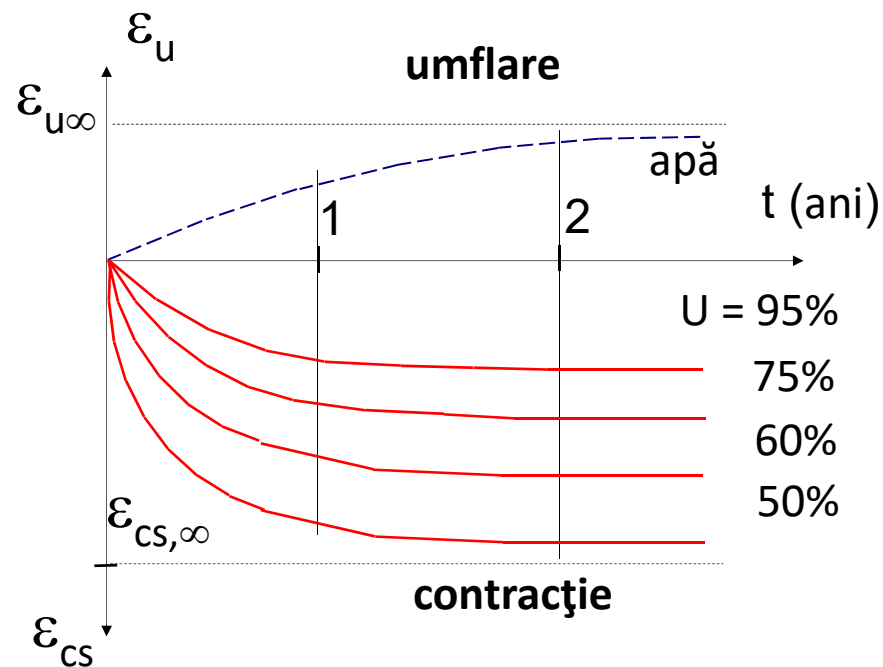
c) elastic (neliniar) - vâscos

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Volumul betonului păstrat într-un mediu uscat scade → **Contractia**  
( $\epsilon_{cs}$  - shrinkage)

Volumul betonului păstrat în apă crește

→ **Umflarea**  
(swelling)



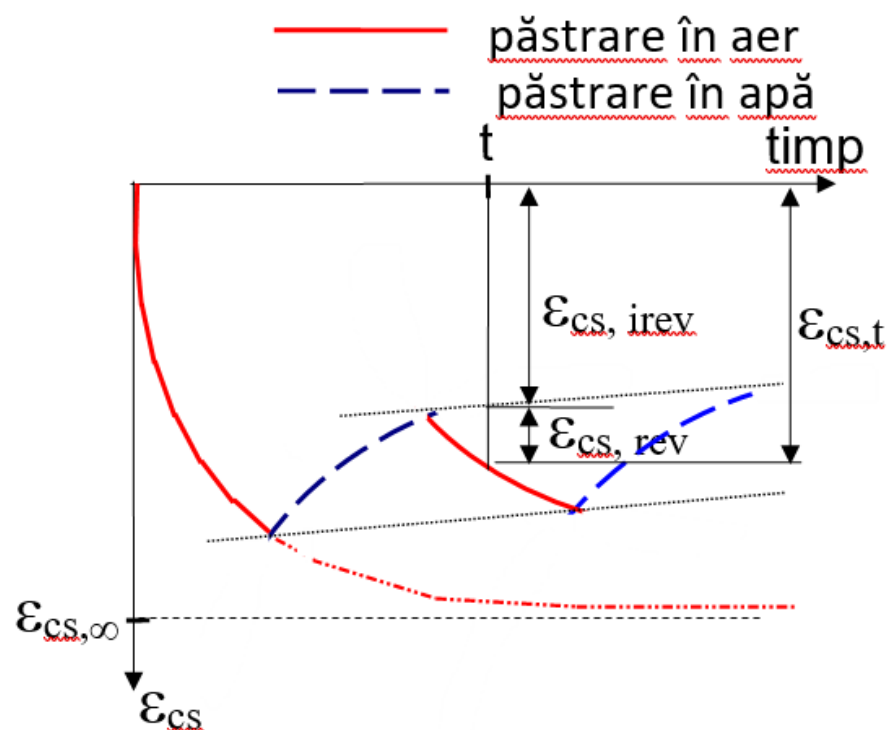
## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Volumul betonului păstrat într-un mediu uscat scade → **Contractia**

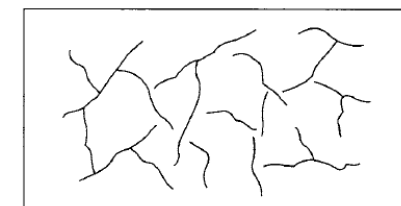
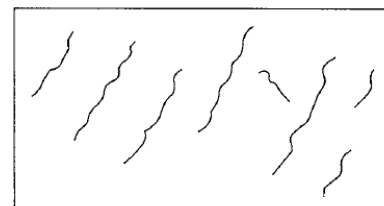
Volumul betonului păstrat în apă crește

→ **Umflarea**

### Reversibilitatea parțială a contracției



$$\epsilon_{cs,\infty} = 0,4 \dots 0,8\text{‰} > \epsilon_{tu} = 0,1 \dots 0,15$$



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Teoria → deformațiile proprii ale betonului se datorează **deplasării apei în masa betonului**

În **betonul proaspăt**, apa se deplasează datorită transformării pastei de ciment în piatră de ciment (contractia chimică a cimentului); aceasta este denumită **contractie endogenă**, și se produce foarte intens în primele zile după turnare.

$\epsilon_{ca}$  (autogenous shrinkage)

În **betonul întărit**, apa migrează prin porii capilari din beton și se elimină sub efectul variațiilor de umiditate și temperatură din mediul înconjurător; aceasta este denumită **contractie de uscare**.

$\epsilon_{cd}$  (drying shrinkage)

Pentru calcule, **valoarea deformației specifice totale din contractie**

$$\epsilon_{cs} = \epsilon_{ca} + \epsilon_{cd}$$

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

### Concluzii privind contracția betonului:

- **Componenta ireversibilă** a contracției se datorează **îmbătrânirii gelurilor**, manifestată prin reducerea progresivă a volumului lor și creșterea volumului formațiunilor cristaline;
- **Componenta reversibilă** a contracției scade în timp și se datorează:
  - fenomenului de **capilaritate**, independentă de vârsta betonului,
  - modificării grosimii peliculelor de apă adsorbite pe suprafața gelurilor, dependentă de vârsta betonului;
- La nivelul componentelor pietrei de ciment, granulele nehidratate și cristalele se opun contracției gelurilor, în consecință sunt comprimate, iar gelurile sunt întinse;
- La nivelul betonului, agregatele împiedică deformarea pietrei de ciment, care este întinsă și în unele zone fisurează.

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Factorii care influențează contracția și umflarea betonului

- **Starea de umiditate și temperatură:** umiditatea relativă mai mică, iar temperaturile mai mari duc la valori ridicate ale deformațiilor din contracție

$$RH \searrow + \text{Temp} \nearrow \Rightarrow \epsilon_{cs} \nearrow$$

- **Volumul gelurilor:** crește cu dozajul de ciment

$$V_{\text{geluri}} \nearrow \Rightarrow \epsilon_{cs} \nearrow$$

- **Agregatele:** influențează prin raportul P/N

$$P/N \searrow \Rightarrow \text{Apă} \nearrow \Rightarrow \text{Agregate/Ciment} \searrow \Rightarrow \epsilon_{cs} \nearrow$$

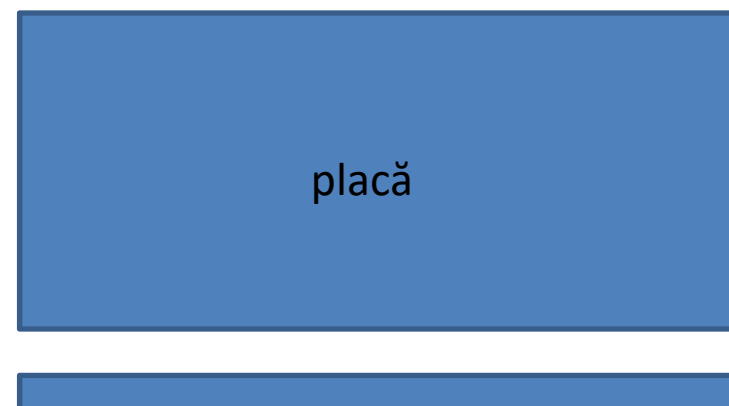
$$\epsilon_{cs, \text{ ciment}} > \epsilon_{cs, \text{ mortar}} > \epsilon_{cs, \text{ beton}}$$



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

**Factorii care influențează contracția și umflarea betonului (cont)**

- **Aditivii superplastifianți** permit reducerea raportului A/C, fără ca lucrabilitatea să scadă
- **Compactitatea** mai mare a betonului  
→ rezistențele betonului mai mari → deformațiile din contracție mai mici
- Posibilitatea de evaporare a apei: contracția este cu atât mai mare cu cât suprafața specifică, dată de raportul dintre suprafața expusă și volumul elementului este mai mare.



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

### Contrația betonului armat

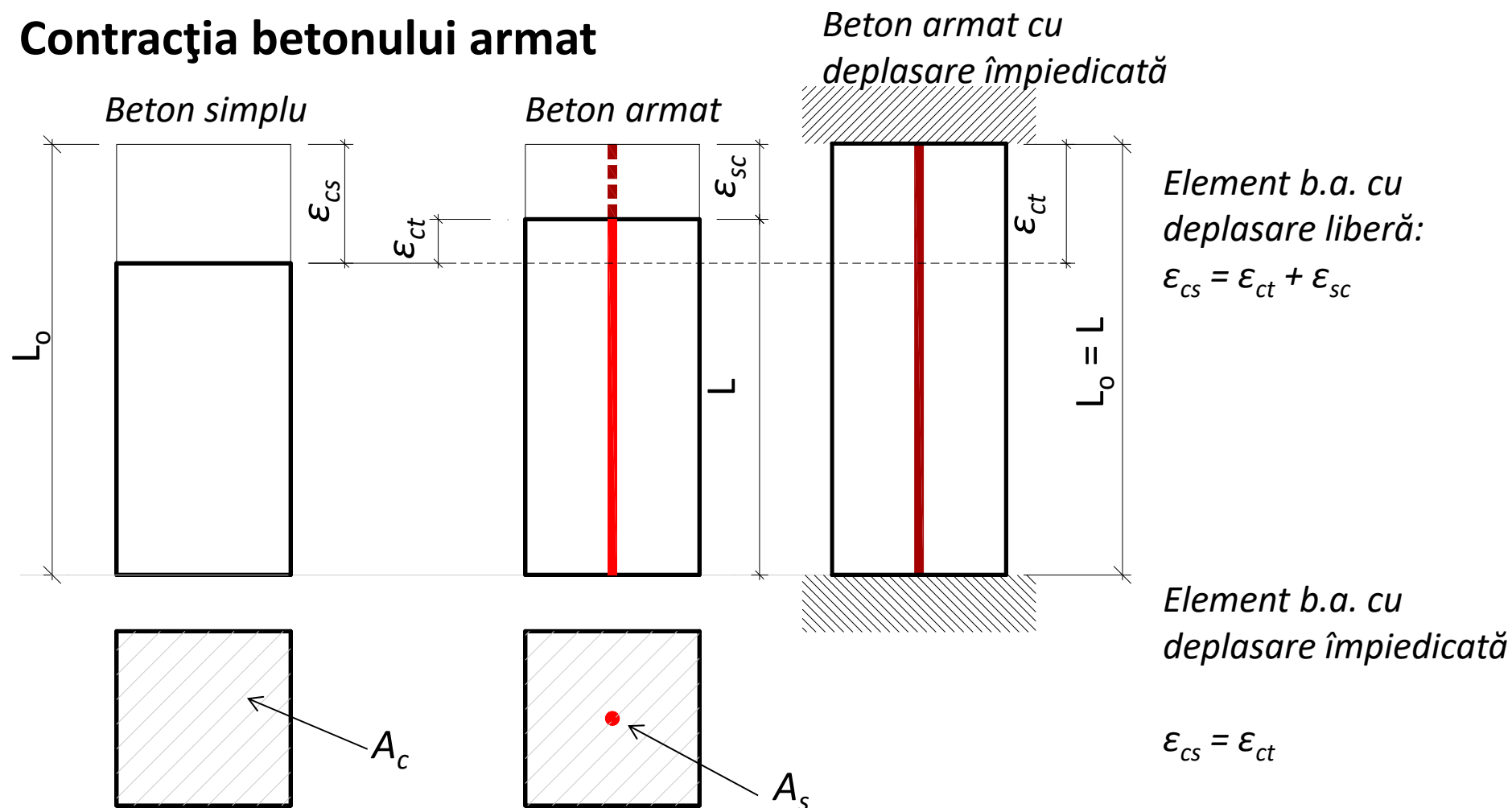
Experimental: valoarea **contrației betonului armat** este **mai mică** decât cea a betonului simplu, și anume cu atât mai mică, cu cât procentul de armare este mai mare.

Explicația: **aderența** dintre beton și armătură **diminuează tendința de contracție** a betonului, armătura opunându-se contracției.

→ în **armătură** se nasc eforturi unitare de **compresiune** și în **beton** de **întindere**.

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Contrația betonului armat



$\epsilon_{cs}$  = deformația specifică liberă totală din contracție a b.s.

$\epsilon_{sc}$  = deformația specifică de compresiune din armătură (= contracție b.a.)

$\epsilon_{ct}$  = deformația specifică de întindere din beton, cauzată de prezența armăturii

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

**Contrația betonului armat**

Efortul de compresiune în armătură:

$$\sigma_S = \varepsilon_{SC} \cdot E_S$$

Forța de compresiune în armătură corespunzătoare:

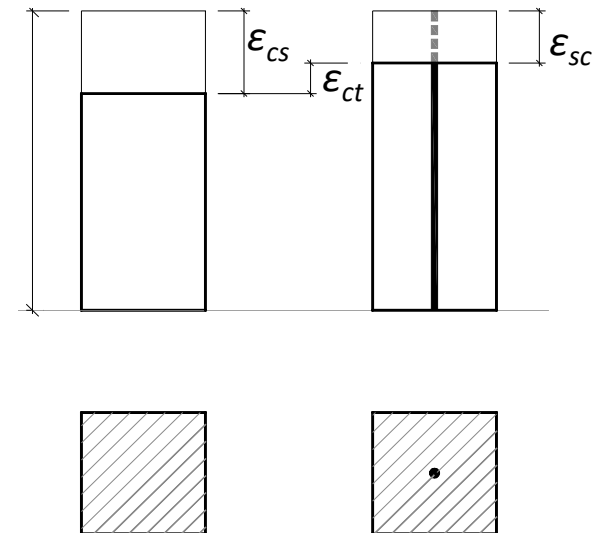
$$F_S = A_S \cdot \sigma_S$$

Efortul de întindere în beton:

$$\sigma_C = \varepsilon_{ct} \cdot E_C = (\varepsilon_{CS} - \varepsilon_{SC}) \cdot E_C$$

Forța de întindere în beton corespunzătoare:

$$F_C = A_C \cdot \sigma_C$$



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

**Contrația betonului armat**

Condiția de echilibru în direcția longitudinală:  $F_S = F_C$

$$\rightarrow A_S \cdot \varepsilon_{SC} \cdot E_S = A_C \cdot (\varepsilon_{CS} - \varepsilon_{SC}) \cdot E_C \quad / A_C \cdot E_C$$

$$\rightarrow \rho \cdot \varepsilon_{SC} \cdot n = \varepsilon_{CS} - \varepsilon_{SC}$$

unde

$$\rho = \frac{A_S}{A_C} \quad \rightarrow \quad \text{coeficient de armare (nu procent!)}$$

$$n = \frac{E_S}{E_C} \quad \rightarrow \quad \text{coef. de echivalență}$$

(= de câte ori este oțelul mai rigid decât betonul)

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Contrația betonului armat

$$\rightarrow \rho \cdot \varepsilon_{sc} \cdot n = \varepsilon_{cs} - \varepsilon_{sc} \quad \rightarrow \quad \varepsilon_{sc} = \frac{\varepsilon_{cs}}{1 + \rho \cdot n}$$

Efortul în armătură :  $\sigma_s = \frac{\varepsilon_{cs}}{1 + \rho \cdot n} \cdot E_s \quad \rightarrow$  compresiune

Pt determinarea efortului în beton:  $F_s = F_c \rightarrow$

$$\rightarrow A_c \cdot \sigma_s = A_c \cdot \sigma_c \quad / A_c \quad \rightarrow$$

$$\rightarrow \sigma_c = \frac{A_s}{A_c} \cdot \sigma_s = \rho \cdot \sigma_s = \rho \cdot \frac{\varepsilon_{cs}}{1 + \rho \cdot n} \cdot E_s = \frac{\varepsilon_{cs}}{\frac{1}{\rho} + n} \cdot E_s$$

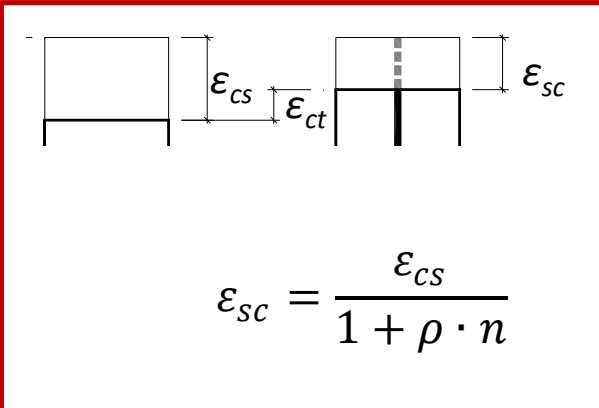
## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Contractia BA este mai mică decât pentru B

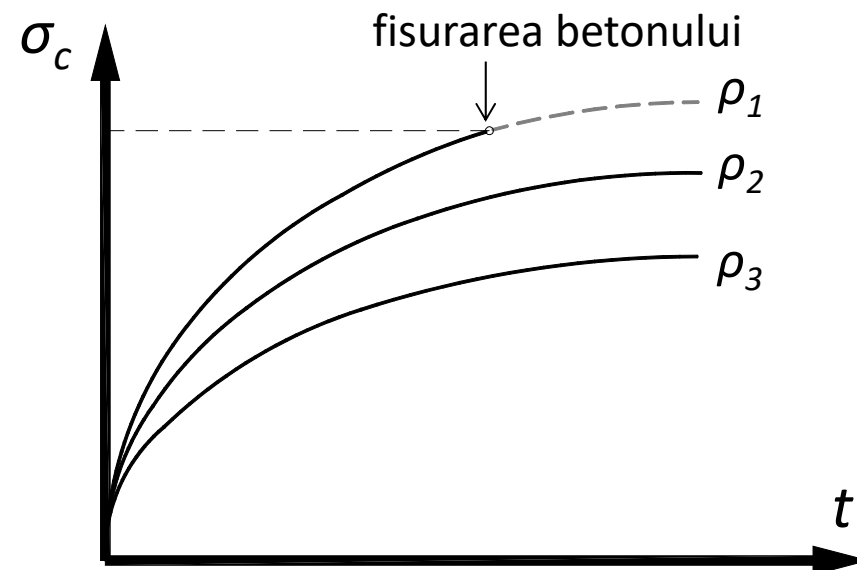
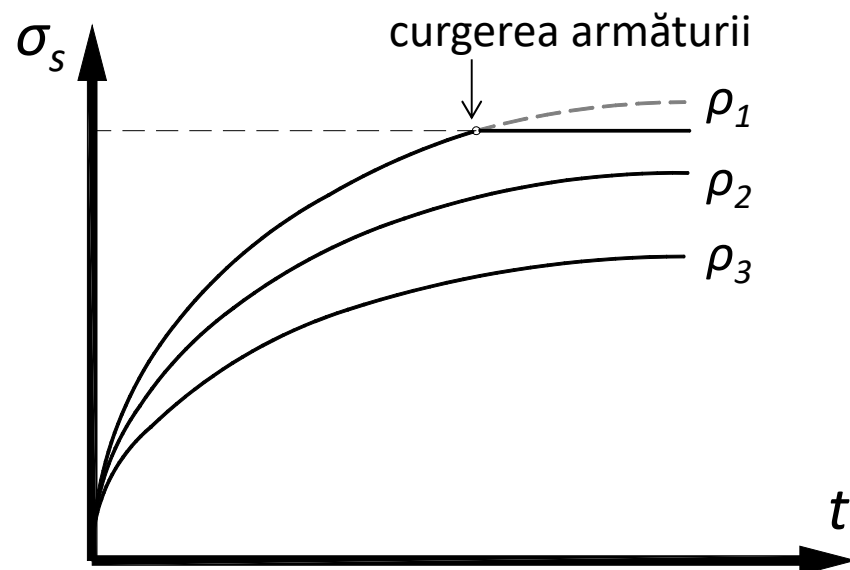
Considerând  $\rho(\%) \nearrow \Rightarrow \varepsilon_{sc} \searrow$

$$\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$$

(de exemplu  $\rho_1 = 1\%$ ;  $\rho_2 = 2\%$ ;  $\rho_3 = 3\%$ )



$$\varepsilon_{sc} = \frac{\varepsilon_{cs}}{1 + \rho \cdot n}$$

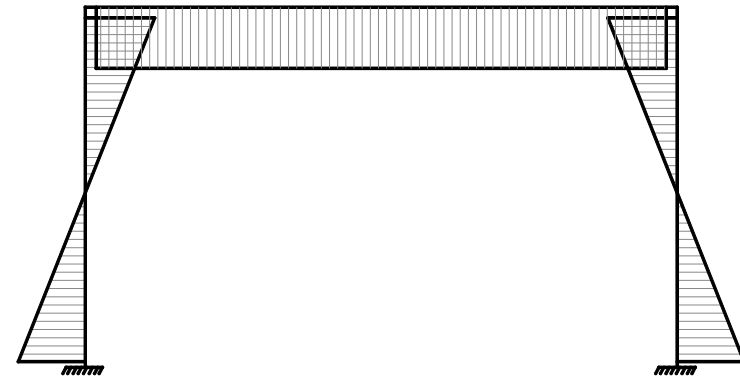
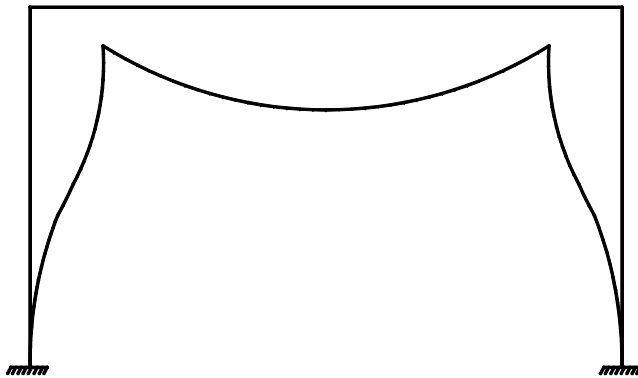


## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

**Contrația betonului armat**

În structuri nedeterminate contrația induce eforturi.

Aceste eforturi pot fi asimilate cu o variație de temperatură (aprox. - 15°C).





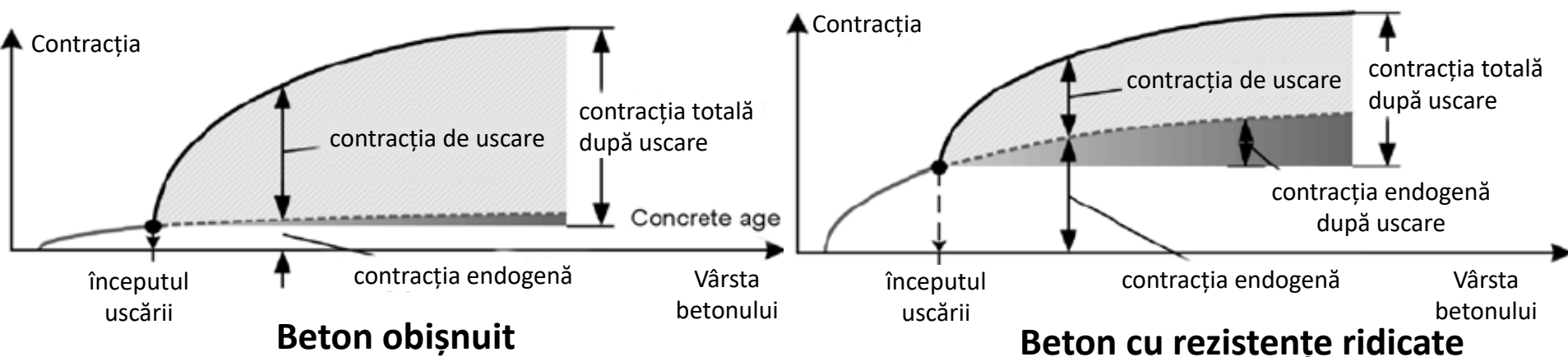
## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Contrația betonului armat - Cf. 1992-1-1:2004 (EC2)

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

unde

- $\varepsilon_{cs}$  - deformația totală de contracție  
 $\varepsilon_{cd}$  - deformația datorată contracției de uscare  
 $\varepsilon_{ca}$  - deformația datorată contracției endogene



(Sakata &amp; Shimomura 2004)

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Contrația betonului armat - Cf. 1992-1-1:2004 (EC2)

Tabelul 3.2 - Valori nominale ale contrației de uscare neîmpiedicate  $\varepsilon_{cd,0}$  (în ‰) pentru beton cu cimenturi CEM de clasă N

$$\varepsilon_{CS} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

$$\varepsilon_{CS,\infty} = k_h \cdot \varepsilon_{cd,0}$$

$f_{ck}/f_{ck,cube}$ (MPa)	Umiditate Relativă (în %)					
	20	40	60	80	90	100
20/25	0,62	0,58	0,49	0,30	0,17	0,00
40/50	0,48	0,46	0,38	0,24	0,13	0,00
60/75	0,38	0,36	0,30	0,19	0,10	0,00
80/95	0,30	0,28	0,24	0,15	0,08	0,00
90/105	0,27	0,25	0,21	0,13	0,07	0,00

$k_h$  = coeficient func.  $h_0$

$h_0 = 2A_c/u$  (raza medie a secț.)

$A_c$  = aria secț. de beton

$u$  = perimetrul expuse la uscare

$h_0$	$k_h$
100	1.0
200	0.85
300	0.75
$\geq 500$	0.70

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$$

→ Curgerea lentă depinde de **umiditatea** mediului, de **dimensiunile** elementului, de **compoziția** betonului + de **vârsta** betonului în momentul primei încărcări și de **durata și intensitatea** încărcării.

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

**Contrația betonului armat - Cf. 1992-1-1:2004 (EC2)**

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0}$$

uscare în timp

→ evoluția contracției de

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty)$$

→ evoluția contracției endogene în timp

→ Curgerea lentă depinde de **umiditatea** mediului, de **dimensiunile** elementului, de **compoziția** betonului + de **vârsta** betonului în momentul primei încărcări și de **durata și intensitatea** încărcării.

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

**Deformațiile betonului din variațiile de temperatură**

Efectul variațiilor de temperatură asupra structurilor se poate asimila cu cea a deformațiilor impuse.

Se iau în considerare variațiile de temperatură:

- mediului ambiant
- climatice
- tehnologice

$$\pm \Delta l = l \cdot \varepsilon_{\Delta t} = l \cdot \Delta t \cdot \alpha$$

Unde

$l$

- lungimea inițială a elementului;

$\Delta t$

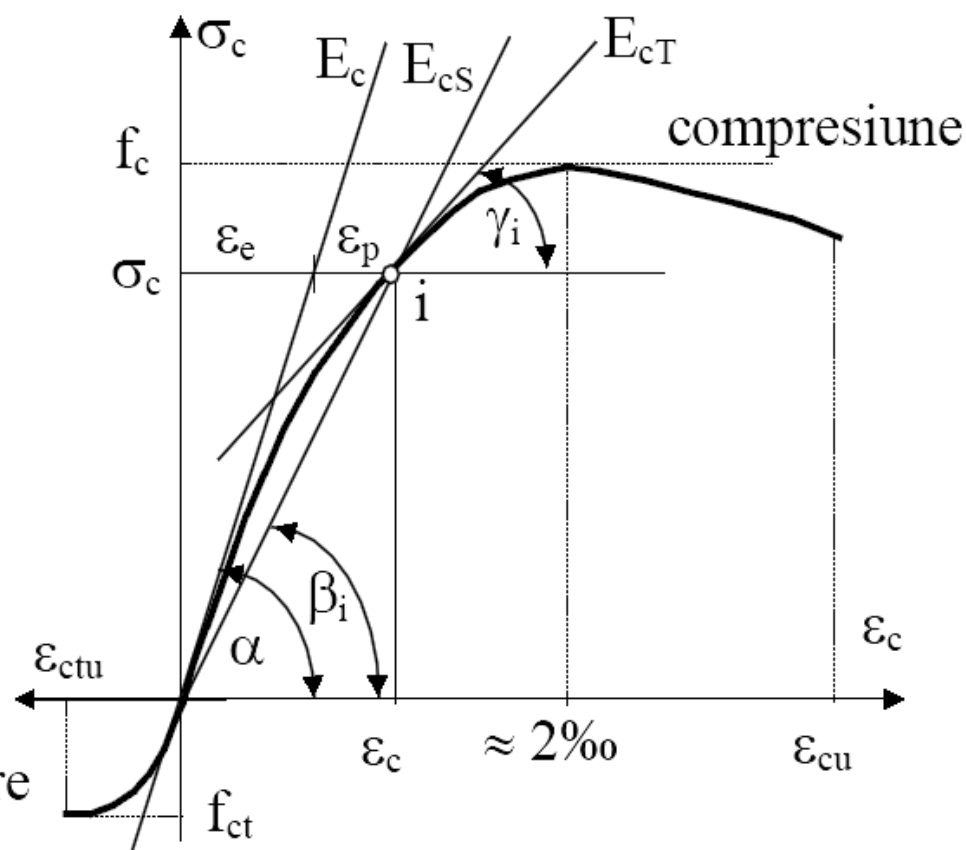
- gradientul de temperatură, în °C;

$\alpha = 10 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$

- coeficientul de dilatație termică a betonului

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

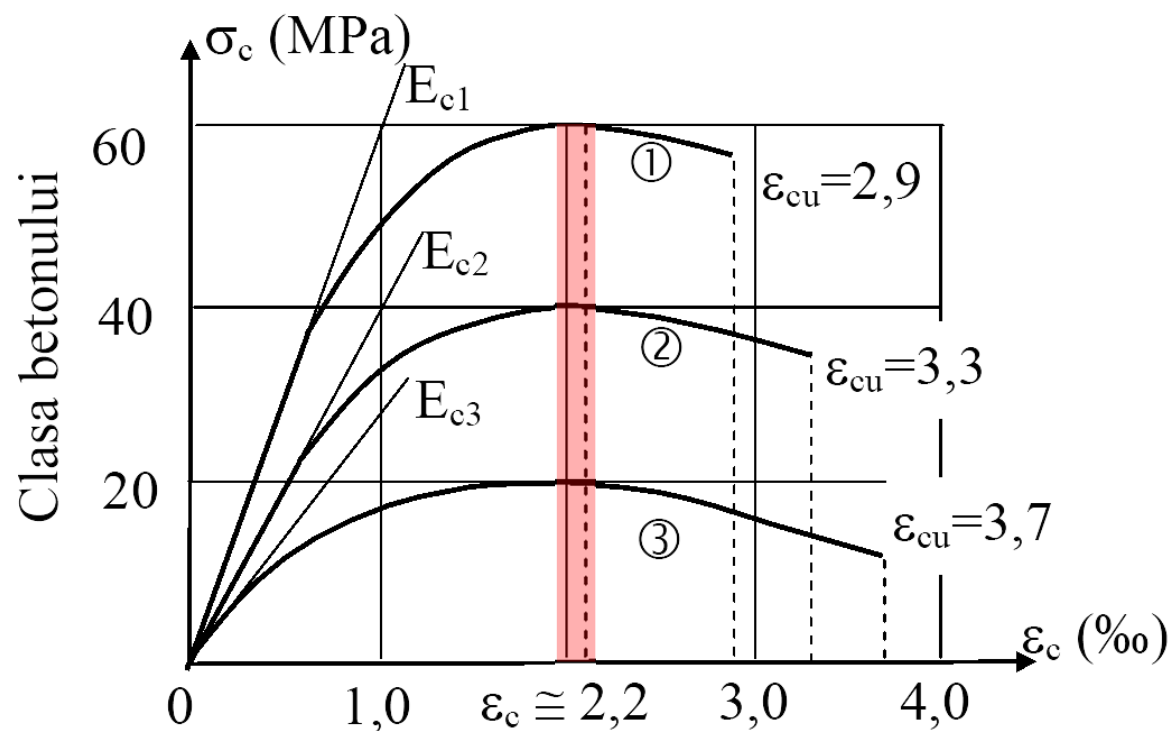
## Deformațiile betonului sub încărcări statice de scurtă durată

*Curba caracteristică a betonului solicitat axial de încărcări de scurtă durată*

$\epsilon_e$  - def. specifică elastică  
 $\epsilon_p$  - def. specifică plastică  
 $E_c = \sigma_c / \epsilon_e$  - modul de elasticitate

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

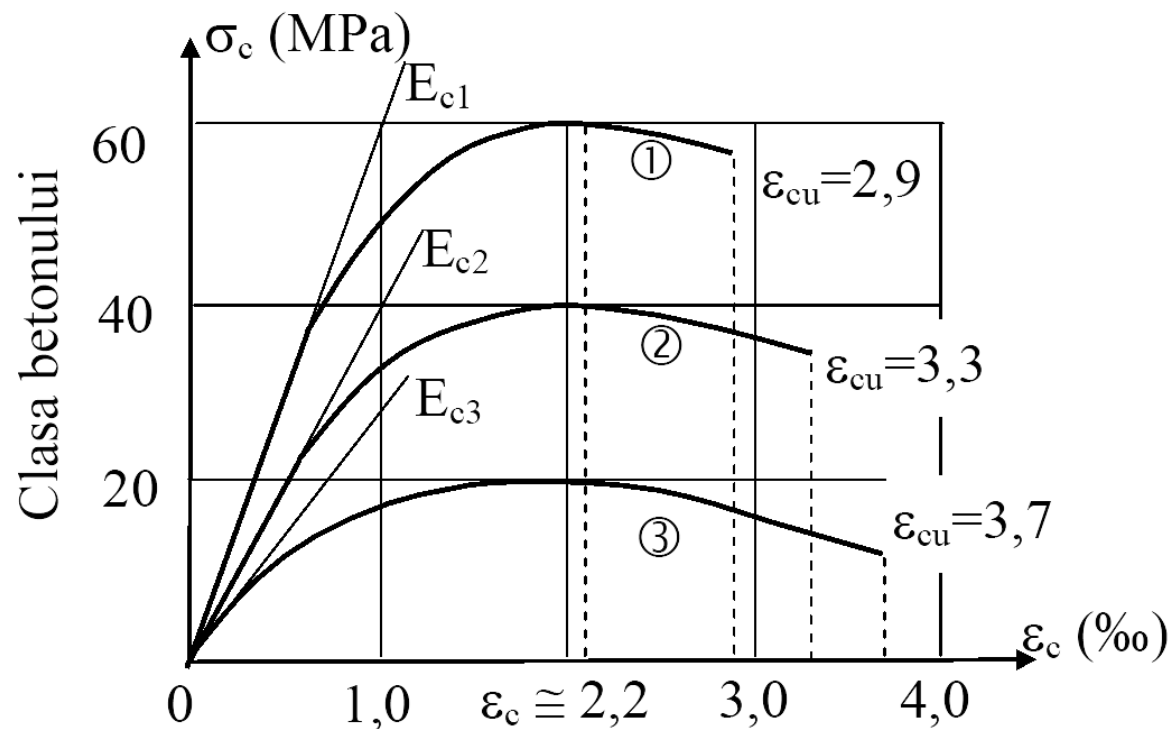
## Deformațiile betonului sub încărcări statice de scurtă durată

*Influența calității betonului asupra formei curbei caracteristice*

- deformația corespunzătoare rezistenței betonului la compresiune este practic aceeași indiferent de calitatea betonului ( $\approx 2... 2,2\%$ )

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

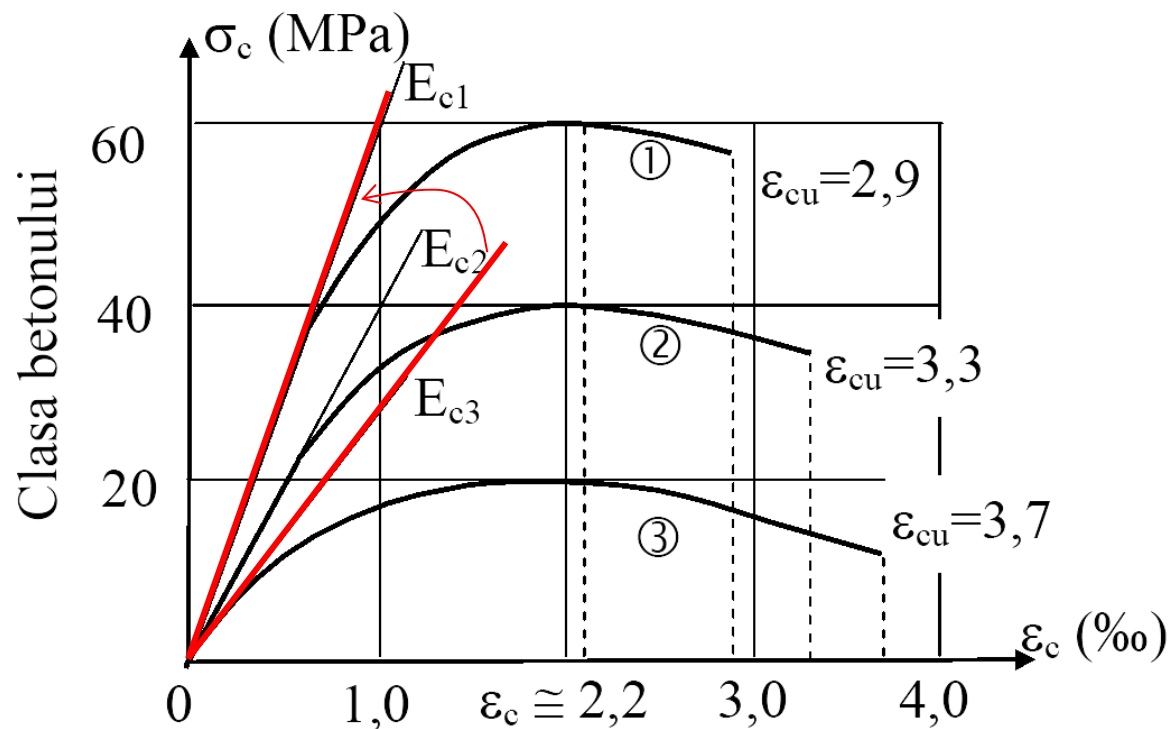
## Deformațiile betonului sub încărcări statice de scurtă durată

*Influența calității betonului asupra formei curbei caracteristice*

- deformația specifică ultimă scade dacă clasa betonului crește;

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Deformațiile betonului sub încărcări statice de scurtă durată

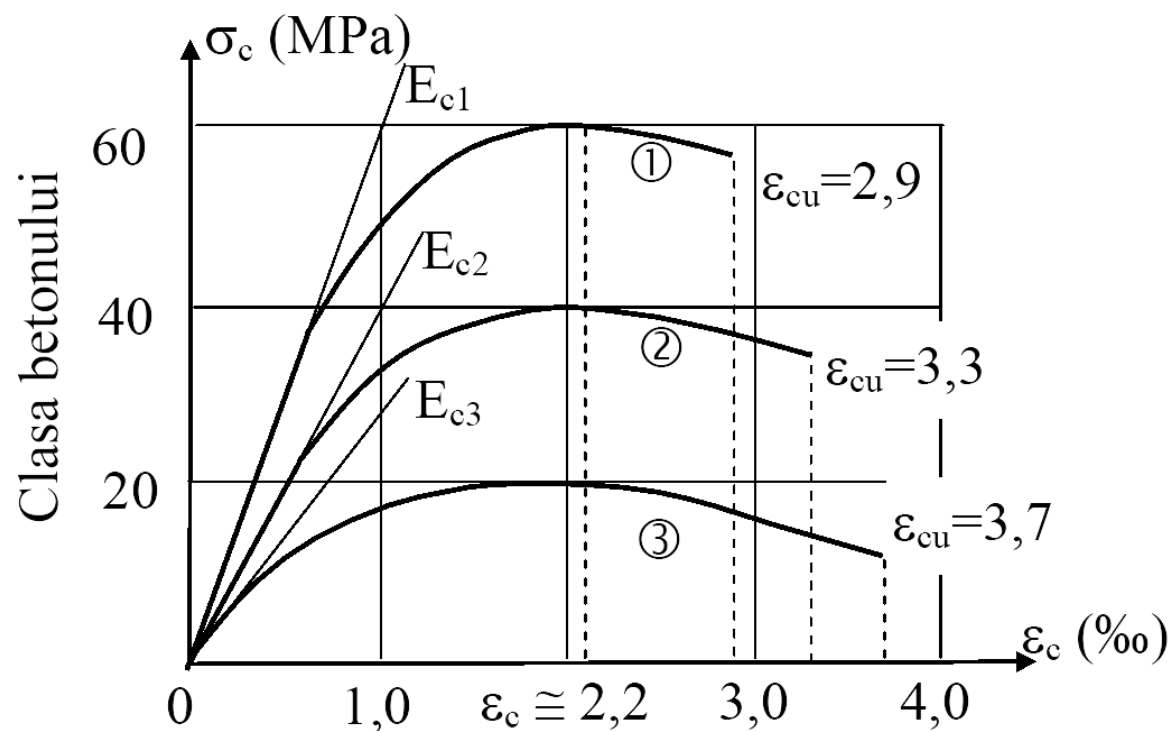
*Influența calității betonului asupra formei curbei caracteristice*

- modulul de elasticitate crește cu rezistența betonului.



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Deformațiile betonului sub încărcări statice de scurtă durată

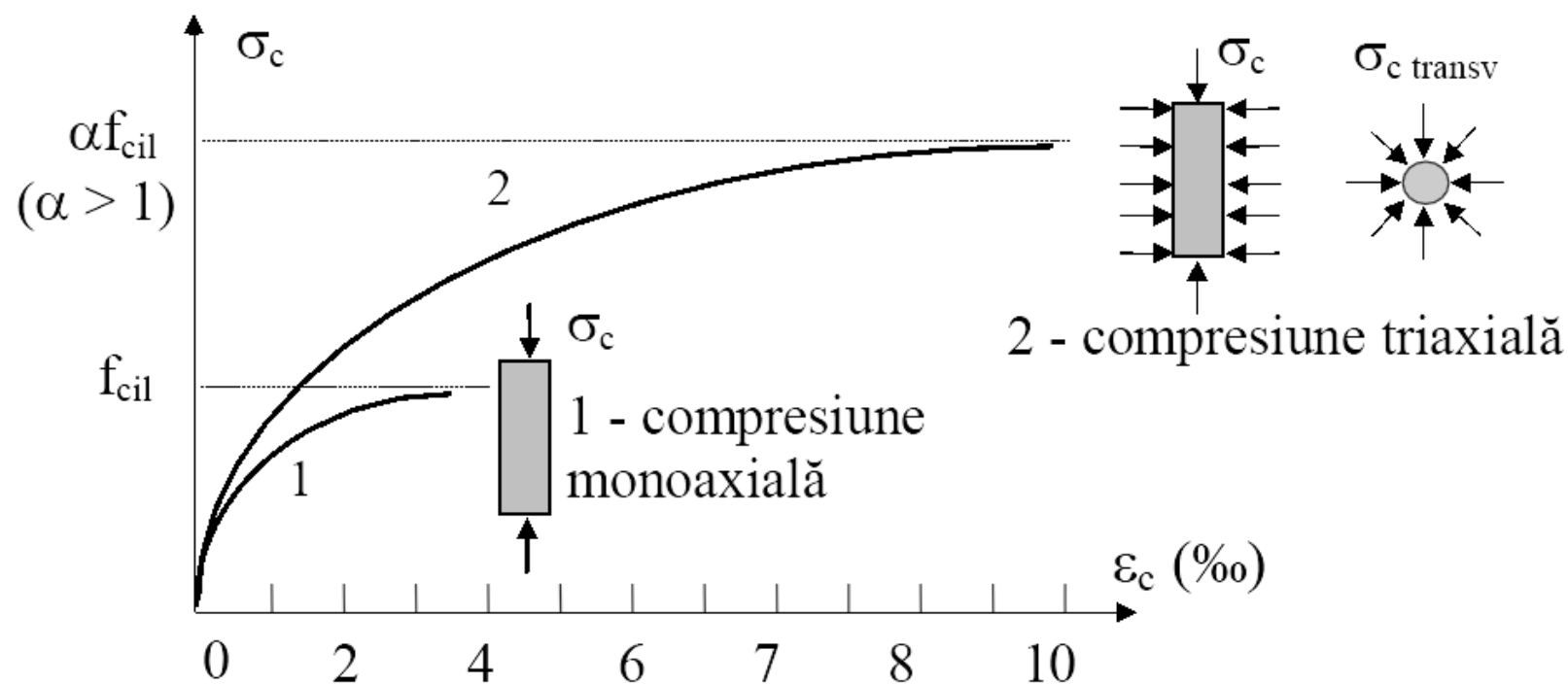
*Influența calității betonului asupra formei curbei caracteristice*

- forma curbei depinde și de viteza de încărcare → rezistențele betonului cresc, iar deformațiile specifice ultime scad cu cât încărcarea este aplicată cu viteză mai mare

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Deformațiile betonului sub încărcări statice de scurtă durată

Influența confinării betonului asupra deformației specifice ultime de compresiune



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Modulii de deformație ai betonului

## Modulul de elasticitate longitudinal

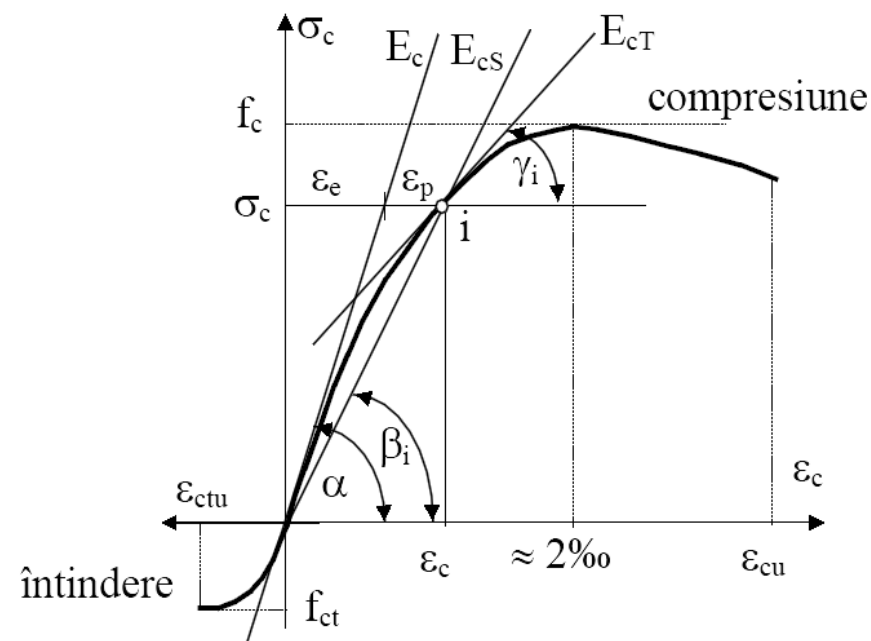
$$E_c = \operatorname{tg} \alpha = \sigma_c / \varepsilon_e$$

$$(f_c \nearrow \Rightarrow E_c \nearrow)$$

## Modulul de elasticitate transversal

$$G_c = \frac{E_c}{2(1 + \nu)} \approx 0.4E_c$$

unde  $\nu = 0.2$  coef. Poisson pt beton



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

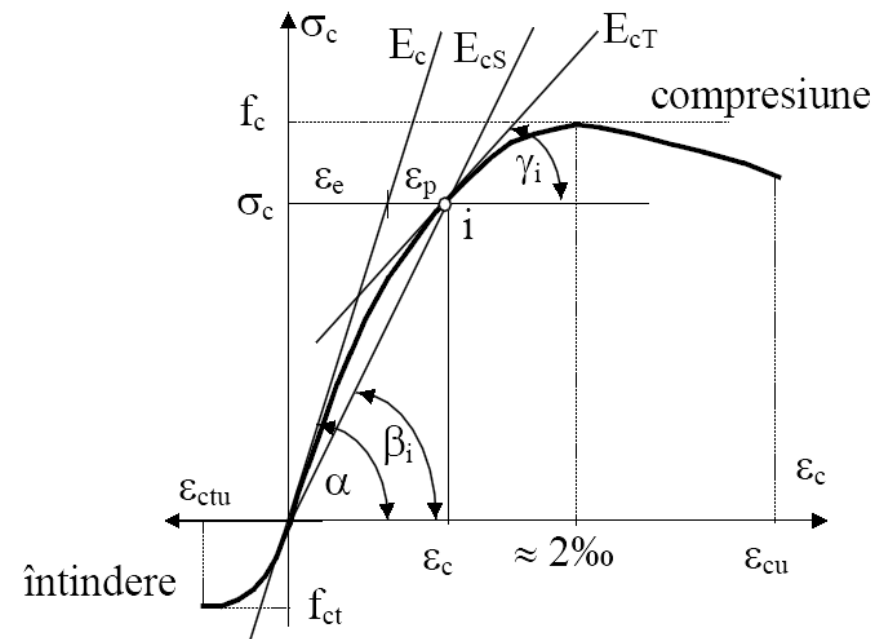
## Modulii de deformație ai betonului

## Modulul de elasticitate-plasticitate (modulul secant)

$$E_{cS} = \operatorname{tg}\beta = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_c} = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_e + \varepsilon_p} = \frac{\sigma_c}{1 + \varepsilon_p/\varepsilon_c}$$

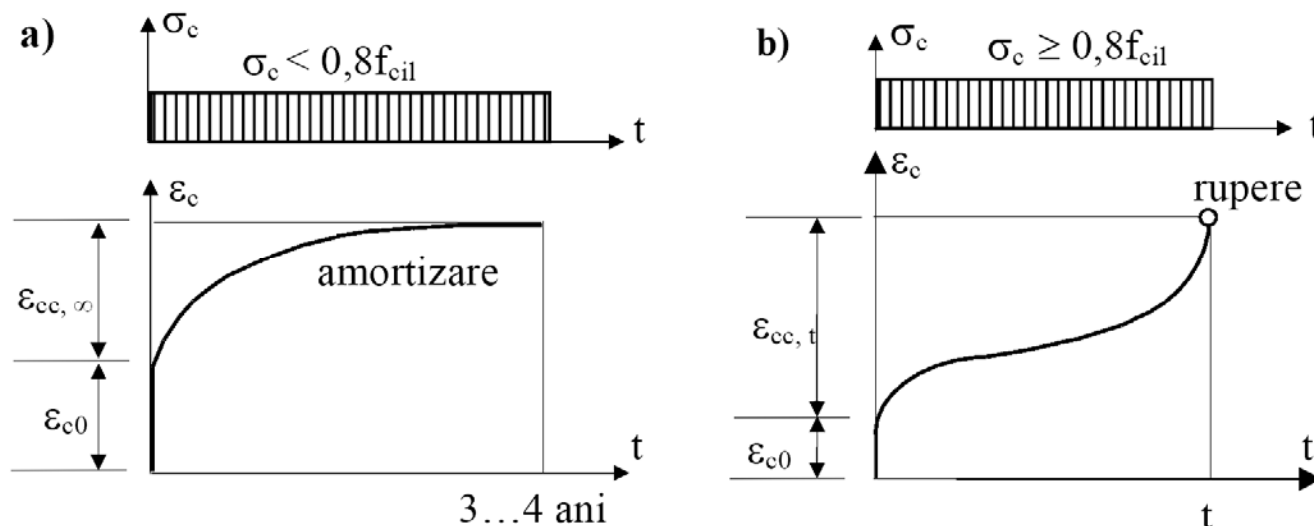
## Modulul tangent

$$E_{cT} = \operatorname{tg}\gamma = d\sigma_c/d\varepsilon_e$$



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Deformațiile betonului sub încărcări statice de lungă durată Curgerea lentă (fluaj) (Creep)



$\sigma_c \leq f_0 = (0,3 \dots 0,6)f_c \rightarrow$  curgere lentă liniară

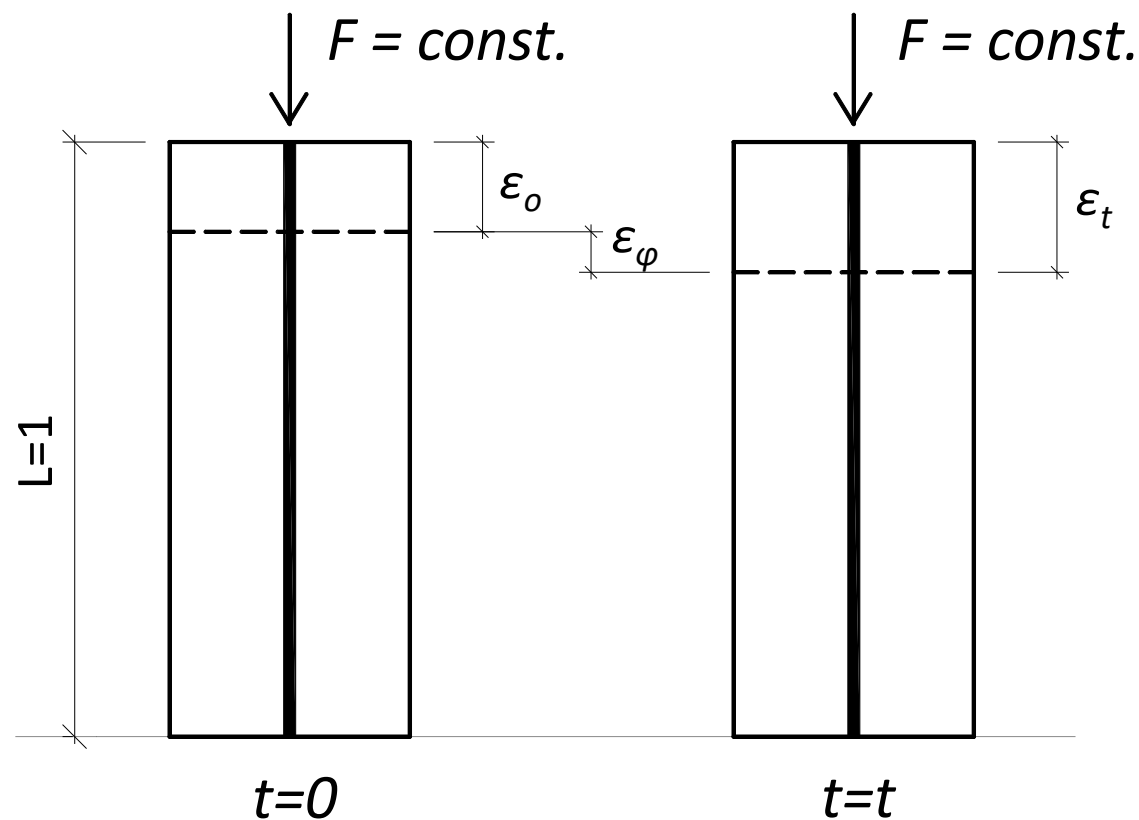
$\varepsilon_{cc, t} = \varphi(t, t_0) \varepsilon_e$  - deformația de curgere lentă la timpul  $t$

$\varphi(t, t_0)$  - coeficientul deformației de curgere lentă la timpul  $t$

$E_{c, eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)}$  - modulul deformației de durată

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

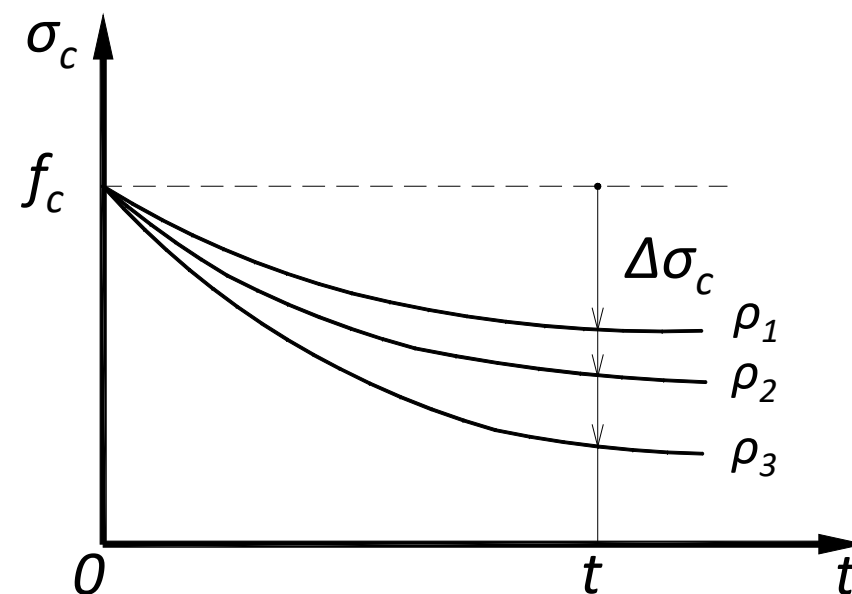
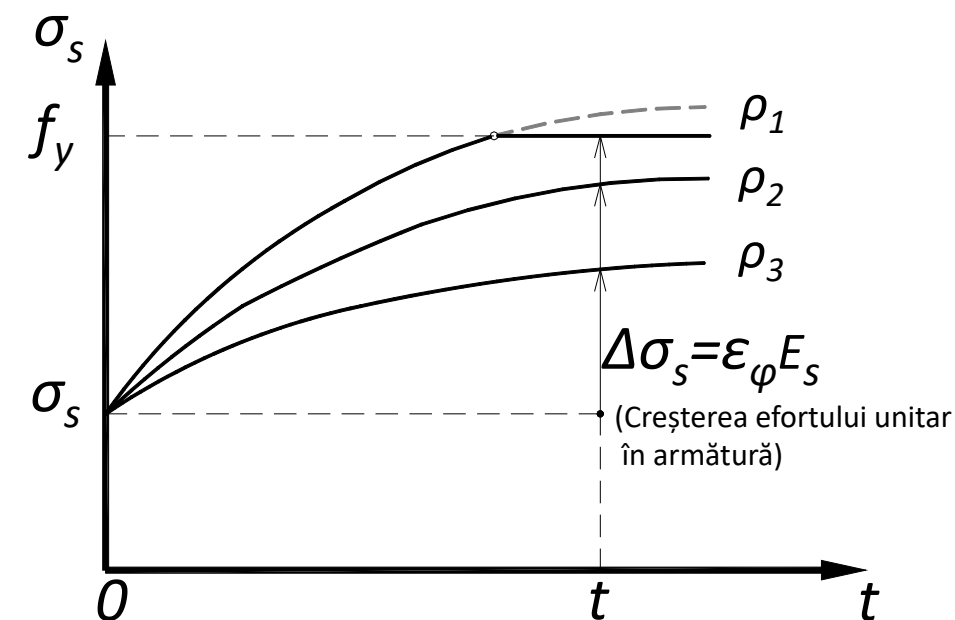
## Deformațiile betonului sub încărcări statice de lungă durată Curgerea lentă (fluaj) (Creep)



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

# Deformațiile betonului armat sub încărcări statice de lungă durată Curgerea lentă (fluaj) (Creep)

$$\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$$



$\sigma_s \nearrow \rightarrow \sigma_c \searrow$   
 $\rho \nearrow \rightarrow \varepsilon_\varphi \searrow$   
 $\rho \nearrow \rightarrow \text{transfer de forță} \nearrow$

$\rightarrow \Delta\sigma_s \searrow$   
 $\rightarrow \Delta\sigma_c \nearrow \rightarrow \sigma_c \searrow$

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

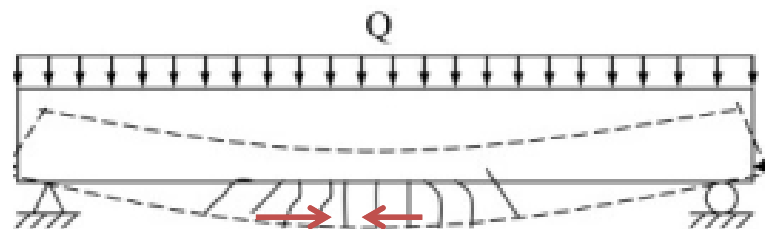
## Deformațiile betonului armat sub încărcări statice de lungă durată Curgerea lentă (fluaj) (Creep)

- Curgerea lentă și contracția în elemente **comprimate** acționează în aceeași direcție.

$$\sigma_s \nearrow \quad \rightarrow \quad \sigma_c \searrow$$

- În cazul elementelor **întinse** sau cu zone întinse acțiunea curgerii lente este favorabilă și duc la reducerea riscului de fisurare a betonului.

$$\sigma_s \nearrow \quad \rightarrow \quad \sigma_{ct} \searrow$$



- Armătura transversală nu influențează deformația din curgerea lentă, deoarece aceasta are caracter linear.

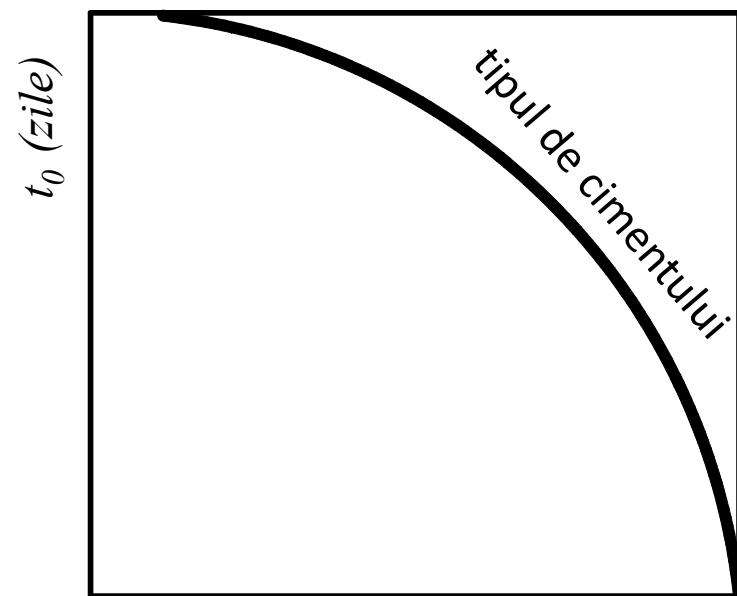
- Curgerea lentă are influență importantă în cazul săgeților și a flambajelor.



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

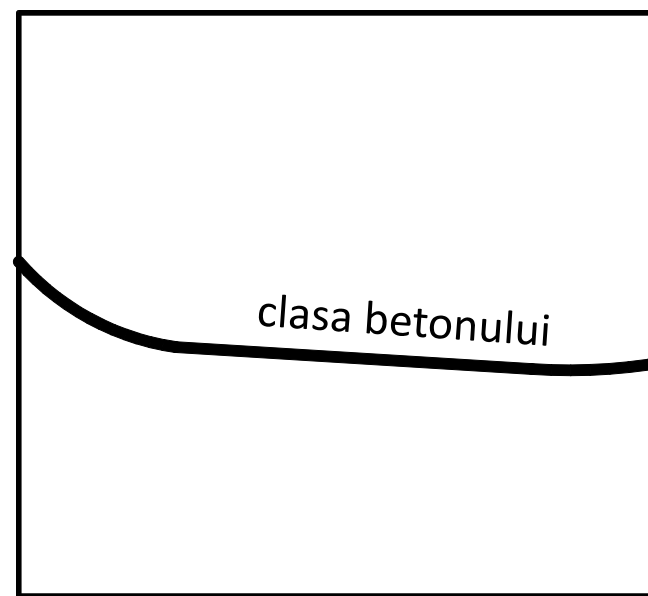
## Deformațiile betonului sub încărcări statice de lungă durată

### Curgerea lentă (fluaj) (Creep) – SR EN 1991-1-1



$$\varphi(\infty, t_0)$$

- Alegerea condițiilor de mediu (RH=50% interior; RH=80% exterior)
- Alegerea tipului de ciment (N, R, S)



$$h_0 = 2A_c / u$$

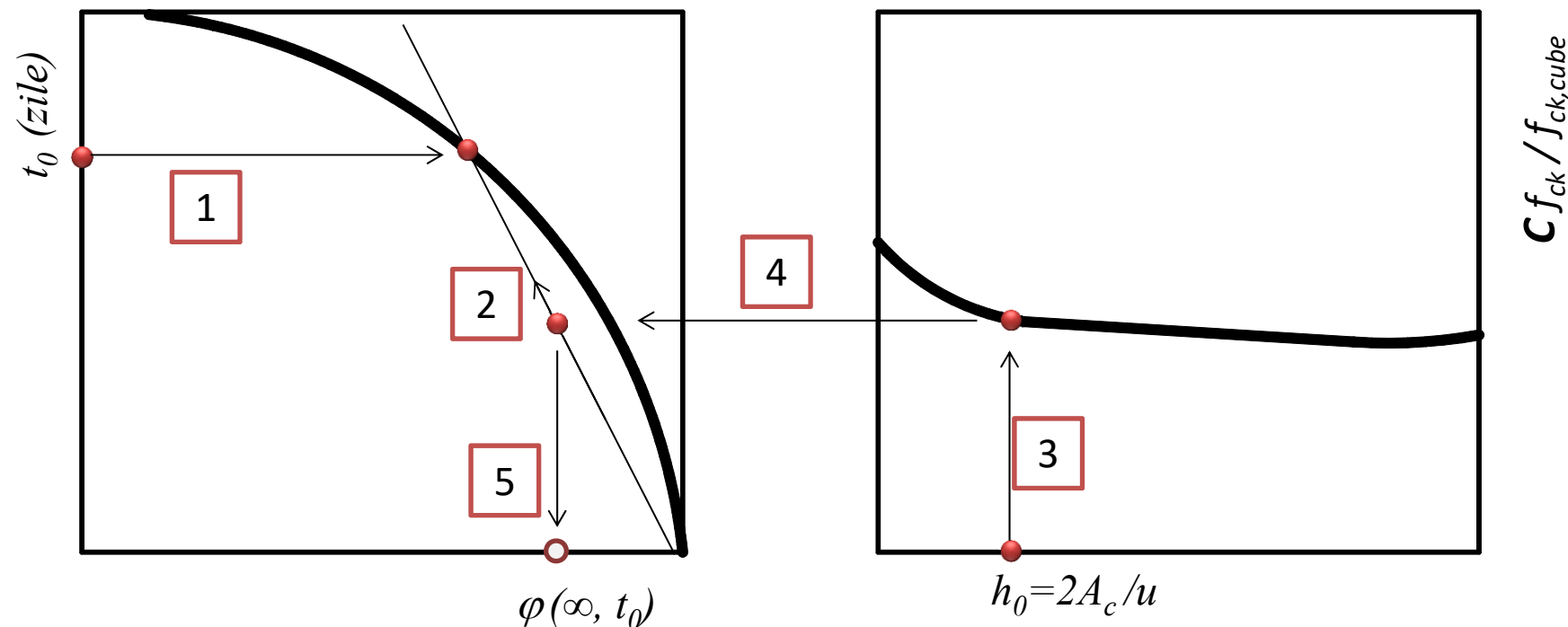
- Alegerea clasei de beton
- Calculul coef.  $h_0$

→ Curgerea lentă depinde de **umiditatea** mediului, de **dimensiunile** elementului, de **compoziția** betonului + de **vârsta** betonului în momentul primei încărcări și de **durata** și **intensitatea** încărcării.

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Deformațiile betonului sub încărcări statice de lungă durată

### Curgerea lentă (fluaj) (Creep) – SR EN 1991-1-1



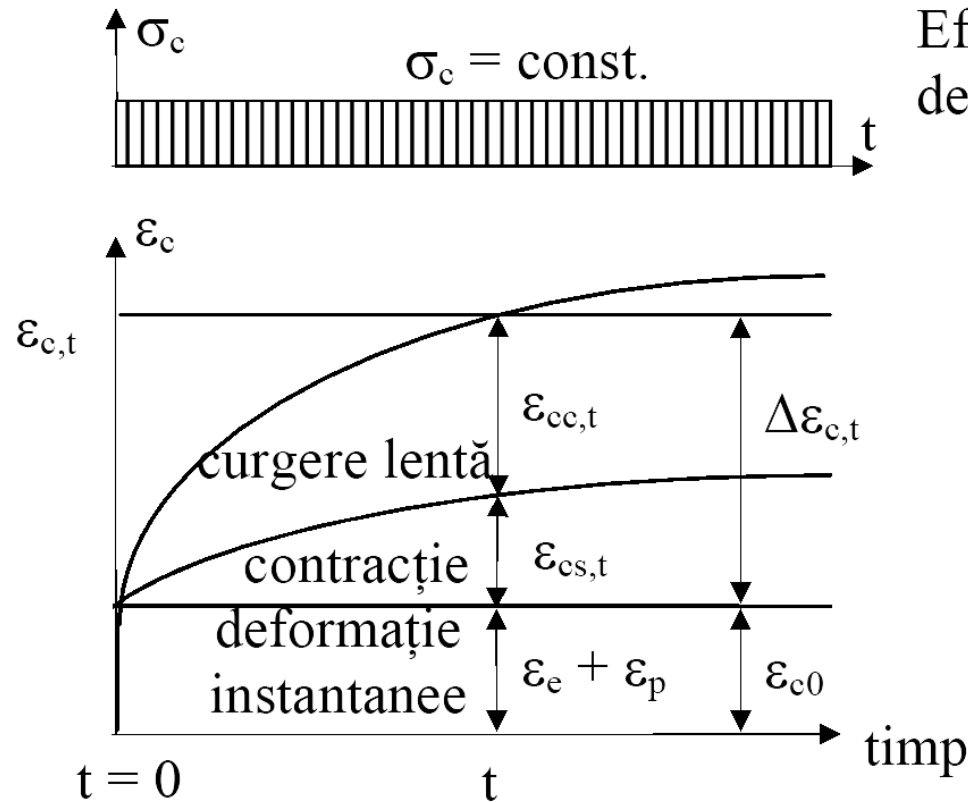
1.  $t_0$  - vârsta betonului la prima încărcare
2. Secantă

3.  $h_0$  [mm]

→ Curgerea lentă depinde de **umiditatea** mediului, de **dimensiunile** elementului, de **compoziția** betonului + de **vârsta** betonului în momentul primei încărcări și de **durata** și **intensitatea** încărcării.

## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Deformațiile betonului în timp - Deformația totală a betonului

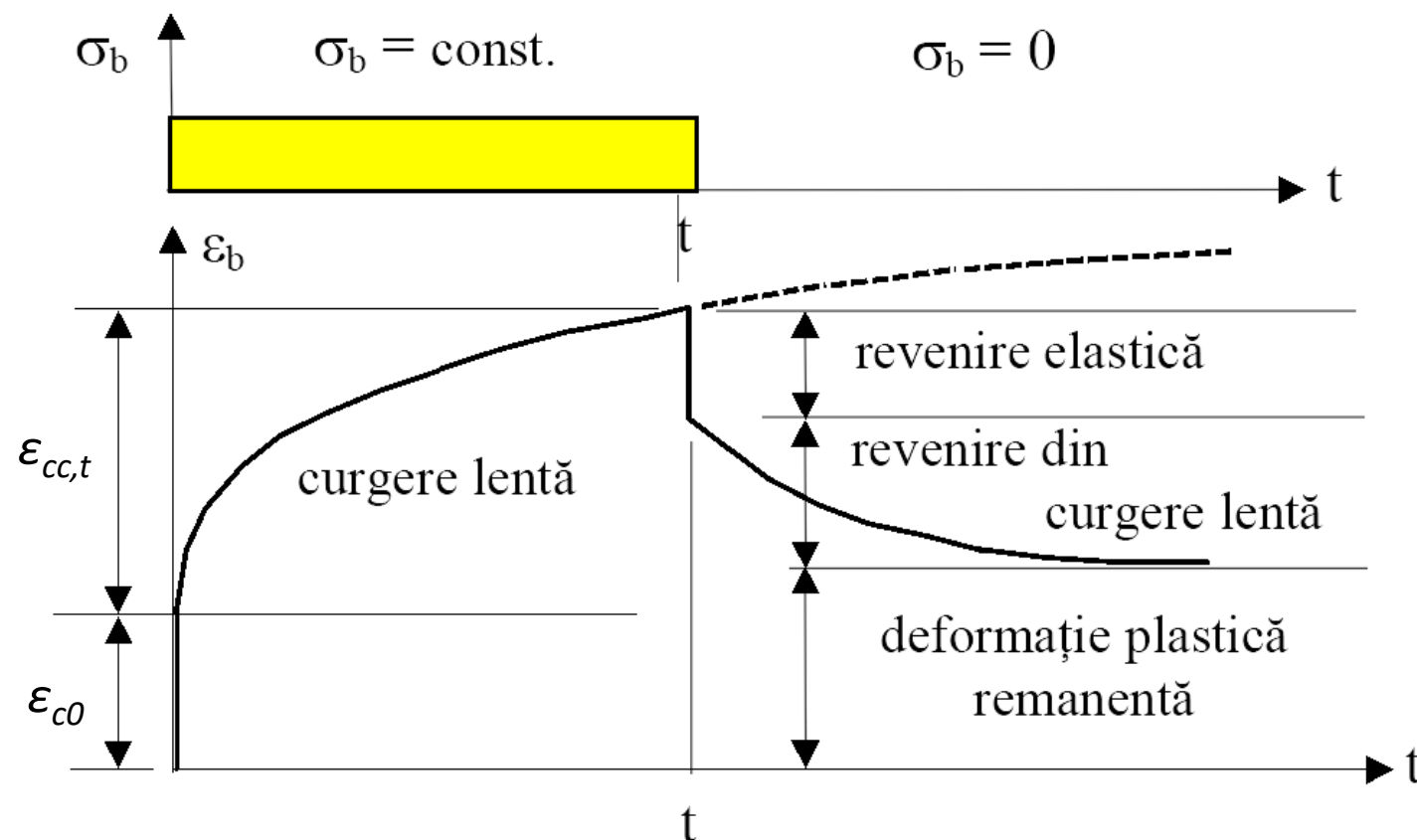


Efect încărcare  
de durată

$$\epsilon_{c,\text{total}} = \underbrace{\epsilon_{c0}}_{\epsilon_e + \epsilon_p} + \underbrace{\Delta \epsilon_{c,t}}_{\epsilon_{cs,t} + \epsilon_{cc,t}}$$

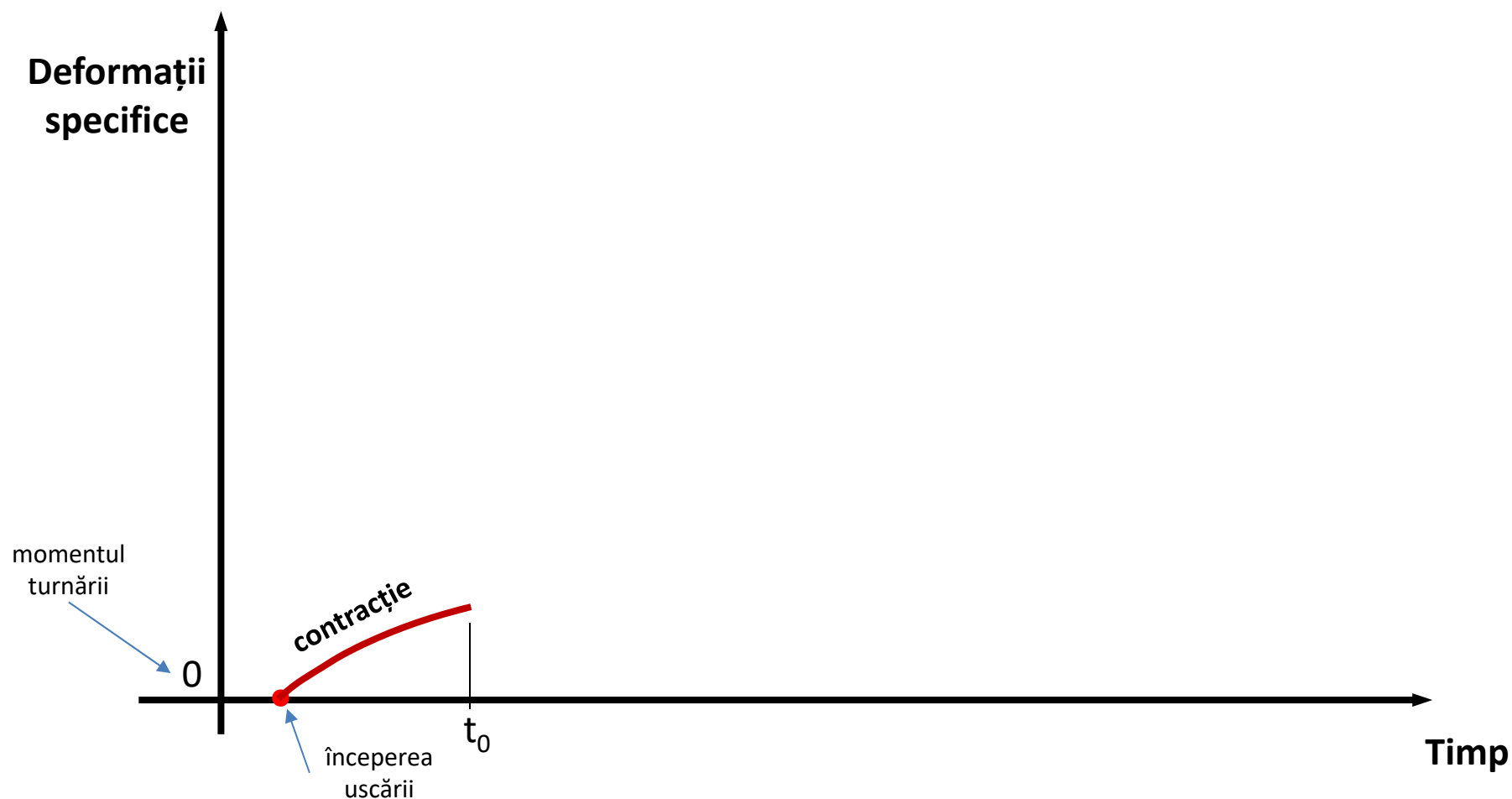
## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

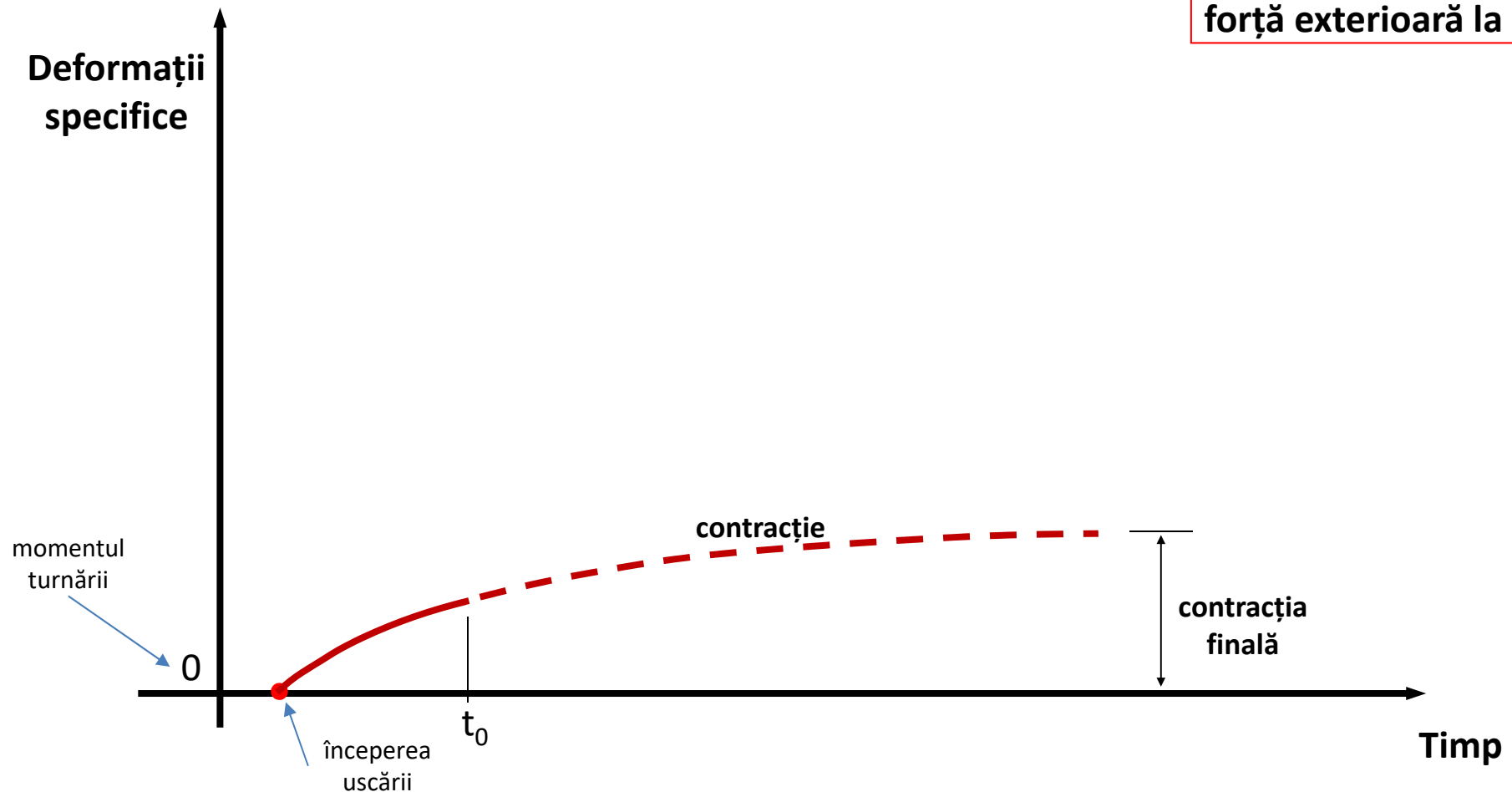
## Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă

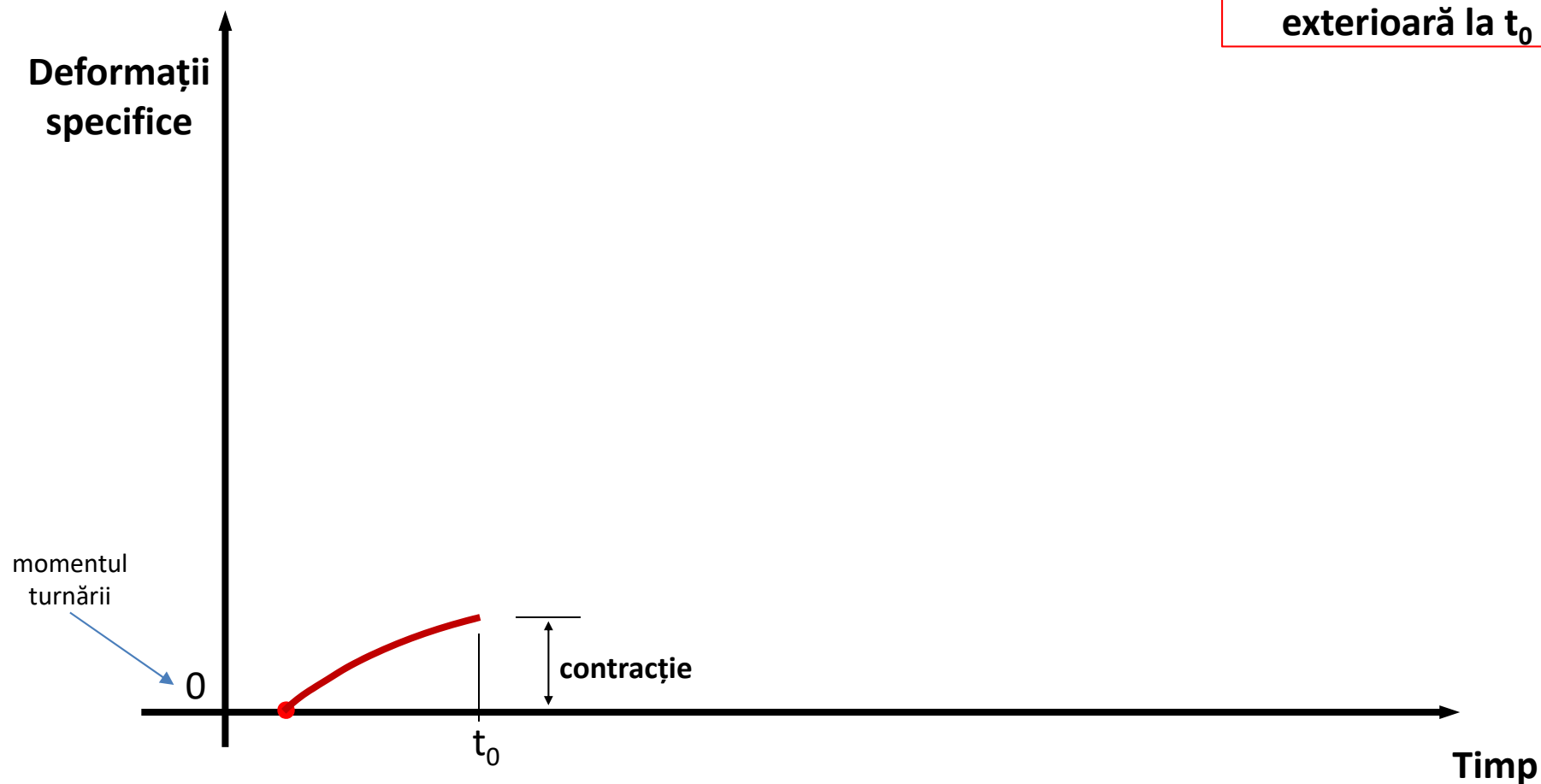
dacă nu intervine o  
forță exterioară la  $t_0$



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă

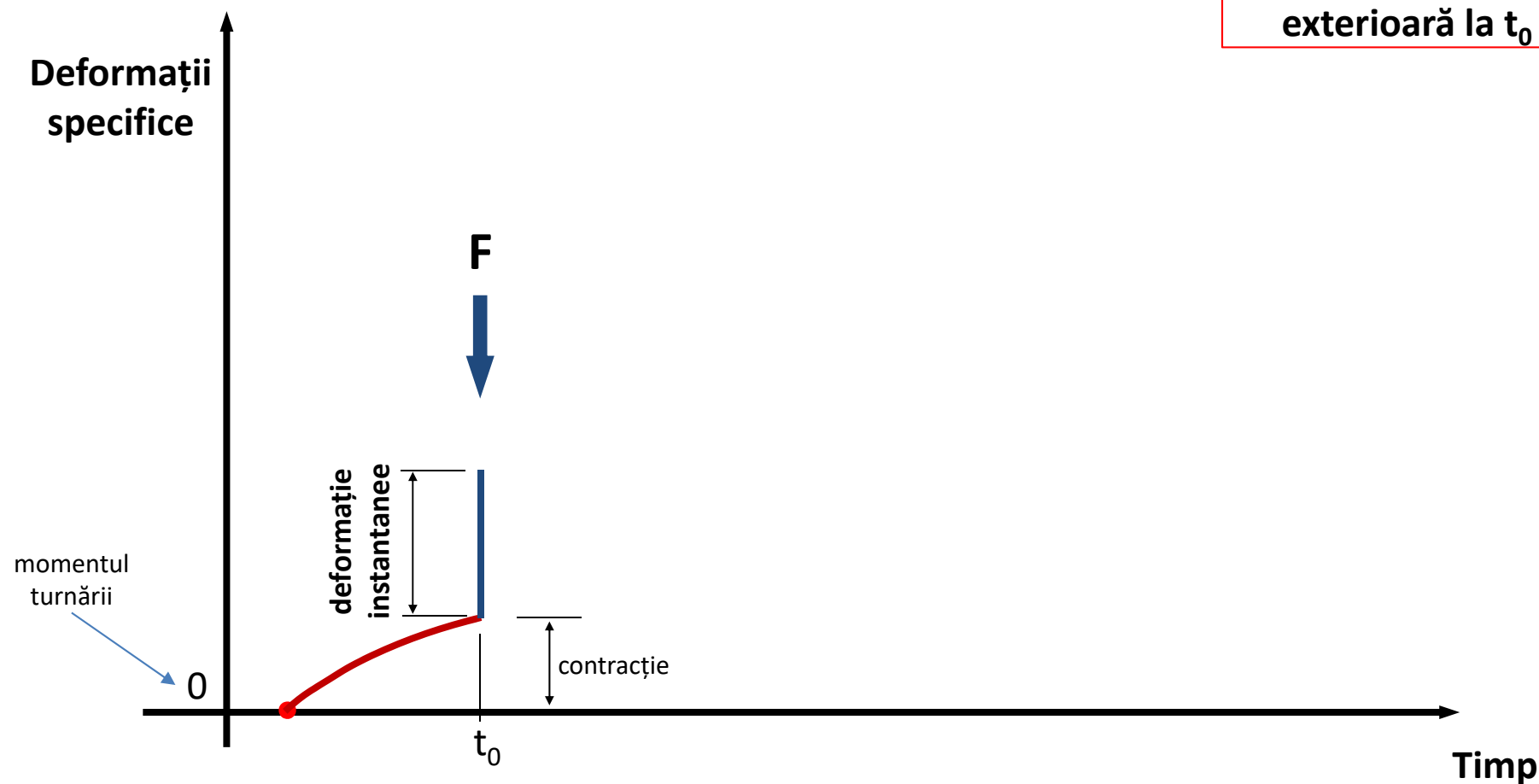
dacă **intervine** o forță  
exterioară la  $t_0$



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă

dacă **intervine** o forță  
exterioară la  $t_0$

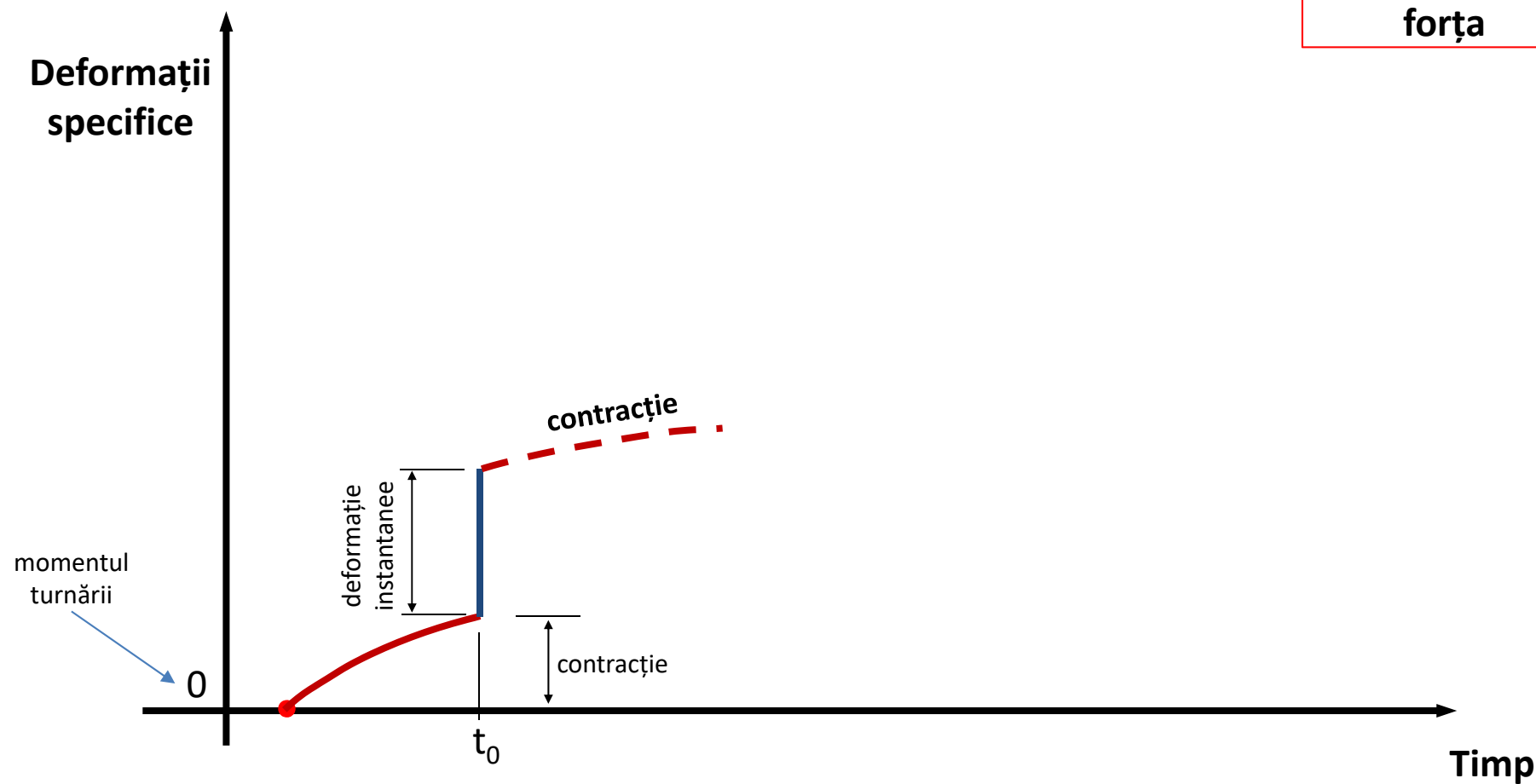




## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă

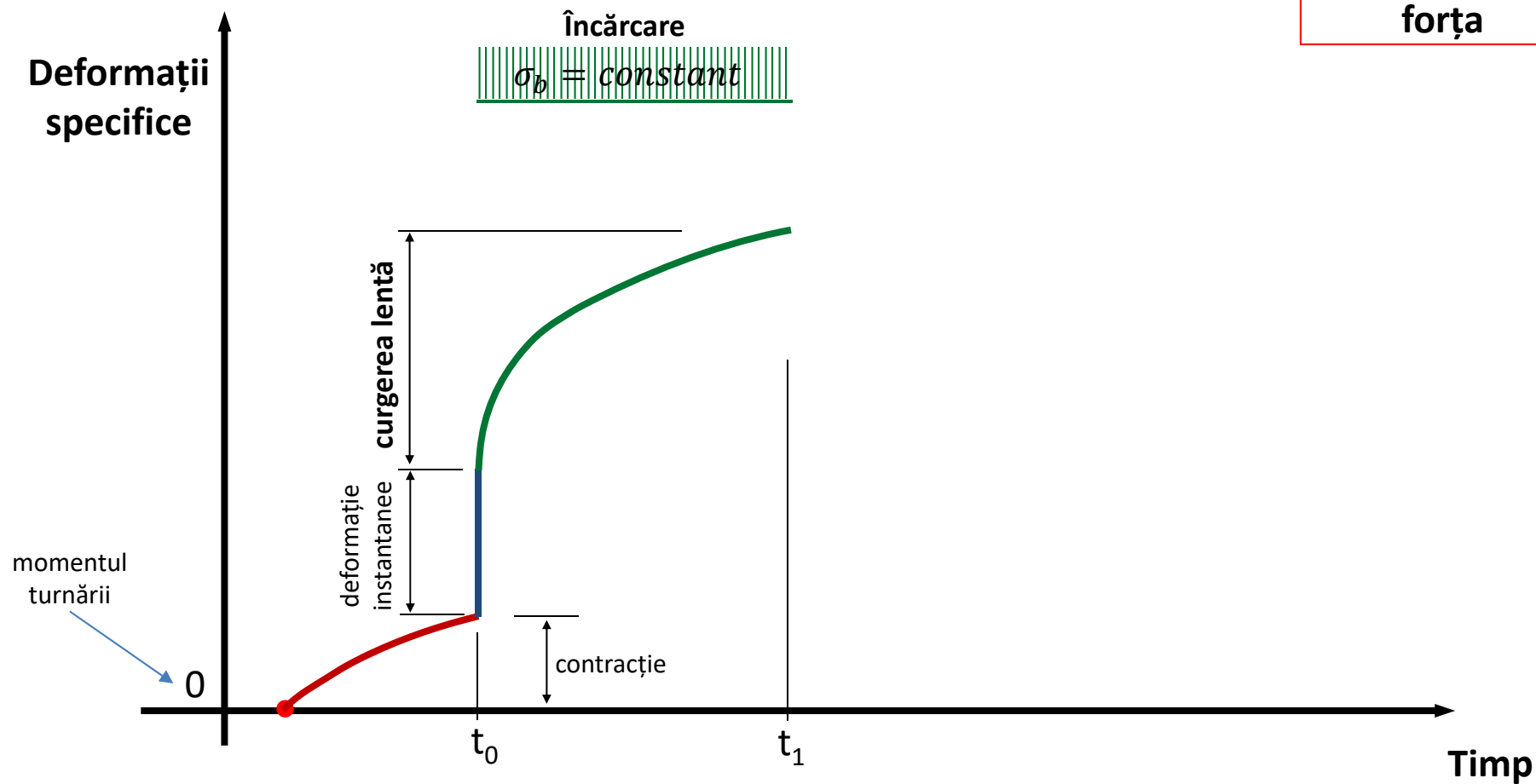
dacă dispare  
forța



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă

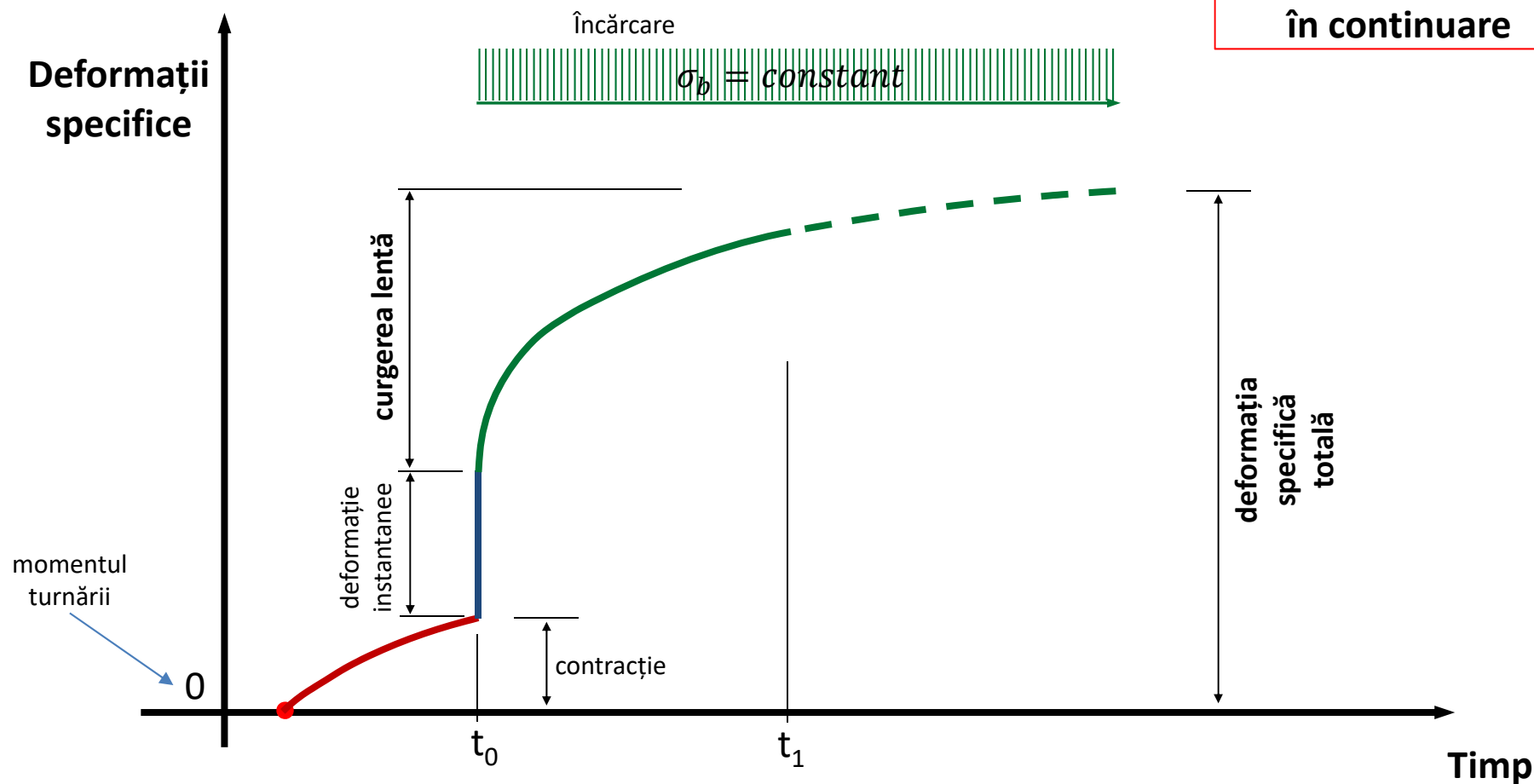
dacă se **menține**  
forța



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă

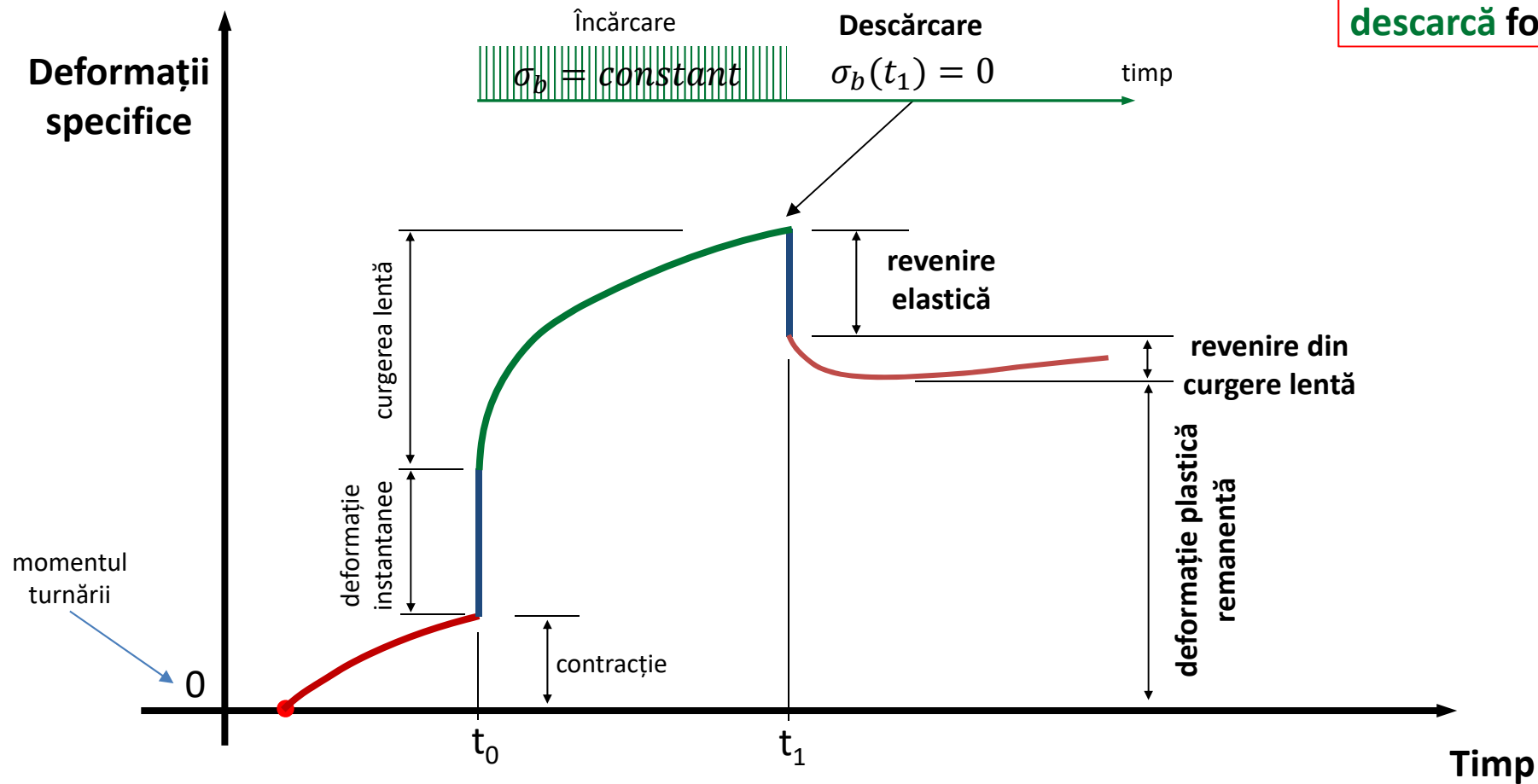
dacă se **menține** forța  
în continuare



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

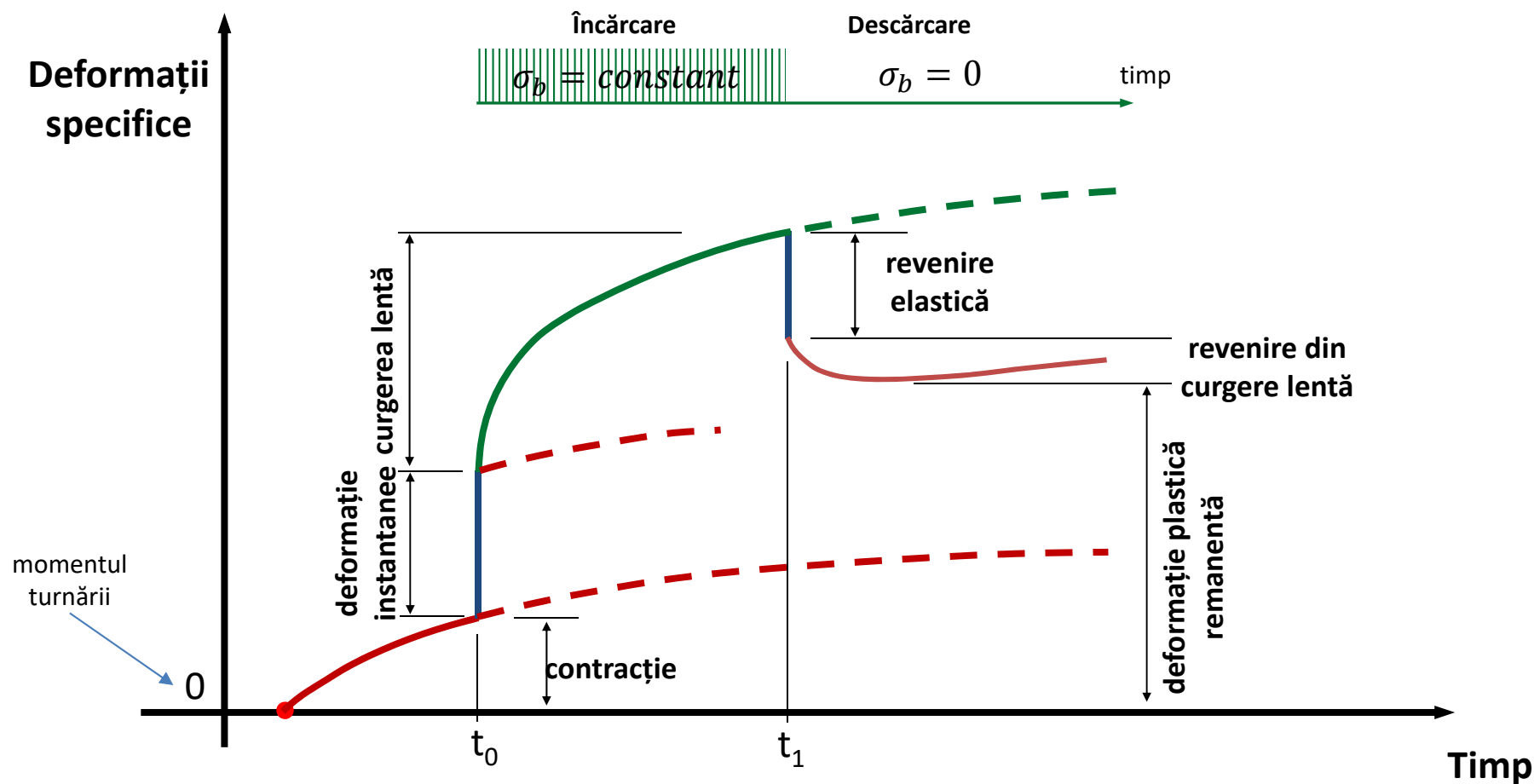
## Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă

dacă se  
descarcă forța



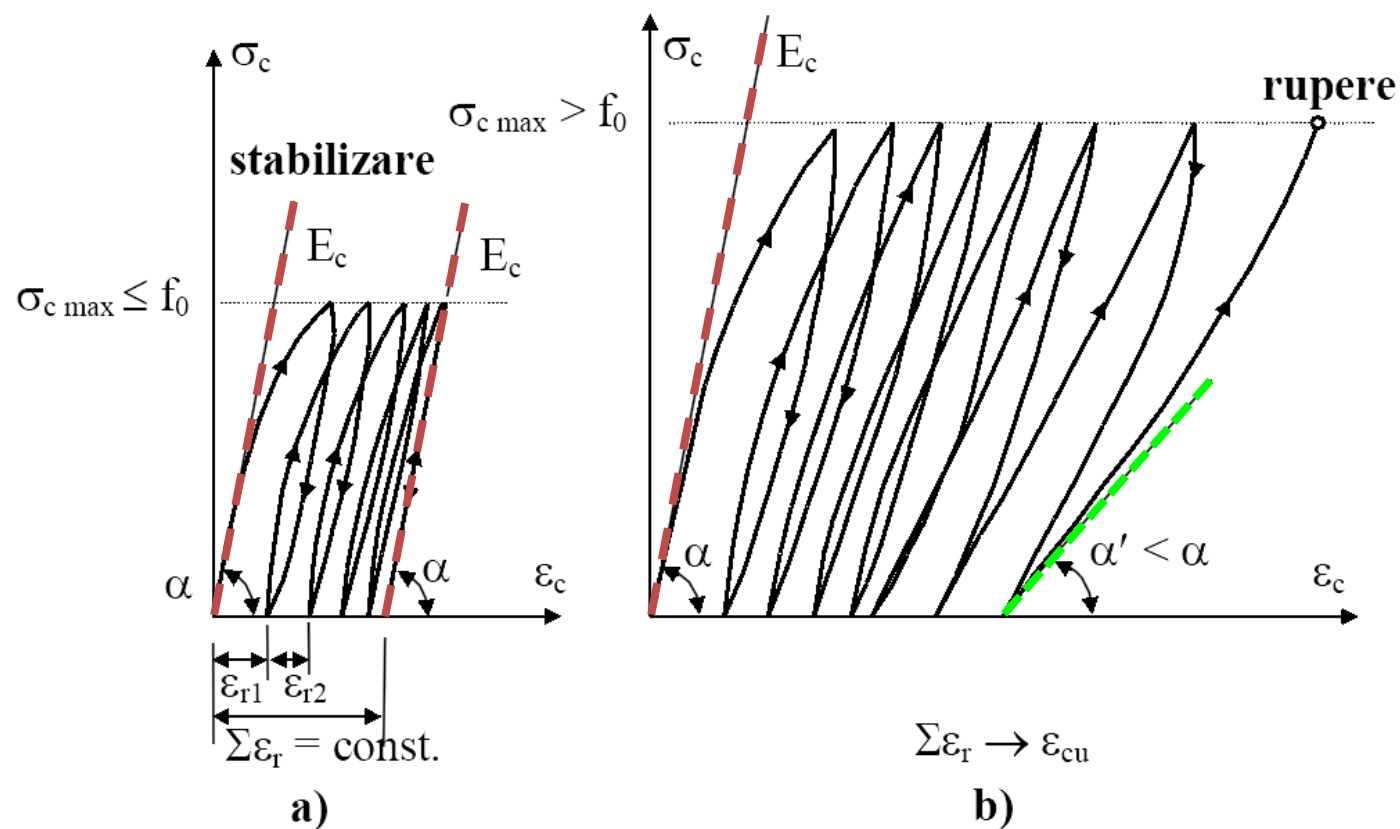
## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă



## Concrete deformations/ Deformațiile betonului

## Deformațiile betonului sub încărcări dinamice repetate



$\epsilon_r$  = deformații remanente (irreversibile)  $\rightarrow$  Rezistența la oboseală  $\approx f_0$

# MULȚUMESC FRUMOS PENTRU ATENȚIE!



**Dr.ing. NAGY-GYÖRGY Tamás**

*Profesor*

**E-mail:**

[tamas.nagy-gyorgy@upt.ro](mailto:tamas.nagy-gyorgy@upt.ro)

**Tel:**

+40 256 403 935

**Web:**

<http://www.ct.upt.ro/users/TamasNagyGyorgy/index.htm>

**Birou:**

A219

