

Dr.ing. NAGY-GYÖRGY Tamás

Profesor

E-mail:

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 REZISTENȚELE BETONULUI

2.4 DEFORMAȚIILE 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

Dr.ing. Nagy-György T. ©

Facultatea de Construcții



3

Agregatele provin din roci naturale de **carieră** sau **balastieră** sau sunt obținute pe cale **artificială** (granulit, zgură expandată).
Ele pot fi caracterizate prin granulozitate, sau sumar, prin raportul P/N (pietriș/nisip).

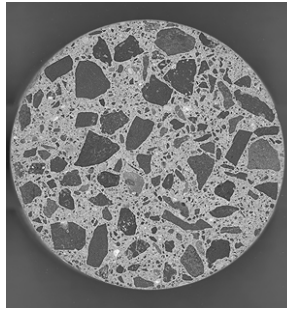
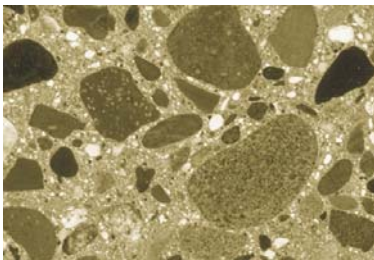
Structure of Concrete / Structura betonului



Agregat balastieră



Agregat carieră



Forma și dimensiunea maximă, precum și rugozitatea agregatelor pot influența în mod indirect rezistența betonului

- La agregatele mai mari sau la cele plate sau alungite crește tendința de a se forma un film de apă sub granula de agregat care slăbește zona de tranziție.
- **Agregatele rugoase aderă mai bine** la piatra de ciment și în consecință betoanele cu agregate concasate au o rezistență mai mare decât cele cu agregate de râu.

Structure of Concrete / Structura betonului

Betonul este un material mixt, un amestec de:

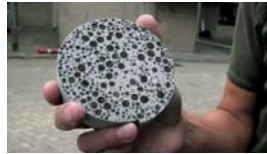
- agregate
 - naturale → balastieră sau carieră
 - artificiale → zgură/argilă expandată/...
 - reciclate



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 sulfat
	→ 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)

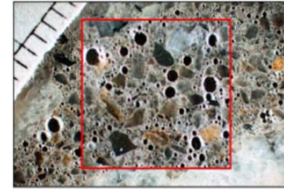
→ antrenori de aer (microporozitate)

→ acceleratori de priză (iarna)

→ întârziatori de priză (vara)

→ plastifianți (lucrabilitate)

→ pentru impermeabilizare (bazine)



porozitatea ↗ ascensiunea capilară ↘



Only concrete that is above the critical saturation is vulnerable to frost damage. Critical saturation occurs when more than 91.7% of pores in concrete is filled with water.

Water Expands 9% on freezing. If 91.7% of the pores in concrete are filled with water prior to freezing, then all of the pores will be completely filled upon freezing.

Water is forced ahead of the advancing freezing front. Internal hydrostatic pressure can disrupt the concrete.

Air bubbles provide space for water as freezing advances, relieving hydrostatic pressure in concrete.

As thawing occurs, water recedes from air bubbles leaving them empty to accommodate the next freeze cycle.

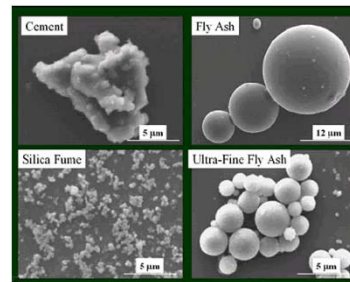
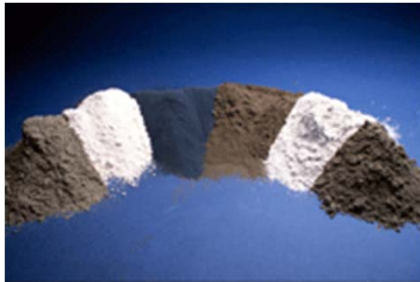
Structure of Concrete / Structura betonului

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)

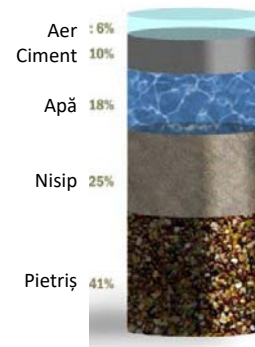
S
P
Q
V
W
T
L, LL
D



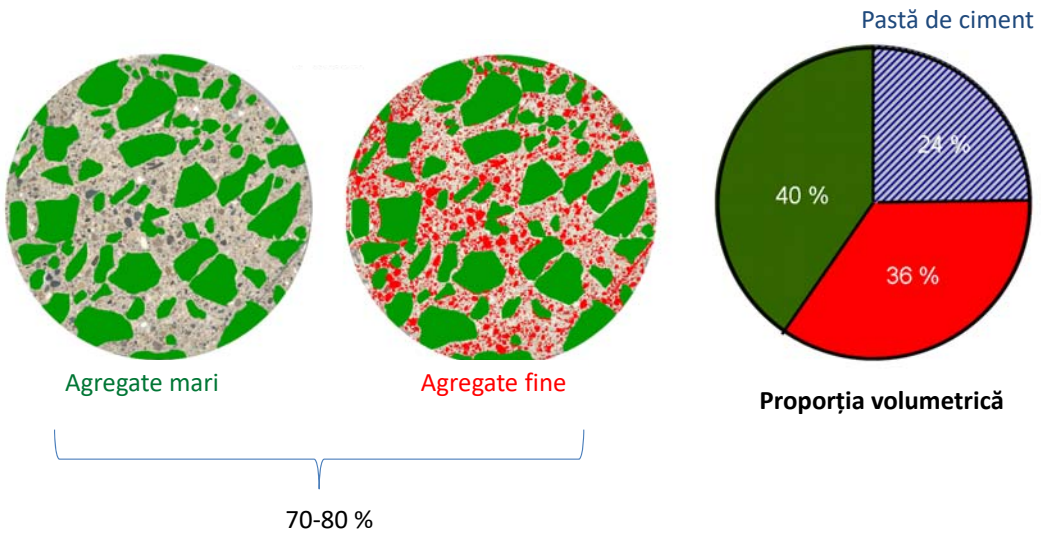
Structure of Concrete / Structura betonului

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



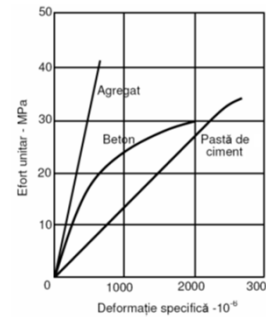
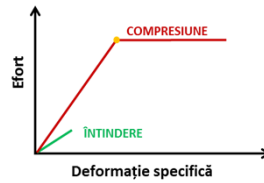
(Weiss J – Purdue University)

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)

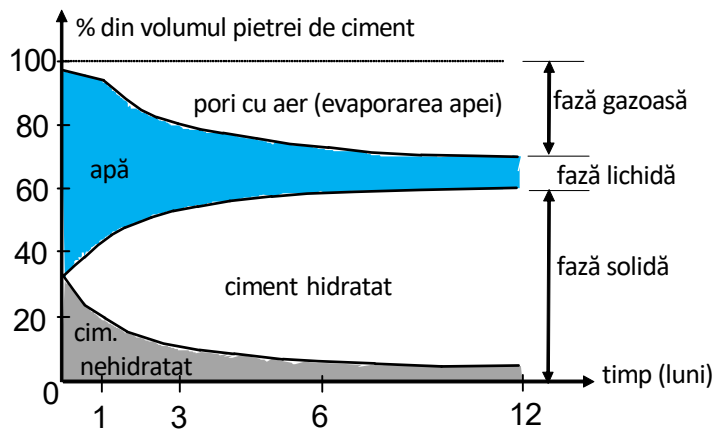
Piatra de ciment este un pseudosolid, format din:

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



Proporția dintre componentele pietrei de ciment **se modifică în timp, prin continuarea procesului de hidratare** și hidroliză, reducerea cantității de apă și creșterea volumului de goluri.

Apa conținută de beton are grade diferite de mobilitate; migrarea apei spre exterior crează rețele de **pori**.

Porii capilari sau porii interstițiali (interni) din piatra de ciment comunică între ei, respectiv cu exteriorul. Această structură face posibilă circulația apei în masa betonului, oricare ar fi vârsta acestuia.

În beton, pe lângă porii pietrei de ciment, amintiți anterior, se formează **goluri** de diferite dimensiuni, începând **de la prepararea betonului**, continuând **în timpul turnării**, apoi a întăririi lui. O parte a golurilor se formează în timpul turnării și **compactării betonului**, prin sedimentarea (tasarea) unor granule mai grele sub agregatele mari; apa liberă în exces se adună deasupra, permițând eliberarea aerului de amestecare sub formă de bule.

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** $\rho = 2300 \dots 2400 \text{ kg/m}^3$
- **BETON ÎNTĂRIT / HARDENED CONCRETE** $\rho = 2000 \dots 2600 \text{ kg/m}^3$
- **BETON SIMPLU / PLAIN CONCRETE**
- **BETON ARMAT / REINFORCED CONCRETE**
- **BETON PRECOMPRIMAT / PRESTRESSED CONCRETE**



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

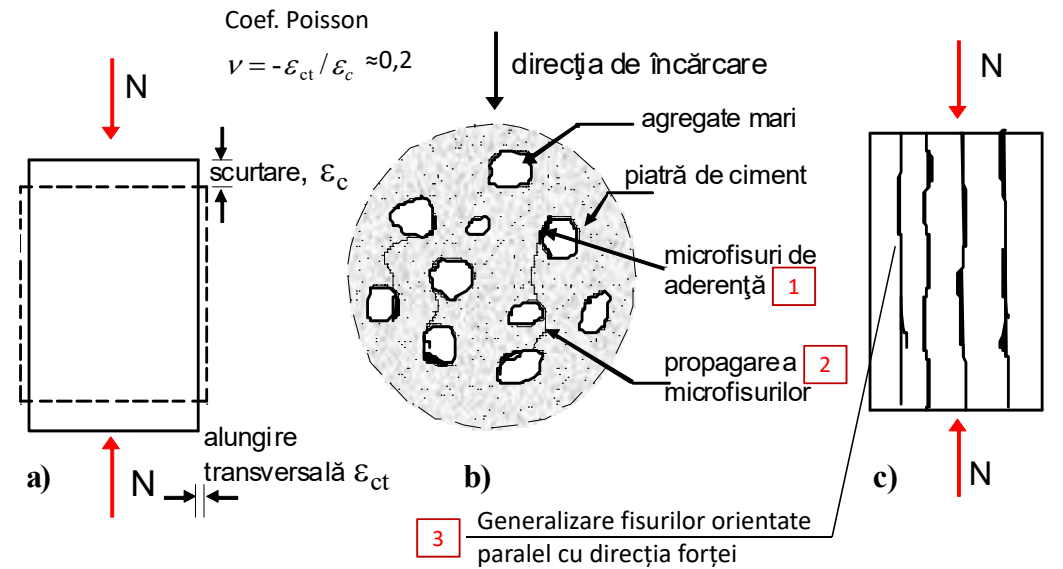
2.2 TIPURI DE BETON

2.3 REZISTENȚELE BETONULUI

2.4 DEFORMAȚIILE BETONULUI

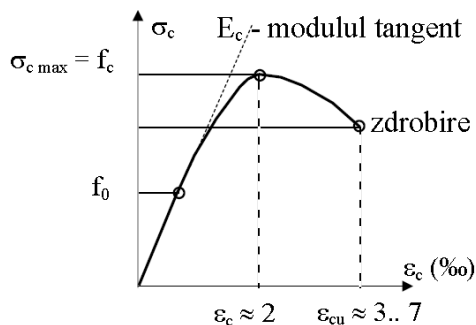
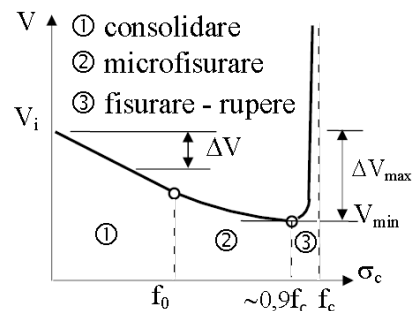
Concrete strengths / Rezistențele betonului

Ruperea betonului la compresiune monoaxială – caracter treptat



Concrete strengths / Rezistențele betonului

Ruperea betonului la compresiune monoaxială – caracter treptat

Curba $\sigma_c - \epsilon_c$ 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.

Faza de comportare elastică : **consolidare**

- efortul unitar de compresiune este cuprins în intervalul $\sigma_c = (0; f_0)$, unde f_0 este rezistența la microfisurare;
- deformațiile specifice de compresiune sunt în cea mai mare parte elastice;
- volumul probei scade linear datorită închiderii porilor și a microfisurilor orientate perpendicular pe direcția de acțiune a forței (zona 1) și astfel compactitatea probei crește pe direcție longitudinală;
- rezistența la microfisurare, $f_0 = (0,3...0,75)f_c$ este valoarea efortului unitar normal de compresiune până la care se poate admite comportarea elastică a betonului.

Faza de comportare elasto - plastică : **microfisurare**

- efortul unitar de compresiune este $\sigma_c = [f_0; (0,85...0,95)f_c]$;
- microfisurile de aderență orientate paralel cu direcția de acțiune a încărcării se deschid și se propagă în piatra de ciment; fisurile de mică deschidere formate astfel sunt însă izolate, nu străbat epruveta de la un capăt la altul;
- pe direcția de încărcare volumul probei scade în continuare, deoarece tendința de îndesare a betonului este mai pronunțată decât tendința de afânare prin umflare laterală (zona 2).
Microfisurarea betonului înseamnă începutul procesului de rupere, prin dezvoltarea deformațiilor specifice de compresiune ireversibile, de tipul celor plastice.

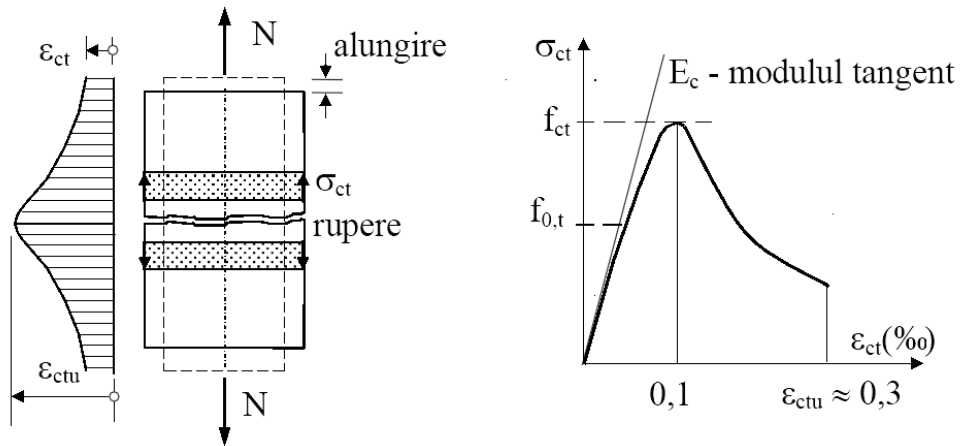
Faza finală de rupere : **fisurare - rupere**

- efortul unitar de compresiune depășește valoarea $(0,85...0,95) f_c$;
- predomină deformațiile plastice și în beton se atinge un nivel critic al degradărilor;
- volumul probei crește rapid, datorită tendinței de afânare (zona 3); microfisurile și fisurile de dimensiuni reduse, izolate până la această etapă, se unesc în fisuri longitudinale care străbat toată proba, fragmentând-o;
- f_c , rezistența cilindrică la compresiune sub încărcări statice de scurtă durată este valoarea maximă atinsă de efortul unitar de compresiune.

Deformarea epruvetei se produce în continuare, însoțită de scăderea efortului unitar de compresiune; ruperea, cu aspect de zdrobire, are loc când este atinsă deformația specifică maximă de compresiune, ϵ_{cu} , la un efort unitar mai mic decât rezistența (ramura descendentă a curbei $\sigma_c - \epsilon_c$).

Concrete strengths / Rezistențele betonului

Ruperea betonului la întindere axială



→ influențat puternic de discontinuități

Ruperea betonului la întindere este influențată mai puternic de discontinuitățile existente în masa betonului decât ruperea la compresiune. La valori mici ale efortului unitar de întindere, în element se dezvoltă microfisuri în toată masa lui, dacă însă într-o secțiune este atinsă rezistența la întindere, toate deformațiile se concentrează în această zonă, iar restul microfisurilor nu se mai dezvoltă sau chiar se închid.

Ruperea se produce printr-o singură fisură de separare a epruvetei, perpendiculară pe direcția întinderii și formată în secțiunea cu rezistența cea mai mică

Concrete strengths / Rezistențele betonului

Comportarea cilindrului de beton supusă la compresiune centrică



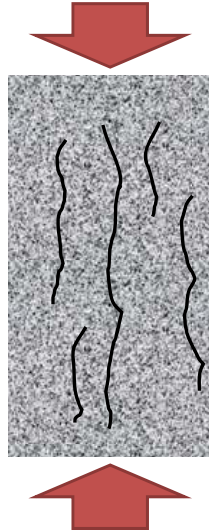
Concrete strengths / Rezistențele betonului

Comportarea cilindrului de beton supusă la compresiune centrică



Concrete strengths / Rezistențele betonului

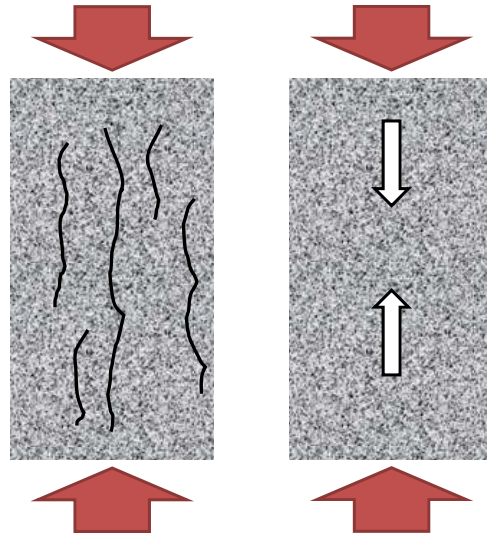
Comportarea cilindrului de beton supusă la compresiune centrică



Microfisuri în piatra de ciment

Concrete strengths / Rezistențele betonului

Comportarea cilindrului de beton supusă la compresiune centrică

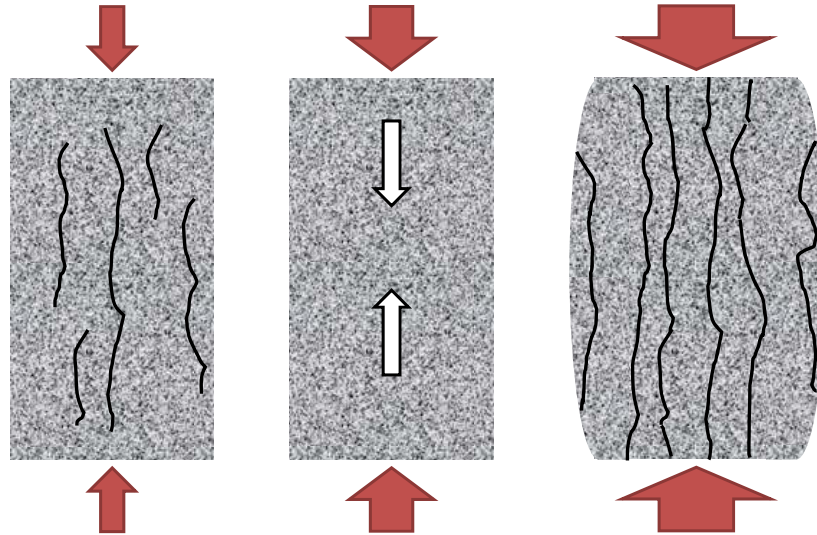


Microfisuri în piatra de ciment

Forțe interioare

Concrete strengths / Rezistențele betonului

Comportarea cilindrului de beton supusă la compresiune centrică



Microfisuri în piatra de ciment

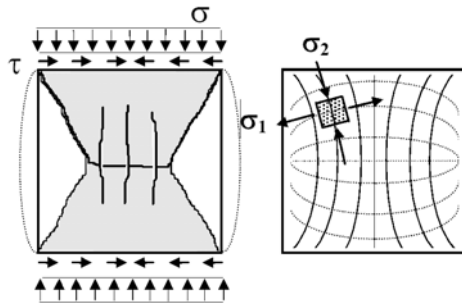
Forțe interioare

Macrofisuri → Cedare

Concrete strengths / Rezistențele betonului

Ruperea unui cub de beton cu frecare

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

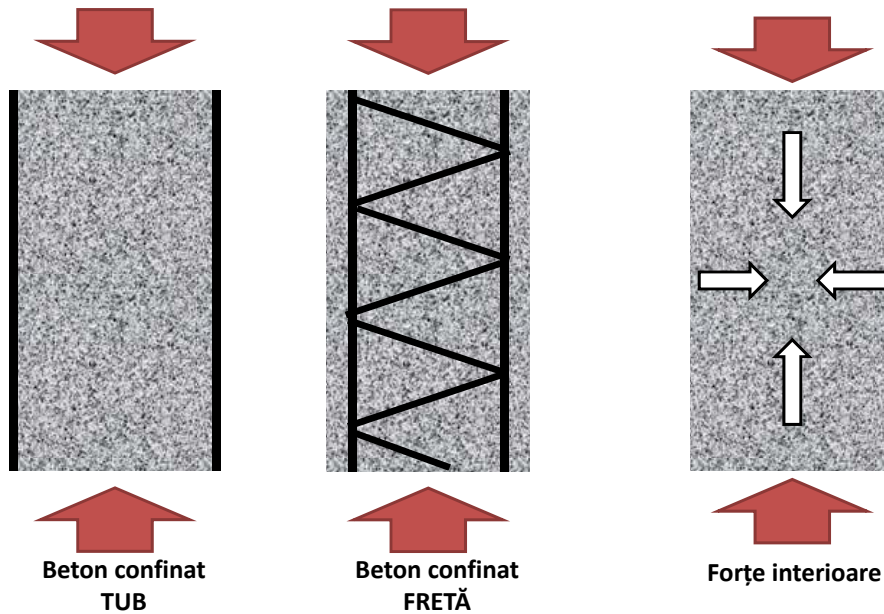


Încercarea unui cub cu frecare între platane și epruvetă

- τ – eforturi unitare tangențiale → împiedică deformațiile transversale
- σ – eforturi unitare normale
- σ_1 – efort unitar principal de întindere
- σ_2 – efort unitar principal de compresiune

Concrete strengths / Rezistențele betonului

Comportarea betonului confinat supus la compresiune centrică

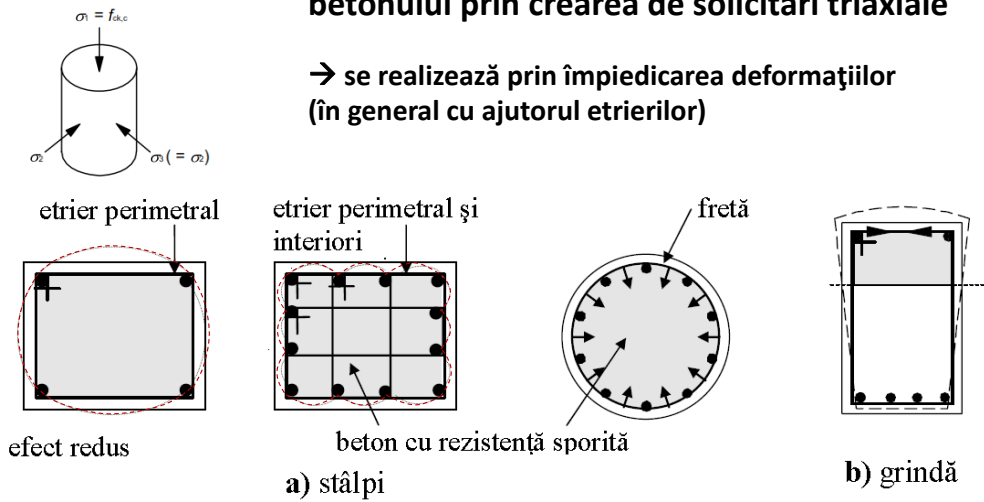


Solicitarea triaxială poate să apară în elementele precomprimate după trei direcții, în stâlpii fretați, în zonele de ancoraj ale armăturilor pretensionate, în elementele masive de tipul culeelor de pod etc. Datorită reducerii deformațiilor de umflare după toate direcțiile, procesul de acumulare și dezvoltare a microfisurilor este întârziat și ruperea se produce la valori ale eforturilor unitare mult mai mari decât în cazul compresiunii monoaxiale.

Concrete strengths / Rezistențele betonului

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

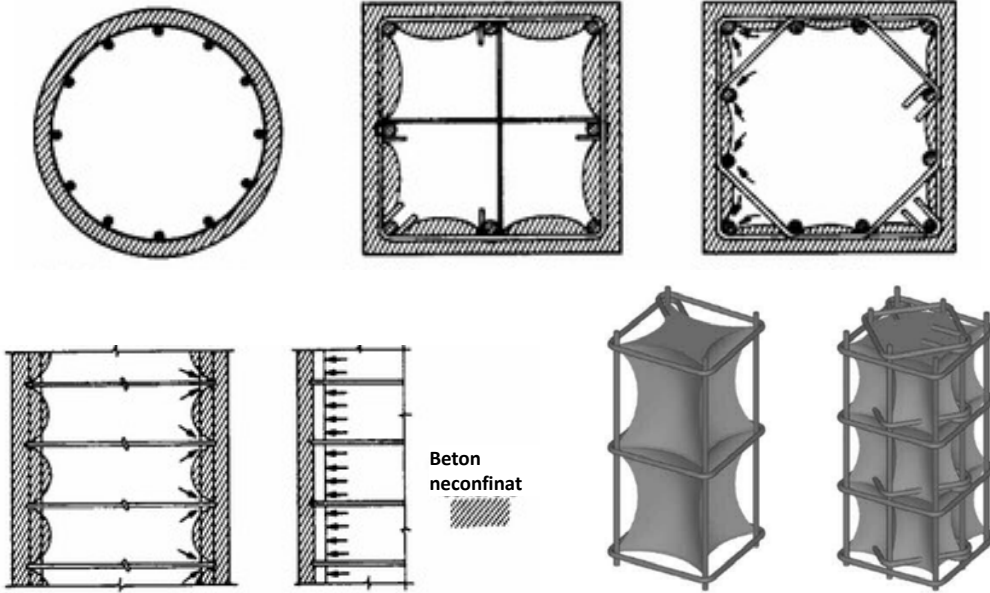
→ se realizează prin împiedicarea deformațiilor (în general cu ajutorul etrierilor)



În zona comprimată a elementelor liniare din beton armat supuse la încovoiere cu sau fără forță axială, etrierii împiedică umflarea laterală a betonului din interiorul lor. Eforturile unitare de compresiune pe o direcție și deformațiile împiedicate după celelalte direcții duc la o stare de solicitare triaxială în beton. Această stare de tensiune obținută prin armare, numită *confinarea betonului*, produce creșterea rezistenței și a deformațiilor specifice ultime, sporind astfel *ductilitatea* elementului.

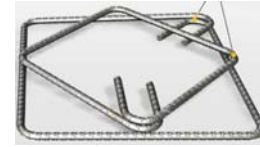
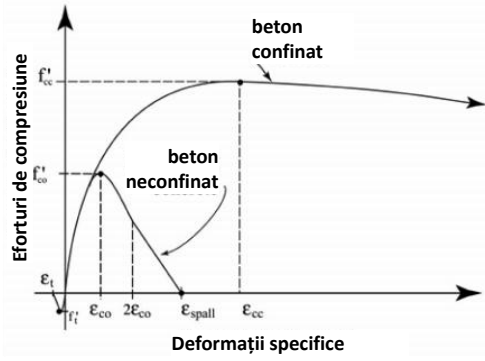
Concrete strengths / Rezistențele betonului

Comportarea betonului confinat supus la compresiune centrică

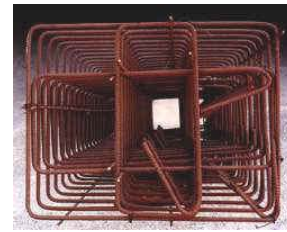
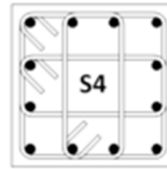


Concrete strengths / Rezistențele betonului

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



S4b



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_0)**;
- **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	$f_{ct\ fl}$

Concrete strengths / Rezistențele betonului

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..."

Tipul de ciment influențează rezistența doar la vârste mici, datorită vitezei diferite de hidratare. Însă pe termen lung, diferențele sunt minore

Rezistența agregatelor este în general mai mare decât cea a betonului (la betoanele obișnuite), astfel încât nu influențează direct rezistența acestuia.

Dimensiunea maximă a agregatului: pe de o parte, la același dozaj de ciment și aceeași consistență, amestecul cu agregate mai mari are nevoie de mai puțină apă, așa încât *porozitatea este mai mică* → *rezistență mai mare*. Pe de altă parte, agregatele mari *formează lentile de apă sub ele, deci o zonă de tranziție mai slabă* → *rezistență mai mică*.

Forma agregatului: *agregatele cu formă alungită sau aplatizată influențează negativ proprietățile betonului, reducându-i rezistența.*

Textura suprafeței: Pe de o parte agregatele rugoase (de carieră) au o aderență mai bună la PCH decât agregatele rotunjite, de râu (de balastieră). Pe de altă parte necesită mai multă apă pentru realizarea aceleiași lucrabilități.

Natura mineralogică: *utilizarea agregatelor silicioase în locul celor calcaroase duce la o creștere a rezistenței betonului*

Concrete strengths / Rezistențele betonului

Factorii care influențează rezistențele betonului

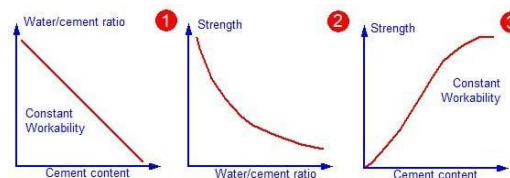
2. Proportia constituenților

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



Cu cât **raportul A/C** este mai mic, porozitatea este mai mică, iar rezistența betonului este mai mare.

Cu cât volumul de **aer antrenat** este mai mare cu atât rezistența betonului este mai mică.

Pentru un beton cu lucrabilitate dată, deci cu o anumită cantitate de apă, **creșterea dozajului de ciment** conduce la o scădere a raportului A/C și, în mod indirect, la o creștere a rezistenței.

Raportul P/N (granulometria) influențează lucrabilitatea și segregabilitatea betonului și, în mod indirect, rezistența sa. În practică, se folosesc curbe granulometrice date în norme, care asigură obținerea unui beton cu proprietăți satisfăcătoare.

Concrete strengths / Rezistențele betonului

Factorii care influențează rezistențele betonului

3. Condiții de punere în operă

Vibrarea	⇒	Compactitatea
Compactitatea	↗ ⇒	f_c ↗
Omogenitatea	↗ ⇒	f_c ↗
Segregare	↗ ⇒	f_c ↘

Punerea în operă trebuie să asigure o compactitate și omogenitate maximă a betonului. La turnarea betonului trebuie evitată segregarea (separarea materialului granular din beton în straturi de consistență diferită). Astfel, este recomandabil ca înălțimea de turnare să fie limitată la cel mult 1,50 m.

Prin vibrarea betonului se urmărește să se elimine aerul inclus la malaxare. (!!!) Atenție: o vibrație prelungită exagerat poate produce segregarea betonului.

Concrete strengths / Rezistențele betonului

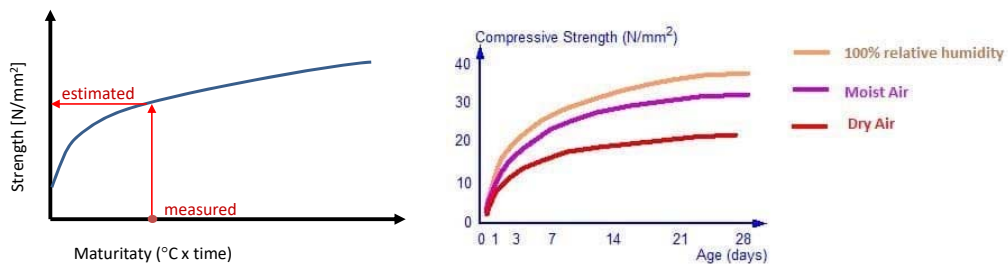
Factorii care influențează rezistențele betonului

4. Condiții de lucru/păstrare

Temperatura ↗ ⇒ favorizează hidratarea

Umiditatea ↗ ⇒ favorizează hidratarea

Vârsta = gradul de hidratare



Păstrarea (tratamentul) betonului include procedurile aplicate după turnare având scopul de a favoriza hidratarea cimentului (scăderea umidității sub 80% duce la încetinirea procesului de hidratare, iar creșterea temperaturii îl accelerează).
 Proceduri care suplimentează umiditatea betonului (stropirea, acoperirea cu țesături îmbibate cu apă, tratamentul cu vapori de apă)
 Proceduri care previn diminuarea umidității betonului, impermeabilizând suprafața (reținerea apei prin acoperirea betonului cu folii impermeabile sau produși impermeabilizanți care astupă porii betonului)
 In theory, provided the concrete is not allowed to dry out, then it will always be increasing albeit at an ever reducing rate. For convenience and for most practical applications, it is generally accepted that the majority of the strength has been achieved by 28 days.

Concrete strengths / Rezistențele betonului

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	$f_c \nearrow$

Forma epruvetei: datorită acțiunii platanelor preseii, care împiedică prin frecare umflarea liberă, epruvetele “scurte” (cuburi) au o rezistență mai bună decât cele “lungi” (prisme, cilindri).

Umiditatea: Pentru același grad de hidratare, o epruvetă saturată are rezistența mai mică decât o epruvetă “uscată”. Această caracteristică se explică probabil prin presiunea suplimentară exercitată de apa capilară.

Viteza de încărcare: rezistența crește odată cu viteza de încărcare. Această creștere este importantă în situațiile de impact sau de explozie.

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** (proprie) :
 - contracția
 - umflarea

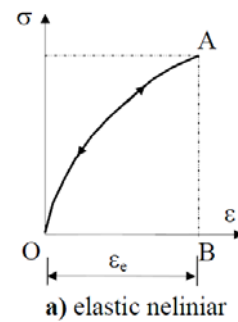
- **EXTERIOARE** :
 - încărcări directe
 - deplasări impuse
 - variații de temperatură
 - et cetera

Cauzele care provoacă deformații pot fi intrinseci (proprie) sau exterioare (încărcări directe, deplasări impuse, variații de temperatură etc.). Deformațiile intrinseci ale betonului sunt contracția și umflarea; aceste deformații au un caracter de volum, ca și cele provocate de variațiile de temperatură climatice, sau rezultate din unele procese tehnologice. Deformațiile produse de încărcări sau deformații impuse au de asemenea caracter de volum, dar se dezvoltă preponderent pe direcția de aplicare a încărcării.

Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Deformația elastică:

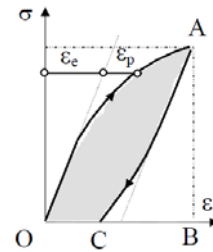
- se datorează fazei solide (agregate, cristale formate prin întărirea cimentului)
- poate fi liniară sau neliniară;
- la încetarea acțiunii, teoretic corpul revine instantaneu la forma inițială.



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.

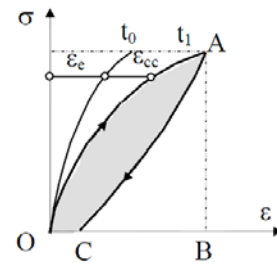


b) elastic - plastic

Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Deformația vâscoasă:

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

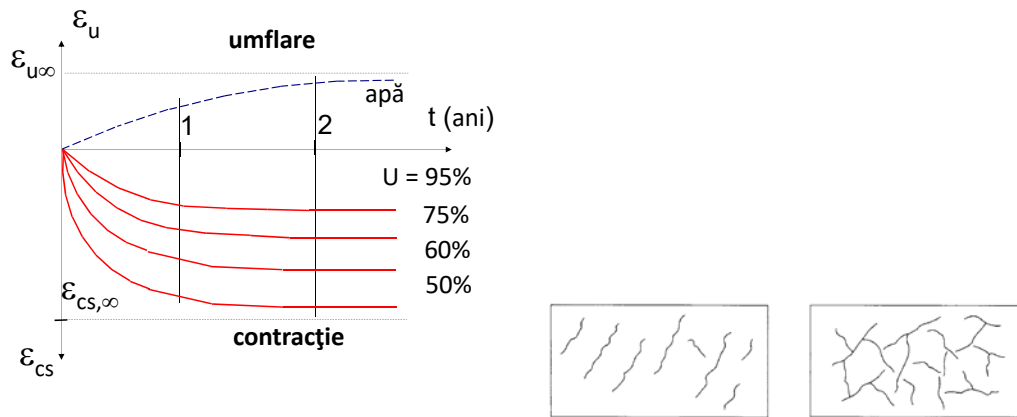


c) elastic (neliniar) - vâscos

Concrete deformations/ Deformațiile betonului

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

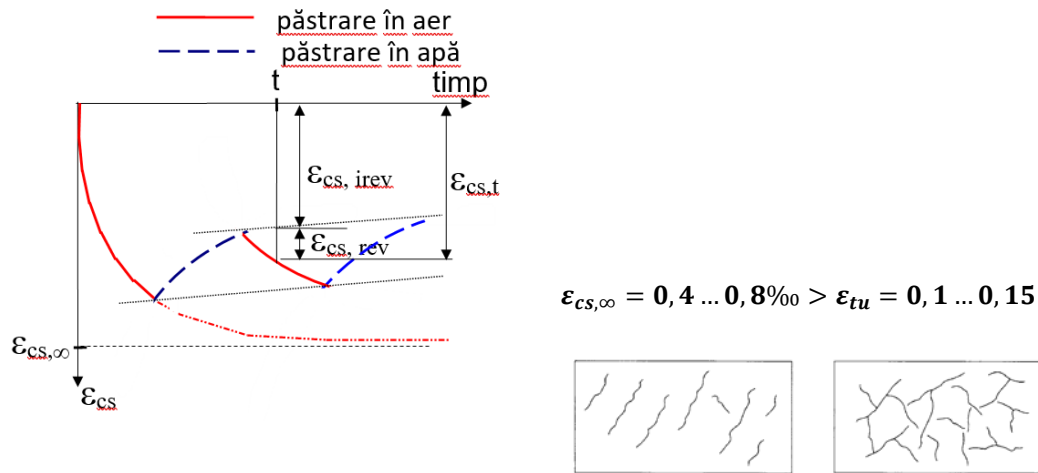
Volumul betonului păstrat în apă crește → **Umflarea**
(swelling)



De la începutul prizei până la întărirea completă, care poate dura ani, betonul suferă modificări de volum datorită variației conținutului de apă din piatra de ciment. Astfel, volumul betonului păstrat într-un mediu uscat scade, producându-se **contractia**, iar în apă, volumul crește prin **umflarea**.

Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Volumul betonului păstrat într-un mediu uscat scade → **Contrația**
 Volumul betonului păstrat în apă crește → **Umflarea**

Reversibilitatea parțială a contracției

Dacă o probă de beton, având o vârstă relativ redusă, a fost păstrată un timp în mediu uscat, apoi este introdusă în apă, contracția produsă inițial se atenuează; la o nouă expunere în mediu uscat, se produce o contracție mai redusă. Valoarea contracției $\epsilon_{cs,t}$ la timpul t , respective valoarea finală $\epsilon_{cs,\infty}$ sunt mai mici decât pentru betonul păstrat numai în mediu uscat.

Fenomenele de contracție și umflare sunt **parțial reversibile**; la un timp t , deformația totală din contracție $\epsilon_{cs,t}$ are o componentă reversibilă $\epsilon_{cs,rev}$ și o componentă ireversibilă $\epsilon_{cs,irev}$.

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 (construcția chimică a cimentului); aceasta este denumită **construcție endogenă**, și se produce foarte intens în primele zile după turnare.

$$\epsilon_{ca} \text{ (autogenous shrinkage)}$$

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 **construcție de uscare**.

$$\epsilon_{cd} \text{ (drying shrinkage)}$$

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

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

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

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

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

Starea de umiditate și temperatura mediului de păstrare după turnare determină direct cantitatea de apă care se deplasează în masa betonului și cea care se pierde prin evaporare. Cu cât umiditatea relativă este mai mică, iar temperaturile mai mari, valorile deformațiilor din contracție cresc.

Volumul gelurilor rezultate din hidratarea cimentului crește cu dozajul de ciment și cu finețea de măcinare a acestuia; cimenturile care prin hidratare produc un volum mai mare de geluri conduc la creșterea deformației din contracție.

Agregatele influențează contracția prin proporția fracțiunilor de dimensiuni diferite, exprimată prin curba granulometrică; cu cât raportul P/N este mai mic, crește suprafața specifică a agregatelor, deci crește și cantitatea necesară de apă de amestecare pentru obținerea unei lucrabilități corespunzătoare. Contracția este cu atât mai mare cu cât cantitatea de agregate în raport cu cantitatea de ciment este mai mică, în consecință

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

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**

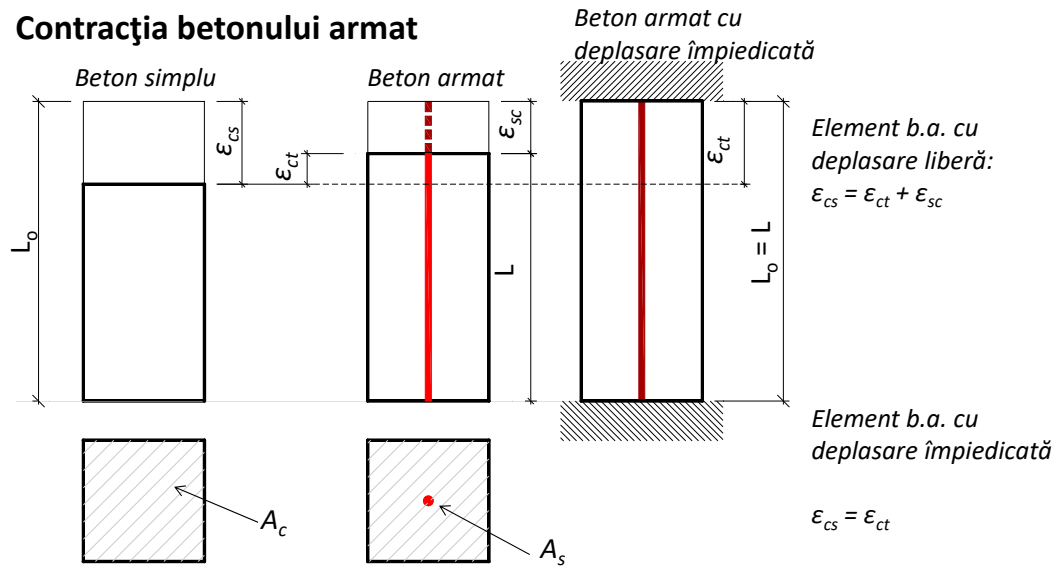
Experimental: valoarea **contrației betonului armat** este **mai mică** decât cea a betonului simplu, și anume cu atât mai mică, cu cât procentul de armare este mai mare.

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



ϵ_{cs} = deformația specifică liberă totală din contracție a b.s.

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

ϵ_{ct} = deformația specifică de întindere din beton, cauzată de prezența armăturii

Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Contractia betonului armat

Efortul de compresiune în armătură:

$$\sigma_s = \varepsilon_{sc} \cdot E_s$$

Forța de compresiune în armătură corespunzătoare:

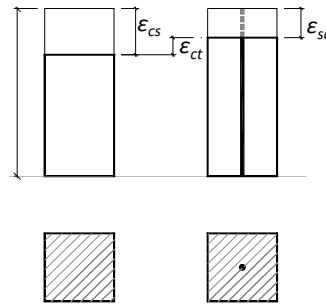
$$F_s = A_s \cdot \sigma_s$$

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

Contractia 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

Contractia 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 : $\sigma_s = \frac{\varepsilon_{cs}}{1 + \rho \cdot n} \cdot E_s$ \rightarrow compresiune

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

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

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

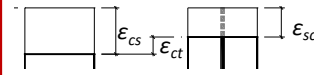
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Contrația BA este mai mică decât pentru B

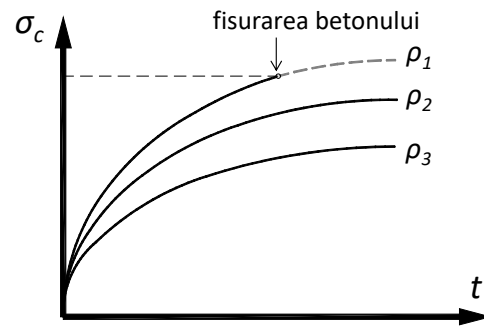
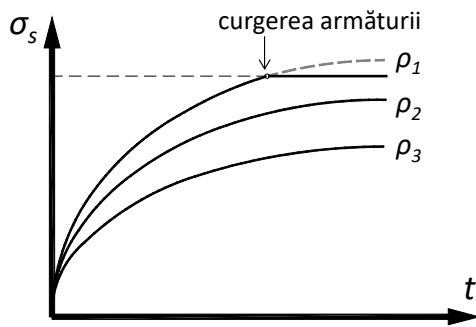
Considerând $\rho(\%) \nearrow \Rightarrow \varepsilon_{sc} \searrow$

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

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

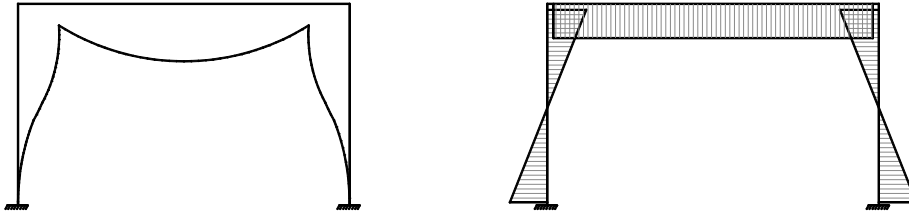


$$\varepsilon_{sc} = \frac{\varepsilon_{cs}}{1 + \rho \cdot n}$$



Concrete deformations/ Deformațiile betonului**Contractia betonului armat**

În structuri nedeterminate contractia induce eforturi.
Aceste eforturi pot fi asimilate cu o variație de temperatură (aprox. -
15°C).



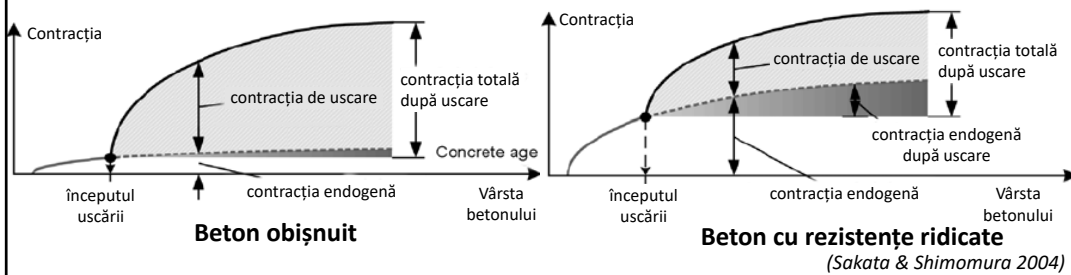
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

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

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

unde

- ε_{cs} - deformația totală de contracție
 ε_{cd} - deformația datorată contracției de uscare
 ε_{ca} - deformația datorată contracției endogene



Concrete deformations/ Deformațiile betonului

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

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

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

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

$f_{ck}/f_{ak,cube}$ (MPa)	Umiditate Relativă (in %)					
	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 sect.)

A_c = aria sect. de beton

u = perimetrul expuse la uscare

h_0	k_h
100	1,0
200	0,85
300	0,75
≥ 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

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

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

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} \quad \rightarrow \text{evoluția contractiei de uscare în timp}$$

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) \quad \rightarrow \text{evoluția contractiei endogene în timp}$$

→ 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;

Δt

- gradientul de temperatură, în °C;

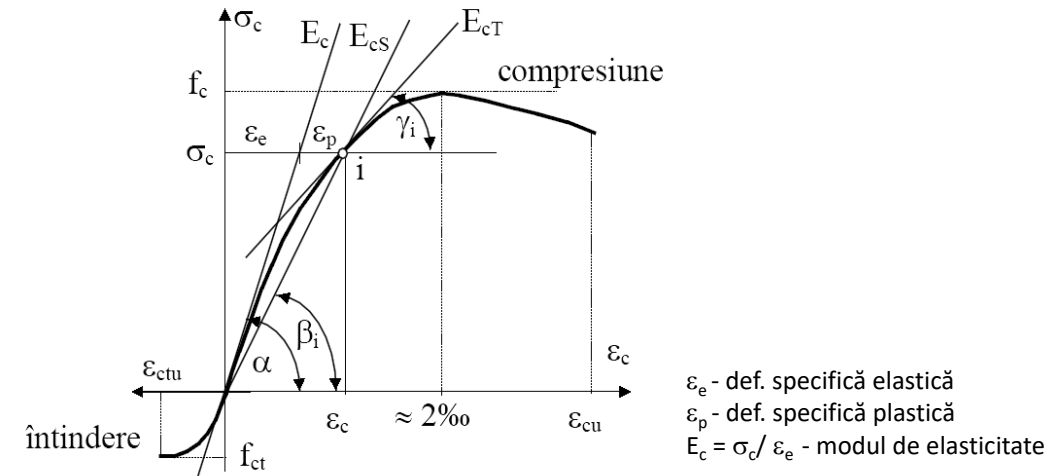
$\alpha = 10 \cdot 10^{-6} / ^\circ C$

- coeficientul de dilatație termică a betonului

Pentru construcțiile hidrotehnice masive, se iau în considerare și variațiile de temperatură produse în timpul hidratării cimentului. Miezul masivului are o temperatură mai ridicată decât învelișul, rezultând o tendință de dilatare care supune învelișul la întindere, cu același efect ca în cazul contracției.

Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Deformațiile betonului sub încărcări statice de scurtă durată

Curba caracteristică a betonului sollicitat axial de încărcări de scurtă durată

Dr.ing. Nagy-György T. ©

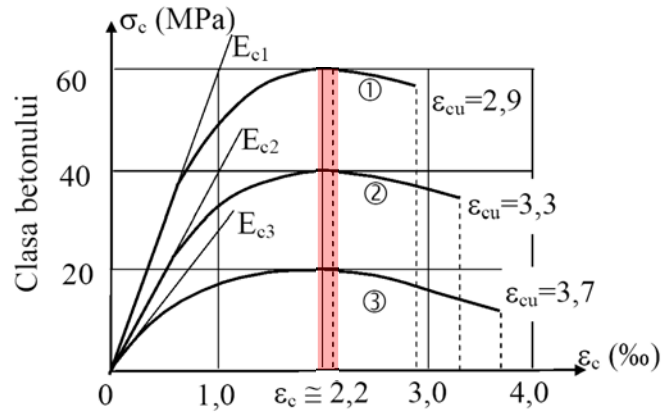
Facultatea de Construcții

61

Curba caracteristică se obține experimental pentru o încercare axială de scurtă durată

Concrete deformations/ Deformațiile betonului

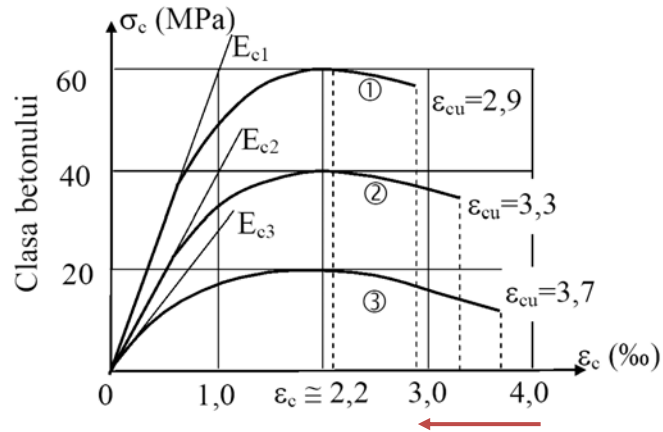
Deformațiile betonului sub încărcări statice de scurtă durată

Influența calității betonului asupra formei curbei caracteristice

- deformația corespunzătoare rezistenței betonului la compresiune este practic aceeași indiferent de calitatea betonului ($\approx 2 \dots 2,2\text{‰}$)

Concrete deformations/ Deformațiile betonului

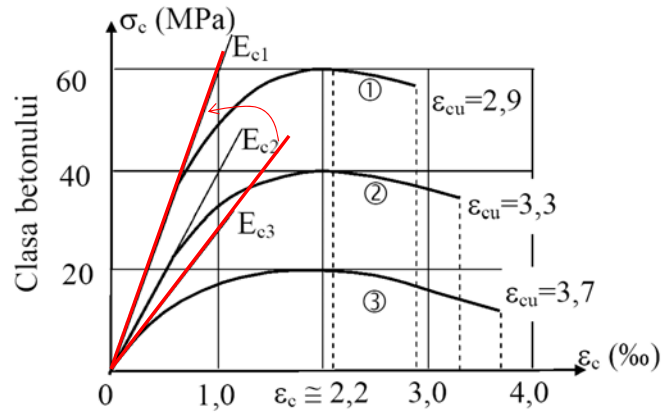
Deformațiile betonului sub încărcări statice de scurtă durată

Influența calității betonului asupra formei curbei caracteristice

- deformația specifică ultimă scade dacă clasa betonului crește;

Concrete deformations/ Deformațiile betonului

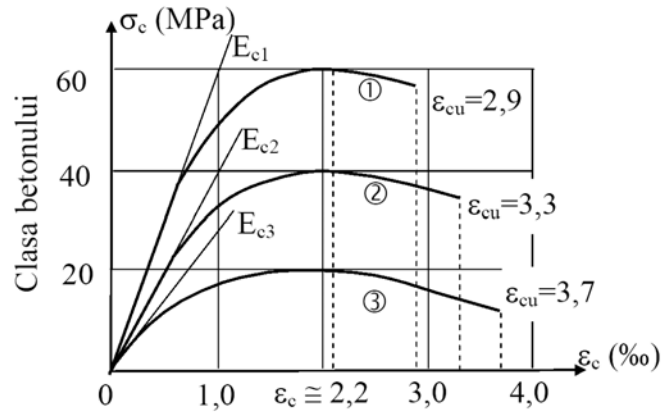
Deformațiile betonului sub încărcări statice de scurtă durată

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

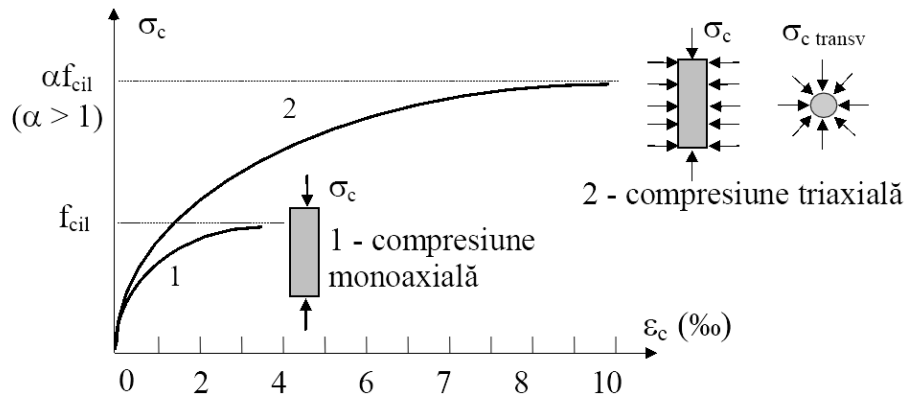
Influența calității betonului asupra formei curbei caracteristice

- 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



Dacă betonul este solicitat bi- sau triaxial la compresiune, deformația specifică ultimă crește foarte mult, ajungând până la 10%.

Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Modulii de deformație ai betonului**Modulul de elasticitate longitudinal**

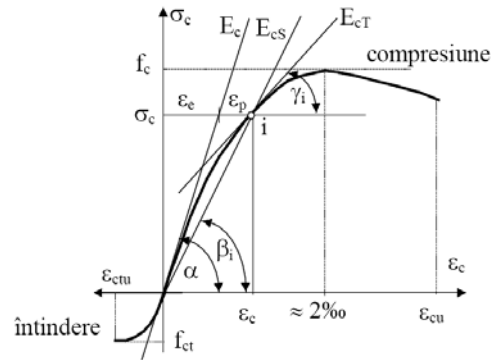
$$E_c = \operatorname{tg} \alpha = \sigma_c / \varepsilon_e$$

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

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

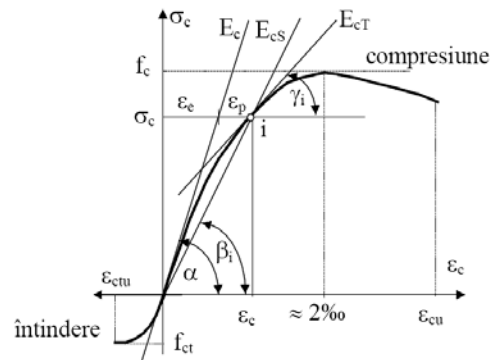
Modulii de deformație ai betonului

Modulul de elasticitate-plasticitate (modulul secant)

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

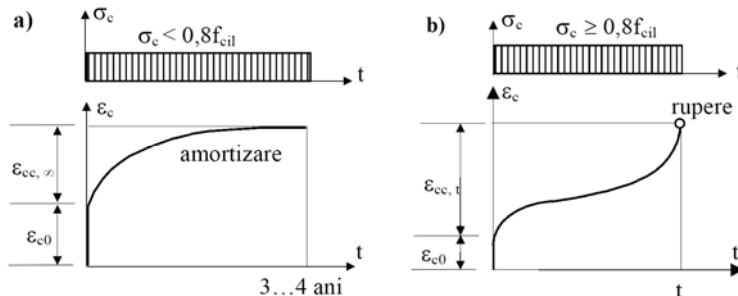
Modulul tangent

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



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

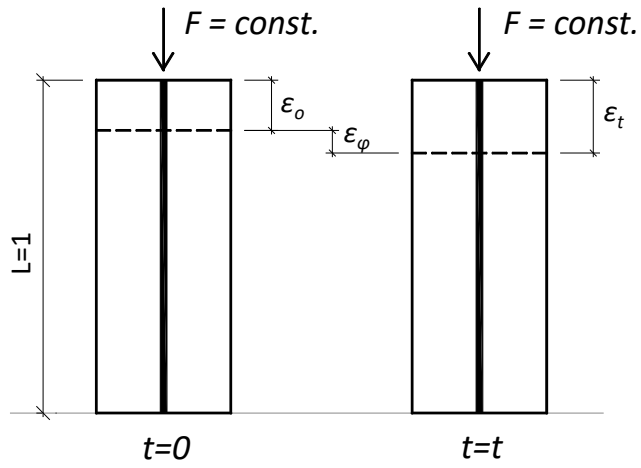
În cazul încărcărilor statice de lungă durată, procesul de rupere este influențat de apariția fenomenului de oboseală statică, determinând scăderea rezistenței. Această scădere se poate explica prin faptul că încărcările de lungă durată favorizează dezvoltarea degradărilor structurale ireversibile, datorate deformațiilor plastice.

Dacă o probă de beton este solicitată la încărcări de lungă durată constante ca intensitate, sau cu variații lente în timp, deformația specifică crește în raport cu cea produsă în momentul aplicării încărcării; fenomenul se numește **curgere lentă sau fluaj** și poate duce la deformații finale de 2...4 ori mai mari decât deformația elastică instantanee .

a) dacă $\sigma_c < 0,8f_{cil}$, deformațiile specifice de curgere lentă cresc în timp cu o viteză din ce în ce mai mică, tinzând să se **stabilizeze** ;

b) dacă $\sigma_c \geq 0,8f_{cil}$, deformațiile de curgere lentă și deformațiile plastice, în acest caz preponderente, se dezvoltă cu o viteză din ce în ce mai mare, ducând la **rupere** sub încărcarea de lungă durată.

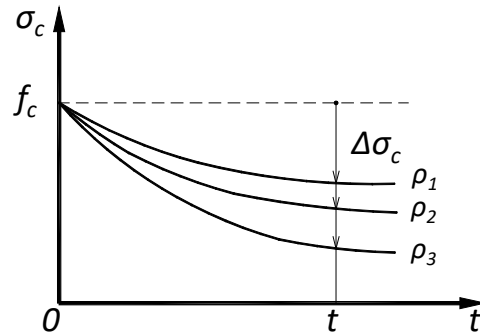
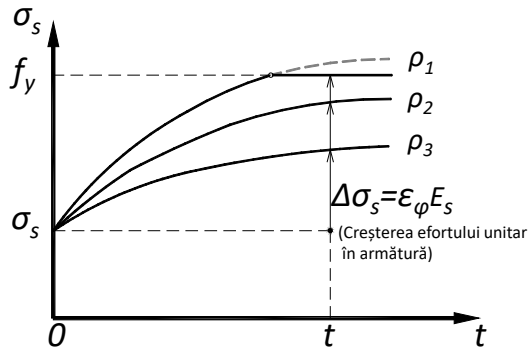
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

**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	$\epsilon_\phi \searrow$	\rightarrow	$\Delta\sigma_s \searrow$	
$\rho \nearrow$	\rightarrow	transfer de forță \nearrow	\rightarrow	$\Delta\sigma_c \nearrow$	\rightarrow $\sigma_c \searrow$

Concrete deformations/ Deformațiile betonului

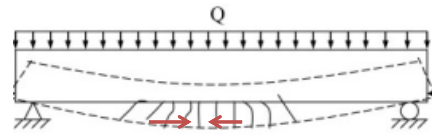
Deformațiile betonului armat sub încărcări statice de lungă durată Curgerea lentă (fluaj) (Creep)

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

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

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

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

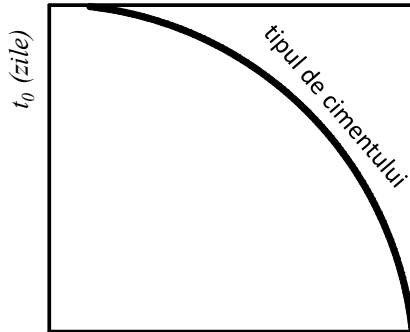


- Armătura transversală nu influențează deformația din curgerea lentă, deoarece aceasta are caracter linear.

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

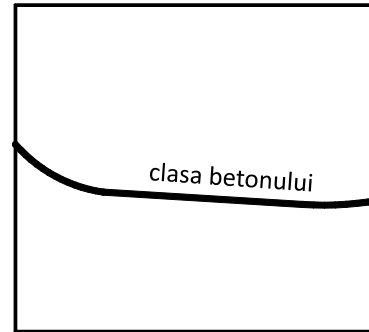
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

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)



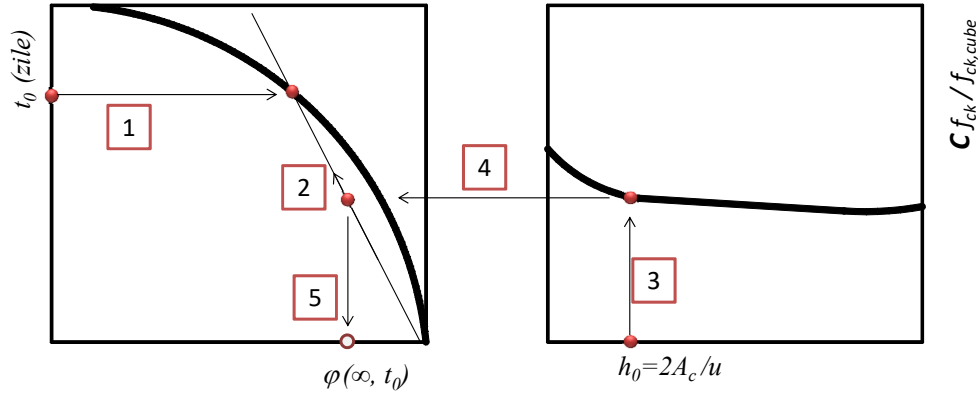
$$h_0 = 2A_c / u$$

- 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



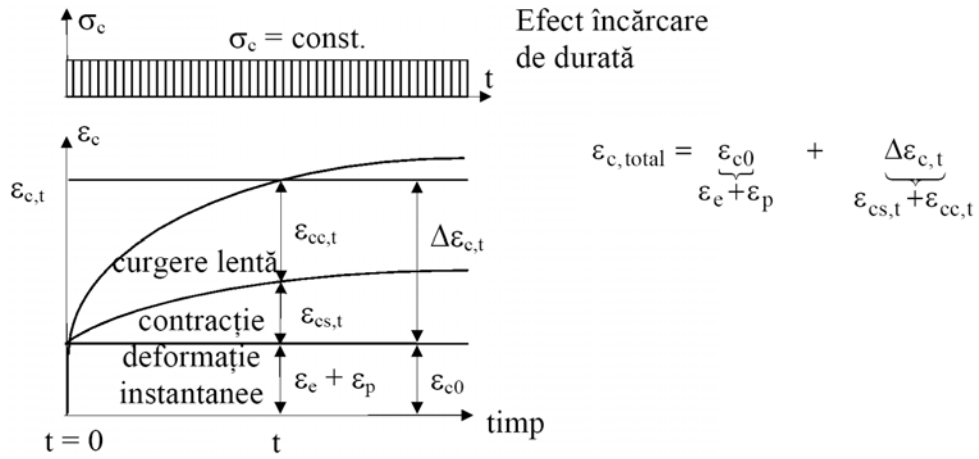
1. t_0 - vârsta betonului la prima încărcare
2. Secantă

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.

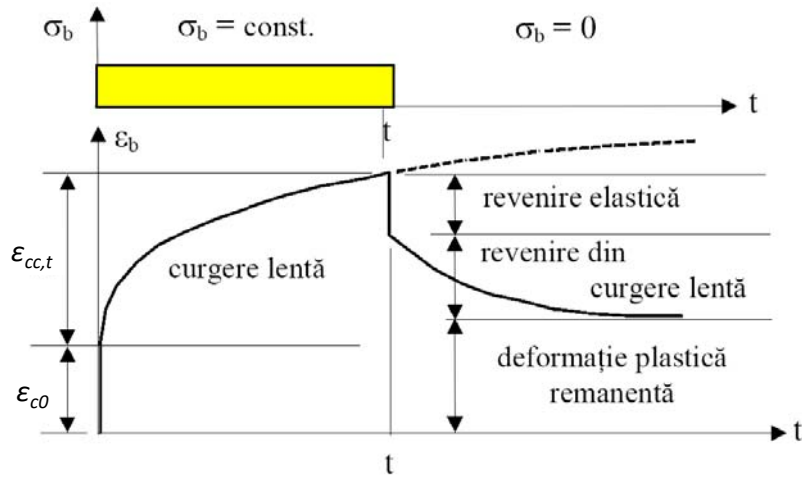
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Deformațiile betonului în timp - Deformația totală a betonului



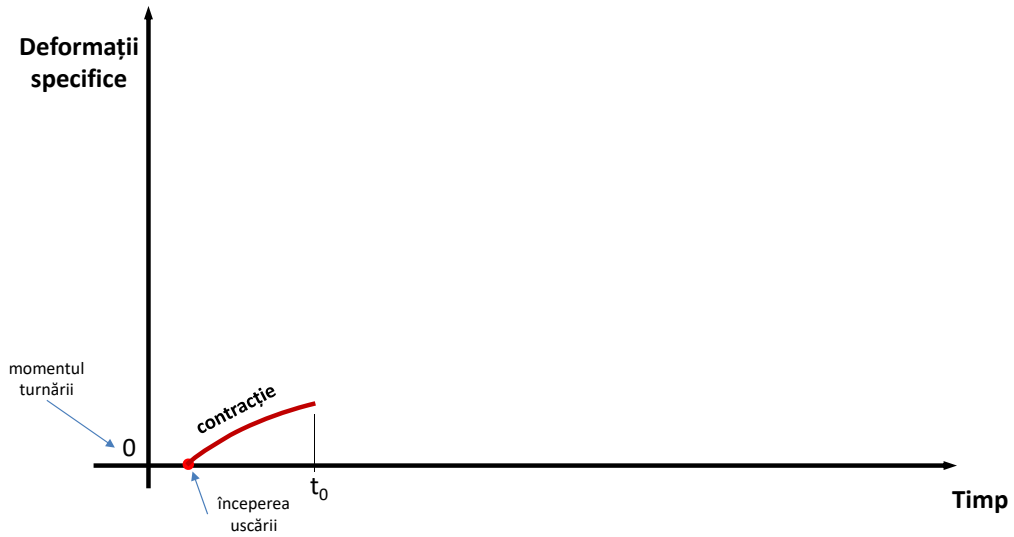
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă



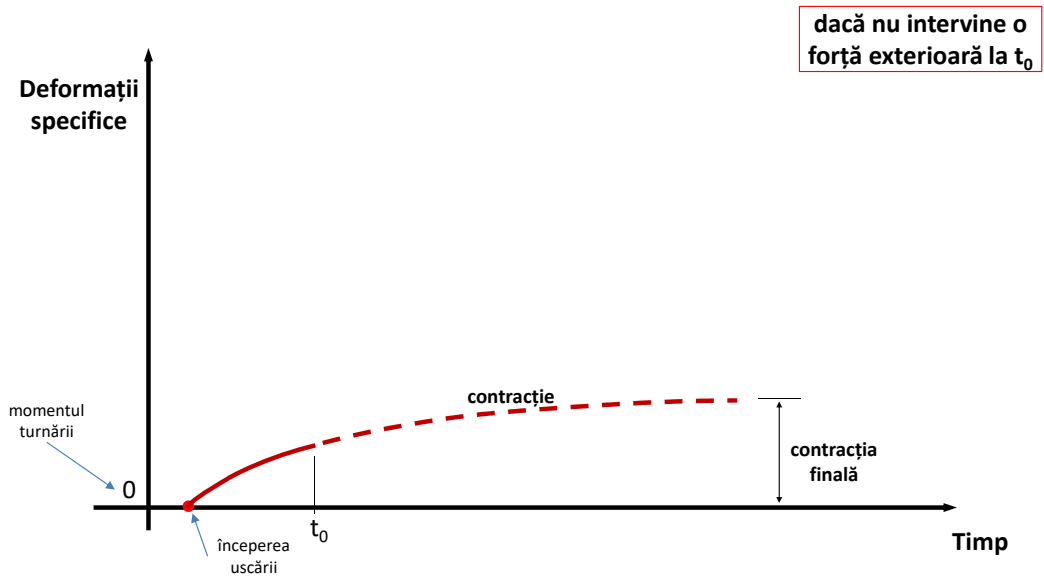
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă



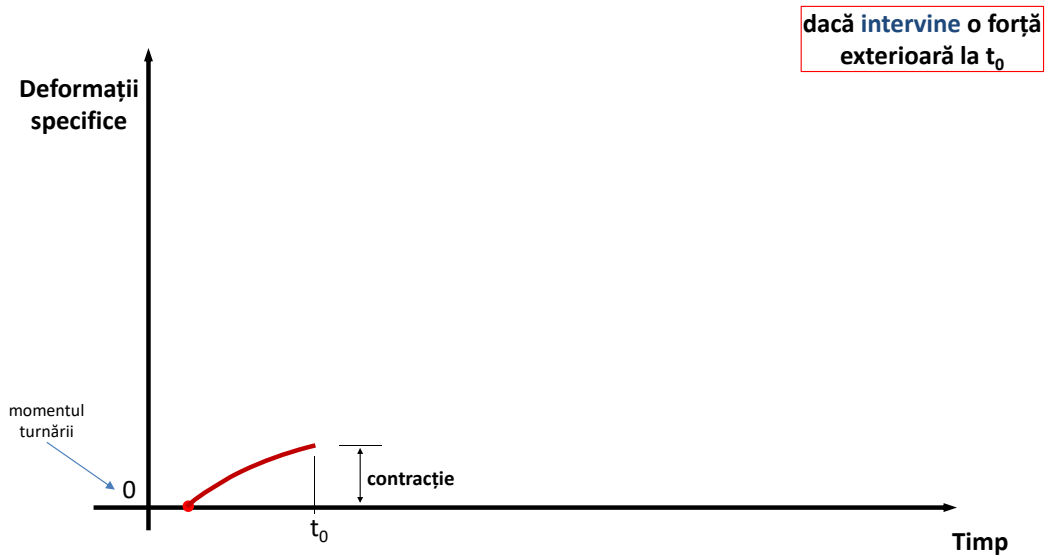
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă



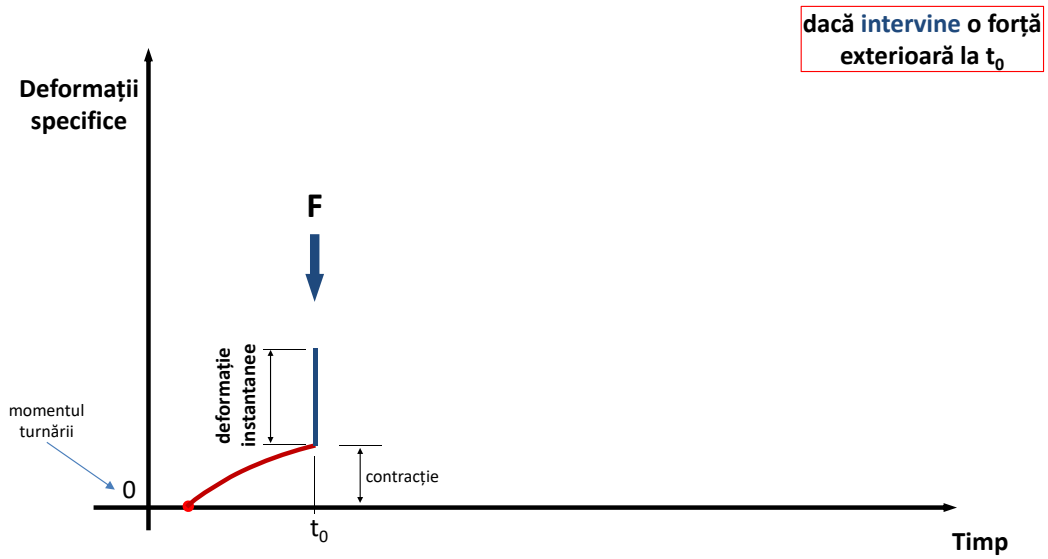
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă



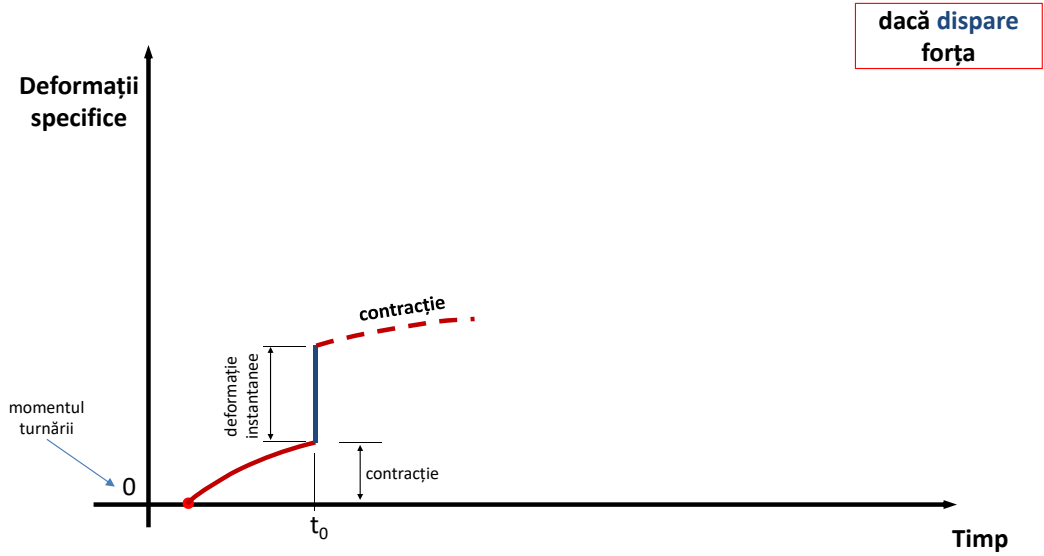
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă



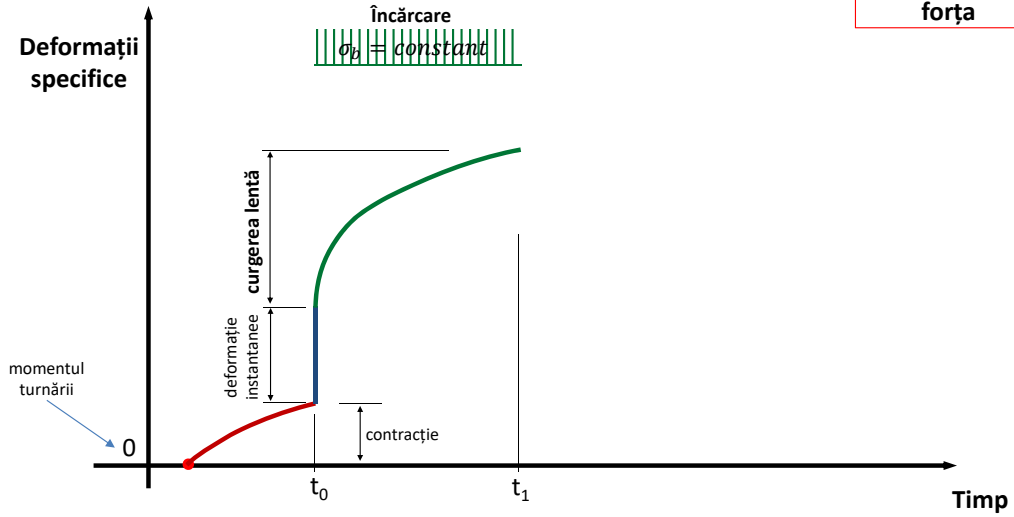
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă



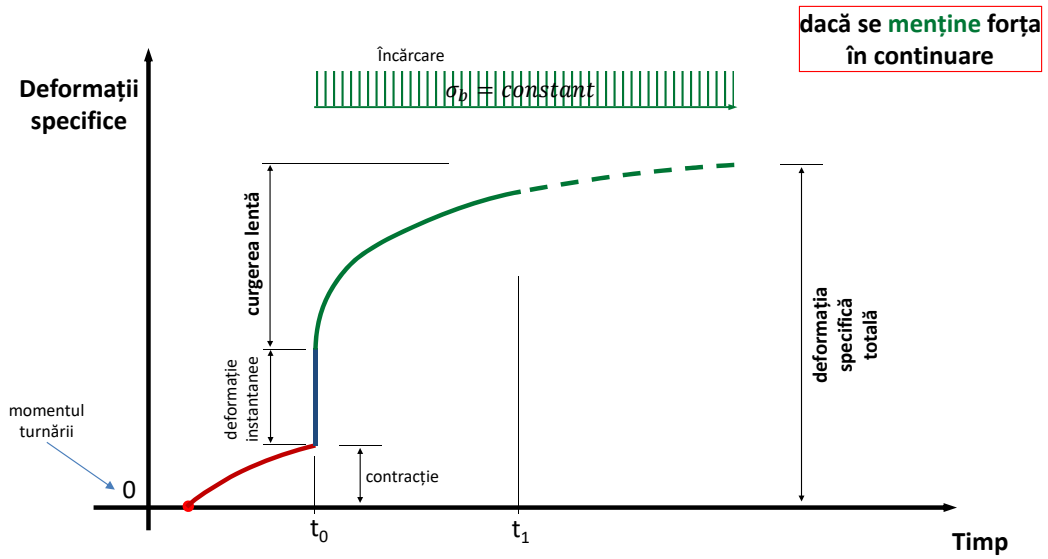
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă



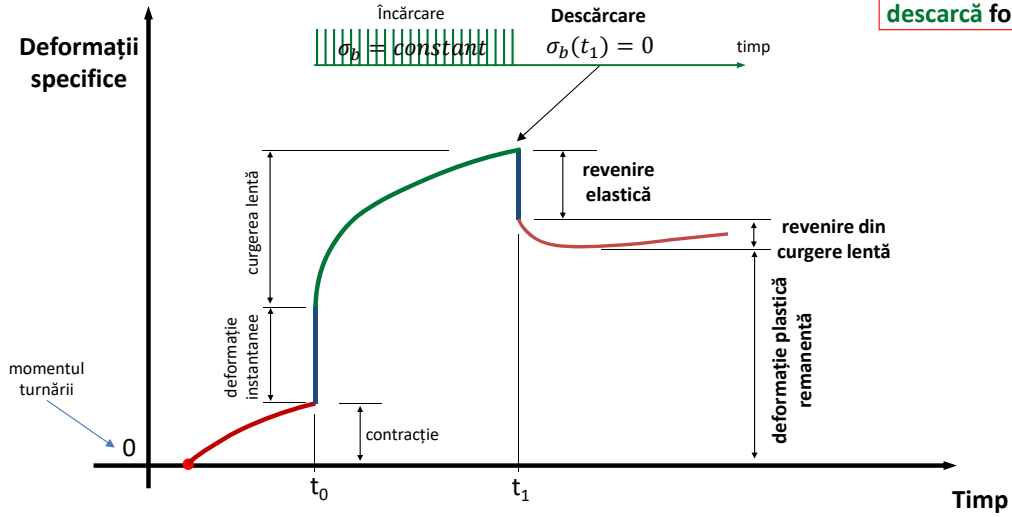
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă



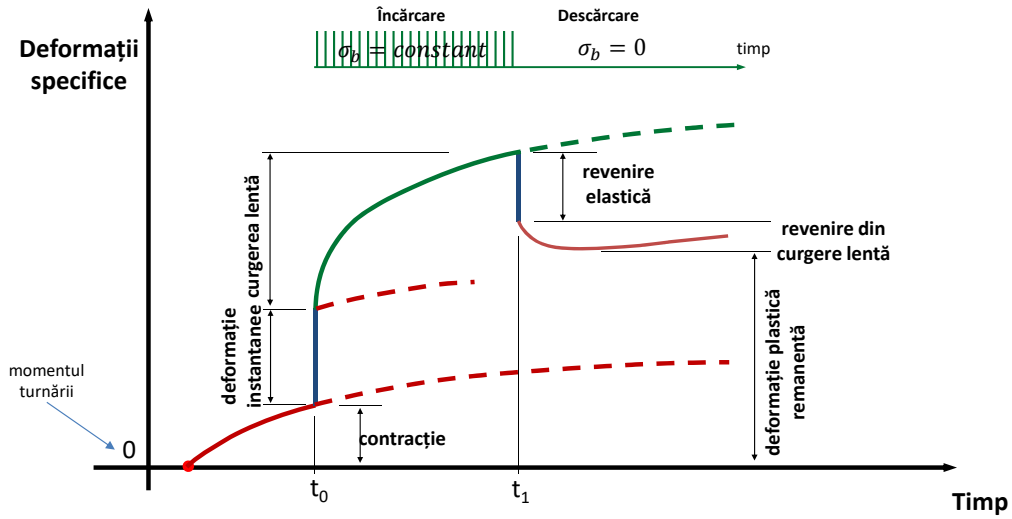
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă



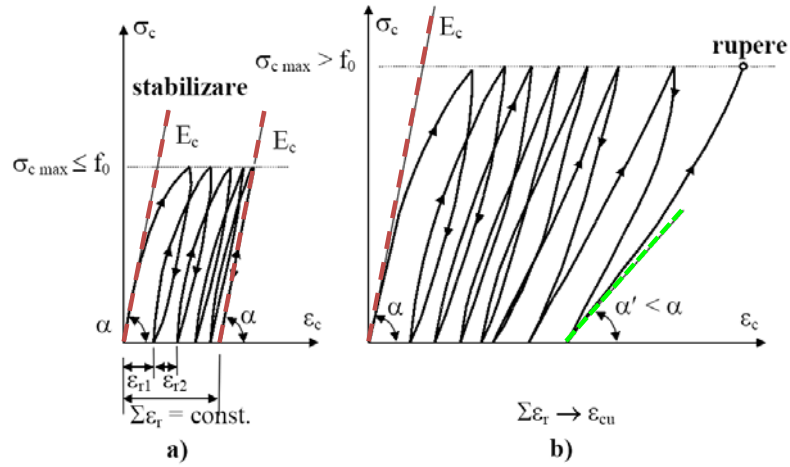
Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Efectul descărcării asupra deformațiilor de curgere lentă



Concrete deformations/ Deformațiile betonului

Deformațiile betonului sub încărcări dinamice repetate



ϵ_r = deformații remanente (ireversibile) \rightarrow Rezistența la oboseală $\approx f_0$

MULȚUMESC FRUMOS PENTRU ATENȚIE!



Dr.ing. NAGY-GYÖRGY Tamás

Profesor

E-mail:

tamas.nagy-gyorgy@upt.ro

Tel:

+40 256 403 935

Web:

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



Birou:

A219

