

**DEFORMACIJE BETONA POD DUGOTRAJNIM
OPTEREĆENJEM**

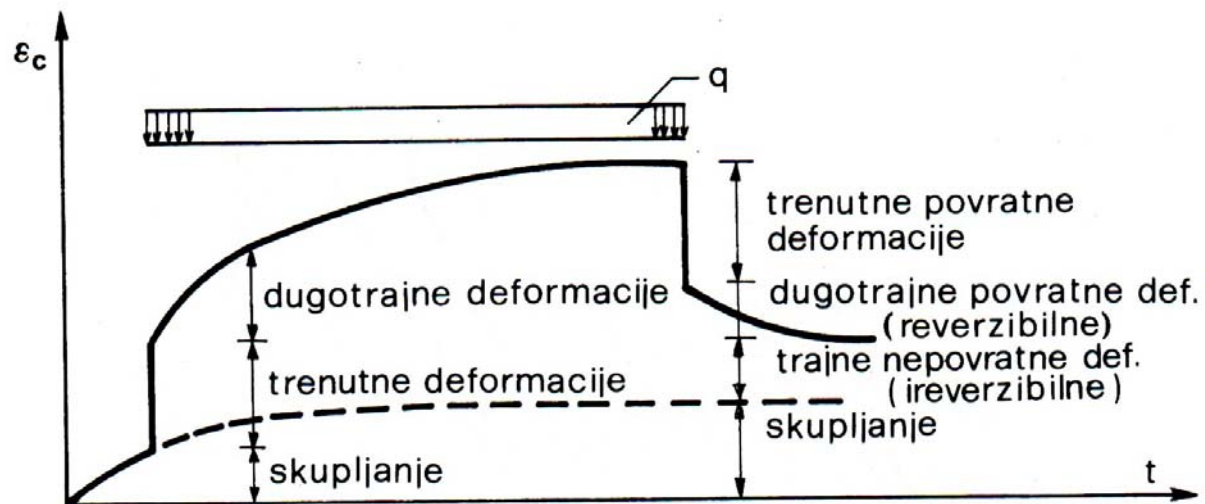
(PUZANJE)

**JAKO OPTEREĆENE I VITKE KONSTRUKCIJE
PROIZAŠLE SU IZ ZAHTJEVA
FUNKCIONALNOSTI I ESTETIKE**

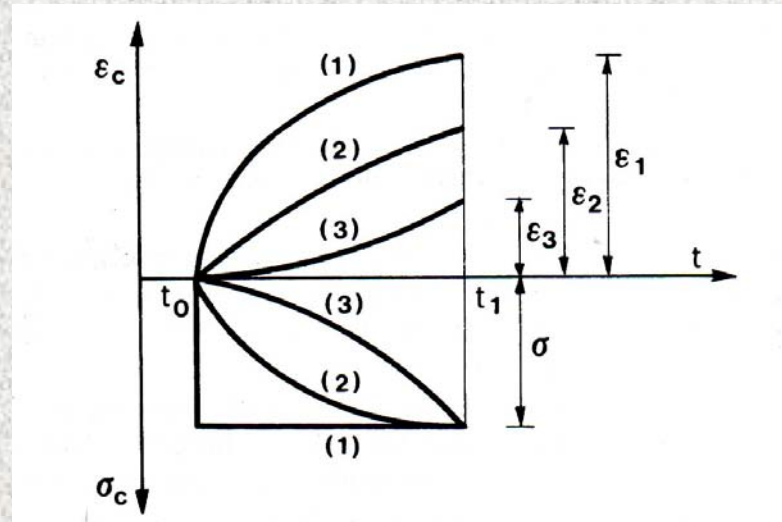
PROCES DEFORMIRANJA BETONA JE:

- **VISKOZAN (U FUNKCIJI VREMENA)**
VISKOELASTIČNE I VISKOPLASTIČNE def.
- **MONOTON I KONVERGENTAN (čvrsto tijelo)**

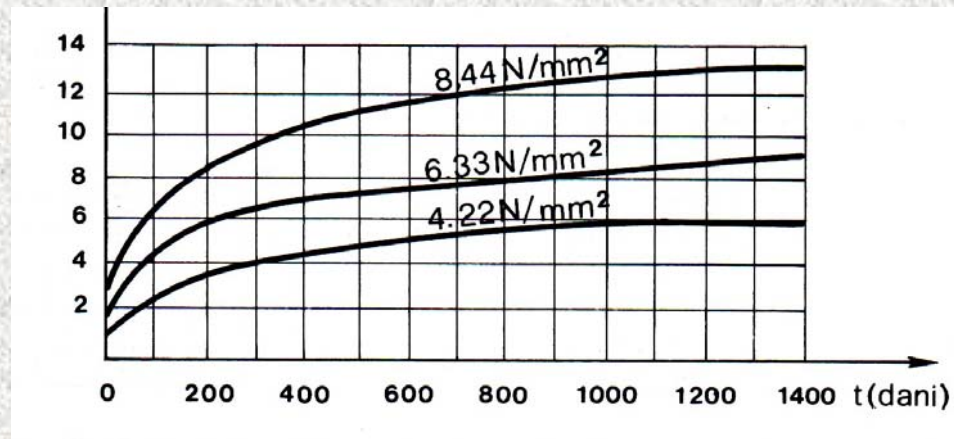
Dijagram deformacija betonskog elementa u vremenu



Deformacija i način nanošenja opterećenja



Utjecaj veličine naprezanja na trajne deformacije ϵ_c



Na temelju ispitivanja zaključeno je:

- **ODNOS $\sigma_c - \varepsilon_c$ IZAZVAN VANJSKIM OPTEREĆENJEM NELINEARAN JE U CIJELOM PODRUČJU**
- **NELINEARNOST JE OSOBITO IZRAŽENA U PODRUČJU**

$$\sigma_c > 0,5 f_{c,k}$$

- **KOD KRATKOTRAJNOG OPTEREĆENJA TLAČNIM OPTEREĆENJEM NELINEARNOST JE OSOBITO IZRAŽENA U PODRUČJU $\sigma_c > 0,8 f_c$**
- **KOD DUGOTRAJNOG OPTEREĆENJA IZRAŽENA NELINEARNOST POČINJE KOD $\sigma_c > 0,3 f_c$**

To je razlog zbog čega je za GRANIČNA STANJA UPORABLJIVOSTI PUZANJE OD IZNIMNE VAŽNOSTI I NIJE GA DOPUŠTENO IGNORIRATI!!!

LINEARNA TEORIJA PUZANJA

Pretpostavke:

1. ODNOS $\sigma_c - \varepsilon_c$ LINEARAN DO $\sigma_c = 0,5 f_{c,k}$
2. ODNOS $\varepsilon_c - t$ NELINEARAN
3. PLASTIČNA DEFORMACIJA OD PUZANJA $\varepsilon_{c,p}$ PRI DUGOTRAJNOM OPTEREĆENJU JE LINEARNO PROPORCIONALNA DEFORMACIJI $\varepsilon_{c,0}$ KOJA SE JAVLJA PRI IDENTIČNOM OPTEREĆENJU KOJE DJELUJE KRATKOTRAJNO:

$$\varepsilon_{c,p}(t, t_0) = k \varepsilon_{c,0} = k [\sigma_c / E_c]$$

k = koeficijent LINEARNOSTI JEDNAK

KOEFICIJENTU PUZANJA $\varphi(t, t_0)$ U TRENUTKU t, ZA ELEMENT KOJI JE U TRENUTKU OPTEREĆENJA BIO STAR t_0 :

VRIJEDNOSTI KOEFICIJENTA PUZANJA $\phi(t, t_0)$ ODREĐENE SU U NORMAMA ODNOSNO PRAVILNICIMA I U FUNKCIJI SU OD:

- **GEOMETRIJE POPREČNOG PRESJEKA ($A_c/2u$)**
- **VLAŽNOSTI OKOLIŠA**
- **VREMENU STAROSTI BETONA t_0 U ČASU OPTEREĆENJA**
- **KONZISTENCIJE BETONA (korekcijski faktori)**

O ČEMU PUZANJE OVISI I PARAMETRI KOJI UTJEČU NA PUZANJE

1. **VRSTA CEMENTA:**
PC s TROSKOM = VEĆE PUZANJE
VISOKOVRIJEDNI I ALUMINATNI CEMENTI SMANJUJU PUZANJE
2. **KONZISTENCIJA:** MASNI BETONI (više cementa) MANJE PUZANJE
3. **VODOCEMENTNI FAKTOR** VEĆI VC VEĆE PUZANJE
4. **TEMPERATURA:** VEĆA T OKOLIŠA, BRŽE PUZANJE
5. **CIKLIČKO OPTEREĆENJE:** VEĆI DINAMIČKI EFEKT, VEĆE PUZANJE
6. **AGREGAT:** KVALITETNIJI AGREGAT (veća čvrstoća i E) MANJE PUZANJE
7. **GRANULOMETRIJSKI SASTAV:** MANJE ŠUPLJINA MANJE PUZANJE
8. **VLAŽNOST:** MANJA VLAŽNOST, VEĆE PUZANJE
9. t_0 : MANJI t_0 , VEĆE PUZANJE
10. **VRSTA NAPREZANJA:** AKSIJALNI VLAK 25% VEĆE PUZANJE OD AKSIJALNOG TLAKA
 - AKSIJALNI TLAK UZDUŽNO I BOČNO PUZ.
 - TRIAKSIALNO STANJE: PUZANJE VEĆE OD LINEARNE SUPERPOZICIJE
11. **ARMATURA :** SMANJUJE PUZANJE JER PRIONLJIVOČĆU PREUZIMA NAPREZANJA

VOLUMENSKJE DEFORMACIJE BETONA

- TEMPERATURNE DEFORMACIJE
- SKUPLJANJE I BUJANJE

1. TEMPERATURNE DEFORMACIJE BETONA

NASTAJU PROMJENOM VANJSKE TEMPERATURE

**KOEFICIJENT LINEARNOG RASTEZANJA STALNA JE VELIČINA I ZA
SVE VRSTE BETONA IZNOSI**

$$\alpha_{Tc} = 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

ISPITIVANJA SU POKAZALA DA GA NEKI PARAMETRI MIJENJAJU:

- VODOCEMENTNI FAKTOR GA SMANJUJE**
- STAROST BETONA GA POVEĆAVA**
- VAPNENAČKI AGREGAT DAJE MINIMALNU VRIJEDNOST**
- KVARCNI AGREGAT DAJE MAKSIMALNU VRIJEDNOST**

2. SKUPLJANJE I BUJANJE BETONA

je SVOJSTVO CEMENTNOG TIJESTA DA MIJENJA SVOJ VOLUMEN PRI PROCESU VEZIVANJA I STVRDNJAVANJA:

- NA ZRAKU
GEL GUBI VODU, $-\Delta V$, SKUPLJANJE
- U VODI ili PRI VISOKOJ RH
GEL ABSORBIRA VODU, $+\Delta V$, BUJANJE

SKUPLJANJE NA ZRAKU 7X VEĆE DEFORMACIJE OD BUJANJA U VODI.

OBJE SU PO PRIRODI VISKOPLASTIČNE :

- U FUNKCIJI VREMENA
- PLASTIČNE, TJ. NEPOVRATNE

FAZE SKUPLJANJA:

- 1. RANO SKUPLJANJE (DO POČETKA VEZIVANJA)**
- 2. AUTOGENO SKUPLJANJE (NAKON POČETKA VEZANJA).**
24^h NAKON POČETKA VEZANJA BRZINA DEFORMACIJE VELIKA. KASNIJE TEŽI K NULI.

**VELIČINA DEFORMACIJE SKUPLJANJA
OVISI O:**

1. SASTAVU BETONA

- **FINOĆI I KOLIČINI MLJEVA**
- **DODACIMA**
- **V/C FAKTORU**
- **AGREGATU**

2. VLAŽNOSTI OKOLIŠA

3. DIMENZIJAMA ELEMENTA

4. TEMPERATURI OKOLIŠA (utječe na brzinu def.)

**DVIJE SU TEORIJE KOJE OBJAŠNJAVAJU
SKUPLJANJE:**

- 1. MICHAELIS: FIZIKALNO-KEMIJSKI PROCESI NA
POČETKU PROCESA STVRDNJAVANJA**
- 2. FREYSSINETT: TERMO-MEHANIČKA TEORIJA O
KAPILARNIM POJAVAMA U PORAMA CEMENTNE
MASE.**

PROCES SKUPLJANJA NEPOVOLJAN JE ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE ZBOG INICIJALNIH NAPREZANJA, KOJI SU TO VEĆI ŠTO JE VOLUMEN BETONSKOG ELEMENTA VEĆI.

OČITUJE SE TO U OBLIKU PUKOTINA NA POVRŠINI. NAIME, SKUPLJANJE NA POVRŠINI JE BITNO VEĆE OD ONOGA U UNUTRAŠNJEM DIJELU ZBOG:

- 1. NAGLOG ISUŠIVANJA NA POVRŠINI DOK JE UNUTARNJI DIO JOŠ U VLAŽNOM MEDIJU**
- 2. JEZGRA BETONA SPRIJEČAVA POVRŠINSKE DEFORMACIJE. ZBOG TOGA NA POVRŠINI IMAMO VLAČNA NAPREZANJA I PUKOTINE A U JEZGRI TLAČNA NAPREZANJA.**

UTJECAJ VREMENA NA SKUPLJANJE:

1. PORAST ČVRSTOĆE OSIGURAVA BEZPUKOTINSKO STANJE.

PORAST MODULA ELASTIČNOSTI DOVODI DO PORASTA

DEFORMACIJA I SKUPLJANJA.

**ZBOG OBA RAZLOGA STVARAJU SE VELIKI INICIJALNI NAPONI KOD
STATIČKI NEODREĐENIH SUSTAVA**

2. PORAST PUZANJA U VREMENU AMORTIZIRA SKUPLJANJE, PA SE

VJEROJATNOST ZA POJAVU PUKOTINA S VREMENOM SMANJUJE

ZBOG OVIH RAZLOGA BITNI EFEKTI SKUPLJANJA NASTAJU U

RELATIVNO KRATKOM VREMENSKOM RAZDOBLJU PA IH JE

KVALITETNOM NJEGOM POVRŠINSKOG DIJELA BETONA

POTREBNO ONEMOGUĆITI U POČETKU VEZIVANJA.

OSIM TOGA MJERE OSIGURANJA SKUPLJANJA SU JOŠ I DILATACIJE I

DODATNA ARMATURA KOJA PREUZIMA VLAČNA NAPREZANJA.

VEZA SKUPLJANJA I PUZANJA

FRESSYNETT: RAZLIKE U MEHANIZMU NEMA. SKUPLANJE JE ISTO ŠTO I PUZANJE SAMO ŠTO JE INICIRANO VANJSKIM OPTEREĆENJEM.

**EKSPERIMENTI POBIJAJU TU TVRDNJU:
SKUPLJANJE = VOLUMNA DEFORMACIJA
PUZANJE = JEDNOSMJERNA DEFORMACIJA**

TO SU NEOVISNE POJAVE

INŽENJERSKA PRAKSA PRIHVAĆA NJIHOVU AFINOST, ZBOG POJEDNOSTAVLJANJA PRORAČUNA.