

**EN 1992:
PRORAČUN BETONSKIH
KONSTRUKCIJA**

EUROCODE 2

Prof. dr Nebojša Đuranović, dipl. inž. građ.
Univerzitet Crne Gore, Građevinski fakultet,
nebojsadj@hotmail.com

EN 1992-1-1: 2004
OPŠTA PRAVILA i PRAVILA ZA ZGRADE
Design of concrete structures. General rules and rules for buildings

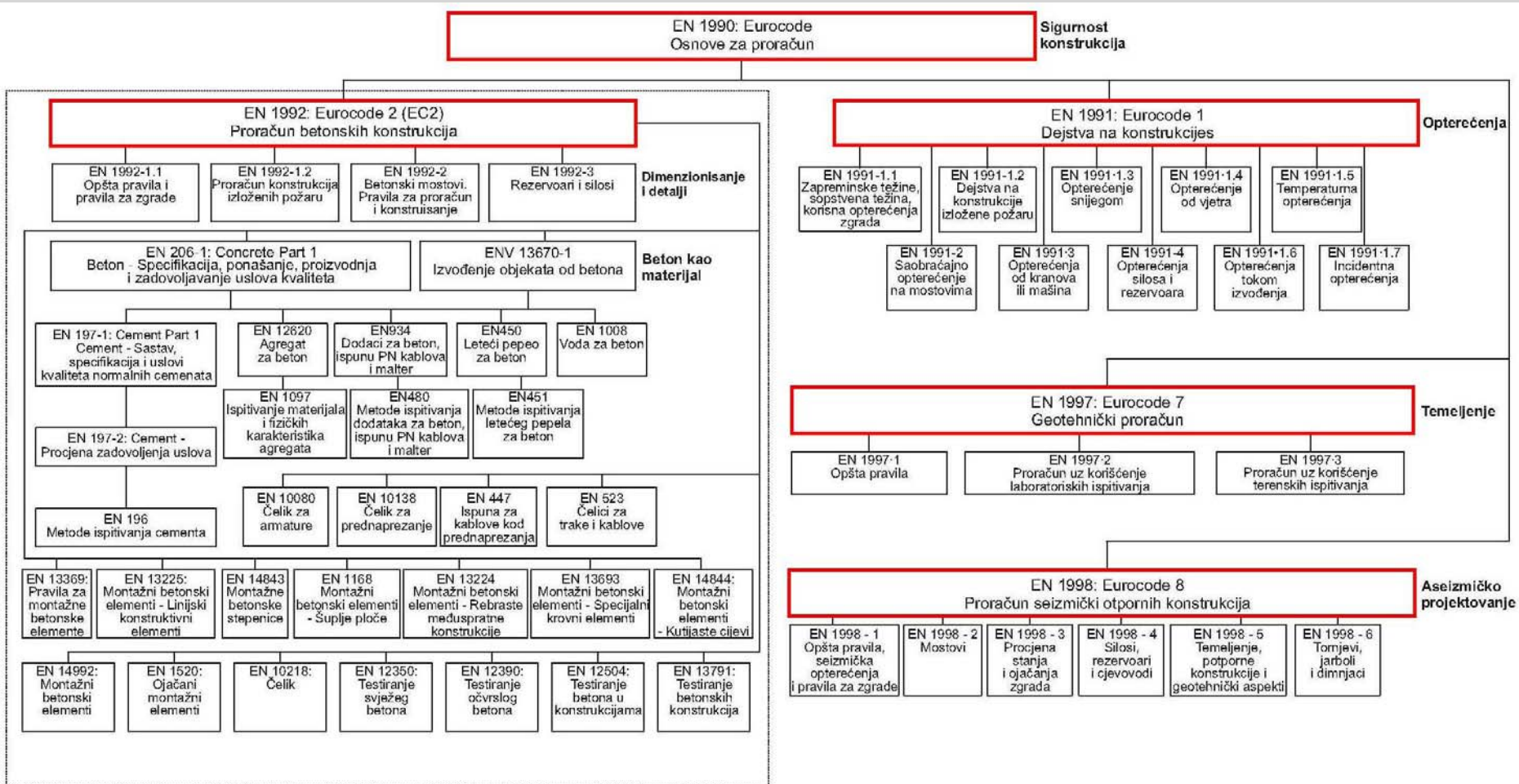
EN 1992-1-2: 2004
PROJEKTOVANJE ZA DEJSTVO POŽARA
Design of concrete structures. General rules. Structural fire design

EN 1992-2: 2008
MOSTOVI
Design of concrete structures. Concrete bridges. Design and detailing rules

EN 1992-3: 2006
REZERVOARI I SILOSI
Design of concrete structures. Liquid retaining and containing structures

- Primjenjuje se za proračun objekata od **nearmiranog, armiranog i prethodno napregnutog betona**, kako od uobičajenih, tako i od **lakoagregatnih** betona
- Tretira pitanja **nosivosti, upotrebljivosti, trajnosti i otpornosti na požar**
- U ovoj fazi razvoja nije predviđen da se koristi za projektovanje:
 - *specijalnih* vrsta objekata (recimo: **visokih zgrada, brana, reaktora ili platformi za aktivnosti na moru**);
 - **teških**, kao i **vazduhom olakšanih betona**
- Tokom **projektovanja, izvođenja i nadzora** podrazumijeva angažovanje **osoblja** potrebne stručnosti i iskustva, upotrebu kvalitetnih **materijala**, kao i adekvatnu **upotrebu i održavanje** izgrađenog objekta
- **Ne može se primjenjivati nezavisno od ostalih EUROCODE-ova**, kao i cijelog niza Evropskih standarda za beton, armaturu itd.

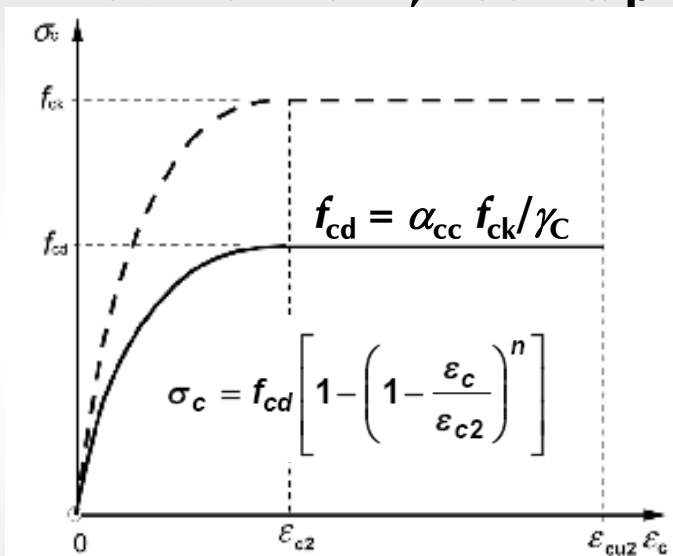
EC2 vs. OSTALI EC-ovi itd.



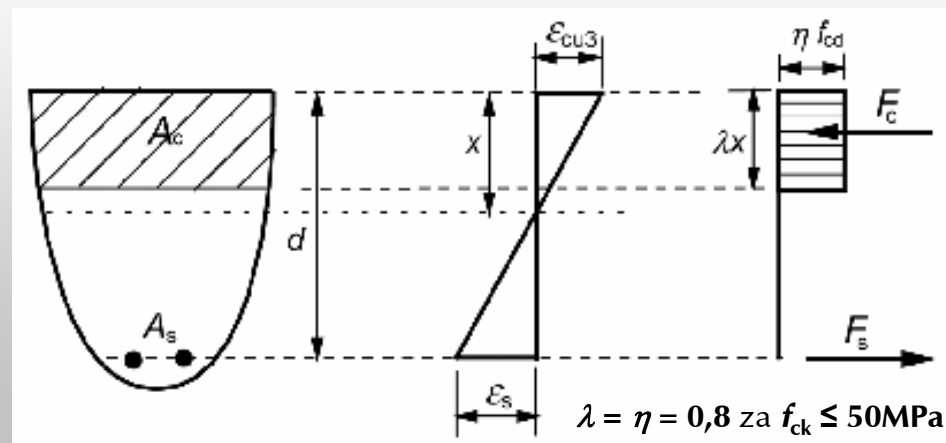
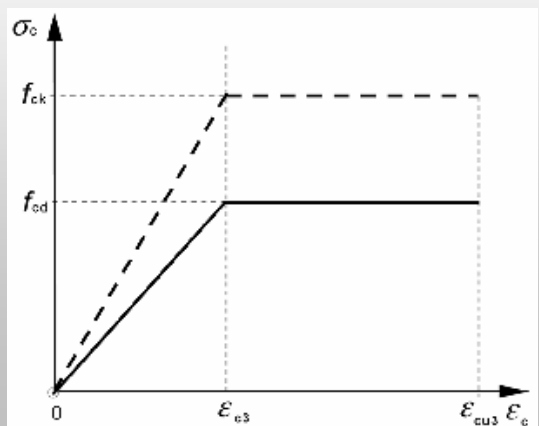
- Predavanje se neće baviti, između ostalog, sledećim delovima/aspektima EN 1992-1-1:
 - konstrukcijama od **lakog betona**;
 - konstrukcijama od **nearmiranog/slabo armiranog betona**;
 - konstrukcijama od **prethodno napregnutog betona**;
 - **montažnim** konstrukcijama.
 - **probojom**;
 - primjeni **modela rešetke** (pritisnuti i zategnuti štapovi) za potrebe proračuna;
 - **zamorom**;
 - **lokalnim opterećenjem**;
 - **kratkim elementom**;
 - **temeljima**;
 - brojnim **Aneksima** glavnog dokumenta, **itd.**

- Proračun je zasnovan na:
 - **teoriji graničnih stanja**, uz primjenu parcijalnih koeficijenata sigurnosti – u skladu sa EC0 i EC2;
 - **dejtstvima i kombinacijama dejstava** – u skladu sa EC0 i EC1, uz razmatranje termičkih efekata, neravnomjernog slijeganja i prednaprezanja;
 - mehaničkim karakteristikama, **trajnosti i upotrebljivosti** – na način definisan u samom EC2.
- **Parcijalni koeficijenti sigurnosti**, sem u odnosu na **dejstva i materijale** (uglavnom dato kroz EC0, za beton 1.50, za armaturu 1.15), definisani su i u odnosu na efekte:
 - **skupljanja**
 - **prednaprezanja**
 - **zamora**

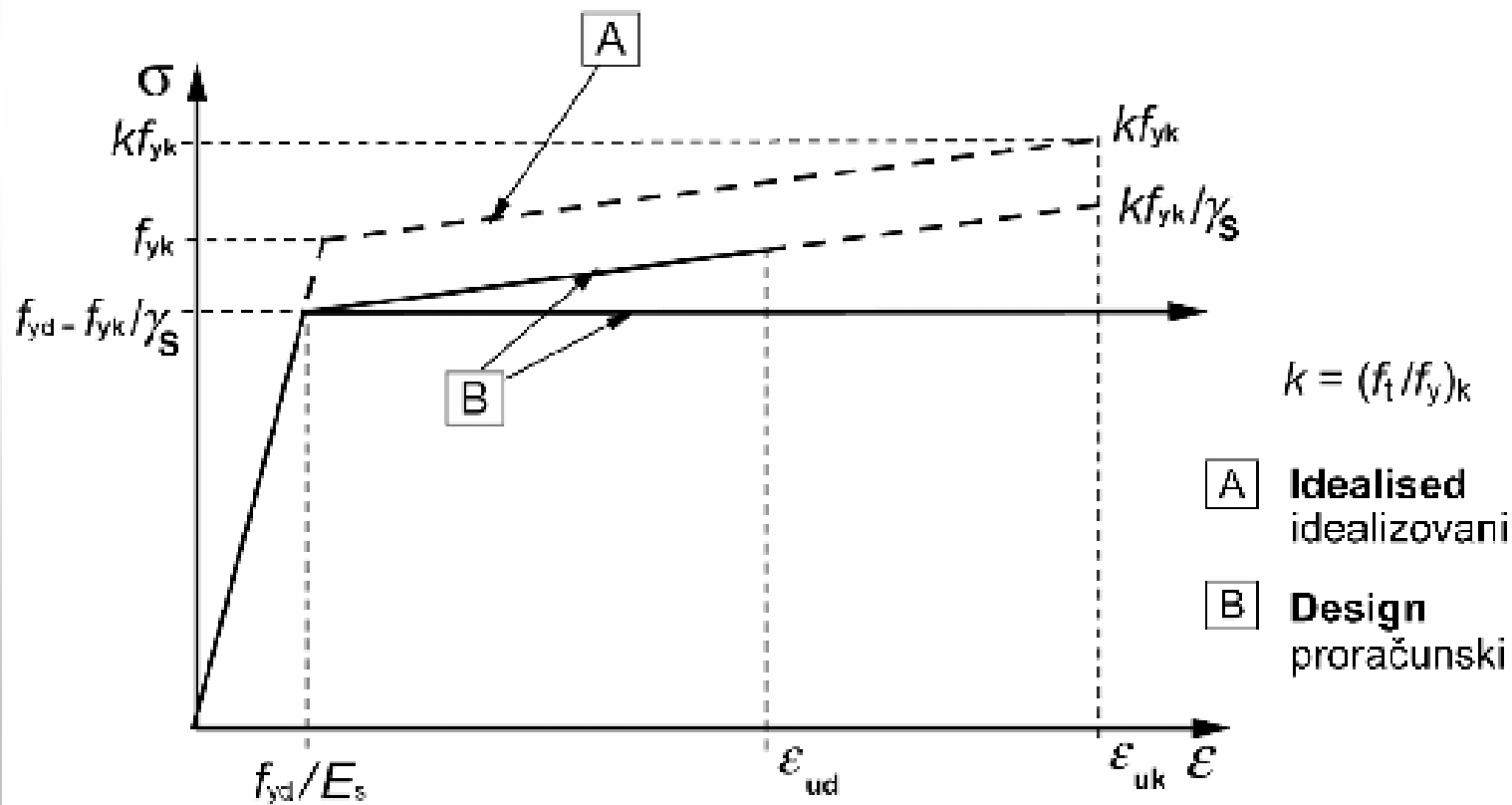
- Čvrstoća betona data je kao **Klasa** čvrstoće **betona** u odnosu na čvrstoću cilindra/kocke – recimo **C90/105**
- Dijagram napon – dilatacija je oblika **parabola/prava**, a eventualno može biti i **bilinerni**, i oblika **pravougaonika**



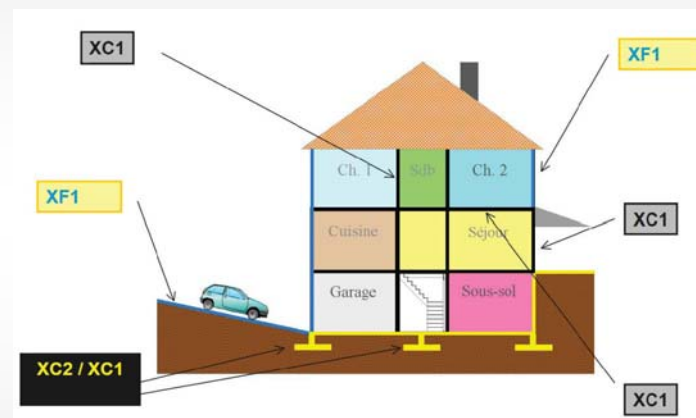
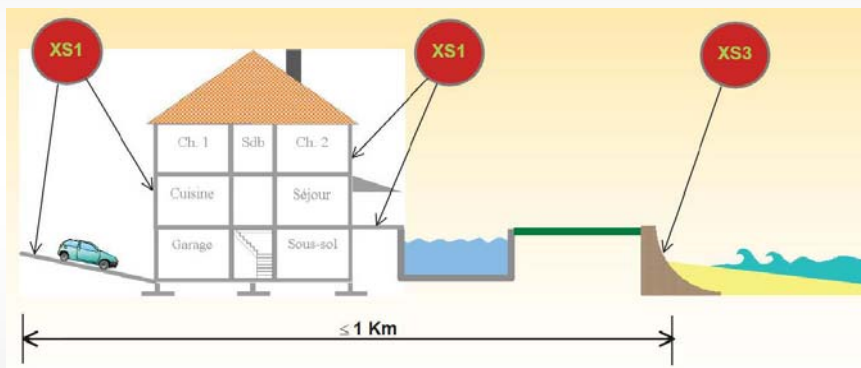
| Klase čvrstoće betona (dio) | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|----|----|----|----|----|----|----|
| f_{ck} (MPa) | 12 | 16 | 20 | 25 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| $f_{ck,cube}$ (MPa) | 15 | 20 | 25 | 30 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| E_{cm} (GPa) | 27 | 29 | 30 | 31 | 34 | 35 | 36 | 37 |
| ε_{c2} (‰) | 2,0 | | | | | | | |
| ε_{cu2} (‰) | 3,5 | | | | | | | |
| ε_{c3} (‰) | 1,75 | | | | | | | |
| ε_{cu3} (‰) | 3,5 | | | | | | | |



- Može se koristiti samo (zavarljiva) **rebrasta** armatura;
- Sem po granici razvlačenja ($f_{yk} = 400$ do 600 MPa), čelici se dijele i po **Klasama (A, B i C - zavisno od duktilnosti)**;
- Dijagram napon – dilatacija je **bilinearan**, sa **kosom** ili eventualno **horizontalnom granom** (kada granična dilatacija ϵ_u nije ograničena)



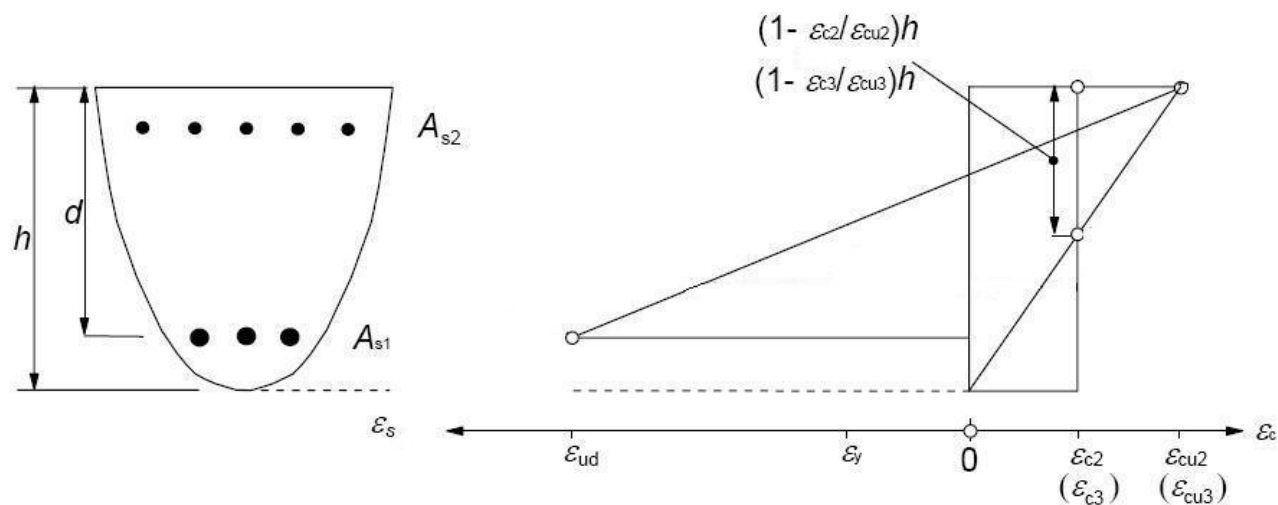
- **Trajnost** se obezbjeđuje, u principu, karakteristikama **zaštitnog sloja** i **ograničenjem veličine prslina**
- Zavisno od porijekla (karbonacija **C**, hloridi **D**, morska voda **S**, smrzavanje/topljenje **F** i hemijska agresija **A**) definisane su **klase agresivnosti/izloženosti** sredine **X** - od kojih zavisi preporučena minimalna **klasa betona** koji treba koristiti:



- Ne-agresivna sredina (**klasa izloženosti X0**) je sredina veoma niske vlažnosti, unutar objekta.
- **Debljina zaštitnog sloja** se dobija uvećavanjem **minimalnog** (koji zavisi od prečnika šipke, klase konstrukcije, klase izloženosti sredine, eksploatacionog vijeka, postupka građenja, kontrole kvaliteta itd., **min 10mm**) za tolerisana **odstupanja u izvođenju** (preporučeno **10mm**)

- **Statički proračun** može se sprovoditi sledećim metodama:
 - **Linearnom teorijom elastičnosti;**
 - Linearnom teorijom elastičnosti, **sa ograničenom preraspodjelom;**
 - onima zasnovanim Teoriji plastičnosti;
 - Nelinearnom analizom.
- **Vitki elementi** - kod kojih je $\lambda \geq \lambda_{lim}$ (koja zavisi od nivoa aksijalnog opterećenja, procenta armiranja, tečenje betona, f_{cd} , f_{yd} , itd.) se računaju uzimanjem u obzir:
 - **efekata Teorije II reda** (i po **materijalnoj**, i po **geometrijskoj nelinarnosti**) - sem kad se procijeni da su oni manji od 10% efekata Teorije I reda – bilo provjerom **izolovanog elemenata**, bilo provjerom **konstrukcije na globalnom nivou**;
 - ❖ **tečenja**, sem kad su zadovoljeni sledeći uslovi:
$$\varphi \leq 2 \quad \lambda \leq 75 \quad M_o/N \geq h$$
 - ❖ **geometrijske imperfekcije** (odstupanje od vertikalnosti).

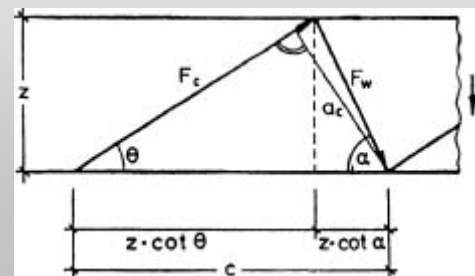
- Proračun GSN zasniva se na sledećim **pretpostavkama**:
 - Ravni presjeci ostaju ravni – važi **Bernulijeva hipoteza**;
 - Dilatacija na kontaktu betona i armature je ista u oba materijala – obezbiđen je **zajednički rad betona i armature**;
 - **Zategnuti beton** ne doprinosi nosivosti presjeka;
 - Ponašanje betona i armature je u skladu sa definisanim $\sigma - \varepsilon$ **dijagramima**.



Raspodjela dilatacija po visini presjeka proizvoljnog oblika

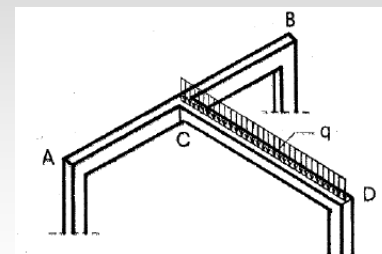
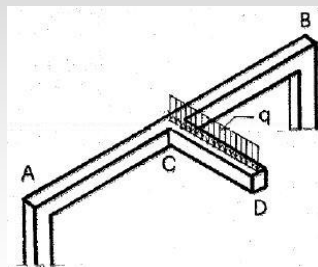
- Ako je smičući napon V_{Ed} veći od smičućeg napona koji nosač može primiti bez dodatnog obezbjeđenja armaturom $V_{Rd,c}$, tada smičuće napone (**neposredno**) primaju:
 - **Armature** za prijem smicanja, uključujući i dodatnu zategnutu armaturu - sračunate korišćenjem **modela rešetke sa promjenjivim uglovima**;
 - Pritisnuti **beton**, ali samo ako je pritisnuta zona nosača u nagibu.
- Smičući napon koji nosač može primiti bez dodatnog obezbjeđenja armaturom $V_{Rd,c}$ zavisi od:

- Klase **betona** (max C50/60);
- Dimenzija **poprečnog presjeka**;
- Količine **zategnute armature**;
- Veličine **normalne sile** u presjeku.



Ritter/Mörsch
(1922)

- Torzija se **računski** (na **modelu zatvorenog tankozidog presjeka**) tretira samo kod konstruktivnih elemenata **koji bi bez torzione krutosti doživjeli lom - primarna torzija.**



- (**Sekundarnu**) torziju, koju konstrukcija može primiti na neki drugi način, obezbjeđujemo samo uobičajenom **konstruktivnom armaturom**.
- Uobičajene **minimalne količine amature** primjenjivaće se za prijem uticaja T_t i M_t kod svih **punih pravougaonih presjeka** koji (u suštini) zadovoljavaju uslov da je zbir odnosa M_t u odnosu na $M_{t,prslina}$ i smičućih napona od T-sila u odnosu na smičuće napone od T-sila koje presjek može primiti bez dodatne armature, ne veći od 1.0
- Računsku armaturu** za prijem torzije čine (samo) šipke podužne armature.
- Za obezbjeđenje presjeka od **simultanog dejstva** transverzalnih sila i momenata torzije važi princip **direktne superpozicije**.

- Uslovi propisani GSU se ispunjavaju:
 - **Ograničavanjem napona pritiska u betonu** - da bi se izbjegle podužne prsline, mikroprsline ili veliko tečenje, i **napona zatezanja u armaturi** - da bi se izbjegla njena plastična dilatacija;
 - **Kontrolom GS prslina;**
 - **Kontrolom GS ugiba.**
- Kontrolom (širine) prslina i veličine ugiba obezbjeđuju se:
 - **Funkcionalnost;**
 - **Estetika**
 - **Trajnost** (za GS prslina)

KONTROLA PRSLINA

- Veličina **granične širine prsline** zavisi (sem u specijalnim slučajevima) samo od agresivnosti sredine, i iznosi 0.3, tj. 0.4mm
- Računska **širina prsline** određuje se kao proizvod **maksimalnog rastojanja prslina i razlike napona u armaturi i neisprskalom betonu** (između prslina) – koji, svi pojedinačno, zavise od velikog broja faktora ...

KONTROLA PRSLINA

- Izraz po kome se definiše **minimalna količina armature** (koja mora biti prisutna u zategnutim zonama presjeka u kojima je neophodno sprovesti kontrolu prsline) obuhvata, direktno i indirektno, 20-ak faktora ...
- Alternativa sprovođenju dokaza GS prsline je ograničavanje **prečnika šipki armature** i/ili **njihovog međusobnog rastojanja** - sve u zavisnosti od veličine napona u zategnutoj armaturi

KONTROLA UGIBA

- Alternativa sprovođenju dokaza GS ugiba je ograničavanje odnosa **raspon/debljina presjeka** - sve u zavisnosti od 20-ak faktora;
- Veličina **graničnog ugiba** iznosi **raspon/250**(500), a dozvoljenog nadvišenja **raspon/250**;
- Kod sračunavanja **maksimalnih ugiba** (metodom **numeričke integracije**, iz sračunatih krivina, u dovoljno velikom broju presjeka nosača, ili **bilinearnom metodom**) u obzir se **uzima linearna teorija tečenja, čvrstoća betona na zatezanje i sadejstvo zategnutog betona između prsline, efektivni moduo elastičnosti, skupljanje ...**

- **Rastojanje šipki armature** (ϕ šipke, veličina zrna agregata + 5 mm, namanje 20mm) mora da obezbijedi:
 - Kvalitetnu **ugradnju i zbijanje** betona;
 - Adekvatno **prijanjanje** betona i čelika.
- **Minimalna količina armature** definiše se:
 - da bi se izbjegao **krti lom**; ➤ da bi se sprečile (pre)široke **prsline**; i
 - da bi se prihvatile sile od dejstava koja su **posledica spriječenih deformacija**



SIDRENJE i NASTAVLJANJE ARMATURE

- **Sidrenje armature** se obezbjeđuje pravim dijelom i/ili kukom; a može i mehaničkim putem
- (Polazna) **dužina sidrenja** zavisi od:
 - **napona prijanjanja** (koji zavisi od čvrstoće betona na zatezanje, položaj armature u presjeku i prečnika šipke);
 - **napona u armaturi**, i ➤ **prečnika armature.**

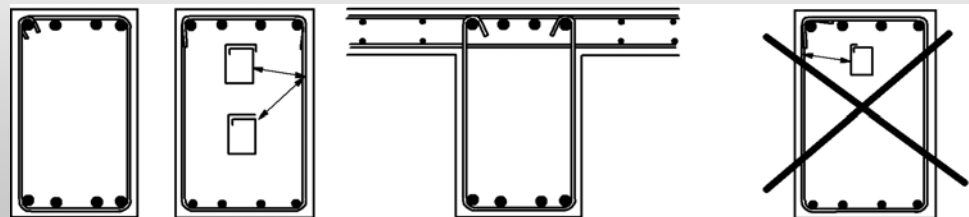
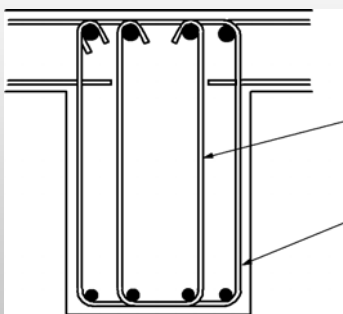
SIDRENJE i NASTAVLJANJE ARMATURE

- Redukcijom (na račun do 10-ak razloga) **dužine sidrenja** dobija se **potrebna** (proračunska) **dužina sidrenja**, koja mora biti veća od **minimalne** (60% dužine sidrenja, 10ϕ ili 100mm)
- **Nastavljanje armature** vrši se preklapanjem, zavarivanjem ili mehaničkim sredstvima
- **Potrebna dužina preklopa** dobija se na osnovu **dužine sidrenja**, i ona mora biti veća od **minimalne** (30 - 45% dužine sidrenja, 15ϕ ili 200mm)
- Propisane su i:
 - Minimalna količina **poprečne armature** na mjestu preklapanja;
 - Nastavljanje glavne armature **armaturnih mreža**;
 - Nastavljanje konstruktivne/sekundarne/**podeone armature**;
 - Formiranje, sidrenje i nastavljanje **svežnjeva** armature;
 - **Sidrenje poprečnih armatura**;
 - Načini **savijanja šipki**; itd.

- **Minimalna količina** zategnute podužne armature iznosi:

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \geq 0.0013 b_t d$$

- **Maksimalna količina** pritiskute/zategnute armature iznosi 4% površine poprečnog presjeka
- **Slobodni oslonci** primaju najmanje 15% momenta iz polja
- **Armatura za smicanje/T-sile (uzengije – za min 50% sile smicanja, kosa gvožđa i ostali oblici)** formira se pod uglom 45°-90° u odnosu na osu elementa:



- **Torzione uzengije** moraju biti preklopljene, ili sa savijenim ušima

- Propisani su i:
 - Način **ukidanja** armature po dužini grede;
 - Količina i načini sidrenja donje armature na **krajnjim** i na **srednjim osloncima**;
 - Minimalne količine, rastojanja, itd. **armatura za prijem T-sila i torzije**;
 - Uslovi za korišćenje (**površinskih**) **armatura** za kontrolu prslina i odvaljivanja betona;
 - Uslovi oslanjanja **grede na gredu**; itd.

- Slično prethodno izloženom, data su i detaljna uputstva za armiranje:
 - **Visokih greda** ($L < 3d$);
 - **Ploča** ($L_{\min} \geq 5d_p$);
 - **Stubova** ($d \leq 4b$ i $H \geq 3d$);
 - **Zidova** ($d > 4b$ ili $H < 3d$);
 - **Temelja**
 - **Zatega**; itd.

ZAKLJUČCI

- Filozofija, pristup i metode **EC2** i **PBAB'87** su (uglavnom) **veoma, veoma slični**:
 - Teorija GS predstavlja osnovu proračuna, uz (donekle) drugačiji tretman koeficijenata sigurnosti i mjerodavnih kombinacija opterećenja;
 - Definicije materijala su veoma slične/identične sa našim;
 - Definicije naponskih oblasi su veoma slične/identične sa našim;
 - Proračunske osnove GSN za savijanja, centična i ekscentična opterećenja su identične sa našim;
 - Proračunske osnove GSN za smicanja od T sila i torzije su identične sa našim;
 - Proračunske osnove GSU za prsline i ugibe su dobrim dijelom identične sa našim – pri čemu su dodata GSU po naponima;
 - EC2 mnogo kvalitetnije i detaljnije tretira brojne oblasti uključujući trajnost, pravila i detalje armiranja itd.

NEOPHODNE AKTIVNOSTI

- Da bi se **EC2 i prateći standardi** mogli **primijeniti** u našoj zemlji potrebno je uraditi (minimum) sledeće: (obuhvaćen samo inženjerski aspekt)
 - Formirati (kvalitetne) prevode osnovnih dokumenata i glavne literature koja prati implementaciju, pri čemu posebnu pažnju posvetiti usaglašavanje terminologije;
 - Ući u izradu (analiza + definisanje) Nacionalnih aneksa uključujući i NDP parametre;
 - Dati vremena nosiocima aktivnosti na nivou EU da prepoznaju i riješe (brojne) nedostatke standarda, i uključiti se neposredno u njihove aktivnosti;
 - Formirati neophodnu prateću literaturu (uključujući tabele za primjenu, algoritme, procedure itd);
 - Izvršiti koordinisanu (sa ostalim oblastima nastave) promjenu/prilagođavanje nastavnih planova i programa u srednjim školama i na fakultetima građevine (i arhitekture);
 - Obezbijediti obuku trenutno aktivnih inženjera i tehničara koji rade na ovim poslovima;
 - Definisati (realni) period koegzistencije PBAB87 i EC2, uključujući i *national calibration period*