

49.

VEJLEDNING

I

BEREGNING OG UDFØRELSE AF STRENGBETON



DANSK INGENIØRFORENING

*Udvalget til udarbejdelse af for-
skrifter vedr. forspændt beton*

TEKNISK FORLAG

KØBENHAVN

1951

VEJLEDNING

I

BEREGNING OG UDFØRELSE AF STRENGBETON



DANSK INGENIØRFORENING

*Udvalget til udarbejdelse af for-
skrifter vedr. forspændt beton*

TEKNISK FORLAG

KØBENHAVN
1951

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
Indledning	5
1. Materialer	5
1. 1. Stål	5
1. 2. Beton	6
2. Udførelse	8
3. Beregning	8
3. 1. Bøjning	8
3. 2. Forankring	11
3. 3. Sammensatte konstruktioner	11
4. Brandsikkerhed	11

Forord

Dansk Ingeniørforenings hovedbestyrelse nedsatte den 4. december 1947 et udvalg til udarbejdelse af normer for strengbeton.

Efter at sagen havde været drøftet nærmere, enedes man om, at det var for tidligt at udgive egentlige normer, medens der er stort behov for en vejledning, der kan medvirke til at skabe en ensartet praksis vedrørende projektering og udførelse af strengbeton.

Nærværende vejledning er udarbejdet af et udvalg bestående af:

Civilingeniør Jørgen Saxild (formand).

Statens Byggeforskningsinstitut:

Civilingeniør N. M. Plum.

De danske Statsbaner:

Baneingeniør, cand. polyt. N. W. Venge.

Stads- og havneingeniørforeningen:

Stadsingeniør, cand. polyt. A. Chr. Holm-Petersen.

Entreprenørsammenslutningen:

Civilingeniør R. A. Larsen,

Overingeniør, cand. polyt. R. Halfdan Nielsen.

Dansk Selskab for Bygningsstatik:

Civilingeniør, dr. techn. Chr. Ostefeld.

Professor, civilingeniør, dr. techn. K. W. Johansen. (Sekretær).

*DIF's bygningsingeniørgruppe og DIF's arbejdsgruppe
for beton og jernbeton:*

Civilingeniør P. E. Malmstrøm.

Stadsbygmesterens direktorat:

Afdelingsingeniør, cand. polyt. Alfred Taumose.

Stadsingeniørens direktorat:

Civilingeniør E. H. Sternow.

Vandbygningsvæsenet:

Civilingeniør K. Otterstrøm.

Som repræsentant for studiekredsen vedrørende forspændt beton overværede civilingeniør P o u l A n d e r s e n nogle af møderne.

Den gælder for sædvanlige strengbetonkonstruktioner.

I særlige tilfælde bør dog tillades — eller påbydes — afvigelse fra vejledningen.

Til sin tid, når yderligere erfaringer foreligger, vil vejledningen blive revideret.

Indledning

Ved strengbeton forstås her forspændt beton armeret med stålstreng, der forankres direkte til den omgivende beton gennem forbindelsen mellem trådens overflade og betonen.

Ved udførelsen, der i almindelighed foregår på fabrik, spændes trådene mellem dertil indrettede forankringer. Derefter udstøbes betonen, og efter tilstrækkelig hærkning frigøres trådene fra de nævnte forankringer, således at kraften overføres til betonen, og den forspændte tilstand opstår. Svind i betonen og krybning såvel i beton som i armering vil bevirke en nedgang i forspændingerne, som det er nødvendigt at tage hensyn til.

Såvel beton som armering skal være af høj kvalitet.

1. Materialer

1. 1. Stål

På grund af det betydelige spændingstab fra svind og krybning er høje spændinger nødvendige. Der anvendes derfor almindeligvis stålmateriale med brudgrænse på mindst 10000 kg/cm^2 . Elasticitetskoefficienten E_j svarende til arbejdskurvens rette del er $1,8-2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$.

Proportionalitetsgrænsen ligger forholdsvis lavt, og nogen udpræget flydegrænse findes ikke. Det kan være nødvendigt at tage hensyn til arbejdskurvens form, dels ved beregningen og dels ved kontrollen af forspændingen.

For at forbedre forbindelsen med betonen indvales der undertiden kærveligende fordybninger i trådene. Fordybningerne kan reducere trådenes udmattelsesstyrke betydeligt. Sammensnoning af to eller flere glatte tråde til forbedring af forbindelsen med betonen må frarådes.

Ved almindelig løbende kontrol kan følgende prøver for armeringen foreskrives:

- 1) Bestemmelse af stålets fuldstændige arbejdslinie ved kortvarig belastning, herunder bestemmelse af:
 - a. Brudgrænse σ_B
 - b. Jævnt fordelt brudforlængelse δ .

Brudgrænsen σ_B bestemmes for hver trådrulle, medens bestemmelsen af brudforlængelsen δ udføres sjældnere, afhængig af konstruktionens art og størrelse.

Disse prøver er tilstrækkelige, når der anvendes en armering af kendt fabrikat og type, så dens forhold over for krybning og udmattelse kan anses for oplyst. For armering af nyt fabrikat og type skal yderligere foretages:

- 2) Undersøgelse af krybning ved spændinger op til 0,8 gange brudspændingen.
- 3) Undersøgelse af stålets udmattelsesstyrke (kan udelades ved glatte tråde). Denne undersøgelse kan baseres på pålideligt udenlandsk forsøgsmateriale.

Til vejledning meddeles følgende omtrentlige værdier, som svarer til alm. handelsvarer i 1950, og som gælder både for glat tråd og for kærtråd med 2-5 mm diameter:

$$\sigma_B \sim 22000-14000 \text{ kg/cm}^2, E_j \sim 2,0 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

og for krybningen

for $\sigma_j = 0,80 \sigma_B$	$\epsilon_{pl} \sim 1-2 \text{ ‰}$
„ „ = 0,75 „	„ $\sim 0,5$ „
„ „ = 0,45 „	„ ~ 0 „

Det bemærkes, at stålets krybning sker i løbet af kort tid (højest få dage).

1. 2. Beton

Strengbeton kræver en beton af høj kvalitet. For at få mindst muligt tab af forspænding bør man tilstræbe mindst muligt svind og krybning. En cementtilsætning større end 500 kg/m^3 må derfor i reglen ikke anvendes, med mindre størrelsen af svind og krybning eftervises ved særlige forsøg. En tæt beton er nødvendig, hvorfor denne altid vibreres, med mindre andre lige så virkningsfulde metoder anvendes.

Ved udførelsen er det af stor praktisk betydning, at trådene kan afspændes hurtigt, hvorfor kunstig hærkning, f. eks. damphærkning, ofte anvendes. Hertil kræves særlig sagkundskab, og man må gøre sig klart, at selv om kunstig hærkning giver tilstrækkelig trykstyrke, kan den meget vel have uheldig indflydelse på andre vigtige egenskaber hos betonen, som f. eks. trækstyrke, varighedsstyrke m. v.

Betonens trykstyrke kontrolleres ved terninger med 20 cm sidelinie. Efter omregningstal baseret på forsøg kan terninger med 10 cm og 7 cm sidelinie benyttes, dog kun ved største kornstørrelse henholdsvis $\leq 20 \text{ mm}$ og 10 mm. Terninger bør støbes i stålform. Betonens trykstyrke kan om ønskes også kontrolleres ved prismer eller cylindre.

Betonens bøjningstrækstyrke kontrolleres ved prismer med kvadratisk tværsnit og længde ca. 5 gange sidelinien. Afhængigt af tilslagsmateriale kornstørrelse vælges en af efterfølgende prismetyper:

$$4 \times 4 \times \text{ca. } 20 \text{ cm (Kornstørrelse } \leq 10 \text{ mm)}$$

$$8 \times 8 \times \text{ca. } 40 \text{ cm (Kornstørrelse } \leq 20 \text{ mm)}$$

$$12 \times 12 \times \text{ca. } 60 \text{ cm (Kornstørrelse } \leq 30 \text{ mm)}$$

Bøjningstrækstyrken beregnes ved modstandsmomentet $\frac{1}{6} a^3$, hvor a er sidelinien. Den virkelige trækstyrke kan regnes til 60 % af den således fundne. Til orientering angives, at bøjningstrækstyrken ved god beton (mindst 600 kg/cm^2 terningstyrke efter 28 døgn) andrager 12—15 % af terningstyrken.

Til bygherrens almindelige løbende kontrol udføres pr. konstruktion mindst 1 sæt prøvelegemer bestående af 3 terninger og 3 prismer. Hele sættet støbes samtidig af den i konstruktionen anvendte beton, således at prøveværdierne bliver samhoørende. Støbning og opbevaring sker iøvrigt som angivet i normer for beton- og jernbetonkonstruktioner (DS 411, 9. 1).

Middeltallet af 28-døgns terningstyrken for hvert sæt — 3 terninger — skal være større end eller lig den forlangte terningstyrke, 500 à 600 kg/cm^2 eller større. Ved trådenes frigørelse kræves $350-400 \text{ kg/cm}^2$ i terningstyrke.

Middeltallet af bøjningstrækstyrkerne for hvert sæt skal være større end eller lig 10 % af den forlangte terningstyrke. Ingen af enkeltværdierne må være lavere end 35 kg/cm^2 .

Elasticitetskoefficienten E_p for betonen kan ved kortvarig belastning regnes til 400000 kg/cm^2 .

Betonens krybning sættes til det dobbelte af den elastiske deformation. Den samlede deformation herfra er således tre gange den elastiske og kan derfor beregnes ved en elasticitetskoefficient, der er en trediedel af elasticitetskoefficienten ved kortvarig belastning. Hertil kommer betonen svind, som sættes til ca. $0,4 \text{ ‰}$.

Man regner tilstrækkelig nøjagtigt forholdet $E_j:E_b$ til

$n = 5$ for kortvarige belastninger (bevægelig belastning)

$n = 15$ for langvarige belastninger (hvilende belastning).

I mindre væsentlige konstruktioner kan man regne

$n = 10$ i alle tilfælde.

2. Udførelse

Armeringen skal være fri for snavs, fedt og olie samt løs rust. Armeringen bør spændes på en sådan måde, at den ønskede spænding i samtlige tråde opnås med tilstrækkelig nøjagtighed. Ved kontrollen heraf kan det være nødvendigt at tage hensyn til arbejdsliniens krumning. Tråde af forskellig oprindelse bør ikke spændes samtidig, da deres arbejdslinier kan afvige stærkt fra hinanden.

Betonen udstøbes ret tørt og bør derfor vibreres. For at undgå krumning af slanke elementer er en særlig omhyggelig placering af armeringen og ensartet udstøbning af betonen nødvendig.

3. Beregning

Konstruktionen skal beregnes for brud. Endvidere undersøges spændingerne for følgende belastningstilfælde:

Forspænding alene, hvis dette kan forekomme.

Forspænding + hvilende belastning g .

Forspænding + hvilende belastning g + bevægelig belastning p .

3. 1. Bøjning

A. Brudstadium.

Ved beregningen for brud fastsættes betonens trykbrudstyrke på een af følgende to måder:

- Ved 50 prøveterninger bestemmes middeltallet M og middelfejlen (spredningen) m^* , trykbrudstyrken σ_C sættes da til $M-2m$. Dette gælder kun for 20 cm terninger prøvet på sædvanlig måde. Ved mindre terninger må enten antallet 50 eller faktoren 2 til m forøges.

*) Af N forsøg med fejlene v fås $m = \sqrt{\frac{\sum v^2}{N-1}}$; for $N = 50$ fås $m = \frac{1}{7} \sqrt{\sum v^2}$.

- Trykbrudstyrken σ_C sættes lig 70 % af betonens 28 døgns terningstyrke.

Med den fastsatte brudstyrke for betonen bestemmes konstruktionens brudmoment M_B og det kræves, at

$$M_B \geq M_{n_1g+n_2p}$$

hvor sikkerhedsgraderne n_1 og n_2 i almindelighed sættes til 2. Efter forholdene kan der dog regnes med forskellig sikkerhed, f. eks. $n_1 = 1,5$ og $n_2 = 2,5$. Den bevægelige belastning anbringes i farligste stilling.

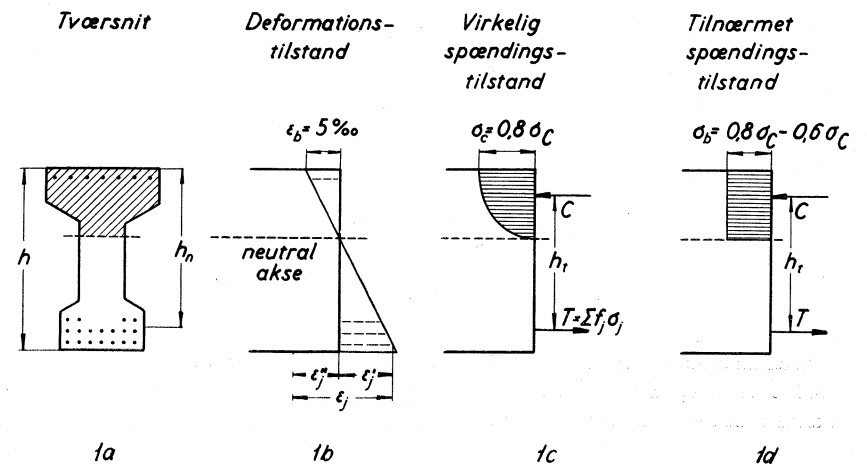


Fig. 1

Ved bestemmelsen af brudmomentet regnes med, at tværsnittene forbliver plane (fig. 1 b). Derimod gælder Hooke's lov ikke, så der må regnes med variabel elasticitetskoefficient, d. v. s. krumt spændingsforløb i trykzonen (fig. 1 c). Trykbrudstyrken ved bøjning kan sættes til $\sigma_c = 0,8 \sigma_C$, hvor σ_C er den ovenfor ved 1 eller 2 bestemte værdi.

For simpelheds skyld kan i praksis regnes med den i fig. 1 d viste ensformige fordeling. Den konstante betonspænding σ_b regnes da for rektangulære tværsnit til $0,6 \sigma_C$ og for T-tværsnit med meget tynd plade til $0,8 \sigma_C$, når kroppen under pladen ikke medregnes. For andre tværsnit af former mellem de to nævnte skønnes σ_b mellem $0,8$ og $0,6 \sigma_C$.

Når den neutrale aksens beliggenhed og dermed betonens trykzone og trykkraftens størrelse er skønnet for vedkommende tværsnit, sættes betonens brudforkortelse ε_B til 5 ‰. Gennem den forudsatte plane deformationstilstand er da forlængelsen ε_j ved armeringen bestemt. Idet armeringen i forvejen har den til forspændingen svarende forlængelse ε''_j , fås armeringens samlede deformation $\varepsilon'_j + \varepsilon''_j = \varepsilon_j$ ved bjælkens brud. Ved hjælp af ε_j og armeringens arbejdslinie (fig. 2) bestemmes armeringens spænding i brudøjeblikket. Der kan således i almindelighed ikke regnes med samme spænding i alle tråde. Heraf kan den samlede trækraft bestemmes, og hvis denne er lig trykkraften, er den skønnede beliggenhed af den neutrale akse rigtig. I modsat fald regnes om for en ny beliggenhed. Ved denne fremgangsmåde har man opnået en formel brudsikkerhed på 3—4 i betonen og 2 i armeringen.

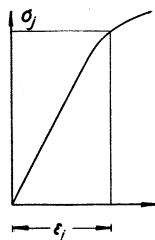


Fig. 2

Spændingstabt som følge af krybning og svind kan almindeligvis regnes til 1000 à 2000 kg/cm², i reglen 1500 kg/cm², eller det kan bestemmes ud fra de tidligere angivne værdier for svind og krybning.

Sikkerheden mod brud kan også påvises ved brudforsøg med den færdige konstruktion i stedet for ved beregning.

B. Spændingsbestemmelse for de andre ovennævnte belastningstilfælde.

Spændingerne udregnes på basis af plane tværsnit og retlinet spændingsdiagram. For alle tre belastningstilfælde skal trækspændingen i betonen holdes inden for passende grænser afhængige af konstruktionens art.

For forspænding + hvilende belastning må betontrykspændingen af hensyn til krybningen ikke overstige $\frac{1}{3}$ af 28 døgns terningstyrken.

I alle tre belastningstilfælde må stålspændingen ikke overstige 70 % af den ved forsøgene fundne trækstyrke.

3. 2. Forankring

Man skal sørge for, at friktionen mellem stål og beton er tilstrækkelig til at iværksætte forankringen. Tråde med ujævn overflade er gunstigere end glatte tråde.

Desuden skal man sørge for, at sprængende eller flækkende påvirkninger i bjælkeenderne, stammende fra trådenes forankring, imødegås ved passende udformning og anordning af bøjler eller lignende.

3. 3. Sammensatte konstruktioner

Konstruktioner, hvori færdigstøbte strengbetondele indgår, beregnes efter samme principper som strengbetonkonstruktioner.

Forbindelsen mellem en sammensat konstruktions enkelte dele skyldes i reglen adhæsion mellem betonoverfladerne. Hvis adhæsionen regnes konstant langs grænselinierne i normalsnittet, må den i brudstadiet ikke overskride halvdelen af den svageste betons trækstyrke, idet anlægsfladerne gøres ru. Der må ikke regnes med samtidig virkning af bøjler og adhæsion, med mindre bøjlerne forspændes.

4. Brandsikkerhed

Armeringen er særlig ømfindelig over for varmepåvirkninger, da dens høje styrke for en stor del skyldes koldbearbejdning. Opvarmning af armeringen til omkring 300° C kan bevirke skørhed, og til 600° C og derover, svækkelse. I tilfælde, hvor særlig brandsikkerhed ønskes, må man derfor ved passende udførelse eller isolering beskytte armeringen mod ildens påvirkninger. Det kan i denne forbindelse bemærkes, at betonens høje kvalitet og armeringens gunstige fordeling i mange tilfælde stiller strengbetonen gunstigere end almindelig jernbeton.