11.1 Armering

Af Gitte Normann Munch-Petersen

Figur 1. Armeringsstænger.

Armering er den ene komponent i kompositmaterialet armeret beton – også kaldet jernbeton, hvor man kombinerer de to materialer beton og armering.

Herved fås et konstruktionsmateriale, der er formbart og stærkt over for både tryk (beton) og træk (armering).

Både betonens og armeringens egenskaber afhænger først og fremmest af de egenskaber materialerne har ved levering på byggepladsen, men for begge materialer (også armeringen) gælder det, at deres egenskaber kan ændres væsentligt, ved den måde de behandles på byggepladsen.

Armeringen er normalt stål (jern), der leveres til byggepladsen som stænger eller net. Når man køber armering, der er certificeret iht. DS/EN 10080 [1] (hvilket er et krav),

er egenskaberne klart definerede, men disse egenskaber kan ændres, når armeringsstålet bukkes, udrettes eller svejses, hvilket kan påvirke bæreevnen og sikkerheden negativt.

Beton kan også armeres med andre materialer end stål eller ved at blande fibre i den friske beton, fx glas, stål, nylon og polypropylen. Disse alternative armeringsmetoder er ikke dog ikke behandlet i dette kapitel. Vedr. fibre se kapitel 11.3.

11.1.1 Armeringens virkemåde

Beton er et materiale, der har en markant højere trykstyrke end trækstyrke. Trækstyrken er mellem 1/15 og 1/10 af trykstyrken. Uarmeret beton kan derfor ikke anvendes til trækpåvirkede konstruktioner.

Stål har en markant højere trækstyrke end beton. I modsætning til beton er stål duktilt, dvs. at det kan deformeres betydeligt inden brud. Ved at armere beton kan man derfor opnå en større trækbæreevne af konstruktionen i de lokale områder, hvor armeringen er placeret.

Når armeret beton udsættes for træk, vil der opstå revner. Dette skyldes, at både armeringens styrke og e-modul er mange gange højere end betonens, og betonen vil revne, når trækkraften overstiger betonens trækstyrke, som normalt kun er 3-5 MPa.

Hvornår revner betonen?

Når betonen revner er armeringens trækstyrke kun udnyttet med få procent.

Eksempel:

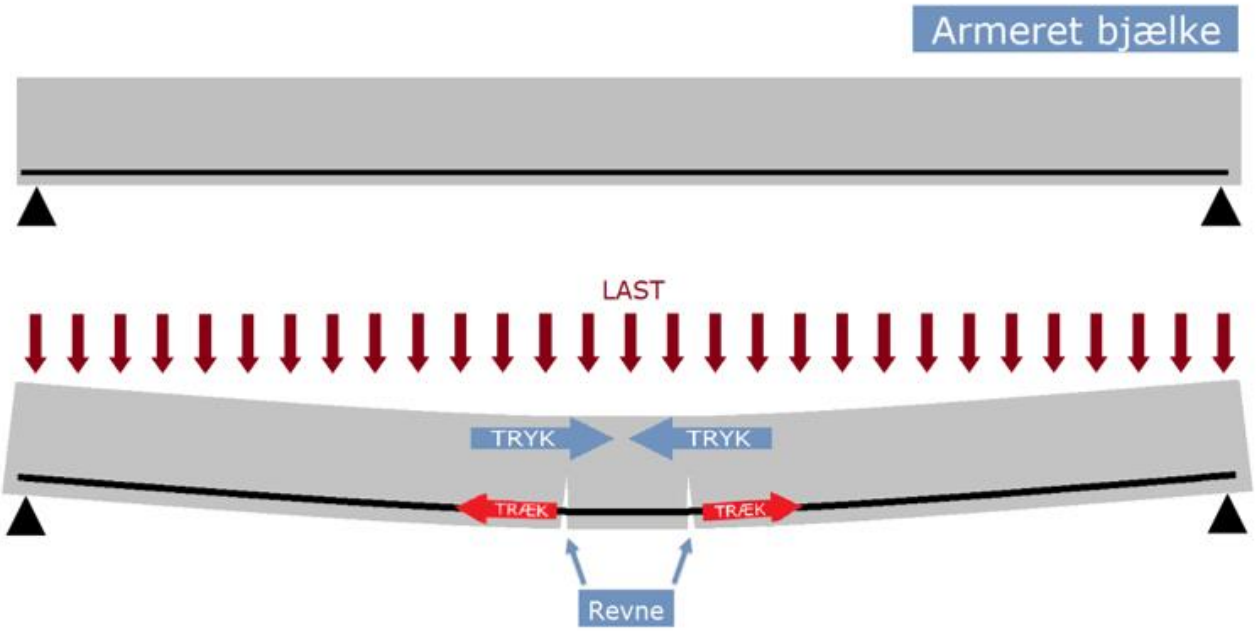
Armering:
Styrke ca. 500 MPa
E-modul ~ 210.000 Mpa

Beton:
Trækstyrke ca. 3 MPa
E-modul ca. 30.000 MPa

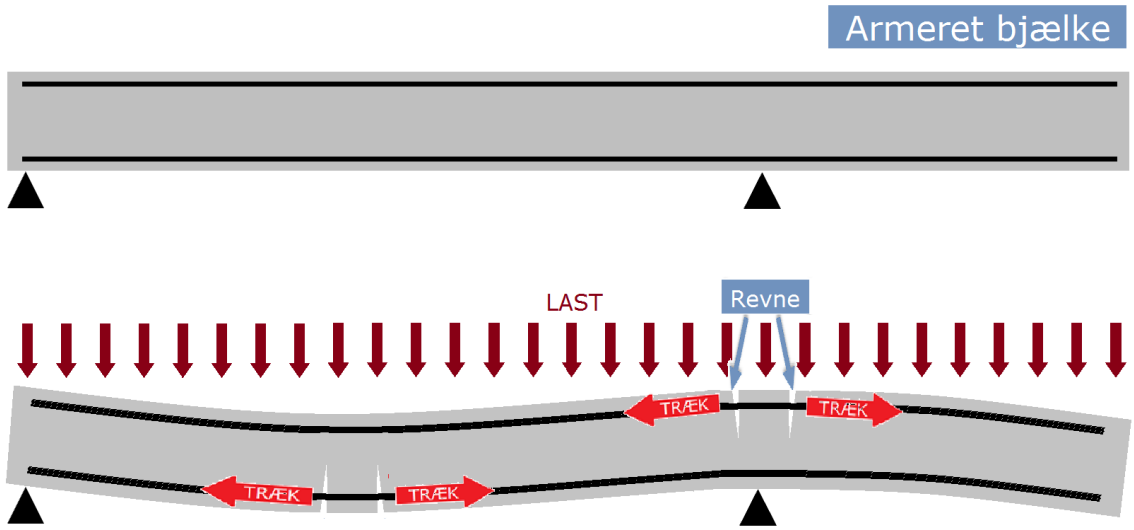
Betonen revner når trækket i armeringen er ca.:
$\frac{210.000}{30.000} \cdot 3\ MPa = 21\ MPa$

Dvs. når armeringen er udnyttet: $\frac{21}{500} \cdot 100\% = 4\%$

I Figur 2 og 3 ses, at for en bjælke kan trækzonen ligge i både oversiden og i undersiden, afhængig af understøtninger og lastforhold. Ved hensigtsmæssig armering kan man fordele revnerne, således at der opstår mange små revner i stedet for få store, men revnerne vil altid opstå ved trækpåvirkede armeringsstænger, da armeringen først begynder at virke - efter at betonen er revnet.



Figur 2. Når en simpelt understøttet bjælke udsættes for belastning, vil der opstå revner på undersiden af bjælken. (For overskuelighedens skyld er bøjler ikke vist på tegningen).



Figur 3. Når en udkraget (eller kontinuert) bjælke udsættes for belastning, kan der opstå revner både på oversiden og undersiden af bjælken. (For overskuelighedens skyld er bøjler ikke vist på tegningen).

Stål er desuden velegnet som armering i beton, fordi stålets termiske udvidelseskoefficient næsten er den samme som betons. Det medfører, at beton og armering udvider sig lige meget ved opvarmning og afkøling, hvilket sikrer, at betonen kun udsættes for minimale spændinger og risiko for revnedannelse i forbindelse med temperaturvariationer, og at fx bjælker ikke bøjer op og ned i takt med temperaturændringer.

Andre fordele ved kompositmaterialet armeret beton er, at der dannes en god vedhæftning mellem stål og beton, som sikrer, at spændinger kan overføres mellem betonen og stålet. Denne effekt kan øges ved anvendelse af stål med en profileret overflade. Endelig beskytter det basiske betonmateriale stålet mod korrosion – se kapitel 19.2 og 19.3.

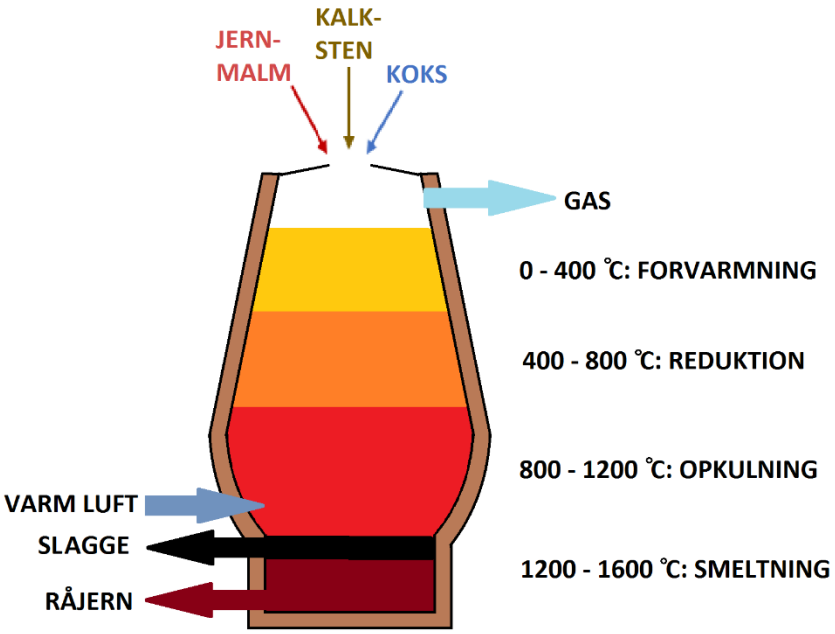
11.1.2 Stålfremstilling

Stål fremstilles af jernmalm. Jernmalm indeholder mellem 30 og 70 % jern. De primære forbindelser er oxiderne Fe_3O_4 og Fe_2O_3.

Udvinding af jern sker ved, at ilten frigøres fra jernmalmen. Dette sker typisk i en højovn.

I højovnen tilføres jernmalm, kalksten og koks i toppen af ovnen. Ovnen opvarmes nedefra med luft, der er forvarmet til en temperatur op til 900 °C. Opvarmningen medfører, at en del af kulstoffet i koksen forbrændes, hvorved temperaturen stiger til ca. 1600 °C i bunden af ovnen.

Jernmalmen synker ned gennem højovnen og opvarmes kontinuerligt. I ovnen sker der flere processer – her gengivet i hovedtræk:



Figur 4. Højovn til fremstilling af stål

- Kulstoffet forbrændes, hvorved temperaturen stiger. Samtidig dannes der kulmonooxid (kulilte).
- Kulmonooxid reagerer med jernmalmen, hvorved ilten fjernes og der dannes jern.
- Der tilsættes kalksten, der reagerer med en del af urenhederne, som derefter udskilles som slagge.

I bunden af ovnen aftappes råjern og slagge. Slaggen er lettere end råjernet og aftappes over råjernet. Råjernet aftappes således nederst i højovnen. Råjernet indeholder store mængder kulstof (3-4,5 %) fra koksoverskuddet, som er nødvendigt for at vedligeholde forbrændingen. Derudover indeholder råjernet svovl, fosfor, silicium og mangan. Slaggen kan anvendes som tilsætning til beton – se kapitel 3.5.3.

Efterfølgende raffineres råjernet for at nedbringe kulstofindholdet samt reducere indholdet af de andre uønskede følgestoffer. Til almindelige konstruktionsstål kan fx anvendes en konverter, hvor der indblæses ren ilt, som reagerer med følgestofferne. Denne proces kaldes en "friskning".

Til rustfast stål anvendes en argon-ilt kulstofrensnings ovn eller en vakuum-ilt kulstofsrensningsovn. Ilten kan efterfølgende fjernes helt eller delvist ved at tilsætte deoxydationsstoffer, fx mangan, silicium og aluminium. Herved kan man undgå/mindske porøsiteter i stålet.

I praksis anvendes der også ofte en stor mængde gammelt jern - kaldet stålskrot - til fremstilling af armering. Den overordnede trend omkring år 2020 er desuden, at en stadig større del af stålforbruget fremstilles af skrot. Stålskrot skal ikke behandles i en højovn, men omsmeltes og raffineres – fx i elektroovne – for at opnå den ønskede sammensætning. Omsmeltning af stålskrot kræver kun ca. 25 % af den mængde energi, der bruges til at fremstille stål af jernmalm, og denne energi kan komme helt eller delvist fra vandkraft.

Figur 5. Stålskrot anvendes til fremstilling af ny armering. Herved bespares betydelige mængder CO_2. På billedet ses fraklip på en byggeplads, der sendes til genbrug til ny armering.

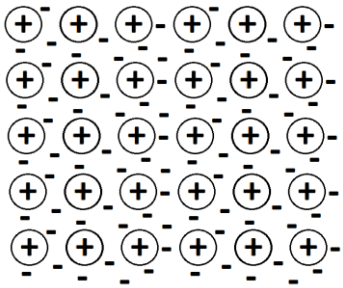
Det energi- og CO_2-fodaftryk, som knytter sig til armering, afhænger derfor i høj grad af fremstillingsprocessen. Armering fremstillet af skrot og med vandkraft er mest miljøvenligt. I praksis vil der til armering medgå ca. 1 til 1,5 kg CO_2-ækvivalent til fremstilling af armering ved højovnsmetoden, mens man kan komme ned under 0,5 kg CO_2-ækvivalent leveret på byggepladsen ved fremstilling af armering ud fra jernskrot og med vandkraft som energikilde.

Da armeringens CO_2-fodaftryk udgør ca. 20 % af jernbetons CO_2-fodaftryk, kan man derfor umiddelbart i mange tilfælde spare ca. 10 % på jernbetons fodaftryk ved at vælge en armering fremstillet på en CO_2-besparende måde.

11.1.3 Ståls opbygning

Metalkrystaller

Metalliske materialer er normalt krystalliske, dvs. at atomerne er rumligt regelmæssigt ordnede. Metalkrystallerne består af positivt ladede atomkerner omgivet af en sky af letbevægelige elektroner. Tiltrækningskræfter mellem positive metalioner og negative elektroner holder metalionerne på plads. I et fejlfrit metalgitter skal der derfor store kræfter til for at få atomerne til at flytte plads, idet deformationen kun kan foregå ved, at et helt atomlag forskydes samtidigt.

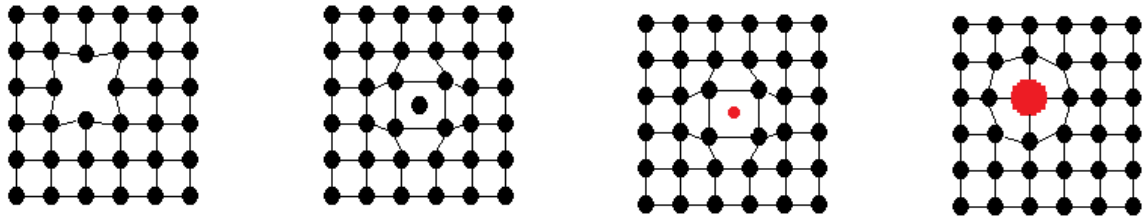


Figur 6. Metalioner i et metalgitter holdes sammen ved tiltrækning mellem de positive ladede metalioner og de negativt ladede, let bevægelige elektroner.

Krystallerne er fyldt med fejl. Der findes 3 fejltyper; punktfejl, linjefejl og fladefejl.

Punktfejl:
Der findes forskellige typer af punktfejl. Nedenfor i figur 7 er de typiske punktfejl illustreret.

En vakance opstår, når der mangler et atom i gitteret. Antallet af vakancer stiger med temperaturen, hvilket øger muligheden for at atomerne kan flytte plads. Modsat kan der være atomer som under størkningen ikke får en plads i gitteret. Fremmedatomer kan enten optage en plads i gitteret, eller de kan være placeret i hullerne mellem metalatomerne. Punktfejl presser atomerne ud af deres ligevægtstilstand, og der opstår indre spændinger i gitteret.



Vakance: Manglende atom | Overskudsatom | Fremmedatom - indskud | Fremmedatom - substitution

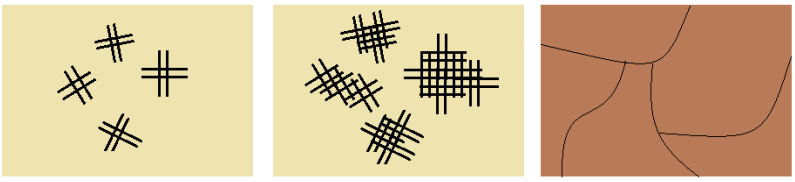
Figur 7. Punktfejl i metalgitteret.

Linjefejl:
Linjefejl er en gitterfejl langs en linje. De to primære linjefejl er kantdislokationer og skruedislokationer som vist i figur 8. Ved kantdislokationer er der indskudt et halvplan i gitteret. Ved en skruedislokation bevæger fejlen sig gennem gitteret som i en spindeltrappe. I begge tilfælde presses atomerne ud af deres ligevægtsplacering, hvilket medfører, at der ligesom for punktfejlene opstår indre spændinger.

Kantdislokation | Skruedislokation

Figur 8. Linjefejl i metalgitteret

Fladefejl/Korndannelse:
Når metal går fra flydende form til fast form, dannes der små krystalkim mange steder i smelten – se figur 9. Efterhånden som temperaturen falder, vokser krystalkimene til større krystalkorn. Når krystalkornene vokser sammen, vil gitteret sjældent være orienteret i samme retning, og samtidig vil der i grænsen mellem krystalkornene være en større uorden af atomer, der ikke når at finde deres korrekte plads i krystalgitteret under størkningen.



Figur 9. Krystalkorndannelse ved størkning af metaller

Der er forskel på materialers opløselighed i flydende og fast form ved forskellige temperaturer. Under krystalvæksten vil nogle fremmede (ikke-jern) atomer indbygges i jernkrystallerne, mens andre med mindre opløselighed og/eller et lavere smeltepunkt vil blive udfældet til sidst og dermed ophobes i korngrænserne. Fremmedatomer kan dels henhøre fra urenheder, dels fra legeringselementer, der tilsættes for at opnå særlige egenskaber.

11.1.4 Styrke og deformationsegenskaber

Stål s styrke- og deformationsegenskaber er vigtige for en armeret betonkonstruktions bæreevne og konstruktionens opførsel under belastning. Stålets evne til at deformere

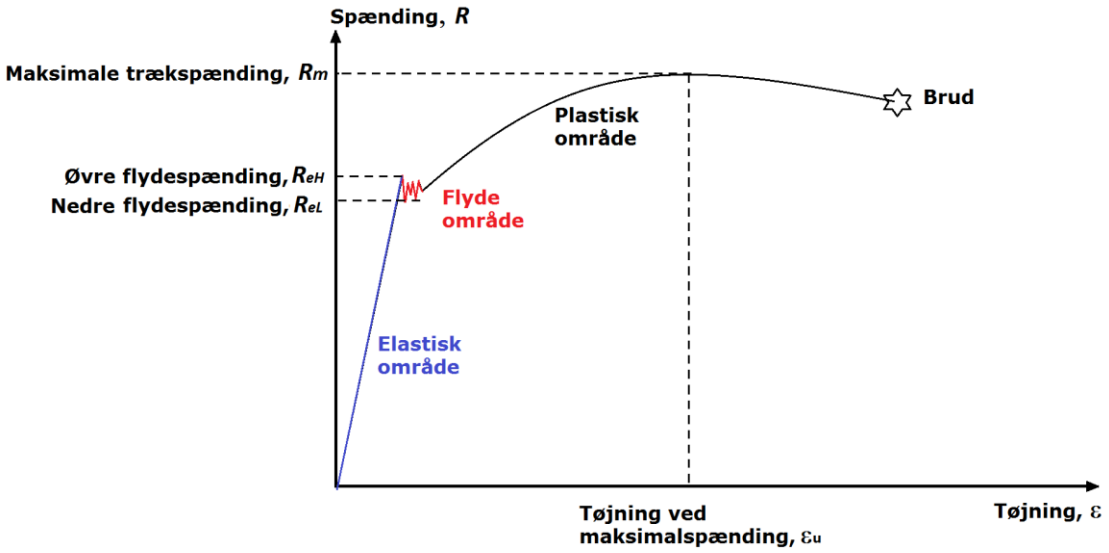
er fx vigtig i forhold til, hvor stor en nedbøjning en bjælke får, før der opstår brud. Deformationsegenskaberne beskrives som stålets sejhed eller duktilitet.

Sejhed kan beskrives ved den energi, et emne kan optage inden et brud sker, og den måles som arealet under arbejdslinjen indtil brud. Duktilitet er stålets evne til plastisk deformation, og den måles som procentvis forlængelse ved brud. Formelt set er der altså tale om to forskellige måder at måle deformationsegenskaberne på, men i praksis vil et duktilt stål også være sejt, og i daglig tale (og i normsystemet) bruges de to udtryk ofte (fejlagtigt) i flæng.

I princippet vil man gerne have høj styrke og høj duktilitet, men uanset hvordan man øger styrken, vil det være på bekostning af duktiliteten.

Stål arbejdslinje

Arbejdslinjer for stål er et vigtigt redskab til at kunne forstå de grundlæggende forskelle mellem forskellige armeringskvaliteter, og hvordan styrke og duktilitet ændres, når man bukker og udretter stål.



Figur 10. Blødt stål arbejdslinje

På arbejdslinjen for blødt stål er 3 karakteristiske områder:

- **Det elastiske område**: I det elastiske område trækkes atomerne i metalgitteret fra hinanden. De intermolekylære kræfter, der holder atomerne sammen, medfører, at forlængelsen er relativ lille i forhold til forøgelsen af kraften. Ved aflastning vil atomerne trække sig tilbage til deres ligevægtstilstand, og stålet vil trække sig sammen - uden en blivende forlængelse – se Figur 11 og Figur 12.
- **Flydeområdet:** Når de intermolekylære kræfter ikke længere kan holde sammen på atomerne, vil atomerne begynde at glide i atomplanerne. Til at starte med sker der en relativ stor forlængelse uden at lasten øges, og arbejdskurven er

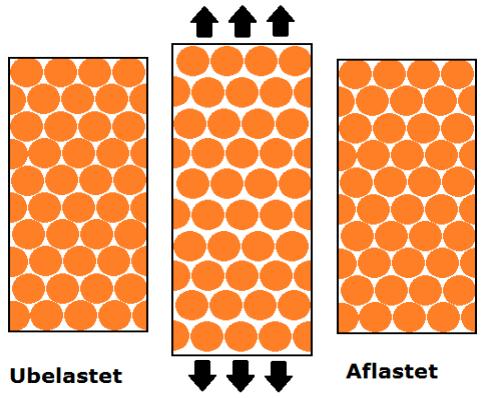
næsten vandret. Glidningen finder i første omgang sted i de planer, der ligger mest optimalt i forhold til kraften og primært omkring linje og punktfejl. Dette område kaldes flydeområdet. På arbejdskurven er området "takket". Dette skyldes, at trækmaskinen til bestemmelse af arbejdslinjen er deformationsstyret, og da deformationen i dette område er meget stor, kan hydraulikken ikke fastholde en konstant forlængelse. Flydespændingen måles enten som den øvre flydespænding, som er betegnelsen ved den 1. tak, eller som den nedre flydespænding, som er spændingen svarende til den lavest beliggende tak – bortset fra den 1. nedadgående.

Det er den øvre flydespænding, der i de europæiske normer for stål- og betonkonstruktioner danner grundlag for styrkeberegningen.

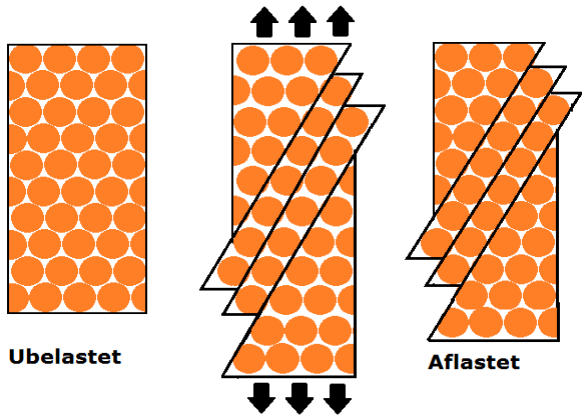
- **Det plastiske område:** Efter flydeområdet stiger arbejdskurven igen. Der er fortsat glidning i atomplanerne, men glidningen finder nu sted i planer, der ligger mindre optimalt i forhold til kraften. Når gitteret bliver rettet ud, og når glideplanerne møder en korngrænse, skal kraften øges, for at nye glideplaner kan aktiveres, eller korngrænser kan overskrides – hvilket er grunden til, at der fortsat kan opbygges styrke.

  Ved aflastning i flydeområdet eller det plastiske område, vil den del af forlængelsen, der skyldes deformation i flydeområdet og det plastiske område, være blivende, mens den del, der skyldes den elastiske deformation, vil forsvinde – se Figur 11 og Figur 12.

  På den første del af det plastiske område er der en vekselvirkning mellem, at de fastlåste glideplaner skrider og fastlåses i nye positioner. På et tidspunkt begynder arbejdskurven at flade ud. Dette skyldes, at glidning er den overvejende mekanisme. Herefter begynder arbejdskurven at falde, fordi der lokalt sker en indsnøring af materialet (halsdannelse) i det område, der er det svageste i materialet. Deformationen vil blive koncentreret i denne indsnøring, indtil der opstår brud.



Figur 11. Elastisk deformation: Afstanden mellem atomerne øges – ved aflastning trækker atomerne sig tilbage til deres udgangsposition, og der er ingen blivende forlængelse.



Figur 12. Plastisk deformation: Atomerne skifter plads i atomgitteret – ved aflastning vil kun den elastiske deformation genvindes, mens den plastiske deformation er blivende.

Styrken måles i spænding – men der er forskel på **effektiv** og **nominel** spænding. I praksis anvendes nominel spænding:

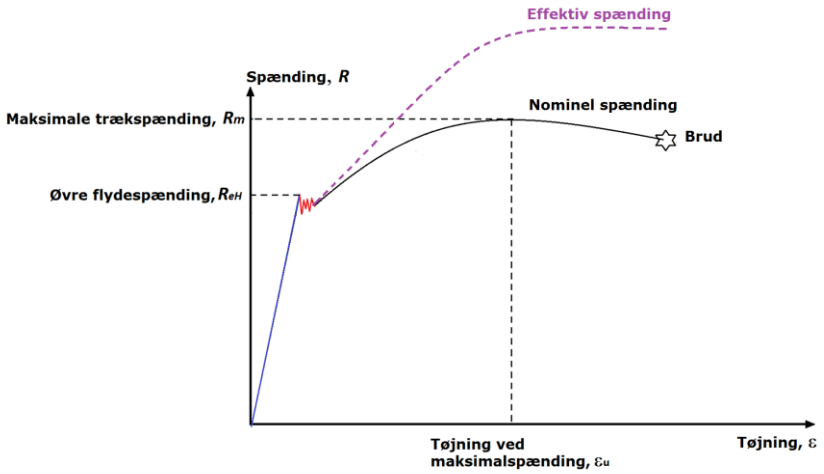
Effektiv spænding:

$$\sigma_e = \frac{F}{A_e}$$

Nominel spænding:

$$\sigma_0 = \frac{F}{A_0}$$

A_e = reelle (effektive) tværsnitsareal
A_0 = Det oprindelige tværsnitsareal

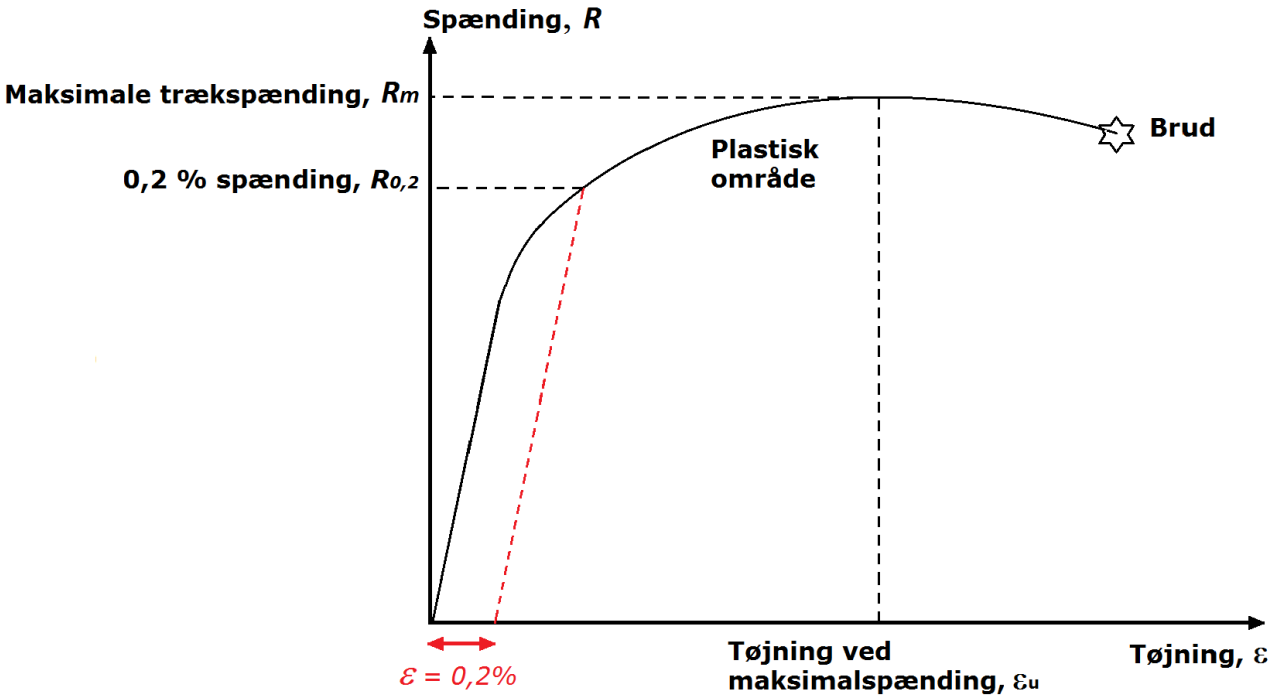


Da det reelle tværsnitsareal bliver mindre, jo længere prøveemnet bliver trukket, vil den effektive spænding være højere end den nominelle.

Hærdet stål arbejdslinje

Stål styrke kan øges på forskellige måder. Disse vil blive gennemgået i afsnit 11.1.7 Styrkeøgende mekanismer.

Hærdet stål har ikke et udpræget flydeområde, og det er derfor ikke muligt at angive en flydespænding. I stedet anvendes 0,2 % spændingen for konstruktionsstål og 0,1 % spændingen for spændarmering, der er defineret som spænding, der efter aflastning giver en blivende deformation på henholdsvis 0,2 % og 0,1 %. 0,2 % spændingen er vist i Figur 13.



Figur 13. Arbejdslinje for hærdet stål. Der er ikke et flydeområde, men ofte anvendes 0,2% spændingen som et mål for styrken. For spændarmering anvendes 0,1 % spændingen.

11.1.5 Krav til armeringsståls egenskaber

Krav til armeringsegenskaber i DS/EN 10080 og DS/EN 1992-1-1

DS/EN 10080 fastlægger krav og definitioner af ydeevnekarakteristika for svejseligt armeringsstål, der anvendes til armering af betonkonstruktioner. Det er et krav i DS/EN 1992-1-1 DK NA [2], at armeringstål produceres og certificeres iht. DS/EN 10080, anneks ZA. Ligeledes skal coils (armering leveret som spoler) efter udretning certificeres (igen) svarende til kravene i DS/EN 10080 for de egenskaber, der kan ændre sig ved udretningen.

Der anvendes forskellige symboler i de to standarder DS/EN 10080 og DS/EN 1992-systemet, hvilket kan synes at være uhensigtsmæssigt. Dette skyldes bl.a at der

anvendes forskellige statistiske metoder til fastsættelse af egenskaberne. DS/EN 10080 henviser fx til en flydespænding, R_e der relaterer til karakteristiske minimums og maksimumsværdier for den normale produktionskvalitet. I modsætning hertil er f_{yk} i DS/EN 1992-systemet den karakteristiske flydespænding udelukkende for den armering, der er anvendt i en bestemt konstruktion og er baseret på 5 %-fraktilen. Der er ikke nogen direkte sammenhæng mellem f_{yk} og den karakteristiske R_e, men metoderne til vurdering og eftervisning af flydespænding indeholdt i DS/EN 10080 er iht. DS/EN 1992-1-1 tilstrækkelige til at opnå f_{yk}. I Tabel 1 er sammenhængen mellem symbolerne vist.

Tabel 1. Sammenligning af symboler anvendt i DS/EN 10080, DS/EN 1992-1-1 og DS/EN 1992-1-2.

Egenskab	**EN 10080**	**EN 1992-1-1 EN 1992-1-2**
Flydespænding	R_e	f_y
0,2 % spænding, ikke proportional forlængelse	$R_{p0,2}$	$f_{p0,2}$
Trækstyrke	R_m	f_t
Forholdet mellem trækstyrke og flydetrækspænding	R_m/R_e	f_t/f_y
Procentvis total forlængelse ved maksimal kraft	A_{gt}	ε_u
Nominel diameter	d	Ø

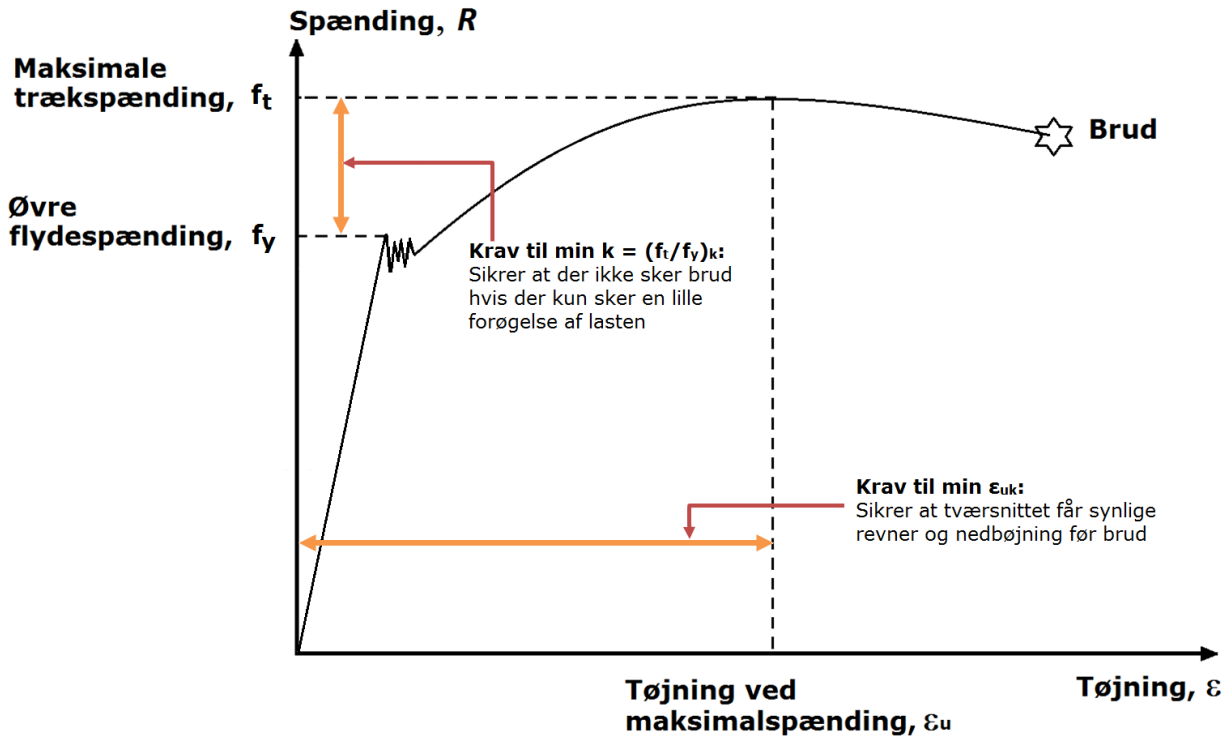
<u>Krav til armeringsegenskaber i DS/EN 1992-1-1 [3]</u>

Ud fra arbejdslinjerne, se Figur 10, er der i DS/EN 1992-1-1 defineret tre styrke og deformationsegenskaber, der skal opfyldes for armeringsstål:

- Flydespænding defineres i de europæiske betonkonstruktionsnormer som den øvre flydespænding. Det er den spænding, der opnås lige inden stålet begynder at flyde, og på kurven måles den på toppen af den første tak. Ud fra flydespændingen defineres stålets styrke. Hvis stålet ikke har et flydeområde, anvendes 0,2% spændingen.

- Den maksimale trækspænding er den højeste spænding, der opnås før brud. Forholdet mellem den maksimale trækspænding og flydespændingen betegnes "k". Krav til min k = $(f_t/f_y)_k$ sikrer, at der ikke sker brud, hvis der kun sker en lille forøgelse af lasten - jo større k er, jo mere kan flydespændingen overskrides uden at der opstår brud. Dette er især vigtigt i forhold til konstruktioner, hvor der ønskes flydning som et varsel for brud samt i jordskælvspåvirkede konstruktioner.

- Tøjningen ved den maksimale trækspænding er et mål for, hvor meget stålet kan deformere i det plastiske område. Krav til min ε_{uk} sikrer at tværsnittet får synlige revner og nedbøjning før brud.



Figur 14. Krav til minimum k og minimum ε_u indgår i DS/EN 1992-1-1 og definerer de tre armeringsklasser A, B og C.

Ud fra disse tre egenskaber, klassificeres stål i tre armeringsklasser; A, B og C:

- **Klasse A:** Kun begrænset anvendelse – og må ikke anvendes ved beregning iht. Plasticitetsteorien.
- **Klasse B:** Anvendes til normale konstruktioner.
- **Klasse C:** Anvendes fx i forbindelse med jordskælvspåvirkninger.

Krav til egenskaberne i de tre armeringsklasser fremgår af DS/EN 1992-1-1, anneks C, og er gengivet i Tabel 2.

Tabel 2. Krav til armeringsstål styrke og deformationsegenskaber iht. DS/EN 1992-1-1.

Egenskab	**Stænger, udrettet armering og svejste net**			**Fraktil**
	A	**B**	**C**	**(%)**
Karakteristisk flydespænding f_{yk} eller $f_{0,2k}$ (MPa)		400 – 600 *		5,0
Minimumsværdi af $k = (f_t/f_y)_k$	≥ 1,05	≥ 1,08	≥ 1,15 < 1,35	10,0
Karakteristisk tøjning ved maksimal kraft, ε_{uk} (%)	≥ 2,5	≥ 5,0 **	≥ 7,5	10,0

*) DS/EN 1992-1-1 DK NA, 3.2.2(3)P: Den nedre grænse på 400 MPa gælder ikke armeringsstål med glat overflade. Såfremt der for armering med glat overflade regnes med overførsel af kræfter ved vedhæftning mellem beton og armering, gælder: $f_{yk} \leq 250$ MPa

**) *DS/EN 1992-1-1 DK NA: Præfabrikerede elementer underlagt en harmoniseret standard eller 3.-parts-overvåget iht. DS/EN 13369, anneks E: $\varepsilon_{uk} \geq 3{,}3$ %*

Udover styrke og deformation stiller DS/EN 1992-1-1 også krav til

- Bøjelighed (stænger og udrettet produkt)
- Forskydningsstyrke (svejste net)
- Afvigelse fra nominel masse
- Udmattelse
- Mindste relative ribbeareal i forbindelse med forankring.

Da forskydningsstyrken for svejsning i praksis kan være meget svær/umulig at overholde samtidig med andre at de andre krav opfyldes, anvendes denne egenskab pt. ikke i Danmark.

11.1.6 Identifikation af armering

Der findes i praksis flere kombinationer mellem styrke og duktilitet for armeringsstål. I DS/INF 165 [4] er angivet, hvilken bogstavbetegnelse der kan anvendes til at angive krav til egenskaber for armeringsstålet (se Tabel 3). Betegnelsen Y16 angiver fx, at der er tale om armeringsstål med en diameter på 16 mm, en styrke på 550 MPa, en duktilitet på min. 5,0 % og en k-værdi på min. 1,08. Iht. Tabel 2 ses det, at der er tale om klasse B stål.

Tabel 3. Identifikation af standardarmering i henhold til DS/INF 165.

Identifikation (på tegninger)	**Bearbejdning**	**Styrke (MPa)**	**Duktilitet**	
			$\varepsilon_{uk} \geq$ (%)	$k = (f_t/f_y)_k$
N	Ingen krav	500	2,5	≥ 1,05
K	Ingen krav	500	5,0	≥ 1,08
Y	Ingen krav	550	5,0	≥ 1,08
Z	Ingen krav	500	7,5	≥ 1,15 < 1,35
R	Ingen krav	235	5,0	≥ 1,08

Mærkning af armeringsstål følger anvisningerne i DS/EN 10027-1 [5] og består af et hovedsymbol med et bogstav efterfulgt af den karakteristiske flydespænding eller 0,2 %-spændingen. Hovedsymbolet efterfølges af et tillægssymbol for duktilitetsklassen og evt. et yderligere tillægssymbol for bearbejdning (hvis dette er en forudsætning iht. statisk dokumentation, fx af hensyn til brandtekniske beregninger):

- Varmvalsning, fri afkøling

- Varmvalsning, brat afkøling
- Koldvalsning eller koldtrækning.

I DS/EN 10027-1 er der desuden angivet symboler, der kan anvendes til at angive behandlingstilstanden, fx: +CR (koldvalset), +NT (normaliseret og derefter anløbet).

På Figur 15 og Figur 16 er der vist eksempler på mærkning af armeringsstål. Det er vigtigt, at der er sporbarhed til producenten, og det bør fremgå hvilken smelte (batch), stålet er produceret ud fra, samt et unikt nummer for coil eller armeringsbundt.

B500B:
B = betegnelsen for armeringsstål
Y = betegnelsen til forspændt beton
S = betegnelsen for konstruktionsstål

B500B:
Karakteristisk flydespænding eller 0,2 % - spænding

B500B:
Armeringsklasse: A, B eller C

Dimension

Sporbarhed:
(Smelte nummer (charge) og coil nummer)

Standard + certificerende organ + Cert. No.

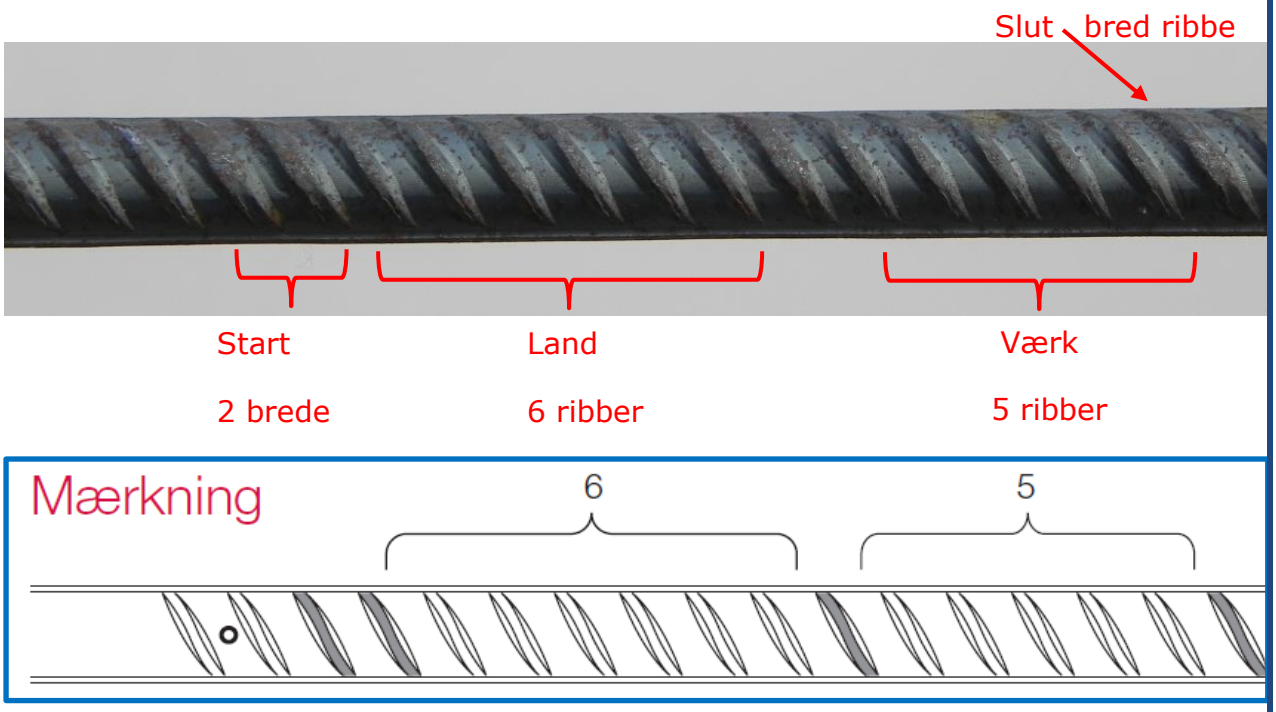
Figur 15. Eksempel på mærkning af armeringsstål – her en coil. Navne og numre er frit opfundne

Det er også muligt at aflæse informationer direkte indvalset på armeringsjernets ribber. Dette gør det muligt at kontrollere, om det leverede stål er produceret samme sted som angivet på etiketten, samt at identificere stål, hvor etiketten er faldet af eller som er indbygget i formen og derfor ikke længere kan identificeres via etiketten.

DS/EN 10080 [1] angiver i afsnit 10 metoden hertil. Efter to bredere ribber angiver et antal smalle ribber nummeret på landet – se DS/EN10080, Tabel 18. Da nummeret kun kan være mellem 1 og 9 har flere lande samme nummer. Danmark har således fx nummer 6 sammen med Estland, Finland, Letland, Litauen, Norge og Sverige. Herefter følger en til tre sektioner adskilt af en bred ribbe. Hvert værk har en unik kode fx har Celsa i Mo i Rana koden 6-5 og Brandenburger Elektrostahlwerke GmbH (B.E.S) i Brandenburg koden 1-1-6.

Denne mærkning kan suppleres med numre og pletter, der giver yderligere information. Disse informationer er dog ikke standardiserede og skal anvendes med forsigtighed og efter kontakt med producent eller leverandør.

Mærkning kan variere mellem stænger og coils, og rustfast armering har en særlig mærkning, der i nogen tilfælde kan angive stålets kvalitet. Desuden findes der uden for Europa andre måder og koder til mærkning af stålet.



To brede ribber markerer start, derefter følger landekoden, her 6 for Danmark, Estland, Finland, Letland, Litauen, Norge og Sverige efterfulgt af en bred ribbe og til sidst værkets kode, her 5 for Celsa i Mo i Rana – som er i Norge.

Figuren i den blå ramme er fra Celsa Steel Service's produktkatalog.

Figur 16. Mærkning valset på armering

Mærkning af rustfri armering er ikke standardiseret. Nedenfor ses to billeder af mærkning på rustfri armering, samt et skærmklip fra Arminox hjemmeside. Man bør altid konkret få information om mærkning af rustfri armering fra producent eller leverandør.

Legering iht. EN 10088-1	Populær betegnelse	Fremstillings-proces	Diameter i mm	Arminox valsemærker
1.4301	Rustfri	Kolddeformeret Varmvalset	3-16 20-50	///**VV**/// Varierende
1.4436	Syrefast	Kolddeformeret	3-16	///**VVV**///
1.4571	Syrefast	Kolddeformeret	3-16	///**X**///**X**///**X**///
1.4362	Duplex	Kolddeformeret Varmvalset	6-12 12-32	///**X**///**X**///**X***/// Varierende
1.4462	Duplex	Varmvalset	16-40	Varierende

Tabel Arminox standard legeringer

Arminox kolddeformeret EN 1.4436

Figur 17. Eksempler på mærkning af rustfrit stål

11.1.7 Styrkeøgende mekanisme

Almindeligt stål – ofte kaldet blødt stål - har en relativ lav styrke, men der findes grundlæggende fire måder at opnå højere styrke:

- Deformationshærdning
- Reduktion af kornstørrelsen (valsning og varmebehandling)

- Opløsningshærdning (legering)
- Partikelhærdning (faseændring ved varmebehandling).

Metoderne kan bruges enkeltvis eller kombineres. Det er ofte nødvendigt at kombinere metoderne, hvis man ønsker meget høje styrker, men uanset hvordan styrken øges, vil duktiliteten altid falde. Da begge egenskaber er vigtige for armeringsstål, må der altid findes et kompromis mellem styrke og duktilitet.

Det er ikke muligt her at give en tilbundsgående beskrivelse af ovennævnte metoder, beskrivelserne nedenfor er derfor simplificeret.

Deformationshærdning

Ved deformationshærdning udnyttes en del af den styrke, der kan opnås i det plastiske område.

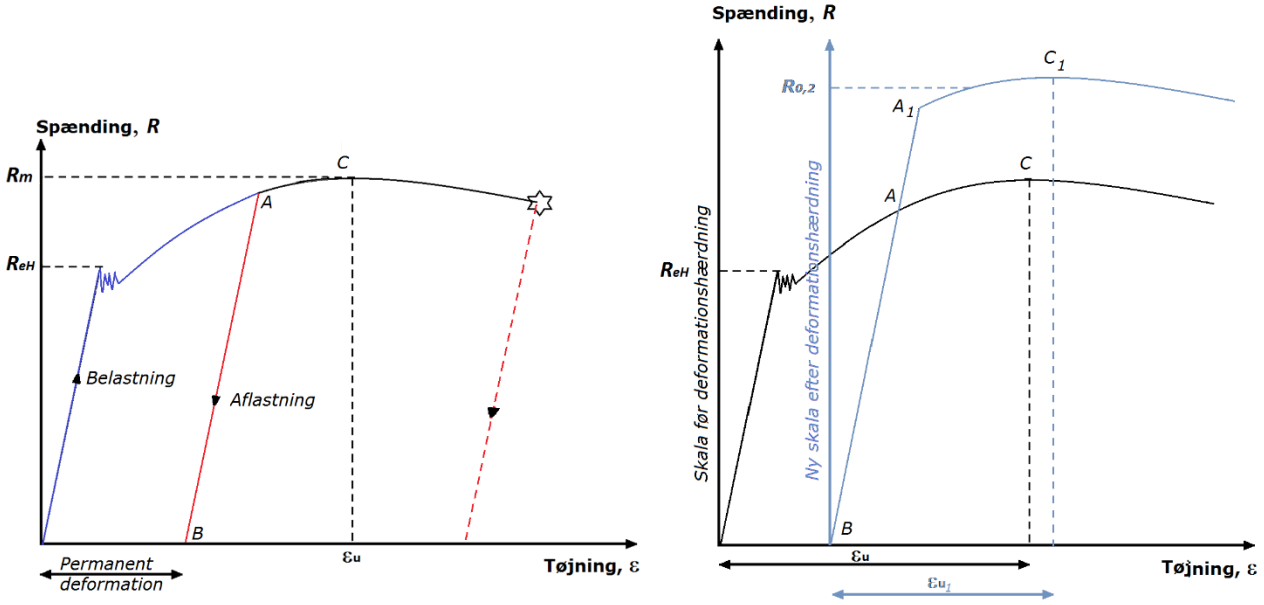
Deformationshærdning udføres ved koldtrækning eller koldvalsning ved stuetemperatur. På arbejdslinjen i Figur 18, ses det på figuren til venstre, at hvis et prøveemne belastes udover flydegrænsen til pkt. A, vil aflastningskurven få samme hældning som i det elastiske område. Det er kun den elastiske del af deformationen der genvindes, den plastiske deformation er permanent, og kan aflæses i pkt. B. Ved genbelastning vil arbejdskurven følge aflastningskurven indtil pkt. C, hvor den vil følge den oprindelige kurve indtil brud.

Prøveemnet er samtidigt blevet længere og tyndere. Samtidig er styrken steget, dels fordi spændingen nu skal beregnes ud fra det reducerede tværsnitsareal, dels fordi det der er sket en hærdning af stålet. Samlet set betyder det, at den elastiske del af kurven er længere. Da den deformation, der sker i flydeområdet, er permanent, vil deformationshærdet stål ikke have et flydeområde, og styrken fastsættes derfor som 0,2 %-spændingen.

Ved kolddeformation sker der to væsentlige ændringer af egenskaberne:

- Styrkeforøgelse $R_{0,2} > R_{eH}$
- Duktilitet falder $\varepsilon_{u,0} < \varepsilon_{u,1}$

Da deformationshærdningen helt eller delvist elimineres ved opvarmning, skal man være opmærksom på, at stålet kan miste styrken i forbindelse med svejsning eller brand.



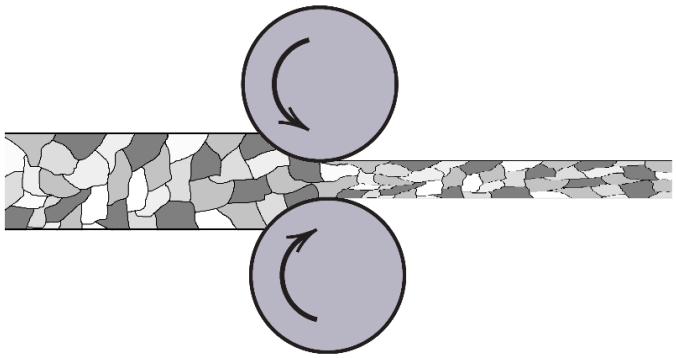
Figur 18. Deformationshærdning ved koldtrækning

Hvis man kunne producere stål i et stort fejlfrit gitter, ville man kunne opnå styrker, som var op til 100 gange så store som styrken af almindeligt blødt stål. I praksis er dette ikke muligt, men ved deformationshærdning kan man forøge styrken af materialet. Paradoksalt nok skyldes denne styrkeøgning at fejlmængden øges.

Reduktion af kornstørrelsen

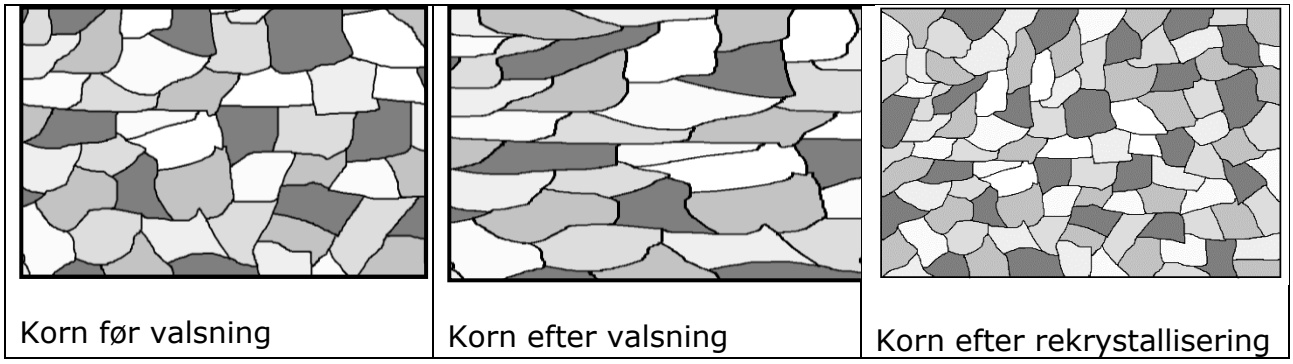
Som beskrevet i afsnit 11.1.3 vil der ved størkning af stålsmelten dannes krystalkorn, der dels vil indeholde punkt- og linjefejl inde i krystalgitteret og dels vil danne korngrænser, hvor der både ophobes overskydende atomer, og dannes en lang række dislokationer, fordi krystaller med forskellige retninger på atompladeplanerne vokser sammen. Antallet af dislokationer, der ophobes ved korngrænsen, er større i små korn end i store korn. Der vil derfor være større spændingskoncentration ved korngrænsen i små korn end store korn ved en given belastning.

Varmvalsning af stål foregår ved ca. 1150 °C. Under valsningen reduceres godstykkelsen, hvorved kornene inde i stålet bliver fladtrykte – se Figur 20.



Figur 19. Ved valsning af stål medfører reduktionen af godstykkelsen samtidig med at kornene deformeres.

På grund af den høje temperatur ved varmvalsningen vil krystallerne rekrystallisere til nye – men mindre krystaller. Herved stiger mængden af korngrænser, hvilket giver en forøgelse af styrken.



Figur 20. Krystalform og størrelse før, under og efter varmvalsning.

Opløsningshærdning

Ved at tilsætte et eller flere legeringselementer til stålet, kan man øge dets styrke. Legeringer er en blanding af mindst to grundstoffer, hvoraf det primære grundstof er et metal. Legeringer har typisk større styrke end det rene metal, selv ved små mængder af legeringsstoffet, idet de fremmede atomer i metalgitteret medfører en deformation af gitteret, som vanskeliggør atomplanernes glidning.

Kulstof er det legeringselement, der har størst indflydelse på ståls egenskaber. Selv små ændringer i kulstofindholdet giver betydelige ændringer i brugsegenskaber. Udover kul er der også andre legeringselementer, der påvirker stålkvaliteten. Disse er følgestoffer fra produktionsprocessen, fx: Silicium, mangan, fosfor og svovl. Nogle af legeringselementerne giver uønskede ændringer af egenskaberne, og de skal derfor fjernes under raffineringen af stålet. Der er i DS/EN 10080 krav til maksimale mængder af følgestoffer/legeringselementer i stålet.

Stål er jern med mellem 0,002 % og 2,1 % kulstof. Stål kategoriseres i forhold til indholdet af legeringsgrundstoffer:

- **Ulegeret stål:** Stål med 0,05-0,4 % kulstof, mindre mængder af fx silicium og mangan, samt små mængder P, N og O
- **Lavtlegerede stål:** Stål med højst 6 % legerigsgrundstoffer
- **Højtlegerede stål:** Stål med mere end 6 % legerigsgrundstoffer

Konstruktionsstål hører til kategorien ulegeret stål

Der tilsættes kulstof i forbindelse med udvinding af jern fra jernmalm, men der kan også tilsættes andre legeringselementer for at opnå specifikke egenskaber. For at producere rustfrit stål tilsættes chrom og fx kobber, nikkel og wolfram, men udover at stålet bliver rustfrit, vil disse legeringer altså også påvirke stålets andre egenskaber.

Kul findes i to faser i stål, der ikke er varmebehandlet:

- Ferrit: Lav opløselighed (kulstofindhold < 0,02 %)
- Cementit: Fe_3C: (kulstofindhold = 6,7 %)

Ferrit er blødt og duktilt, og cementit er hårdt og sprødt. I konstruktionsstål findes begge faser.

Hvis kulstofindholdet øges, vil dette medføre, at cementit-indholdet øges, og dette vil igen betyde at:

- flydespænding, brudspænding samt hårdheden stiger
- brudforlængelsen (duktiliteten) falder
- svejsbarheden falder.

<u>Partikelhærdning</u>

Partikelhærdning fås, når man varmebehandler stål, der er legeret med kul. Der kan kun optages ganske lidt kulstof i et jerngitter. Hvis stål køles langsomt ned, vil der derfor dannes en lagdelt struktur af blødt jern med meget lidt kulstof (ferrit) og hårdt cementit med meget kulstof. Ved højere temperaturer kan jerns atomgitter indeholde større mængder kulstof. Denne fase kaldes austenit. Ved bratafkøling dannes der martensit, som er meget hårdt og sprødt. Der findes forskellige varmebehandlinger, som efterfølgende kan anvendes for at opnå en højere bearbejdelighed.

11.1.8 Svejsbarhed

Ved svejsning af stål sker der en varmebehandling i svejseområdet. Hvis der er højt indhold af legeringselementer i stålet, kan det varmepåvirkede område hærde til uønskede hårdheder ved partikelhærdning. Omvendt, hvis der svejses på stål, der er hærdet. Her risikerer man, at stålet bliver blødgjort og får lavere styrke i det varmepåvirkede område.

Det er især afkølingshastigheden mellem 800 og 500 °C, der er kritisk, men også opvarmningsprocessen kan give problemer i form af hærderevner. Det kræver specialekspertise at svejse stål, der skal indgå i betonkonstruktioner. Jo højere legeret stålet er (fx rustfast stål), des større kompleksitet i forbindelse med svejsningen.

Skal man svejse armeringsstål, må man kun anvende de svejseprocesser som er angivet i DS/EN 1992-1-1, tabel 3.4. Svejsningen af armerede stænger skal udføres i overensstemmelse med DS/EN ISO 17660 [6] og [7], og svejsbarheden skal være i overensstemmelse med DS/EN 10080.

Svejsbarheden iht. DS/EN 10080 afhænger af legeringsindhold og mængde ud fra tre karakteristika:

- Kulstofækvivalent: $C_{eq} \leq 0{,}50$ %

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

- Maksimumindhold af kulstof: $C \leq 0{,}22$ %
- Desuden er der krav til maksimumindhold af svovl, fosfor, nitrogen og kobber.

11.1.9 Armeringstyper

Der findes forskellige typer af armering – afhængig af deres anvendelse. Her er de overordnet inddelt i armering til slapt armerede konstruktioner og armering til spændkonstruktioner:

<u>A: Armering til slapt armerede konstruktioner</u>

- Ribbestål – normalt fremstillet ved varmvalsning hvor ribberne valses ind i overfladen.
- Overfladeprofileret stål – normalt fremstillet ved varmvalsning hvor ribberne efterfølgende præges ned i overfladen.
- Glat konstruktionsstål.
- Rustfast stål (ikke beskrevet her).
- Armering af andre materialer end stål (ikke beskrevet her).

<u>Varmvalset ribbestål/overfladeprofileret stål</u>
Varmvalsede armeringsstål er det mest anvendte armeringsstål til bærende betonkonstruktioner. Som navnet angiver, er armeringsstængerne varmvalsede. Under valsningen skabes der ribber i overfladen. Disse ribber giver en bedre binding til betonen, hvilket sikrer en bedre kraftoverførsel mellem beton og armering. Armeringens styrke er typisk 500 – 550 MPa.

Ribbet armeringsstål DK:

- Ny tentor, Bratkølet, varmvalset tentorstål B550
- Kamstål: B550

Ribbet armeringsstål EU:

- B500

Glat armering

Glat armering er fremstillet af runde, glatte stænger af lavstyrke (blødt) stål.

Styrken af glat armeringsstål er væsentlig lavere end af varmvalset stål.

Rundstål:

- S235 JR (st. 37-2). σ_{yk} : 225-235 N/mm^2
- S275 JR (st. 44-2). σ_{yk} : 265 N/mm^2

Armeringsstål med glat overflade, der er produceret iht. DS/EN 10025-2 [8] eller som armeringsstål iht. DS/EN 10080, kan anvendes i Danmark, dog såfremt krav angivet i DS/EN 1992-1-1 DK NA overholdes.

Typerne S235, S275 eller S355 må anvendes, hvis de er deklareret med et inspektionscertifikat 3.1. iht. DS/EN 10204 [9].

Et inspektionscertifikat 3.1 er et dokument, der er udstedt af producenten, hvori denne erklærer, at de leverede produkter er i overensstemmelse med købsaftalen, og hvori prøvningsresultaterne er anført.

B: Armering til spændkonstruktioner

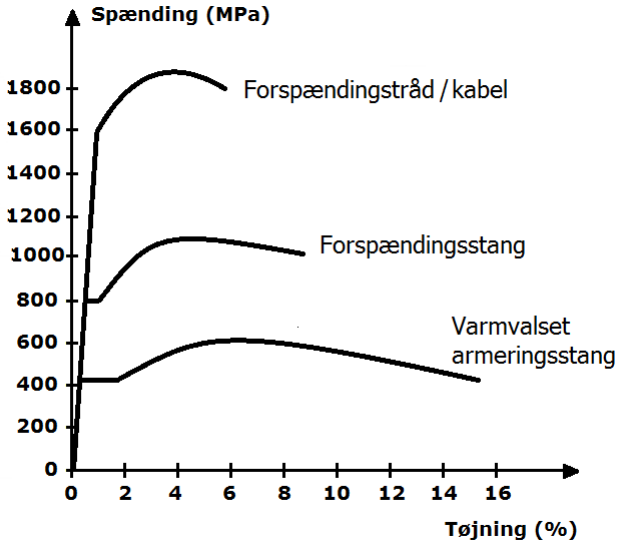
Armering til spændarmering er koldtrukket, hvorved der kan opnås brudstyrker på op til ca. 2200 MPa.

- Tråde – fx 9 eller 12,5 mm i diameter
- Kabler – flere tråde snoet om en central tråd
- Stænger – fx 25 mm

Tråde anvendes normalt til førspændte konstruktioner, hvor opspændingen sker før betonen hærdner. Kabler og stænger anvendes til efterspændte konstruktioner, hvor opspændingen sker efter at betonen er hærdnet – se også kapitel 11.2

På Figur 21 ses forskellen mellem arbejdslinjer for varmvalset armering til slapt armerede konstruktioner og koldtrukket spændarmering. Årsagen til at forspændingstråd og forspændingskabler er væsentligt stærkere end forspændingsstænger, er at disse fremstilles som mindre tråde (kablerne består af flere tråde, der er snoet sammen efter koldtrækningen). På grund af det mindre tværsnitsareal kan man med den samme trækkraft opnå en højere spænding i forbindelse med kolddeformationen. Tværsnitsarealet af en 25 mm stang er 4 gange så stor som tværsnitsarealet af en 12,5 mm tråd.

Hvis man vil opnå samme spænding, skal man derfor trække med en 4 gange så stor kraft i en 25 mm stang som i 12,5 mm tråden.



Figur 21. Arbejdslinjer for forskellige armeringstyper

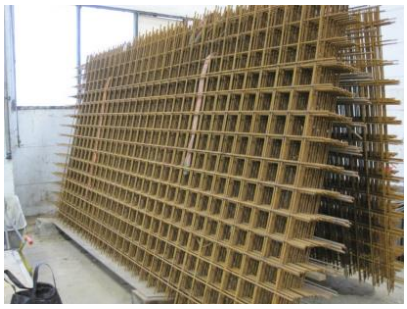
Armering til spændkonstruktioner er nærmere beskrevet i afsnit 11.2.

11.1.10 Armeringstyper, indkøb, kontrol og opbevaring på byggepladsen

Armeringstyper

Armeringstypen skal vælges under hensyntagen til den forventede bearbejdningsproces og anvendelse

- Armeringsstænger
- Coils
- Maskinsvejste net
- Rullenet
- Gitterdrager
- Bukket armering
- Armeringsarrangementer



Maskinsvejste net

Coils

Købsaftalen

Købsaftalen bør indeholde de oplysninger, der er nødvendige for at beskrive det krævede produkt og dets karakteristika samt forhold vedr. leveringen.

Købsaftale bør mindst indeholde følgende (udover prisen)

1. Produktform
   Armeringsstænger, net, bunden armering eller lignende – evt. med henvisning til en tegning.

2. Antal stykker, længde og/eller areal og eventuel vægt

3. Nominelle/specificerede dimensioner

4. Tolerancer for karakteristika
   DS/EN 10080 angiver i kapitel 7.3 hvilke ydeevnekarakteristika der er gældende i forhold til bl.a. tolerancer. Der er dog enkelte punkter, hvor der henvises til købsaftalen:
   - For armeringsstænger skal den nominelle længde af stænger samt tilladt afvigelse fra den nominelle længde fastlægges i købsaftalen.
   - For svejste net skal den nominelle længde, bredde og overlængde samt den tilladte afvigelse fra overlængden fastlægges i købsaftalen. Desuden kan specielle tolerancekrav fastlægges.
   - For svejste net stilles der krav om et minimumsforhold mellem den nominelle diameter af den tyndeste og tykkeste tråd. Der kan stilles andre krav i købsaftalen.
   - For gitterdragere skal den nominelle længde, højde, bredde og afstand af gitterdragere aftales i købsaftalen. Desuden kan den maksimale overlængde fastlægges i købsaftalen.

5. Betegnelse (Teknisk klasse) samt reference til standard
   - Ribbestål og profileret stål:
     - Krav iht. EN 10080
     - Klasser iht. EN 1992-1-1 Anneks C (fx B550B)
   - Rustfri:
     - Krav iht. BS 6744 [10]
     - Klasser iht. DS/EN 1992-1-1, punkt 3.2.1(1)P (fx styrkeklasse 500)
     - Legering iht. DS/EN 10088-1 [11] (fx 1.4301)
   - Glat
     - Krav iht. DS/EN 10025 eller DS/EN 10080
     - Klasser iht. DS/EN 10025 (fx S235JR)
     - Glat konstruktionsstål skal være af typerne S235, S275 eller S355)

6. Leveringstilstand
   Specielle krav til fremstillingsmetoden, herunder varmebehandling, overfladebehandling mv.

7. Type af inspektionsdokument hvis relevant
   Glat konstruktionsstål (S235, S275 eller S355) skal, iht. DS/EN 1992-1-1 DK NA være deklareret med et inspektionscertifikat 3.1 iht. DS/EN 10204.

8. Inspektionskrav, hvis relevant

9. Krav til mærkning, emballering og lastning

10. Eventuelt supplerende krav

Modtagekontrol

DS/EN 13670 [12] og DS 2427 [13] punkt 4.3.2 angiver bl.a.:

"Materialekontrol består i en kontrol af dokumentationen for, at materialer og produkter er i overensstemmelse med projektspecifikationens krav. Kontrollen gælder også for CE-mærkede produkter. Såfremt der stilles krav om forhåndsdokumentation, skal kontrollen foregå forud for bestilling/indkøb.

Modtagekontrollen består af en identifikationskontrol, hvor det sikres, at der er overensstemmelse mellem forhåndsdokumentationen og de materialer og produkter, der modtages, samt af en visuel kontrol, hvor det sikres, at der ikke er synlige fejl. For materialer og produkter, der ikke er forhåndsdokumenterede, gennemføres en materialekontrol."

Armeringstænger (Ribbestål og profileret stål):

- Mærkebrik/Følgeseddel hvor der refereres til: Standard EN 10080, Kvalitet fx B550B, Dimension fx 14 mm, Længde fx 12 mm og evt. ordrenummer, vægt og charge nummer samt reference til certifikat fx Certifikat nr. B283-03.
- EN 10080 punkt 10.1.1.1 Ribbestål eller profilerede stål angiver: Hvert armeringsstål skal på en ribbe eller profileringsrække være forsynet med et mærke, der identificerer værket.
- Armeringstænger (Glat armering): Inspektionscertifikat 3.1, indeholdende fx resultater fra mekanisk prøvning (dimension, flydespænding R_{eH}, brudspænding R_m, tøjning ved maksimalspænding A_s) og kemisk analyse.
- Armeringens overflade skal være fri fra løst rust og skadelige stoffer, som kan påvirke stålet, betonen eller vedhæftningen imellem dem negativt. Let overfladerust er acceptabel.
- Armeringstænger (Rustfri, Ribbet): Mærkebrik/Følgeseddel hvor der refereres til: Standard BS 6744, Kvalitet 500, Dimension fx 8 mm, Længde fx 12 mm og evt. ordrenummer, vægt og charge nummer samt reference til certifikat fx Certifikat nr. 980226. Varmforzinkning iht. ISO 1461.
- Varmforzinkning iht. ISO 1461. Eventuel målerapport som viser, at den krævede zinklagtykkelse er overholdt. Fastlæggelse af zinklagtykkelse ud fra forventet levetid og korrosionskategorierne C1 til C5.
- Armeringsarrangementer skal kontrolleres i forhold til designgrundlaget. Svejsning iht. EN 17660-2 (for ikke bærende svejsninger).
- Certifikater
    - Certifikaternes gyldighed (skal både kontrolleres på certifikatet og på det certificerende organs hjemmeside).
    - Dækker certifikatet produktet, eller fremstillingsprocesser (fx udretning af armering fra coils).

<u>Opbevaring af armering</u>

Når armeringen er indbygget i formen, skal den have den udformning og de egenskaber, der er forudsat under projekteringen, og som er fastlagt i købsaftalen. Det er derfor

vigtigt, at armeringen håndteres og opbevares på en måde, der ikke forringer udformningen og egenskaberne.

DS/EN 13670 – Udførelse af betonkonstruktioner - angiver, at armeringsstænger, svejste net og præfabrikerede armeringsbure ikke må beskadiges under transport, opbevaring, håndtering og ved placering i formen og at armering skal opbevares friholdt fra jorden.

Armeringen skal holdes fri for fremmede stoffer – fx olie eller jord - således at vedhæftningen mellem armering og betonen ikke forringes, og man skal være opmærksom på, at regler vedrørende rustgrader gælder inden udstøbning. Armeringen skal understøttes, så den ikke vrides, og den skal placeres så transporten til og fra opbevaringsstedet bliver tilgodeset.

11.1.11 Armeringsarbejdet

Armeringen leveres fra producenten i stænger eller coils. Armeringen skal derfor tildannes, så den passer til støbeformen.

Klip- og bukkelister

Ved udarbejdelse af klip og bukkelister skal der tages hensyn til reduktion af længden ved bukning om en dorn og merlængden ved kroge eller ombuk. Dette gøres lettest ved at anvende tabeller eller forsimplede formler, eller ved beregning direkte i tegneprogrammer.

Klippebukkelisten bør indeholde:

- Henvisning til konstruktionsdel
- Antal
- En optegning af det færdige armeringsarrangement
- En profilskitser med bukkemål (fx en bøjle)
- For hvert profil angives:
    - Armeringstype, fx
        - R – Rundjern S235
        - Y – Kamstål B550B
        - N – kamstål B500A
    - Dimension
    - Antal
    - Klippelængde
    - Antal i alt
- Den samlede længde og vægt af hver armeringstype
- Den totale vægt af armeringsarrangementet.

Klippe- og bukkelister
Armering leveres ofte traditionelt som stænger i længder på 12-14 meter. Når der skal fremstilles fx bøjler, skal der derfor afklippes et stykke, som derefter tildannes.

For at styre denne arbejdsopgave udarbejdes traditionelt en såkaldt "bukkeliste", hvor hver enkelt armeringskomponent specificeres. Gøres dette forkert, bliver armeringsarbejdet umuliggjort og nye bøjler mv. må bestilles. Alligevel er det ofte et arbejde, der lægges over på den unge ingeniørs skuldre. I andre tilfælde udføres arbejdet af en af firmaets ældste medarbejdere, der bare kan "det".

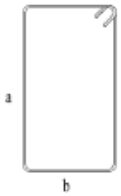
Der findes værktøjer, der kan hjælpe med arbejdet. De kan fx findes på armerings-leverandørernes hjemmesider.

Bøjle
En bøjle sidder typisk på tværs af en bjælke. Bøjlen skal derfor være mindre end bjælkens geometri, nærmere bestemt med både en højde og en bredde, der er to gange dæklaget mindre end bjælkens højde og bredde.

Da bøjlen ved fremstillingen ombøjes i hjørnerne med de mindste tilladte bukkediametre, og bøjlen skal lukkes i det ene hjørne med 5 gange armeringsdiameteren – hvor langt stykke jern, skal der så klippes?

Heldigvis findes der formler, der erfaringsmæssigt bestemmer længden:

Rektangulær bøjle:
Klippelængde: $(a + b) \times 2 + 16 \times d_s$



1. bøjlens bredde bestemt som: betonmål ÷ 2 dæklag
2. bøjlens højde bestemt som: betonmål ÷ 2 dæklag
3. bøjlens klippelængde bestemt som: 2 x højde + 2 x bredde + 16 x armeringsdimension (d_s).

Denne formel er afprøvet på armeringsjern op til 12 mm

Moderne armeringsstationer – som fx findes på mange moderne elementfabrikker – anvender armering leveret i en rulle – en coil – hvorfra armeringen først udrettes og bukkes og klippes i de rette størrelser. På nogle fabrikker bestemmes dette via et computer-program direkte fra tegnestuen, således at der slet ikke skal laves "bukkelister". Herved kan fejl og spild reduceres til næsten nul.

Stød og samlinger

Når der er behov for at forlænge en armeringsstang, kan dette udføres ved et såkaldt stød, hvor to armeringsstænger placeres tæt ved hinanden med et overlap, der skal sikre, at forankringskræfterne kan overføres fra den ene stang til betonen og fra betonen til den anden armeringsstang. til betonen. Hvis forankringslængden er for lille, risikerer man at der opstår længderevner eller afskalning, hvilket kan påvirke konstruktionens virkemåde.

Stødlængden skal beregnes ud fra principperne i DS/EN 1992-1-1. Længden er afhængig af en række forskellige faktorer:

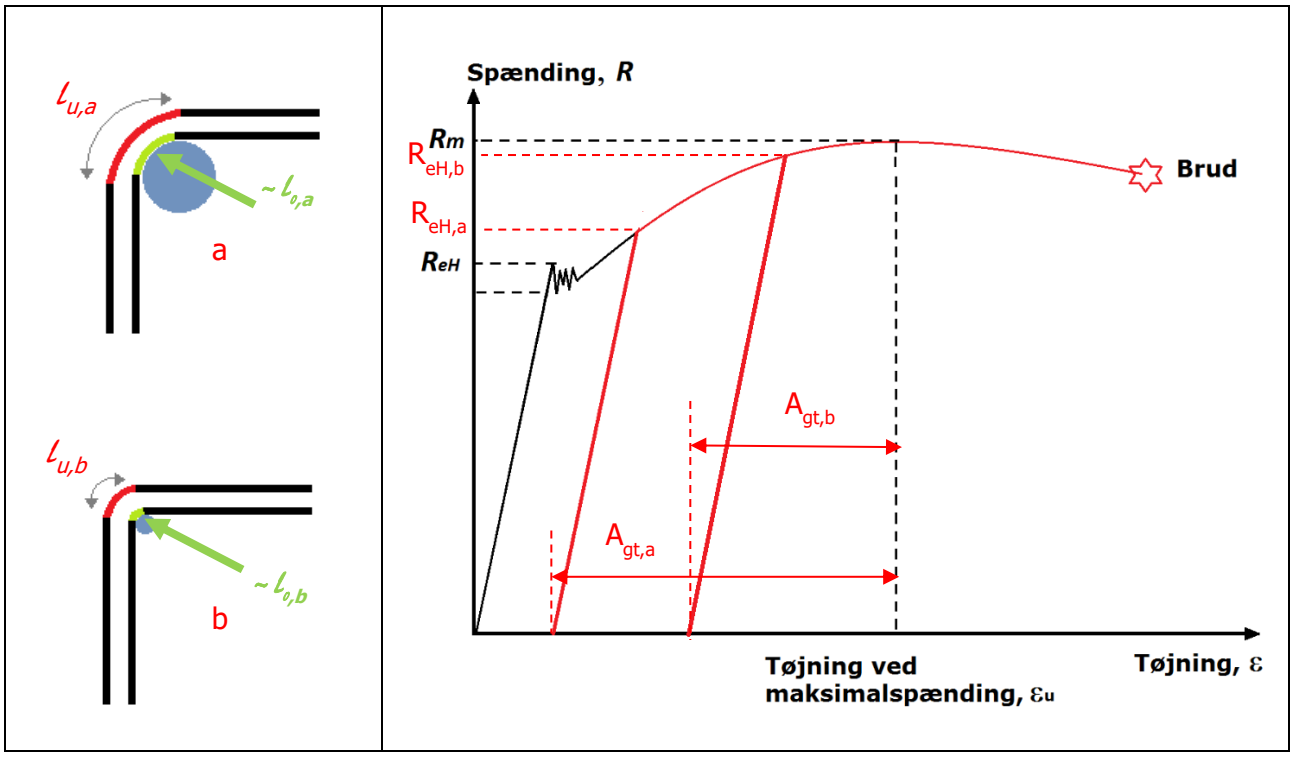
- Armeringsdiameter
- Stålkvalitet
- Stålets forankringsegenskaber
- Dæklag

- Betonstyrke
- Vedhæftningsforhold
- Afstand mellem stænger.

Stød bør placeres forskudt for hinanden, og de bør ikke placeres i områder med store momenter/kræfter – fx i flydeled (gælder ikke for fordelingsarmering og trykpåvirket armering, hvor stød kan placeres i samme tværsnit).

Bukkediametre

Når armering tildannes ved bukning, sker der en deformationshærdning af stålet. Samtidig mister stålet duktilitet, hvilket øger risikoen for revnedannelse i bøjningen.



Figur 22. Forskellen på materialets duktilitet ved bukning over forskellige dornstørrelser.

Når stål bukkes over en stor dorn (a), vil den oprindelige længde af den deformerede del af armeringsstangen svare til l_o, mens den deformerede længde er l_u. *Det ses, at den relative forlængelse (tøjningen) bliver mindre, når der bukkes over en stor dorn* ($\varepsilon l_a < \varepsilon l_b$). På arbejdslinjen ses det, at tilfælde b (bukning over lille dorn) giver et større tab af duktilitet (tøjning ved maksimalspænding), end tilfælde a (bukning over lille dorn). Der er desuden risiko for at brudstyrken R_m overskrides, hvilket kan føre til revnedannelse i bøjningen – og dermed en svækkelse af armeringen.

For armeringsdiametre op til 16 mm, er mindste bukkediameter 4 x armeringens diameter. For armeringsdiametre over 16 mm, er bukkediameteren 7 x diameteren. Dette betyder fx, at en 20 mm armeringsstang skal bukkes over en 140 mm dorn. Dette kan give problemer med placering af armeringsstænger i tværsnittet – se Figur 23.

Figur 23. Kraftige bøjler medfører store bukkediametre, og at der bliver stor afstand fra den yderste armeringsstang til overfladen (her oversiden) af betonen. Den øverste armeringsstang på figuren skulle have være placeret flere cm højere. Der skal tages hensyn til dette forhold ved dimensionering af tværsnittet. Tidligere løste man problemet ved at anvende bøjler af glat, blødt rundjern, der kunne bukkes med en lille bukkeradius ("over en bordkant").

Der må ikke bukkes armering ved temperaturer under -5 °C. Dette skyldes, at stål bliver mere sprødt, når det er koldt. Der er derfor større risiko for at stålet beskadiges, når det bukkes, hvis temperaturen bliver for lav. Det er stålets temperatur, der er afgørende, og man skal derfor være opmærksom på, at stål, der ligger ude en hård vinter, skal nå at blive tempereret inde i hallen - inden det må bukkes.

Binding/svejsning

For at sikre at armeringen fastholdes i den udformning, der er tiltænkt ved projekteringen, bindes armeringen sammen. Hertil anvendes bindetråd, der skal være udført af materialer, som ikke kan skade armeringen eller betonen. Der findes to forskellige bindinger; en nakkebinding og en enkeltbinding. Nakkebindingerne bruges primært til armeringsarrangementer, mens enkeltbindinger bruges til net. Bindingerne skal bøjes ned, så de ikke stikker op i dæklaget, hvor de kan initiere små revner ved korrosion.

Hvis man køber færdige armeringsarrangementer eller præfabrikerede armeringsnet, vil disse ofte være svejst. Punktsvejsning på armering skal udføres i overensstemmelse med DS/EN ISO 17760-1 (for bærende svejsning) eller DS/EN ISO 17760-2 (for ikke-bærende svejsning), hvilket betyder, at der kræves svejsecertifikater for svejserne, og desuden skal der svejses under kontrollerede forhold. Svejsning på byggepladsen er normalt ikke tilladt, da det ikke i praksis er muligt at opfylde kravene i DS/EN ISO 17760.

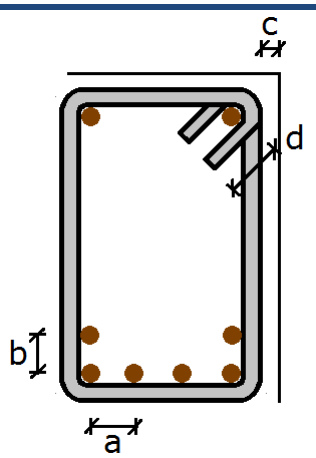
Armeringsafstand

For at sikre at der skabes tilstrækkelig forankring, skal armeringsstængerne være fuldt omstøbte. Det er derfor vigtigt, at betonen kan passere mellem armeringen. Armeringsafstanden skal tilpasses efter den største stenstørrelse således, at der ikke opstår stenreder omkring armeringen. Desuden skal der være plads til vibrering, hvis der anvendes sætmålsbeton.

a og **b**: minimums afstand mellem armeringsstænger
- Armeringstangens diameter
- Maksimale stenstørrelse i betonen d_g + 5 mm
- 20 mm

c: dæklag:
- Fastlægges ud fra krav til eksponeringsklasse og brand

d: Længde af krogen:
- 5 x armeringsdiameteren



Figur 24. Minimumsafstande mellem armering og dæklagskrav.

Armering, der ikke beskyttes mod fugt og salt i omgivelserne, vil hurtigt begynde at blive nedbrudt af rust. Når armeringen indstøbes i den basiske beton, dannes et passiverende lag på armeringen, der standser rustdannelsen. Udover at beskytte armeringen mod rust, skal dæklaget også beskytte armeringen i forbindelse med brand. Når stål opvarmes, falder styrken, og ved ca. 600 °C er der ingen styrke tilbage. I forbindelse med brand vil betonen forsinke opvarmningen af armeringsstålet, og der stilles derfor krav til dæklagets tykkelse afhængig af, hvor lang tid betonkonstruktionen skal være brandmodstandsdygtig.

Dæklagets tykkelse afhænger således primært af det omgivende miljø og krav til konstruktionens brandmodstandsevne. Dette er behandlet nærmere i kapitel 16.

11.1.13 Referencer

[1] DS/EN 10080 Armeringsstål til beton - Svejselige armeringsstål - Generelt, Dansk Standard, 2006.

[2] DS/EN 1992-1-1 DK NA Nationalt anneks til Eurocode 2: Betonkonstruktioner - Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner, Dansk Standard, 2017.

[3] DS/EN 1992-1-1 Eurocode 2: Betonkonstruktioner - Del 1-1: Generelle regler samt regler for bygningskonstruktioner, Dansk Standard, 2008.

[4] DS/INF 165 Armeringsstål til betonkonstruktioner - Identifikation og klassificering i henhold til EN 10080 og EN 10138, Dansk Standard, 2011.

[5] DS/EN 10027-1 Betegnelssystemer for stål - Del 1: Stålnavne, Dansk Standard, 2005.

[6] DS/EN ISO 17660-1 Svejsning - Svejsning af armeringsstål - Del 1: Lastbærende svejste samlinger, Dansk Standard, 2006.

[7] DS/EN ISO 17660-2 Svejsning - Svejsning af armeringsstål - Del 2: Ikke-lastbærende svejste samlinger, Dansk Standard, 2006.

[8] DS/EN 10025-2 Varmvalsede produkter af konstruktionsstål - Del 2: Tekniske leveringsbetingelser for ulegerede konstruktionsstål, Dansk Standard, 2004.

[9] DS/EN 10204 Metalliske produkter - Typer af inspektionsdokumenter, Dansk Standard, 2004.

[10] BS 6744 Stainless steel bars. Reinforcement of concrete. Requirements and test methods, British Standards Institution, 2016.

[11] DS/EN 10088-1 Rustfrie stål - Del 1: Liste over rustfrie stål, Dansk Standard, 2014.

[12] DS/EN 13670 Udførelse af betonkonstruktioner, Dansk Standard, 2015.

[13] DS 2427 - EN 13670 Udførelse af betonkonstruktioner – Regler for anvendelse af EN 13670 i Danmark, Dansk Standard, 2011.

11.1.14 Litteratur

DS/EN ISO 3166-1 Koder for navne på lande og deres underinddelinger - Del 1: Landekoder, Dansk Standard, 2014.

A. Nielsen, R. Eeg og H. Sørensen, Bygningsmaterialer, Polyteknisk forlag

C. Vogel, C. Juhl og E. Maahn, Matallurgi for ingeniører, Polyteknisk forlag

Der er i artiklen anvendt enkelte billeder og figurer fra et undervisningsmateriale: ”Armering”. Det er en udmærket lærebog for faglærte og ufaglærte bygge- og anlægsarbejdere. I denne bog er anført et krav om angivelse af følgende tekst for at billederne kan anvendes: *”Dette materiale indeholder en bearbejdning af ”Armering”, 1. december 2015, Udviklet for Undervisningsministeriet af Efteruddannelsesudvalget for Bygge/anlæg og industri i samarbejde med Torben Dybdal Jensen og Karsten Thomsen”.*

11.1.15 Websider

Steel university: https://steeluniversity.org