

Dokument: SASAK-RAP-DE-AKS-KEH-0013-01

# Dimensionering og udformning af gitterkonstruktioner

SASAK  
Projekt 1 - Designregler

Jesper Kanstrup  
Knud E. Hansen A/S, sep. 2001

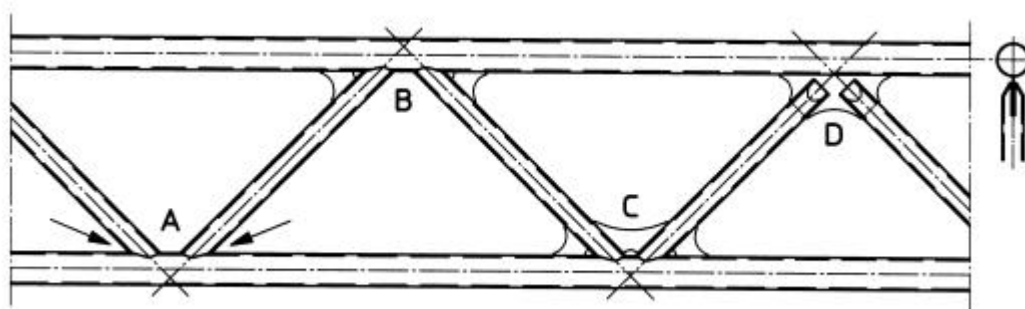
## Dimensionering og udformning af rumgitter konstruktioner

Gitter konstruktioner er konstruktioner bestående af stænger (bjælker), der er forbundne i knudepunkter.

De enkelte stænger er slanke i forhold til deres længde.

Gitter konstruktioner anvendes typisk i lette broer, kranarme, glasoverdækninger etc. hvor stor styrke skal kombineres med lav vægt.

Figur 1 viser et eksempel på 4 forskellige samplingsdetaljer i en typisk gitterkonstruktion sammensvejest af runde rør.



Figur 1 - Typiske detaljer i en gitterkonstruktion

Detalje A er en simpel sammensvejsning af rørene. Det er en billig og enkel løsning, men der opstår nogle hårde punkter (markeret med pile på skitsen), der samtidig kan være vanskelige at svejse ordentligt, hvis vinklen er meget spids.

Er der tale om konstruktioner, der ikke er specielt udmattelses belastede, vil løsningen være acceptabel, men risikoen for brud kan nedsættes væsentligt, hvis der monteres blødt afrundede knæ i de spidse vinkler som vist på detalje B.

Detalje C viser den styrkemæssigt helt optimale løsning, hvor samlingen er forstærket med yderligere et afrundet knæ.

Detalje D er en alternativ løsning, der er forholdsvis billig, fordi der ikke skal foretages en kompliceret tilpasning mellem to runde rør, men den er ikke så optimal rent styrkemæssigt som løsning C.

### Dimensionering

Gitterkonstruktioner er beregningsmæssigt svære at håndtere med ”hånd beregninger”, fordi der er tale om statisk ubestemte konstruktioner.

Består gitteret af meget mere end 3-4 stænger, vil håndberegning i praksis blive alt for langsommelig.

Ved beregning af gitterkonstruktioner anvendes derfor som regel de relativt billige såkaldte bjælke-element programmer.

Programmerne er af samme type som Finite-Element programmer (FEM), men kan kun håndtere bjælker – ikke skive elementer.

Ideen med programmerne er, at der opbygges en model bestående af elastiske bjælker (stænger), der er forbundne i knudepunkter. Bjælkerne er udstrækningsløse i deres tværsnitsretning.

De elastiske bjælkers tværsnitsdata beregnes som regel af programmet ud fra de geometriske data.

Hvor bjælkerne er forbundne med knæ, og derfor er meget stive i enderne, vil det være nødvendigt at erstatte det sidste stykke af den elastiske bjælke med et stift uelastisk stykke for at simulere den rigtige længde af det elastiske stykke. Ellers ville modellen virke for "blød".

Hvert enkelt knudepunkt forsynes med 6 såkaldte frihedsgrader, der beskriver punktets begrænsninger med hensyn til at kunne bevæge sig på de 6 mulige måder:

- Translation i X-, Y- eller Z-aksens retning
- Rotation om X-, Y- eller Z-aksen

Typisk vil programmerne tilbyde 3 mulige værdier for hver af de 6 frihedsgrader:

- Fast indspændt (værdien 0)
- Fri (værdien 1)
- Fjederbelastet (værdien 2 efterfulgt af en fjederkonstant)

En frihedsgrad for et knudepunkt kan således f.eks. være: 100001

Af hensyn til regnetiden vil det være en fordel at holde modellens størrelse (den såkaldte båndbredde) så lille som muligt. Det kan f.eks. gøres ved at "låse" så mange frihedsgrader som muligt dvs. have så mange 0'er som muligt.

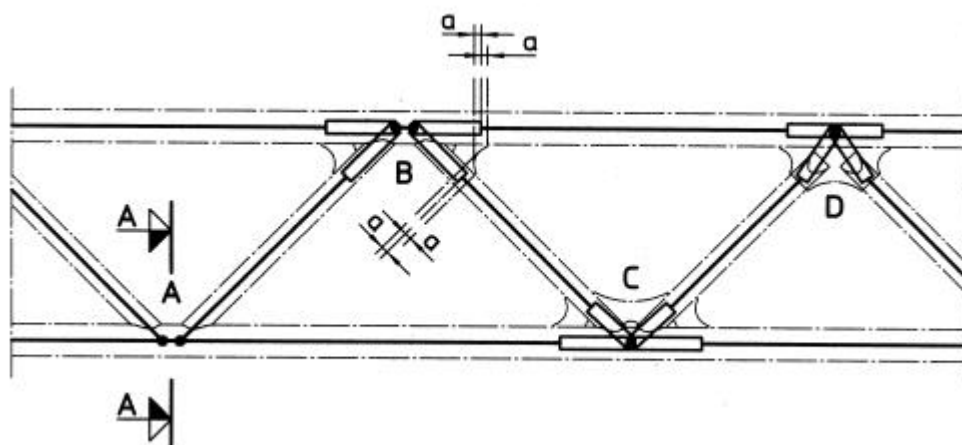
Ved at påtrykke de ydre kræfter i knudepunkterne eller på de enkelte bjælker beregner programmet så flytningen af de enkelte knudepunkter, reaktionskræfterne i punkterne samt kræfter, spændinger og deformationer i de enkelte bjælker.

Mange af de typiske bjælke-element programmer er ikke i stand til at checke stabiliteten af de enkelte bjælker.

I disse tilfælde må alle trykpåvirkede bjælker "manuelt" checkes f.eks. på samme måde som almindelige søjler (se det specielle afsnit om søjler). Det er i den forbindelse vigtigt at tage hensyn til, at bjælkerne ofte ikke blot vil være aksialt belastede, men at der også kan være tale om væsentlige bøjemomenter, hvilket nedsætter stabiliteten betydeligt!

Når bjælke modellerne opbygges, er det vigtigt at vælge en passende detaljeringsgrad, der tager hensyn til alle de mulige kritiske punkter.

Figur 2 viser gitterkonstruktionen fra Figur 1 opbygget som model.



Figur 2 - Modellering af detaljer i gitterkonstruktion

De enkelte "matematiske" bjælker er indlagt i de virkelige bjælkers neutralakser. I punkt A er bjælkerne forbundne i to knudepunkter.

Det kan være meget fristende at slå de to punkter sammen til ét, men så vil f.eks. forskydningsspændingerne i snittet A-A ikke blive beregnet.

Er der tale om store modeller vil man i praksis alligevel ofte vælge den forenkede modellering og så evt. rette et enkelt punkt for at checke forskydningsspændingerne. Man skal desuden være opmærksom på, at afstanden mellem de to knudepunkter er så lille, at bjælken mellem dem ikke kan betragtes som værende slank, dvs. lang i forhold til sit tværsnit. Da dette er en afgørende forudsætning for matematikken bag de typiske bjælkeelements-beregninger, skal de beregnede spændinger altid tages med et vist forbehold.

Den beskrevne modellering betyder, at der introduceres en fejl, fordi de enkelte bjælker beregningsmæssigt er længere, end de er i virkeligheden. Så længe der er tale om bjælker, der er meget lange i forhold til deres tværsnit vil fejlen dog være så lille, at man som oftest vælger at se bort fra den.

I punkt B er der stadig indlagt to knudepunkter, men på grund af at knæene har det været nødvendigt at indføre nogle uelastiske endestykker i de enkelte bjælker (vist som dobbeltlinier på skitsen). Længden af disse stykker vælges normalt således, at de slutter halvvejs ude langs knæet (se skitsen). Det er et kompromis, der erfaringsmæssigt giver et rimeligt beregnings resultat. Da knæets styrke reduceres mod enden, ville det f.eks. ikke være rimeligt at forlænge de uelastiske stykker helt ud til knæets ende.

I punkt C betyder det inderste knæ, at de to knudepunkter kan sammenlægges til ét. Længden af de uelastiske endestykker for de skrå bjælker må fastlægges som et fornuftigt kompromis, for den kan aldrig komme til at passe i forhold til begge knæene.

I punkt D er det naturligt kun at have ét knudepunkt, og som det ses, vil de uelastiske endestykker på de skrå bjælker være vinklet væsentligt i forhold til de elastiske stykker.

## **Optimering af gitterkonstruktioner**

Ved gitterkonstruktioner er det vigtigt at antallet og længden af trykstænger reduceres så meget som muligt.

Det skyldes, at trykstænger i aluminium pga. kravene til stabilitet ofte må udføres med ret store tværsnit, og dermed vil blive ret tunge.

Trækstænger vil derimod kunne dimensioneres efter et rent spændingskriterium, og kan derfor laves ganske tynde.

Der er meget at hente ved at optimere konstruktionen således, at alle elementerne er nogenlunde lige hårdt belastede i forhold til deres individuelle grænser.

For nogle bjælker vil der være tale om en procentdel af den maksimalt tilladelige trækspænding, for andre vil der være tale om en afstand til en stabilitetsgrænse.

Hvis beregningen f.eks. viser, at en bjælke er for hårdt belastet, vil de fleste konstruktører vælge blot at forstærke den, men det er slet ikke sikkert, det er den rigtige fremgangsmåde. Muligvis vil det være mere optimalt at gøre den blødere eller at ændre geometrien, så andre dele af konstruktionen overtager en større del af arbejdet.

Det er disse kreative valg der gør det er så svært og i praksis nok umuligt at lave programmer, der automatisk kan optimere en konstruktion, ikke mindst hvis der også skal tages hensyn til produktionsmæssige parametre som ønsket om reduktion af antallet og typer af elementer, reduktion af arbejdstimer, tilpasning til eksisterende produktionsfaciliteter etc.

## **Sikkerhed**

Det bør tilstræbes at dimensionere en gitterkonstruktion, så den bryder sammen i den rigtige rækkefølge. Sekundære elementer bør bryde sammen før de primære, så konstruktionen i første omgang får en større nedbøjning, men stadig ikke oplever totalt kollaps. Først efter flere ”forvarsler” må den bryde totalt sammen.

Hvis en gitterdrager med et stort spænd overbelastes og får en stor nedbøjning vil den få en facon, der på visse områder kan sammenlignes med bæretovene i en hængebro. Det kan give en stor rest bæreevne hvis blot man sikrer sig, at enderne ikke kan falde ned af understøtningerne, selv om drageren på grund af nedbøjningen bliver kortere. Der er altså mulighed for at indføre en ekstra sikkerhed mod total kollaps ved at lave en form for faldsikring af enderne.