



AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Aalborg Universitet

RAMPROG

brugervejledning og eksempler

Kloch, Søren

Publication date:
1995

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Kloch, S. (1995). *RAMPROG: brugervejledning og eksempler*. Institut for Bygningsteknik, Aalborg Universitet. U/ Nr. U9506

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

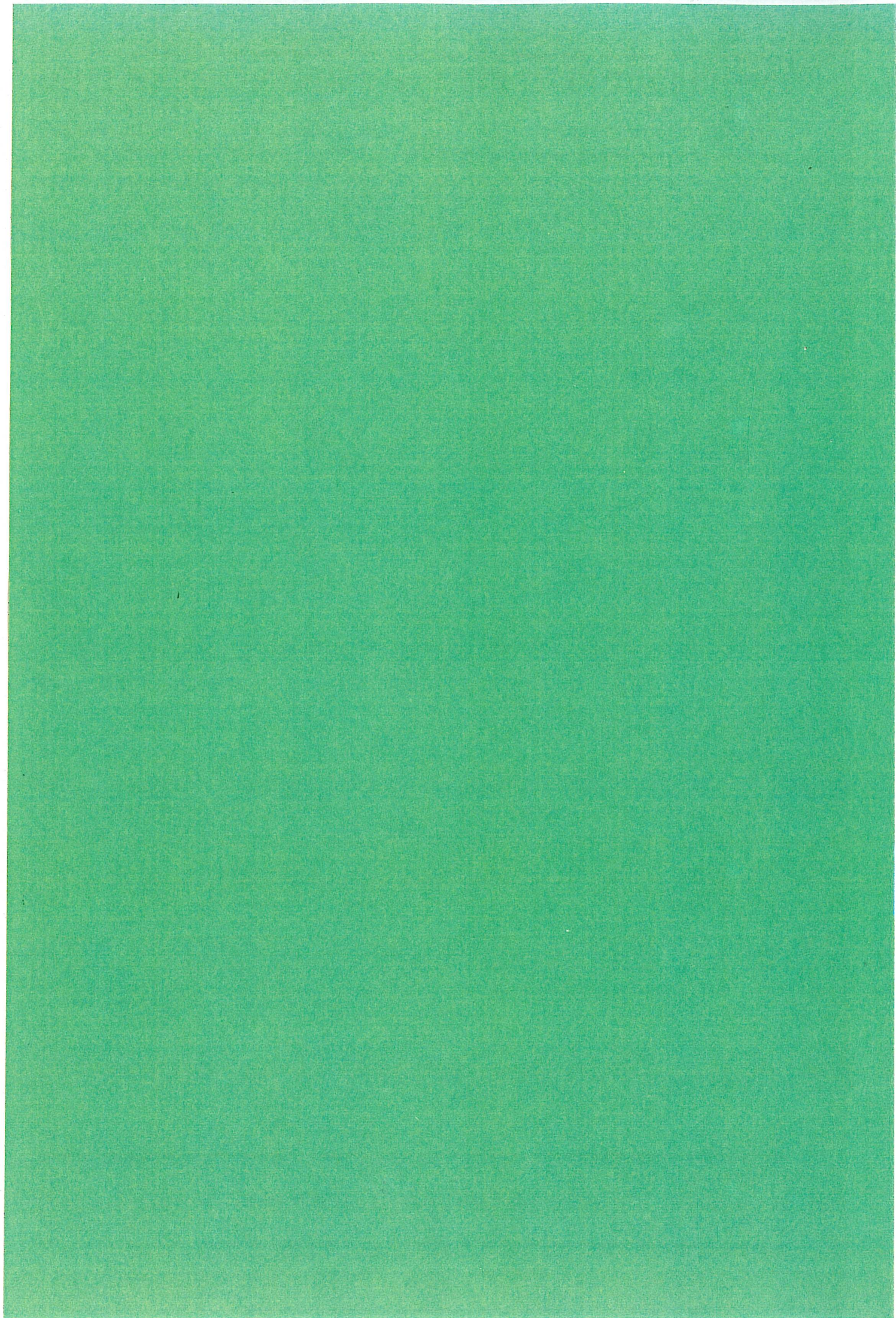
- ? Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- ? You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- ? You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK
DEPT. OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING
AALBORG UNIVERSITET • AUC • AALBORG • DANMARK

S. KLOCH
RAMPROG - BRUGERVEJLEDNING OG EKSEMPLER (Revideret udgave)
AUGUST 1995 **ISSN 0902-8005 U9506**



INSTITUTTET FOR BYGNINGSTEKNIK
DEPT. OF BUILDING TECHNOLOGY AND STRUCTURAL ENGINEERING
AALBORG UNIVERSITET • AUC • AALBORG • DANMARK

S. KLOCH
RAMPROG - BRUGERVEJLEDNING OG EKSEMPLER (Revideret udgave)
AUGUST 1995 **ISSN 0902-8005 U9506**

Forord

RAMPROG er et PC-program der, ved hjælp af elementmetoden, beregner flytninger, snitkræfter og reaktioner i plane stang- og bjælkesystemer. Derimod indeholder programmet ingen rutiner til dimensionering eller bæreevnebestemmelse.

Programmet henvender sig især til studerende på A- og B-sektoren der i projektarbejderne på 4. - 6. semester har behov for at udføre omfattende beregninger af snitkræfter m.m. i gitter- og rammekonstruktioner påført kombinationer af forskellige typer af ydre laster. Programmet kan imidlertid også anvendes til at opnå indsigt i statiske systemers virkemåde uden at skulle gennemføre omfattende eller trivielle beregninger.

I en tidligere version har programmet været installeret på AUD's anlæg, og beskrevet i rapporten U8707.

I den reviderede udgave fra august 1995 er der gennemført enkelte rettelser og foretaget tilføjelser som følge af den fortsatte udvikling af programmet.

Indholdsfortegnelse

| | |
|------------------------------------|--------|
| 1. Generelt om RAMPROG | side 1 |
| 1.1 Forudsætninger | 1 |
| 1.2 Elementmetoden | 1 |
| 2. Afvikling af RAMPROG-job | 5 |
| 2.1 Menustyring | 5 |
| 2.2 Filsystem | 6 |
| 2.3 Programmets kapacitet | 7 |
| 2.4 Opstilling af beregningsmodel | 7 |
| 2.5 Lasttyper | 8 |
| 3. Brugervejledning | 11 |
| 3.1 Opret ny datafil | 11 |
| 3.2 Rediger datafil | 16 |
| 3.3 Beregning | 17 |
| 3.4 Grafisk output | 17 |
| 3.5 Print fil | 18 |
| 3.6 Fil-list | 18 |
| 3.7 Vis fil på skærm | 19 |
| 4. Eksempler | 21 |
| 4.1 Eksempel 1, Industrihal | 21 |
| 4.2 Eksempel 2, Forspændt pladebro | 31 |
| 5. Vejledning til RAMSTAB | 39 |
| | |
| Bilag A, Startvejledning | 45 |

1. Generelt om RAMPROG

1.1 Forudsætninger

RAMPROG udfører beregninger af flytninger, snitkræfter og reaktionskræfter i plane stang- og bjælkekonstruktioner påvirket med forskellige former for ydre laster. Det forudsættes at materialerne er lineærelastiske og beregningerne gennemføres på den udeformerede konstruktion uden hensyntagen til 2. ordens flytninger, se dog afsnit 5 vedr. RAMSTAB.

Der anvendes menustyring til jobafvikling og administration af data- og resultatfiler, og den indlagte on-line brugervejledning vil normalt give den fornødne hjælp til gennemførelsen af de fleste opgavetyper. Resultaterne kan præsenteres både i form af tabeller og som grafik.

Programmet, der er skrevet i Pascal (7.0), er struktureret med et hovedprogram og en række underprogrammer (units) der indeholder procedurer til dataindlæsning, beregning og resultatpræsentation samt filadministration og menustyring.

Der stiller ingen specielle krav til udstyret, men for at opnå en rimelig arbejdhastighed anbefales, som minimum, en PC386 med co-processor og vga-skærm.

RAMPROG er baseret på elementmetoden (deformationsmetoden), men det er dog ikke nogen forudsætning at brugeren har et dyberegående kendskab til denne metode. For at kunne opbygge en model og gennemføre en jobafvikling er det nødvendigt, at brugeren har et solidt kendskab til de gundlæggende begreber indenfor statik og styrkelære, og desuden er det en afgørende forudsætning at brugeren er istand til kritisk at vurdere både den opstillede model og de beregnede resultaterne. I det følgende afsnit er der en kort præsentation af de vigtigste begreber fra elementmetoden som brugeren støder på i forbindelse med anvendelsen af programmet.

1.2 Elementmetoden

Teorien for elementmetoden anvendt på plane bjælkekonstruktioner findes beskrevet i fx. S. Thelandersson: "Konstruktionsberäkningar med dator", Lund 1990, og i det følgende omtales derfor blot de vigtigste begreber der knytter sig til metodens anvendelse i programmet.

I elementmetoden opstilles en model hvor bjælkekonstruktionen inddeles i elementer der indbyrdes forbindes med knuder. For hvert element fastlægges geometri og materialeegenskaber, se fig. 1.2.1, og der kan herefter opstilles et sæt ligninger der udtrykker sammenhængen mellem (snit-)kræfter og tilhørende knudflytninger i bjælkeelementets 2 endepunkter.

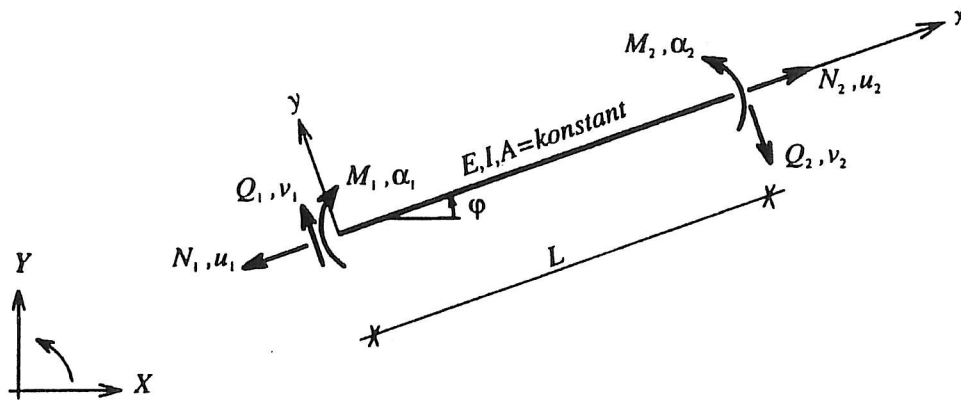


Fig. 1.2.1 Geometri og fortegnsgdefinitioner for elementer

For et plant bjælkeelement med 3 frihedsgrader (flytningskomponenter) i hver af de 2 ender (knuder) fås, med de på fig 1.2.1 viste betegnelser, følgende stivhedsrelation

$$\begin{bmatrix} N_1 \\ Q_1 \\ M_1 \\ N_2 \\ Q_2 \\ M_2 \end{bmatrix} = E/L \begin{bmatrix} A & 0 & 0 & A & 0 & 0 \\ 0 & 12 I/L^2 & -6 I/L & 0 & 12 I/L^2 & 6 I/L \\ 0 & -6 I/L & 4 I & 0 & -6 I/L & -2 I \\ A & 0 & 0 & A & 0 & 0 \\ 0 & 12 I/L^2 & -6 I/L & 0 & 12 I/L^2 & 6 I/L \\ 0 & 6 I/L & -2 I & 0 & 6 I/L & 4 I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \alpha_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \alpha_2 \end{bmatrix}$$

eller $\mathbf{P} = \mathbf{K}_e \cdot \mathbf{u}$ hvor \mathbf{K}_e er elementets stivhedsmatrix.

Bemærk, den valgte fortegnsgregning svarer til normal praksis og ikke til den der anvendes i ovennævnte bog.

Den viste stivhedsrelation er opstillet under forudsætning af at elementet er en bøjningsstiv bjælke (eller del af en bjælke) der er stift forbundet med nabokonstruktionen i begge ender. Ved at modificere stivhedsmatricen kan der opstilles stivhedsrelationer for bjælkeelementer der er forbundet til nabokonstruktionen med charnier i den ene ende eller evt. i begge ender.

Herved fremkommer yderligere 3 elementtyper. Som eksempel gengives nedenfor stivhedsrelationen for et bjælkeelement med charnierforbindelse i venstre ende (1) og indspændt i højre ende (2).

$$\begin{bmatrix} N_1 \\ Q_1 \\ M_1 \\ N_2 \\ Q_2 \\ M_2 \end{bmatrix} = E/L \begin{bmatrix} A & 0 & 0 & A & 0 & 0 \\ 0 & 3 I/L^2 & 0 & 0 & 3 I/L^2 & 3 I/L \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ A & 0 & 0 & A & 0 & 0 \\ 0 & 3 I/L^2 & 0 & 0 & 3 I/L^2 & 3 I/L \\ 0 & 3 I/L & 0 & 0 & 3 I/L & 3 I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \alpha_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ \alpha_2 \end{bmatrix}$$

Det fremgår at denne stivhedsrelation giver $M_1 = 0.0$ som charnieret i knude 1 forudsætter, og desuden at vinkeldrejningen α_1 ingen indflydelse har på størrelsen af de 6 kræfter i bjælkeelementets ender. Det betyder at vinkeldrejningen er udefineret i knuder med charnierer og derfor ikke kan beregnes (se dog bemærkningerne i afsnit 4.1).

I ovenstående stivhedsrelationer er kræfter og knudeflytninger angivet i det enkelte elements lokale koordinatsystem som vist på fig. 1.2.1. For at kunne behandle en konstruktion sammensat af flere konstruktionselementer er det nødvendigt at kræfter og flytninger transformeres til et fælles globalt koordinatsystem. Det sker ved hjælp af en såkaldt transformationsmatrix T_e der opstilles for hvert element.

$$T_e = \begin{bmatrix} -\cos\varphi & -\sin\varphi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\varphi & \cos\varphi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\cos\varphi & \sin\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

φ angiver vinklen mellem det aktuelle elementets lokale x-akse og det globale systems X-akse som vist på fig. 1.2.1.

Efter transformationen kan der, ved hjælp af kompatibilitets- og ligevægtsbetingelserne, opstilles et ligningssystem der angiver sammenhængen mellem ydre laster og flytninger for den samlede konstruktion

$$\mathbf{R} = \mathbf{K} \cdot \mathbf{r}$$

\mathbf{R} er lastvektoren der indeholder ydre kræfter (3 komponenter for hver knude)

\mathbf{K} er den samlede konstruktions stivhedsmatrix der fremkommer ved at summere bidrag fra de enkelte (del-)elementer, se ovenfor. \mathbf{K} får dimensionen 3 gange antallet af knuder.

\mathbf{r} er flytningsvektoren der indeholder knudeflytninger (3 komponenter for hver knude)

Ved opstilling af ligningssystemet kan man udnytte den omstændighed at stivhedsmatricen \mathbf{K} er symmetrisk og evt. har båndstruktur således at antallet af koefficienter det er nødvendigt at lagre kan begrænses væsentligt, se afsnit 2.3.

I RAMPROG udføres en Gauss-Doolittle dekomposition på den øve halvdel af båndmatricen, hvorefter de ubekendte knudeflytninger og kræfter (understøtningsreaktioner) bestemmes ved hjælp af en Backsubstitution.

Herefter kan kræfterne i elementernes endepunkter bestemmes ved hjælp af de fundne knudeflytninger og stivhedsrelationerne for hvert enkelt element. Ved beregning af snitkræfter tages der hensyn til om der optræder laster på selve elementet.

Lastvektoren \mathbf{R} opstilles på grundlag af de ydre laster. Hvis lastkombinationen indeholder laster der virker direkte på elementerne (se nedenfor) konverteres disse til statisk ækvivalente knudelaster. Indeholder lastkombinationen kendte knudeflytninger, bortset fra de faste understøtninger, bliver \mathbf{R} yderligere modificeret.

2. Afvikling af RAMPROG-job

2.1 Menustyring

Programafviklingen foregår ved hjælp af et menusystem hvor skærmen normalt er opdelt i 4 vinduer. Et typisk eksempel på det skærbillede der fremkommer under afvikling af RAMPROG er vist nedenfor.

| | |
|---|--|
| R A M P R O G Program til beregning af plane stang- og bjælke-konstruktioner. PC-version august 1995 | |
| -HOVEDMENU- 0) Vejledning 1) Opret ny datafil 2) Rediger datafil 3) Beregning 4) Grafisk output 5) Print fil 6) Fil-liste 7) Vis fil på skærm Esc = slut - 2 - | Rediger filen \RAMFIL\Rameks1.DAT ELEMENTDATA Element nr. : 3 Elementtype : 0 Lokalknude 1 : 3 Lokalknude 2 : 4 Materialesæt nr. : 1 Elementtyper : 0 = stiv forbindelse i begge ender 1 og 2 = charnier ved lokalknude 1 hhv. 2 12 = charnier i begge ender af elementet |

Fig. 2.1.1 Eksempel på skærbillede under afvikling af RAMPROG

Det øverste vindue indeholder en overskrift med angivelse af sidste revisionstidspunkt medens vinduet med HOVEDMENU'en viser de 8 forskellige jobtyper man kan vælge imellem, de omtales alle nærmere i afsnit 3.

Til indtastning af filnavne benyttes et særligt vindue hvor programmet også løbende angiver navne på de aktuelle arbejdsfiler under jobafviklingen.

I dette vindue fremkommer desuden meddelelser om jobafviklingens forløb, og her oplyses om formelle fejl som programmet finder under indtastning af et datasæt eller under udførelse af en beregning. Hvis fejlen opstår under indtastning af data har man mulighed for at vende

tilbage til den undermenu man arbejder i, og straks rette fejlen. Hvis der indtastes et illegalt tegn, fx. et bogstav hvor programmet forventer et tal, kommer der et advarselssignal og markøren bliver stående i samme position indtil et legalt tegn er indtastet.

Vinduet nederst tilhøjre bruges til valg af undermenuer og indtastning af data. I det viste eksempel redigeres den eksisterende datafil rameks1.DAT, undermenuen ELEMENTDATA er valgt og brugeren er ved at rette i data for element nr. 3.

Teksten med småt nederst i vinduet er et eksempel på en vejledning der følger med de enkelte menuer..

2.2 Filsystem

RAMPROG opretter og gemmer automatisk en række filer, brugeren skal blot vælge et navn som derefter indgår i alle filnavne i det pågældende job. I det følgende angiver **** det valgte jobnavn:

****.DAT

Datafilen indeholder datasættet som det er indtastet og evt. senere revideret. Det er den første fil der oprettes og derfor vil det være dens navn der automatisk overføres på alle andre filer i samme job. Data skrives med et specielt format, og man bør derfor undgå at rette direkte i datafilen og istedet benytte RAMPROG's menu til redigering af datafiler.

****.RES

På resultatfilen udskrives dels det bearbejdede datasæt og dels beregnede resultater på tabelform. Filen benyttes desuden til oplysninger om jobafviklingen og evt. fejldelelser.

****.TMP

Benyttes til mellemlagring af resultater til plotning og har normalt ingen interesse for brugeren.

****.HPn

Filer med grafiske output på HP-format. Hvert job kan max. oprette 9 samtidige HP-plotfiler ($n = 1, 2, \dots, 9$). For hvert job starter nummereringen af HP-filer nedefra, men kun det nødvendige antal af evt. eksisterende HP-filer overskrives.

Alle filer placeres automatisk i et underkatalog, der normalt har navnet /RAMFIL/.

Når indtastningen afsluttes vil der, uanset om datasættet er komplet, ske en overførsel af data til både datafilen ****.DAT og resultatfilen ****.RES.

Resultatfilen indeholder en tabel med bearbejdede data og er derfor velegnet til fejlfinding. Formelle fejl der først konstateres under beregningen registreres også på resultatfilen.

2.3 Programmets kapacitet

I den foreliggende udgave er programmets kapacitet begrænset til:

| | |
|---|------|
| max. antal knuder og elementer | 125 |
| max. antal materialesæt/tværsnit | 25 |
| max. antal understøtningsreaktioner | 50 |
| max. antal lastkombinationer | 5 |
| max. antal dellaster i en lastkombination | 125 |
| max. antal koeff. i aktive stivhedsmatrix | 3500 |

Overskrides disse grænser fås en fejlmeddelelse.

Programmets kapacitet afhænger stort set kun af antallet af koefficienter i den aktive del af systemets stivhedsmatrix der udregnes som

$$N_{\text{koeff}} = [3m - (bb-1)/2]bb$$

hvor m er antal knuder, og bb er den halve båndbredden der udregnes på grundlag af den maximale knudedifference i elementerne som

$$bb = 3[|kn_2 - kn_1| + 1]$$

Det betyder fx. at det max. antal knuder på 125 kun kan udnyttes hvis knudenummereringen kan vælges på en sådan måde, at knudedifference i elementerne bliver på max. 2 og dermed giver en halv båndbredde $bb = 9$. Hvis man derimod har en knudenummerering hvor knudedifferencen er fx. 12 bliver $bb = 39$, og det maximale knudeantal kun 35.

Størrelsen N_{koeff} beregnes og udskrives i resultatfilen under betegnelsen "antal koefficienter i stivhedsmatricen".

De anførte kapacitetsbegrænsninger kan, efter aftale, justeres hvis der er brugere med helt specielle behov.

2.4 Opstilling af beregningsmodel

Før et datasæt kan etableres skal der, på sædvanligvis, opstilles en beregningsmodel i form af et plant statisk system med understøtningsbetingelser og laster. Modellen inddeles derefter med knuder der forbindes med såkaldte elementer. Knuderne placeres i alle understøtninger, i samlinger mellem 2 eller flere bjælker samt ved frie ender. Hvert element forbinder 2 knuder og udgøres af konstruktionens bjælker, søjler eller stænger, dog kan bjælker og søjler evt. underinddeles i flere elementer.

Der indlægges et globalt koordinatsystem og for hvert element desuden et lokalt koordinatsystem defineret ved elementets positive retning, se fig.2.4.1. Eksempler på beregningsmodeller er vist i afsnit 4.

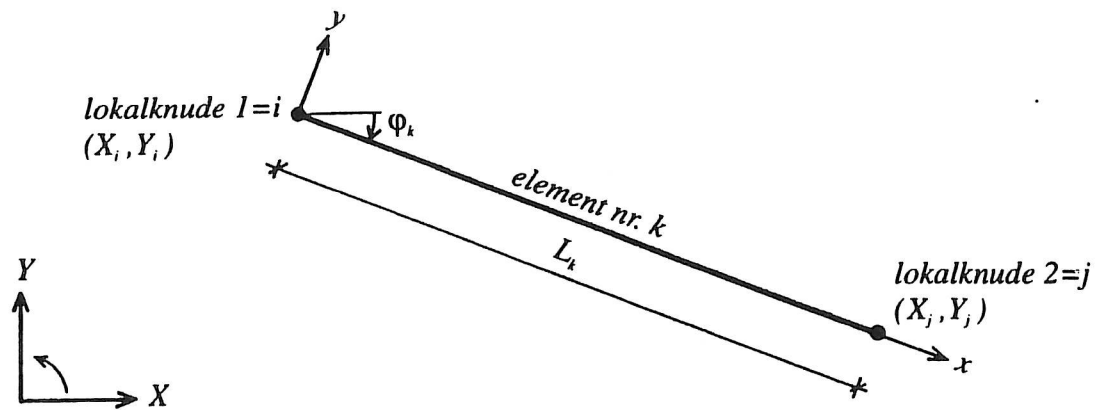


Fig. 2.4.1 Geometrisk beskrivelse af elementer

Indre charnierer i en konstruktion defineres gennem valget af elementtype idet charnieret knyttes til et element medens en understøtning med et charnier normalt defineres gennem randbetingelserne. De forskellige mulige elementtyper og randbetingelser angives ved hjælp af en heltalskode, se nærmere herom i brugervejledningen afsnit 3.1.

For hvert element skal brugeren desuden fastlægge de 3 tværsnits- og materialekonstanter I , E og A som samles i et såkaldt materialesæt der kan være fælles for et antal elementer. Derimod beregnes elementets længde L og vinkel φ af programmet på grundlag af knudenummereringen og knudekoordinaterne.

2.5 Lasttyper

En lastkombination sammensættes af dellaster der kan være punktlaster virkende i en knude eller på et element, linielaster virkende på elementer eller flytninger der påtvinges en knude.

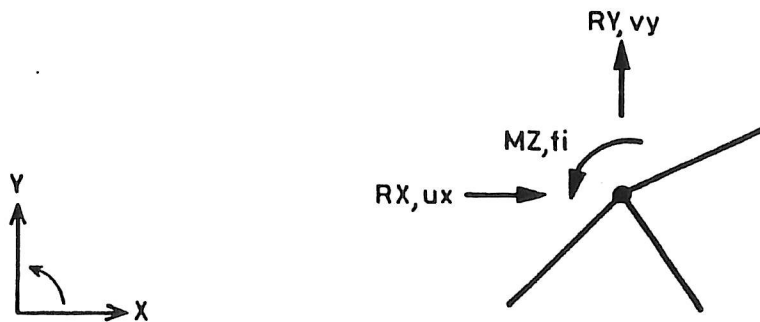


Fig. 2.5.1 Enkeltkræfter og påtvungne flytninger i knuder

På fig. 2.5.1 ses de forskellige typer af dellaster der kan påføres i en knude. Kræfter betegnes med P_X , P_Y og M_Z og flytninger med u_x , v_y og f_i , og alle typer af dellaster der påføres i knuder regnes med fortegn efter de valgte globale akseretninger.

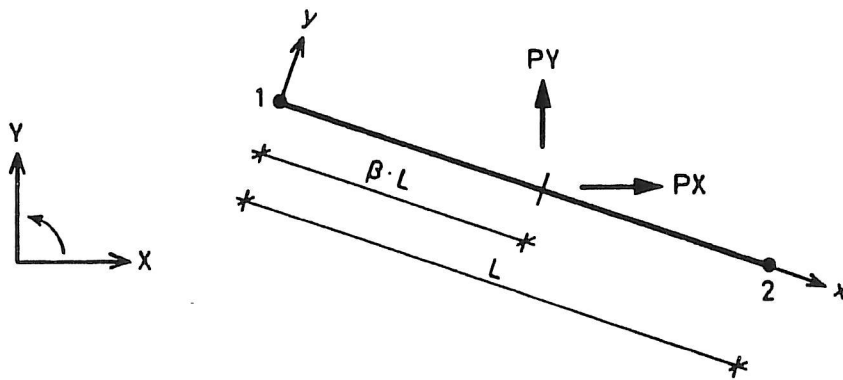


Fig. 2.5.2 Enkeltkræfter på elementer

På fig 2.5.2 og 2.5.3 er vist de forskellige typer af dellaster der kan påføres et element. Kræfterne P_X og P_Y skal angives med fortegn efter de globale akseretninger og faktorn β angiver den relative afstand fra elementets begyndelsespunkt til kraftangrebepunktet.

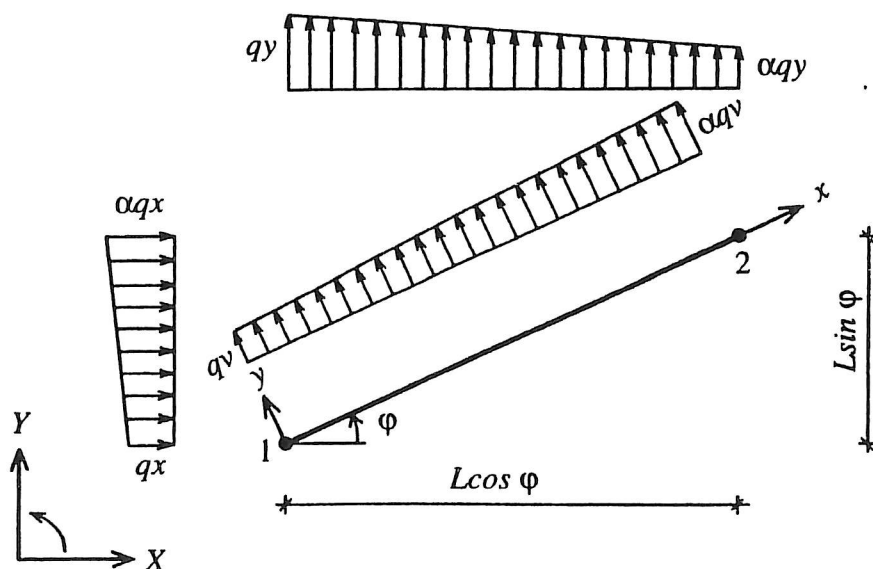


Fig. 2.5.3 Linielaster på element

Linielasterne q_x og q_y virker pr. længdeenhed af elementets projektion på de globale akseretninger X og Y , og med fortegn efter disse retninger. Linielasterne q_t og q_v virker derimod pr. længdeenhed af elementet og regnes positive efter de lokale akseretninger x og y . Den tangentielt virkende linielast q_t er ikke vist på fig. 2.5.3, men virker i princippet som q_v , blot i den lokale x -retning.

For alle 4 typer linielaster angiver faktoren α forholdet mellem lastintensiteten i elementets endepunkt og begyndelsespunkt.

I afsnit 3.1 angives nærmere hvorledes de forskellige typer af dellaster skal specificeres når de indgår i en lastkombination. Det maximale antal lastkombinationer i en datafil og det maximale antal dellaster i hver lastkombination fremgår af oversigten over programmets kapacitet i afsnit 2.3.

I brugervejledningen afsnit 3.1 er det nærmere beskrevet hvorledes et datasæt opbygges og evt. senere revideres.

3. Brugervejledning

Vælges pkt. 0 i HOVEDMENU'en kan man gennemse en on-line VEJLEDNING der indeholder en kortfattet udgave af de følgende afsnit 3.1 - 3.6.

Også i de øvrige indgange på HOVEDMENU'en er der i undermenuerne indlagt korte instruktioner til brugeren om de aktuelle valgmuligheder.

Vejledningen vises på skærmen som sider med ca. 15 linier, og man kan bladre i den ved hjælp af følgende tasterne:

PgUp eller pil-op = foregående side
PgDn eller pil-ned = næste side
Esc = retur til HOVEDMENU'en

Vejledningen indholder et afsnit for hver jobtype der kan vælges i HOVEDMENU'en, og desuden en kort omtale af resultatfilens indhold samt en orientering om RAMSTAB.

3.1 Opret ny datafil

Inddatafilen ****.DAT etableres ved hjælp af pkt. 1 i HOVEDMENU'en og kan evt. senere revideres ved hjælp af pkt. 2 i HOVEDMENU'en. Datafilen kan naturligvis også editeres på normal vis, men det frarådes fordi de valgte formater skal overholdes strengt. Under indtastningen udfører programmet kontrol på data og evt. fejlmeddelelser udskrives i vinduet med filnavne. Når fejlmeddelelsen er studeret vender man tilbage til den pågældende undermenu med <Enter> og foretage rettelsen.

Indtastningen kan nåsommelst afbrydes med <Esc> hvorefter de allerede indtastede data gemmes på filen ****.DAT.

Data i et datasæt opdeles i følgende 6 grupper hver med sin undermenu-der aktiveres automatisk efterhånden som data indtastes.

- 1) Kontroldata
- 2) Materialedata
- 3) Elementdata
- 4) Knudekoordinater
- 5) Randbetingelser
- 6) Lastkombinationer

Undermenuerne er forsynet med forklarende tekst og indtastningen styres af de 3 kontroldata, d.v.s. antal knuder, antal elementer og antal materialsæt samt om genereringsfaciliteterne ønskes anvendt, se nedenfor.

Alle data skal indtastes hvor markøren står, hvis der tages et illegalt tegn fås en advarsel og markøren bliver stående indtil et legalt tegn er indtastet. Når en dataværdi er skrevet færdig og godkendt afleveres den med tasten <Enter> og markøren flytter til næste punkt.

Ved illegale tegn forstås et tegn som programmet ikke forventer i den pågældende position fx. et bogstav istedet for et ciffer eller et punktum i et heltal.

Generelt anvendes de sædvanlige konventioner for heltal og reelle tal og formatet for de specille koder der indføres fremgår af undermenuerne. Reelle tal kan angives med valgfrit format, fx. kan 24.0 også skrives som 24 eller med 10-talsekspont 0.24e2.

I nogle tilfælde tilbydes en standardværdi som man kan accepterer ved blot at taster <Enter> , hvis der ikke udskrives nogen talværdi er standardværdien 0.

Da alle tabeller der udskrives i resultatfilen er baseret på **enhederne kilonewton og meter** bør disse enheder altid anvendes i datasæt til RAMPROG.

3.1.1 Kontrolldata

antal knuder
antal elementer
antal materialesæt

Som nævnt ovenfor er disse 3 talværdier afgørende for hvorledes den efterfølgende dataindlæsning forløber.

I denne undermenu skal man desuden angive om man ønsker at benytte genereringsfaciliteterne under indtastning af elementdata og knudekoordinater. Hvis der ikke er en udpræget systematik i større dele af elementernes knudenummerering eller i knudernes indbyrdes afstand bør den vælges fra, da den samtidig gør det mere besværligt at indtaste de øvrige data.

3.1.2 Materialedata

Hvert element tildeles et sæt materiale- og tværsnitsdata der indeholder

inertimoment (I)
elasticitetsmodul (E)
tværsnitsareal (A)

Hvis værdierne ikke kendes må de i første omgang skønnes og når de derefter er fastlagte må beregninger gentages som kontrol. Specielt i statisk ubestemte konstruktioner kan der fås helt misvisende resultater hvis man har valgt værdier der afviger meget fra de korrekte.

Beregningerne gennemføres under forudsætning af, at I,E og A er konstante over elementlængden. Ved mindre variationer i relativt korte elementer vil det normalt give tilfredsstillende resultater at benytte middelværdier.

Standardværdien for de 3 parametre er 0.0 hvilket ofte vil umuliggøre en beregning.

3.1.3 Elementdata

I undermenuen for Elementdata skal der for hvert element oplyses følgende (se også fig. 2.4.1 der viser denne menu)

element nr.
 elementtype
 lokalknude 1
 lokalknude 2
 materialesæt nr.

Hvis genereringsfaciliteten ikke anvendes udskiftes elementnummeret automatisk, og brugeren skal kun indtaste de 2 lokalknuder og evt. rette elementtype og materialesæt idet programmet som standardværdier benytter 0 for elementtype og 1 for materialesæt.

Ved generering indtaster brugeren data for første og sidste element i en sekvens af elementer. Elementgenerering omfatter kun de 2 lokalknuder som enten øges eller reduceres med 1 afhængig af hvilket af de 2 elementer der har de højeste knudenumre som lokalknuder, de mellemliggende elementer får alle samme elementtype og materialesæt nr.

Ved hjælp af elementtypen angives om et elementet er forbundet til den øvrige konstruktion gennem momentstive samlinger eller gennem charnierer. Der benyttes følgende heltals-kode

0 = bjælkeelement der er stift forbundet med naboelementer i begge ender.
 1 = bjælkeelement med charnier ved lokalknude 1 og indspænding ved lokalknude 2.
 2 = bjælkeelement med charnier ved lokalknude 2 og indspænding ved lokalknude 1.
 12 = stang- eller bjælkeelement med charnier i begge ender.

Alternativt kan stangelementer, der ikke påføres ydre tværlaster, angives som bjælkeelementer uden bøjningsstivhed ($I=0$).

Bemærk i et charnier er vinkeldrejningen undefineret ! Dette problem omtales nærmere under vurderingen af resultater fundet i eksempel 1 afsnit 4.1.

3.1.4 Knudekoordinater

I undermenuen for knudekoordinater skal der for hver knude oplyses følgende

knude nr.
 X-koordinat
 Y-koordinat

Hvis genereringsfaciliteten ikke anvendes udskiftes knudenummeret automatisk, og brugeren skal kun indtaste de 2 koordinater. Ved generering indtaster brugeren knudenr. og koordinater for første og sidste knude i en sekvens af knuder og programmet genererer derefter de mellemliggende knuder ved at dele den rette linie mellem de 2 knuder i ligestore stykker.

Hvis en knude, af en eller anden grund, ikke tildeles koordinater vælger programmet automatisk standardværdien (0.0 , 0.0).

3.1.5 Randbetingelser

I RAMPROG benyttes randbetingelser kun til knuder der er fastholdt mod flytninger eller rotationer medens påtvungne knudflytninger og rotationer ($\diamond 0.0$) behandles som ydre laster (se nedenfor). Hvis en knude i en lastkombination skal påføres en tvungen knudflytning er det nødvendigt at den fastlåses med en randbetingelser svarende til den pågældende flytnings retning (frihedsgrad).

For hver knude der tildeles randbetingelser angives

knude nr.
kode for randbetingelse

Til beskrivelse af randbetingelser benyttes følgende heltals-kode

1 = knuden fastholdes i den globale X-retning
2 = knuden fastholdes i den globale Y-retning
3 = knuden fastholdes mod rotation

samt kombinationerne

12 = fast simpel understøtning
13 = kombination af 1 og 3
23 = kombination af 2 og 3
123 = fast indspænding

Når denne del af datasættet er indtastet kan resultatet kontrolleres ved at udtegne konstruktions geometri og randbetingelser og element- og knudeinddelingen, se afsnit 3.4 samt eksemplerne i afsnit 4.

Det er naturligvis en nødvendig forudsætning at konstruktionen ikke er bevægelig eller på anden måde ustabil, derfor kontrollerer programmet om randbetingelserne er tilstrækkelige og udskriver en fejlmeddelelse hvis der er problemer.

3.1.6 Lastkombinationer

I undermenuen for laster indtastes først en titel som senere udskrives sammen med de beregnede resulater. Herefter indtastes et antal dellaster der tilsammen udgør en lastkombination. De forskellige typer af dellaster opdeles i følgende kategorier hver med sin undermenu der aktiveres automatisk i denne rækkefølge:

Laster virkende på knuder
 Påtvungne knudedeflytninger
 Laster virkende på elementer

De forskellige typer af dellaster er vist på fig. 2.5.1 - 2.5.3 og beskrevet nedenfor.

For laster virkende i knuder og for påtvungne knudedeflytninger skal følgende indtastes

knude nr.
 kode for lasttype
 lastens størrelse

Der benyttes følgende bogstav-koder til angivelse af de forskellige lasttyperne i knuder

RX = enkeltkraft på knude virkende i den globale X-retning.
 RY = som RX, men virkende i den globale Y-retning.
 MZ = moment på knude virkende mod uret.

ux = påtvungen knudedeflytning i den globale X-retning.
 vy = påtvungen knudedeflytning i den globale Y-retning.
 fi = påtvungen knude-rotation mod uret.

Som nævnt ovenfor kan påtvungne knudedeflytninger (lasttype ux,vy og fi) kun påføres i knuder hvor de tilsvarende frihedsgrader fastholdes ved randbetingelser.

For laster virkende på elementer skal følgende indtastes

element nr.
 kode for lasttype
 lasten størrelse
 faktor α eller β

På elementer kan der påføres 4 forskellige typer af linielaster der angives med følgende bogstav-koder

qx er en linielast der virker i den globale X-retning. Faktoren α angiver forholdet mellem lastintensiteten i lokalknude 2 og lokalknude 1.

qy som qx, men virkende i den globale Y-retning.

qv er en linielast der virker vinkelret på elementet i den lokale y-retning svarende til "sug". Faktoren α angiver forholdet mellem lastintensiteten i lokalknude 2 og lokalknude 1.

qt som qv, men virkende i den lokale x-retning (tangentielt)

På elementer kan der desuden påføres 2 forskellige typer af enkeltkræfter der angives med følgende bogstav-koder

- PX er en enkeltkraft virkende i den globale X-retning i afstanden $\beta \cdot L$ fra elementets lokalknude 1. L er elementlængden og $0 \leq \beta \leq 1.0$.
- PY som PX, men virkende i den globale Y-retning.

Ved angivelse af bogstavkoder kan små og store bogstaver anvendes valgfrit for alle lasttyper.

Hvis et ikke eksisterende knude- eller elementnummer eller en illegal lastkode indtastes fås en fejlmeddelelse i vinduet med filnavne hvorefter kontrollen gives tilbage til lastmenuen og den korrekte værdi kan indtastes

Der er indlagt en genereringsfacilitet der gør det bekvemt at gentage en dellast. Hvis man taster '+' istedet for knude- eller elementnummer gentages den foregående dellast på næste knude eller element.

Når en lastkombination er afsluttet kan man fortsætte med en ny lastkombination eller afbryde indtastningen. Det maximale antal lastkombinationer i en datafil og antal dellaster i hver lastkombination fremgår af afsnit 2.3.

Når indtastningen afsluttes vil der, uanset om datasættet er komplet, ske en overførsel af data til både datafilen ****.DAT og resultatfilen ****.RES.

Resultatfilen indeholder en tabel med bearbejdede data og er derfor velegnet til fejlfinding. Formelle fejl der først konstateres under beregningen registreres også på resultatfilen.

3.2 Rediger datafil

Vælges pkt. 2 i HOVEDMENU'en får man mulighed for at arbejde videre på en eksisterende datafil. Man kan både rette i eksisterende data eller tilføje nye, fx. ekstra lastkombinationer. Når navnet på den eksisterende datafil indtastes, fås en oversigt over undermenuer svarende til den inddeling af data i grupper der benyttes under indtastning af nye datasæt som beskrevet i afsnit 3.1 "Opret ny datafil":

- 1) Kontrolldata
- 2) Materialedata
- 3) Elementdata
- 4) Knudekoordinater
- 5) Randbetingelser
- 6) Lastkombinationer

De forskellige grupper af data kan rettes i vilkårlig rækkefølge, dog skal evt. ændringer af knudeantal, elementantal og antal materialesæt udføres først i undermenuen "Kontrolldata".

Indtastningen forløber iøvrigt helt efter samme retningslinier som beskrevet i afsnit 3.1, bortset fra at det naturligvis kun er de knuder, elementer og materialesæt som ønskes rettet eller tilføjet der behandles.

I undermenuen "Lastkombinationer" kan der enten slettes eller tilføjes nye lastkombinationer, og eksisterende lastkombinationer kan rettes ved at slette eller tilføje nye dellaster.

3.3 Beregning

Før man vælger denne menu skal der naturligvis være oprettet en datafil med et, formelt korrekt, datasæt med mindst 1 lastkombination. Navnet på datafilen angives som sædvanligt i vinduet med filnavne, og her kan man derefter følge jobafviklingen.

Som nævnt i afsnit 3.1.5 kontrollerer programmet, inden beregningen gennemføres, om konstruktionen er bevægelig pga manglende understøtningsbetingelser. Hvis konstruktionen derimod er bevægelig pga manglende indre sammenhæng, afsløres dette først under beregningen. I visse tilfælde kan beregningen alligevel gennemføres, og man bør derfor altid kontrollerer om der optræder ekstremt store knudeflytninger.

Hver gang beregningen med en lastkombination er fuldført afleveres resultaterne på filen ****.RES og plotdata på filen ****.TMP. Eventuelle fejlmeddelelse vedrørende data eller jobafvikling angives i vinduet med filnavne, men udskrives desuden med en forklaring i resultatfilen.

Når sidste lastkombination er afsluttet udskrives tegnet > og kontrollen overføres til HOVEDMENU'en efter en pause på 5 sekunder eller ved brug af tasten <Esc>. Alternativt kan man, inden pausens udløb, taster 2 eller 4 og "skyde genvej" med samme datafil til undermenuerne 2) Rediger datafil eller 4) Grafisk output.

3.4 Grafisk output

RAMPROG indeholder muligheder for både skærmploot og udtegning på en HP-plotter eller en laserprinter.

Som nævnt i afsnit 3.1.1 kan konstruktionens geometri og elementinddeling udtegnes såsnart datafilen indeholder de nødvendige data. Når der findes et komplet datasæt og der er gennemført en beregning kan man desuden få udtegnet deformations- og snitkraftkurver for de forskellige lastkombinationer.

I begge tilfælde er det en forudsætning at både datafilen ****.DAT og plotdatafilen *-***.TMP findes.

Plot-menuen opstartes ved at vælge pkt. 4 i HOVEDMENU'en og angive navnet på datafilen ****.DAT i vinduet med filnavne. Herefter fås alle nødvendige instrukser i en undermenu hvor man vælger mellem følgende muligheder:

- 1) Plot af geometri og randbetingelser
- 2) Plot af element- og knudeinddeling
- 3) Plot af beregnede resultater

Hvis pkt. 3 vælges skal brugeren yderligere angive den ønskede lastkombination og derefter vælge mellem følgende 4 kurvetyper

- 1) Deformeret konstruktion
- 2) Moment-kurve
- 3) Tværkraft-kurve
- 4) Normalkraft-kurve

Deformations- og snitkraftkurver optegnes på grundlag af de beregnede værdier i knuderne, men desuden beregnes for hvert element et antal støttepunkter der tager hensyn til udbøjningsform, elementlaster etc. Der er derfor ingen grund til at brugeren underinddeler bjælker i mange korte elementer for at få mere nøjagtige kurver. Hvis der optræder store enkeltlaster på et langt bjælkeelement kan snitkraftkurverne dog blive lidt forregnede omkring kraftangrebspunktet.

Ved optegning skaleres resultaterne automatisk således at tegnearealet udnyttes bedst muligt, og til vurdering af størrelsesordenen af deformationer og snitkræfter angives en grov skala. Ønskes de korrekte værdier henvises til tabellerne i resultatfilen.

Før hvert plot oprettes der automatisk en HP-fil hvis navn angives i vinduet med filnavne før en evt. udtegning af det tilsvarende skærmplo. Regler for navngivning og sletning af HP-filer er omtalt nærmere i afsnit 2.2.

HP-filerne kan udtegnes på en HP-plotter, en laserprinter (se afsnit 3.5) eller indsættes i fx. et WordPerfect dokument. I afsnit 4.1 og 4.2 er der vist forskellige eksempler på plottegninger.

3.5 Print fil

Hvis der er knyttet en lokal printer til PC'en eller man har adgang til en netprinter fx. "laser1" i rum D012 eller en institutprinter kan man med denne menu udpege filer fra kataloget ./RAMFIL/ til udskrivning direkte fra RAMPROG.

Menuen startes op med vinduet for filnavne, og her skal det **fulde filnavn incl. extension** angives. Herefter vælges printer, og når udskrivningen er afsluttet overgives kontrollen igen til HOVEDMENU'en.

Fileerne kan også udskrives fra DOS, fx. med LPR-ordren, men for resultatfiler (****.RES) bliver kvaliteten ikke tilfredsstillende på grund af manglende konvertering af specialtegn og plotfilerne (****.HPn) udskrives så i tekstkode og ikke som plottegninger.

3.6 Fil-liste

Dette menuvalg giver en oversigt over alle de datafiler (****.DAT) og resultatfiler (****.RES) brugeren har på sit katalog ./RAMFIL/. Menuen startes op med vinduet for filnavne, og her skal det **fulde filnavn incl. extension** angives. Herefter vælges printer, og når udskrivningen er afsluttet overgives kontrollen igen til HOVEDMENU'en.

Filnavnene vises usortet på tabelform i et vindue som bevares på skærmen når man vender tilbage til HOVEDMENU'en. Oversigten forsvinder først efter nyt menuvalg, således at man kan støtte sig til den når filnavnet skal opgives.

3.7 Vis fil på skærm

Med denne ordre er der mulighed for at gennemse indholdet af en fil i kataloget ./RAMFIL/. Menuen startes op med vinduet for filnavne, og her skal det **fulde filnavn incl. extension** angives. Herefter kan man gennemse filen ved at "bladre" frem og tilbage i indholdet, sidevis (å 15 linier) med PageUp/PageDown-tasterne eller linievis med pilop/pilned-tasterne.

4. Eksempler

I det følgende vises 2 eksempler på brugen af RAMPROG, en typisk rammekonstruktion i stål hvor reaktioner og snitkræfter beregnes for en kompliceret lastkombination og en pladebro i spændbeton hvor virkningen af forspændingen undersøges.

4.1 Eksempel 1, Industrihal

Fig. 4.1.1 viser en beregningsmodel for den bærende hovedkonstruktion i en industrihal. Udover oplysninger om geometri, understøtningsbetingelser og laster skal brugeren fastlægge en element- og knudeinddeling der passer til det pågældende beregningsproblem. Som tidligere nævnt opnås der normalt ikke mere korrekte resultater ved at underindele en ret bjælke i flere elementer, men her er rammebjælken dog inddelt i 4 elementer da man ellers kun får beregnet og udskrevet snitkræfterne i ramnehjørnerne.

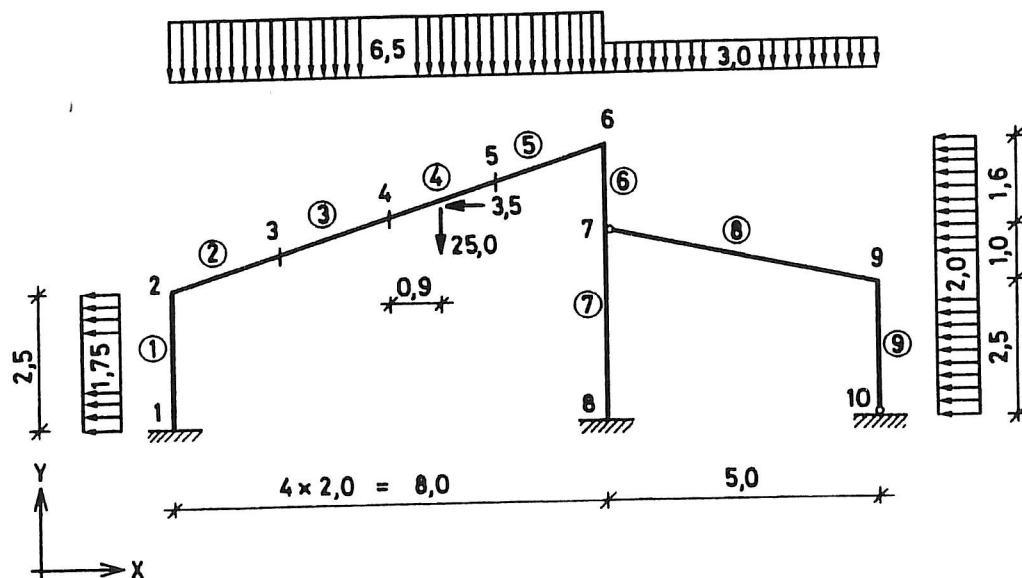


Fig. 4.1.1 Model af industrihal

Konstruktionen udføres i stål, rammen om hallens hovedskib udføres af HE 200B-profiler og halvrammen i højre side af IPE 160-profiler. Det giver følgende tværsnits- og materialedata

| | |
|----------|---|
| HE 200B: | $I = 57.0 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$ og $A = 0.00781 \text{ m}^2$ |
| IPE 160: | $I = 8.69 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$ og $A = 0.00201 \text{ m}^2$ |
| E-modul: | $E = 1.35 \cdot 10^8 \text{ kN/m}$ (regningsmæssig værdi) |

Lasterne er regningsmæssige og derfor indsættes E-modulet også med sin regningsmæssige

værdi, men da E-modulet er konstant for hele konstruktionen får det ingen indflydelse på snitkraftberegningen. Ved beregninger i anvendelsesgrænsetilstanden skal den karakteristiske værdi naturligvis benyttes.

Koordinatsystemets begyndelsespunkt vælges i knude nr. 1, og efter beregning af øvrige knudekoordinater indtastes datasættet (pkt. 1 i HOVEDMENU'en) som beskrevet i afsnit 3.1.

I dette tilfælde kan man med fordel anvende generering af elementerne 1 til 7 og knuderne 2 til 6 (så slipper man for at beregne koordinater til knude 3, 4 og 5). Som jobnavn vælges "rameks1" og når indtastningen er afsluttet har filen rameks1.DAT det viste indhold.

Udskrift af filen rameks1.DAT

{forklarende tekster indsat i parentes}

{kontroldata:}

10 9 2

{2 materialesæt:}

5.700000000000000E-0005 2.10000000000002E+0008 7.81000000000000E-0003
8.690000000000000E-0006 2.10000000000002E+0008 2.01000000000000E-0003

{9 sæt elementdata:}

0 1 2 1
0 2 3 1
0 3 4 1
0 4 5 1
0 5 6 1
0 6 7 1
0 7 8 1
1 7 9 2
0 9 10 2

{10 sæt knudekoordinater + randbetingelser:}

0.00000 0.00000 123
0.00000 2.50000 0
2.00000 3.15000 0
4.00000 3.80000 0
6.00000 4.45000 0
8.00000 5.10000 0
8.00000 3.50000 0
8.00000 0.00000 123
13.00000 2.50000 0
13.00000 0.00000 12

{fortsættes på næste side}

{ 1 lastkombination med navn og 11 dellaster:}

1

lastkombination med sne, vind og kranlast

11

| | | | |
|----|---|------------|--------|
| qx | 1 | -1.750000 | 1.0000 |
| qx | 6 | -2.000000 | 1.0000 |
| qx | 8 | -2.000000 | 1.0000 |
| qx | 9 | -2.000000 | 1.0000 |
| qy | 2 | -6.500000 | 1.0000 |
| qy | 3 | -6.500000 | 1.0000 |
| qy | 4 | -6.500000 | 1.0000 |
| qy | 5 | -6.500000 | 1.0000 |
| qy | 8 | -3.000000 | 1.0000 |
| PX | 4 | -3.500000 | 0.4500 |
| PY | 4 | -25.000000 | 0.4500 |

Hvis man har overblik over datafilens opbygning kan man godt rette direkte i den, men generelt anbefales det at benytte RAMPROG's menu til redigering af datafiler.

Før beregningen gennemføres kan man kontrollere geometri og elementinddeling ved hjælp af skærmplo (pkt. 4 i HOVEDMENU'en). De på fig 4.1.2 og fig. 4.1.3 viste plot er dog udført på grundlag af de tilhørende Hpfiler.

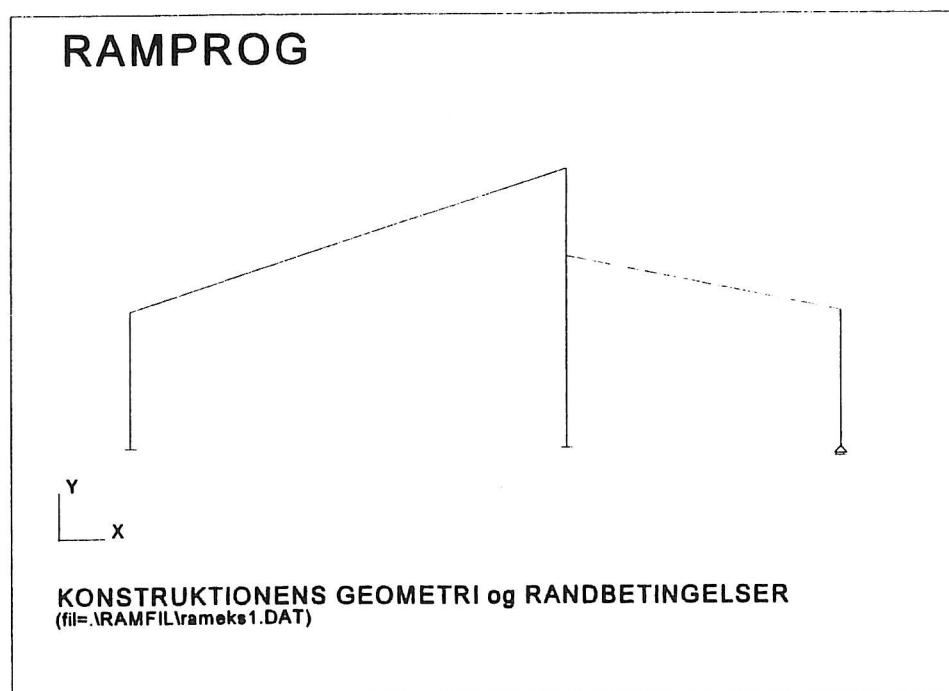


Fig. 4.1.2 Plot af geometri og randbetingelser

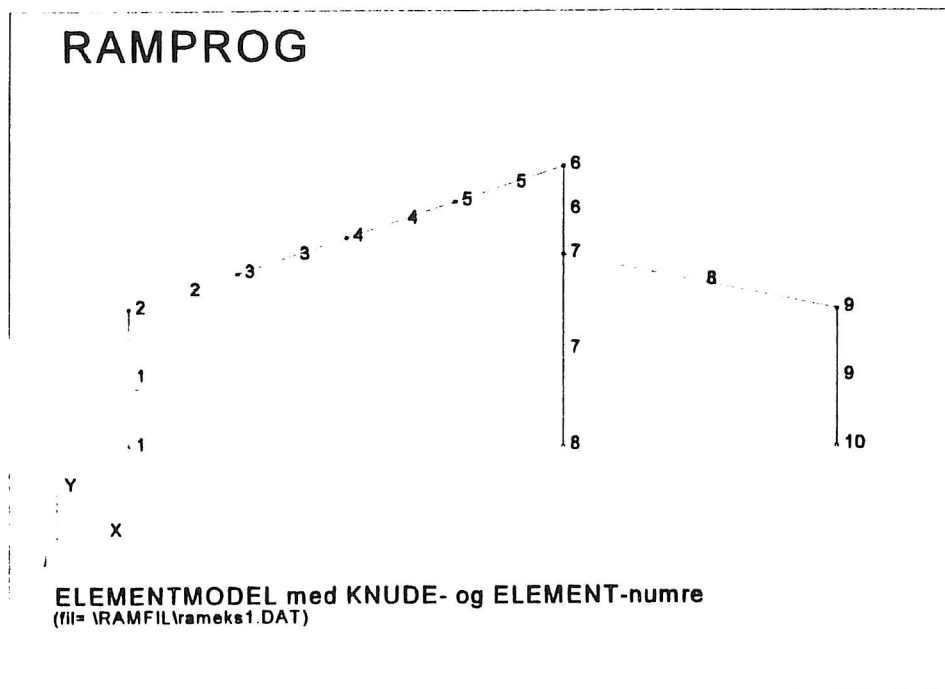


Fig. 4.1.3 Plot af element- og knudenummerering

Når beregningen er gennemført (pkt. 3 i HOVEDMENU'en) kan resultaterne studeres i filen RAMEKS1.RES, men man kan også vælge straks at skaffe sig et indtryk af resultaterne ved hjælp af skærmplo. Som eksempel på grafisk præsentation af resultater fra den betragtede lastkombination, vises nedenfor plot af den deformerede konstruktion og af momentkurven (fig. 4.1.4-5).

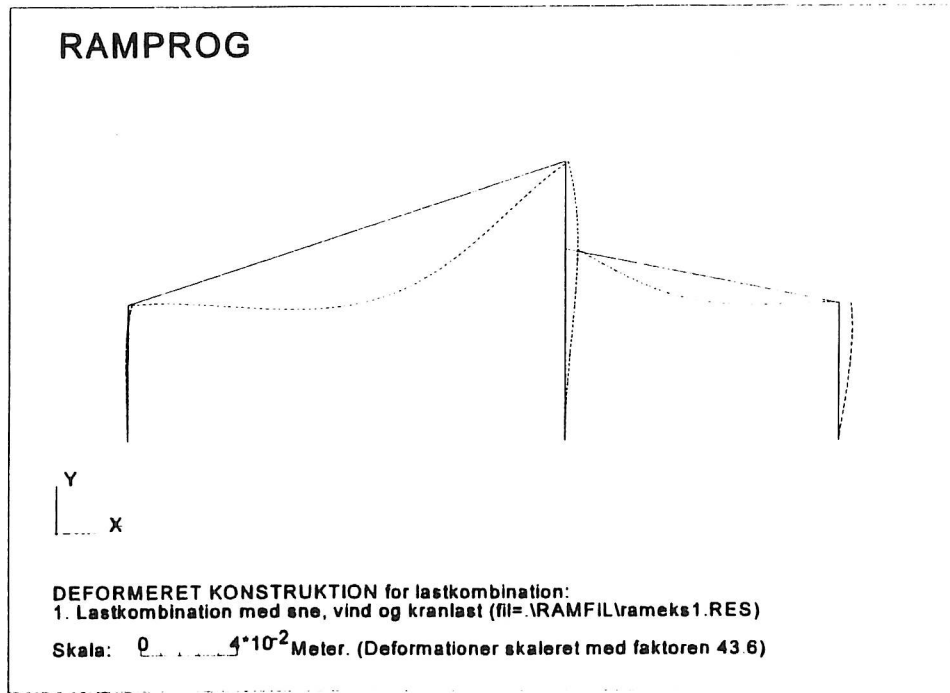


Fig. 4.1.4 Plot af deformeret konstruktion

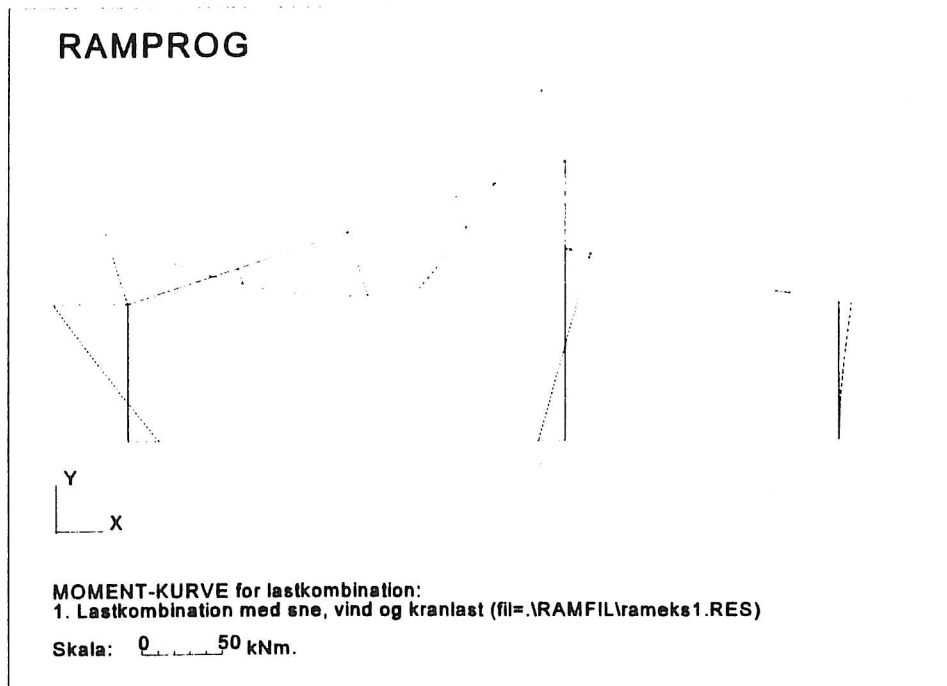


Fig. 4.1.5 Plot af momentkurven

Resultatfilen rameks1.RES indeholder tabeller med både det indlæste datasæt og de beregnede resultater. Efter beregning med den ovenfor viste datafil vil resultatfilens indhold være som gengivet på de følgende sider. Bemærk, dateringen refererer til beregningstidspunktet.

Uddrag af filen rameks1.RES
(for at spare plads gengives indholdet let redigeret)

```
*****
*
*   R A M P R O G   version aug. 1994   *
*
*****
```

Udskrift af Resultatfilen RAMFILrameks1.RES
Dateret torsdag d. 25. 8. 1994 kl. 12:45:26

OVERSIGT OVER ELEMENTDATA

| FLEM NR | KNUDEPKT (1) | LÆNGDE (2) | VINKEL (M) | INERTIMOM (RADIANTER) | E-MODUL (M**4) | AREAL (KN/M**2) | CHARNIER (M**2) | V. KNUDE |
|---------|--------------|------------|------------|-----------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------|
| 1 | 1 | 2 | 2.5000 | 1.5708 | 5.700E-5 | 2.100E 8 | 7.810E-3 | - |
| 2 | 2 | 3 | 2.1030 | 0.3142 | 5.700E-5 | 2.100E 8 | 7.810E-3 | - |
| 3 | 3 | 4 | 2.1030 | 0.3142 | 5.700E-5 | 2.100E 8 | 7.810E-3 | - |
| 4 | 4 | 5 | 2.1030 | 0.3142 | 5.700E-5 | 2.100E 8 | 7.810E-3 | - |
| 5 | 5 | 6 | 2.1030 | 0.3142 | 5.700E-5 | 2.100E 8 | 7.810E-3 | - |
| 6 | 6 | 7 | 1.6000 | -1.5708 | 5.700E-5 | 2.100E 8 | 7.810E-3 | - |
| 7 | 7 | 8 | 3.5000 | -1.5708 | 5.700E-5 | 2.100E 8 | 7.810E-3 | - |
| 8 | 7 | 9 | 5.0990 | -0.1974 | 8.690E-6 | 2.100E 8 | 2.010E-3 | 7 |
| 9 | 9 | 10 | 2.5000 | -1.5708 | 8.690E-6 | 2.100E 8 | 2.010E-3 | - |

UNDERSTØTNINGSBETINGELSER (IALT R= 8)

VANDRET REAKTION I KNUDE 1 8 10
 LODRET REAKTION I KNUDE 1 8 10
 INDSPÆNDING I KNUDE 1 8

BEREGNET BAANDBREDDE: 9

KOEFFICIENTER I BAANDMATRIX: 234

COORDINAT-TABEL

KNUDE X-KOORDINAT Y-KOORDINAT

| | | |
|----|---------|--------|
| 1 | 0.0000 | 0.0000 |
| 2 | 0.0000 | 2.5000 |
| 3 | 2.0000 | 3.1500 |
| 4 | 4.0000 | 3.8000 |
| 5 | 6.0000 | 4.4500 |
| 6 | 8.0000 | 5.1000 |
| 7 | 8.0000 | 3.5000 |
| 8 | 8.0000 | 0.0000 |
| 9 | 13.0000 | 2.5000 |
| 10 | 13.0000 | 0.0000 |

DELLASTER I LASTKOMBINATION

(FOR: lastkombination med sne, vind og kranlast)

TYPE KNUDE/ELEMENT STØRRELSE EVT. FAKTOR

| | | | |
|----|---|----------------|-------------|
| qx | 1 | -1.7500 (KN/M) | alfa= 1.000 |
| qx | 6 | -2.0000 (KN/M) | alfa= 1.000 |
| qx | 8 | -2.0000 (KN/M) | alfa= 1.000 |
| qx | 9 | -2.0000 (KN/M) | alfa= 1.000 |
| qy | 2 | -6.5000 (KN/M) | alfa= 1.000 |
| qy | 3 | -6.5000 (KN/M) | alfa= 1.000 |
| qy | 4 | -6.5000 (KN/M) | alfa= 1.000 |
| qy | 5 | -6.5000 (KN/M) | alfa= 1.000 |
| qy | 8 | -3.0000 (KN/M) | alfa= 1.000 |
| PX | 4 | -3.5000 (KN) | beta= 0.450 |
| PY | 4 | -25.0000 (KN) | beta= 0.450 |

SNITKRÆFTER I ELEMENTER (lokalt system)

(FOR: lastkombination med sne, vind og kranlast)

| ELEM NR. | LOKALKNUDE 1 | | | LOKALKNUDE 2 | | |
|-------------|---------------------|-------------------|-----------------|---------------------|-------------------|-----------------|
| | NORMALKRAFT (KN) | TVÆRKRAFT (KN) | MOMENT (KNM) | NORMALKRAFT (KN) | TVÆRKRAFT (KN) | MOMENT (KNM) |
| 1 | -43.0413 | -28.7611 | 19.7208 | -43.0413 | -24.3861 | -46.7132 |
| 2 | -36.4955 | 33.3964 | -46.7132 | -32.4774 | 21.0329 | 10.5185 |
| 3 | -32.4774 | 21.0329 | 10.5185 | -28.4593 | 8.6695 | 41.7501 |
| 4 | -28.4593 | 8.6695 | 41.7501 | -13.3854 | -26.3880 | 20.7331 |
| 5 | -13.3854 | -26.3880 | 20.7331 | -9.3672 | -38.7515 | -47.7602 |
| 6 | -33.9587 | 20.8861 | -47.7602 | -33.9587 | 17.6861 | -16.9024 |
| 7 | -38.5451 | 10.0239 | -16.9024 | -38.5451 | 10.0239 | 18.1812 |
| 8 | -6.6139 | 6.0001 | 0.0000 | -7.5945 | -9.1009 | -7.9055 |
| 9 | -10.4136 | 5.6622 | -7.9055 | -10.4136 | 0.6622 | 0.0000 |

Vurdering af resultater

Ved vurderingen af de beregnede knudflytninger skal det tages i betragtning at rotationen i et charnier er ukendt. Den i tabellen angivne rotation for knude 7 ($\alpha = -2.908 \cdot 10^{-3}$) stammer fra den stive forbindelse mellem element 6 og 7 medens rotationen af element 8 ved knude 7 pr. definition er ukendt fordi dette element er forbundet til knuden gennem et charnier. Når der alligevel på fig. 4.1.4 optræder en rotation af element 8 ved knude 7 skyldes dette, at der under udtegningen af den deformerede geometri foretages supplerende beregninger.

I knude 10 er der også et charnier, men her er rotationen beregnet ($\alpha = -3.711 \cdot 10^{-3}$) fordi det i datasættet er valgt at angive element 9 som et bjælkeelement der er stift forbundet til knuden (elementtype 0), medens charnieret er defineret gennem randbetingelsen for knude 10. Hvis charnieret istedet var defineret ved at knytte det til element 9 (elementtype 2) ville rotationen i knude 9 havde været ukendt.

De beregnede snitkræfter er henført til det pågældende elements lokale koordinatsystem hvor der benyttes den på fig. 4.1.6 viste fortegnsgang, jvf. også afsnit 1.2.

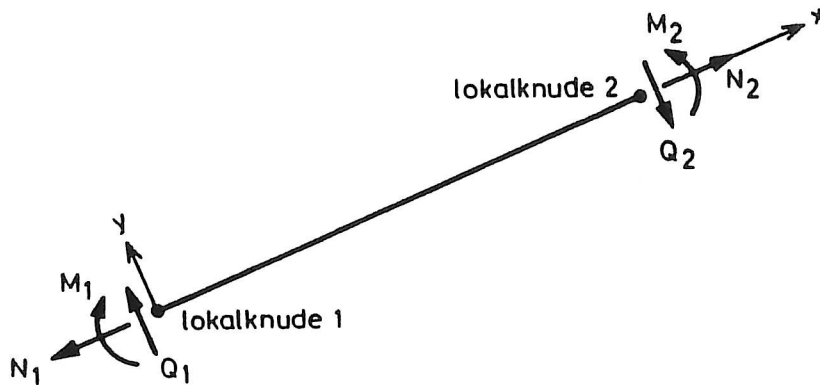


Fig. 4.1.6 Fortegnsregning for snitkræfter

Af fig. 4.1.5 fremgår det at det største moment muligvis optræder ved kranlasten i element nr. 4, men da der ikke er indlagt nogen knude hvor kranlasten angriber, må snitkræfterne her beregnes på sædvanlig vis ud fra de kendte snitkræfter ved elementets begyndelsespunkt i knude 4, og med hensyntagen til den last der virker på selve elementet, se også fig. 4.1.1.

I elementets lokalknude 1 (knude 4) er momentet 41.75 kNm og tværkraften 8.67 kN, dermed bliver momentet i afstanden 0.9 m (målt vandret)

$$M = 41.75 + 8.67 \cdot 0.9 / \cos(17.44) - \frac{1}{2} \cdot 0.9^2 \cdot 6.5 = 47.30 \text{ kNm}$$

Resultatet viser dog at dette momentet ikke er dimensionsgivende idet den farligste kombination af normalkraft og moment optræder ved rammehjørnet i knude 6. Et hurtigt overslag viser at det valgte profil har tilstrækkelig bæreevne, dog er det ikke undersøgt om der kan optræde lokal instabilitet eller kipning.

Hvis man på grundlag af første gennemregning ønsker at ændre de valgte profiler bør beregningen gentages med de nye tværsnitskonstanter, dog vil mindre ændringer kun give beskedne variationer i snitkraftfordelingen.

Ved vurdering af resultaterne er det vigtigt at gøre sig klart, at RAMPROG udfører en lineærelastisk beregning på den udeformerede konstruktion og derfor er **bidrag fra 2. ordens flytningerne ikke taget i regning.**

Man kan danne sig et vist indtryk af 2. orden bidragenes betydning ved at vurdere de beregnede knudeflytninger som da skal baseres på det regningsmæssige elasticitetsmodul.

Hvis man ønsker et bedre grundlag for vurderingen kan man benytte det i afsnit 5 beskrevne hjælpeprogram RAMSTAB der kan gennemføre en udbøjningsiteration og dermed indregner de geometriske (men ikke evt. materialemæssige) uliniariteter.

4.2 Eksempel 2, Forspændt pladebro.

I dette afsnit vises hvorledes RAMPROG kan benyttes til at beregne den snitkraftfordelingen der fremkomer når en konstruktion forspændes. Som eksempel betragtes den på fig. 4.2.1 viste overbygningen i en motorvejsbro der udføres som en massiv plade i spændbeton, kontinuerlig over 3 fag.

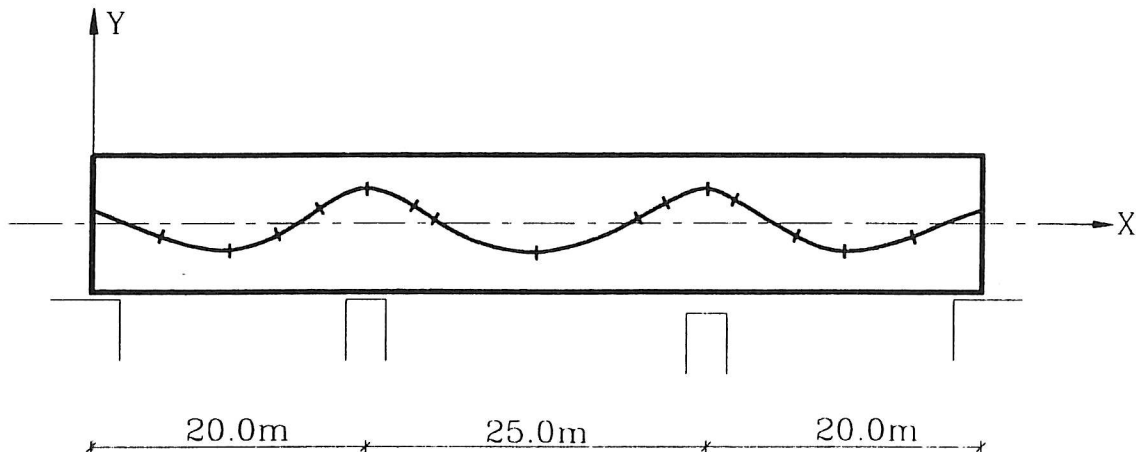


Fig. 4.2.1 Forspændt pladebro (ikke målfast)

Forspændingsarmeringen består af et antal 12L15 Freyssinet kabler der anordnes med cirkel-buer og rette liniestykker. Kablerne opspændes symmetrisk med en samlet mekanisk opspændingskraft på $K_{ops} = 4000$ kN pr. meter af broens bredde. Ved beregningen af den initiale kabel-kraftkurve, hvor der tages hensyn til friktions- og låsetab, er benyttet følgende forudsætninger

$$\text{friktionskoefficienter } \mu = 0.25 \text{ og } k = 0.0025 \text{ m}^{-1}$$

$$\text{låsetabsareal } 4250 \text{ kNm/m}$$

Alle beregninger vedrørende kabelgeometri og kabelkraftkurven er iøvrigt udeladt, men resultaterne fremgår af skemaet nedenfor. På grund af symmetrien er kun halvdelen af konstruktionen medtaget.

Beregningen med RAMPROG gennemføres med den på fig. 4.2.2 viste elementmodel hvor en pladestrimmel med bredden 1.000 m betragtes som en kontinuerlig bjælke. Ved valg af element inddeling er der taget hensyn til kabelgeometrien, men knuderne er beliggende i betontværsnittets tyngdepunkt (bjælkeaksen). Som eneste last er påført kontaktkræfterne mellem forspændingsarmeringen og betonpladen.

I det aktuelle tilfælde, med symmetri i både geometri og last, kan man nøjes med at betragte halvdelen af konstruktionen og indføre randbetingelser der fastholder symmetrisnittet mod rotation. Hvis det derimod kan forudses at modellen også skal påføres andre, usymmetriske, lastkombinationer kan man med fordel straks opstille en model for den samlede konstruktion og udnytte resultaterne fra den symmetriske last til en ekstra kontrol af modellen.

Med en pladetykkelsen på 0.650 m havs følgende tværsnits- og materialedata for en pladestrimmel med bredden 1.000 m

$$I = 0.0229 \text{ m}^4 \quad E = 3.5 \cdot 10^7 \text{ Mpa}$$

$$A = 0.650 \text{ m}^2$$

Oversigt over data til beregningsmodel:

| ELEMENT- og KNUDEDATA | | | KABELGEOMETRI | | | OPSPÆNDING | |
|-----------------------|-----------|-------------|---------------------|--------------|----------------------------------|-----------------------|------------------|
| Element nr. | Knude nr. | X-koor. (m) | Ekcentricitet Y (m) | Radius R (m) | Tangent-hældning θ (rad.) | Kabelkraft K_i (kN) | $q=K_i/R$ (kN/m) |
| | 1 | 0.000 | 0.100 | | -0.039 | 3526 | |
| 1 | | | | ----- | | 3549 | 0.00 |
| | 2 | 5.293 | -0.108 | | -0.039 | | |
| 2 | | | | 120.0 | | 3608 | 30.07 |
| | 3 | 10.000 | -0.200 | | 0.000 | 3644 | |
| 3 | | | | 50.0 | | 3684 | 73.69 |
| | 4 | 13.412 | -0.083 | | 0.068 | | |
| 4 | | | | ----- | | 3740 | 0.00 |
| | 5 | 16.588 | 0.133 | | 0.068 | | |
| 5 | | | | -50.0 | | 3714 | -74.29 |
| | 6 | 20.000 | 0.250 | | 0.000 | 3674 | |
| 6 | | | | -50.0 | | 3636 | -72.73 |
| | 7 | 23.135 | 0.152 | | -0.063 | | |
| 7 | | | | ----- | | 3591 | 0.00 |
| | 8 | 24.975 | 0.036 | | -0.063 | | |
| 8 | | | | 120.0 | | 3528 | 29.40 |
| | 9 | 32.500 | -0.200 | | 0.000 | 3472 | |

Virksomheden af forspændingen findes ved at påføre elementmodellen de kontaktkræfter der optræder mellem betonpladen og forspændingsarmeringen. Kontaktkræfterne består dels af forankringskræfter ved broens ender og dels de krumningskræfter (linielaster, $q = K_i/R$) der opstår på grund af forspændingsarmeringens krumning, se fig 4.2.2.

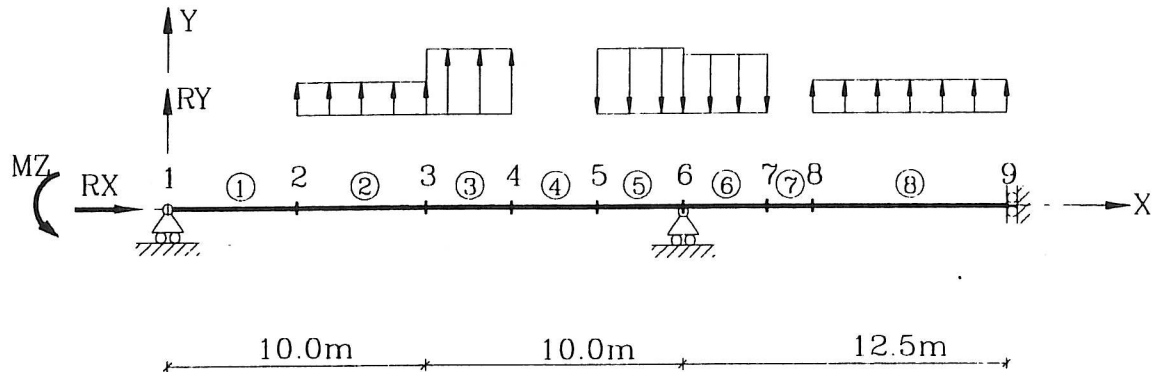


Fig. 4.2.2 Model af kontinuerlig plade med kontaktkræfter (knode 9 i symmetrisnittet)

Den initiale forankringskraft ved broens endevederlag er fundet til 3526 kN. I knode 1 kan forankringskraften opløses i følgende 3 kontaktkræfter med fortegn efter de globale akseretninger

$$\begin{aligned}RX &= 3526 \cdot \cos\theta = 3523 \text{ kN} \\RY &= 3526 \cdot \sin\theta = -137 \text{ kN} \\MZ &= -3526 \cdot \cos\theta \cdot 0.100 = -352.3 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Et tilsvarende, men modsat rettet sæt af forankringskræfter optræder i broens anden ende, men på grund af den benyttede symmetribetragtning indgår disse ikke i beregningen.

Krumningskræfterne beregnes som linielaster $q = K_i/R$ virkende vinkelret på forspændingsarmeringens retning, men her hvor kabelføring kan betragtes som værende "meget flad", kan man med god tilnærmelse påføre krumningskræfterne alene som lodrette linielaster (lasttype q_y) virkende vinkelret på bjælkeaksen. ¹⁾

¹⁾ Det bemærkes, at kontaktkræfterne mellem stål og beton på strækningen mellem forankringerne består dels af friktionskræfter og dels af krumningskræfter. En korrekt beregning, hvor både lodrette og vandrette bidrag medtages, er imidlertid meget besværlig at gennemføre idet bidragene varierer over længden og der yderligere skal tages hensyn til de vandrette bidrags varierende ekscentricitet i forhold til bjælkeaksen. I det aktuelle tilfælde giver den benyttede tilnærmelse dog resultater meget nær de korrekte.

For at simplificere beregningen af krumningskræfterne benyttes middelværdier af den initiale forspændingskraft K_i for de enkelte delstrækninger der hver svarer til 1 element i beregningsmodellen, se skemaet ovenfor.

Da virkningen af forspændingen ønskes undersøgt i anvendelsesgrænsetilstanden benyttes karakteristiske værdier for både materialer og laster. I anvendelsesgrænsetilstanden optræder der relativt små spændinger og betontværsnittet antages at være urevnet, derfor er det rimeligt at baserer snitkraftberegningen på elasticitetsteorien og benytte linjærelastiske materialeegenskaber.

Som jobnavn vælges "rameks2" og data indtastes som beskrevet i afsnit 3. Her kan med fordel anvendes generering af data for element 1 - 8. Datafilen får navnet rameks2.DAT og har følgende indhold

Udskrift af filen rameks2.DAT

{forklarende tekster indsat i parantes}

{kontroldata:}

9 8 1

{1 materialesæt:}

2.2900000000000000E-0002 3.5000000000000000E+0007 6.5000000000000000E-0001

{8 sæt elementdata:}

0 1 2 1

0 2 3 1

0 3 4 1

0 4 5 1

0 5 6 1

0 6 7 1

0 7 8 1

0 8 9 1

{9 sæt knudekoordinater + randbetingelser:}

0.00000 0.00000 2

5.29300 0.00000 0

10.00000 0.00000 0

13.41200 0.00000 0

16.58800 0.00000 0

20.00000 0.00000 2

23.13500 0.00000 0

24.97500 0.00000 0

32.50000 0.00000 13

{1 lastkombination med navn og 8 dellaster:}

1

kontaktkraeften fra forspænding

8

| | | | |
|----|---|-------------|--------|
| RX | 1 | 3523.000000 | 0.0000 |
| RY | 1 | -137.000000 | 0.0000 |
| MZ | 1 | -352.300000 | 0.0000 |
| qy | 2 | 30.070000 | 1.0000 |
| qy | 3 | 73.690000 | 1.0000 |
| qy | 5 | -74.290000 | 1.0000 |
| qy | 6 | -72.730000 | 1.0000 |
| qy | 8 | 29.400000 | 1.0000 |

Resultater

Når beregningen med RAMPROG er gennemført findes resultaterne i filen rameks2.RES, men da resultatfilen er opbygget på helt samme måde som i eksempel 4.1 er den ikke medtaget af pladshensyn. I det følgende præsenteres og kommenteres nogle udvalgte resultater, på fig. 4.2.3-4 ses eksempler på plot af snitkraftkurver udført med RAMPROG, og der er desuden foretaget en vurdering af nogle af de fundne resultater

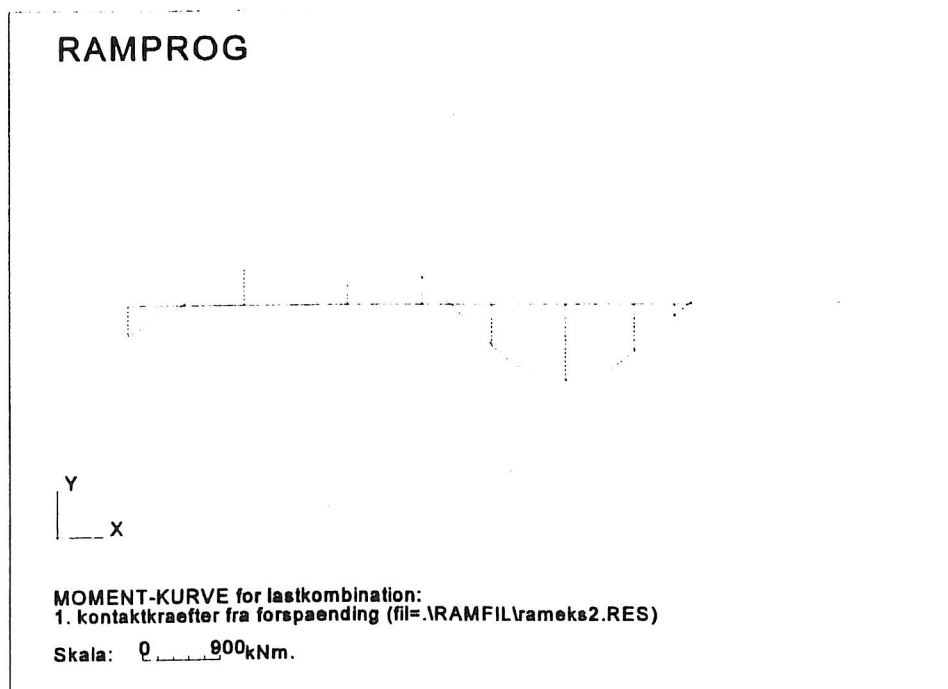


Fig. 4.2.3 Momentkurve fra forspænding alene (venste halvdel, knude 1 - 9)

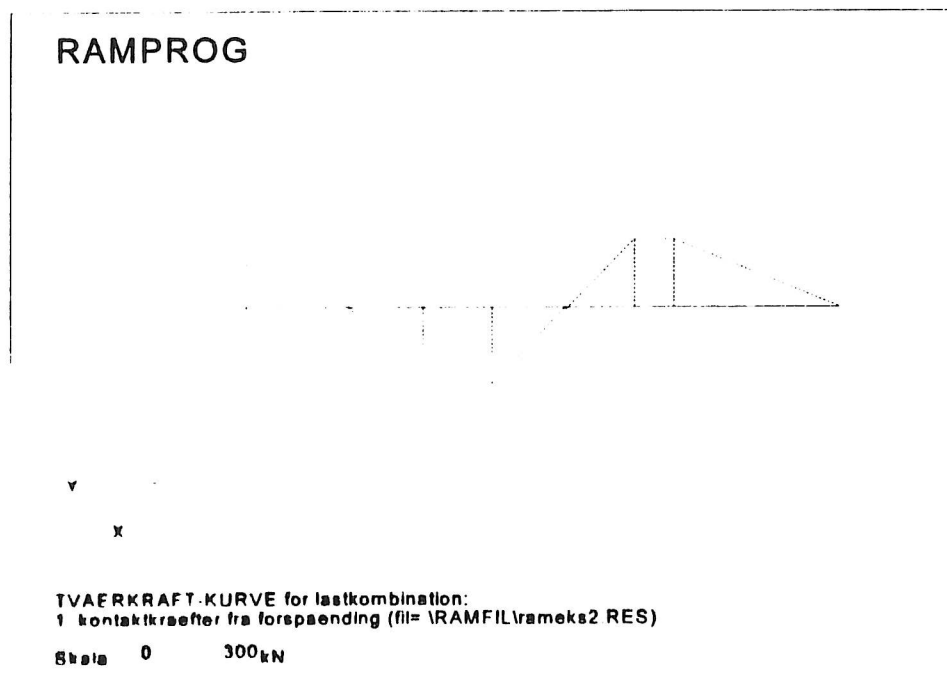


Fig. 4.2.4 Tværkraftkurve fra forspænding alene (venstre halvdel, knude 1 - 9)

Vurdering af beregnede snitkræfter

I skemaet nedenfor ses udvalgte resultater fra den ovenfor beskrevne beregning med RAMPROG hvor konstruktionen som eneste last påføres kontaktkræfterne fra forspændingen.

| Snit ved knude nr. | Snitkræfter beregnet ved tilnærmet metode | | Snitkræfter beregnet med RAMPROG | |
|--------------------|---|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| | $M=K_i \cdot \cos\theta \cdot Y$ (kNm) | $V=-K_i \cdot \sin\theta$ (kN) | Moment (kNm) | Tværkraft (kN) |
| 1 | 352.3 | -138.4 | 352.3 | -143.5 |
| 3 | -728.7 | 0 | -749.9 | -2.0 |
| 6 | 918.4 | 0/0 | 883.0 | -4.0/6.8 |
| 9 | -694.4 | 0 | -692.6 | 0.0 |

Til sammenligning er medtaget de resultater man får ved at anvende en simpel, tilnærmet metode, hvor snitkræfterne udregnes på grundlag af forspændingsarmeringens fysiske placering og forspændingskraftens størrelse i det aktuelle snit. Y angiver kabelekscentriciteten og θ kabelarmeringens tangenthældning i det pågældende snit, jvf. skemaet side 32. Denne metode giver dog kun korrekte resultater for statisk bestemte konstruktioner, medens der i statisk ubestemte konstruktioner, som ikke frit kan deformere sig under opspændingen, opstår tvangskræfter som i visse tilfælde fuldstændigt kan ændre den forventede virkningen af den påførte forspænding.

Forskellen mellem snitkræfterne beregnet med den simple tilnærmede metode og de korrekte snitkræfter der beregnes ved at påføre konstruktionen kontaktkræfterne fra forspændingen, kaldes "systemfor-spændingen" og skyldes de ovenfor nævnte tvangskræfter. I dette tilfælde er forskellen meget beskeden og udgør max. 4.0% for momenterne. Det er iøvrigt karakteristisk for kontinuerlige bjælker og plader at hvis kabelføringen vælges så den følger momentkurven svarende til en jævnt fordelt last, vil virkningen af "systemfor-spændingen" være beskeden og iøvrigt i visse snit endda virke til gunst.

5. Vejledning til RAMSTAB

De resultater der fås med RAMPROG er baseret på den udeformerede konstruktions geometri og indeholder således ikke 2. ordens bidrag. Hvis man ønsker at gennemføre en mere nøjagtig beregning af fx. en ramme-konstruktion, kan hjælpeprogrammet RAMSTAB benyttes til at beregne knudflytninger og snitkræfter i den deformede konstruktion.

Programmet foretager ingen selvstændige beregninger, men administrerer udelukkende data og resultater fra RAMPROG, derfor er det vigtigt at alle forudsætning for brugen af dette program overholdes.

RAMSTAB bestemmer den elasticitetsteoretiske snitkraftfordeling i den deformede konstruktion ved hjælp af en udbøjningsiteration svarende til Vianellos metode. For hvert step i iterationen gennemføres en fuldstændig beregning med RAMPROG idet konstruktionens geometri løbende opdateres på grundlag af knudflytninger beregnet i det foregående step. Er konstruktionen stabil for den påførte lastkombination vil flytningerne konvergerer mod en grænseværdi, ellers vil flytningerne enten vokse ubegrænset eller svinge omkring en ligevægtsstilling. Da beregningerne er elastiske kan der ikke tages hensyn til evt. flydning i tværsnit.

Flytningerne beregnes kun i knudepunkterne, derfor må knudeinddelingen være ret fin for at sikre en nogenlunde korrekt geometrisk beskrivelse af den deformede konstruktion. Det kan derfor være nødvendigt at vælge en finere elementinddeling end den der er behov for når man alene anvender RAMPROG. Hver bjælke, søjle eller rammeben bør erfaringsmæssigt inddeles i mindst 5 - 10 elementer for at sikre en passende tilnærmelse til den korrekte deformationsfigur.

I visse situationer er det desuden nødvendigt, at tilføje en virtuel last eller flytning for at initiere udbøjningsiterationen, se eksemplet nedenfor.

Da RAMSTAB kun kan viderebearbejde data og resultater fra RAMPROG er det en forudsætning, at der foreligger en ****.DAT-fil og den tilhørende ****.TMP-fil fra et formelt korrekt gennemført RAMPROG-job.

Oversigt over filer

Til afvikling af et RAMSTAB-job benytter dels filer der er oprettet med det indledende RAMPROG-job og dels en række nye filer. Alle filer placeres automatisk på subdirectoret ./RAMFIL/

De eksisterende filer er her betegnet med "gl" der angiver det jobnavn som brugeren valgte under afviklingen af RAMPROG:

gl.DAT indeholder datasæt til RAMPROG

gl.TMP indeholder plotdata fra RAMPROG

De nye filer er her betegnet med "ny" der angiver det (nye) jobnavn brugeren vælger under afviklingen af RAMSTAB:

ny.DAT indeholder datasæt med den udeformede geometri (identisk med gl.DAT)

ny.GEM arbejdsfil til mellemlagring, slettes normalt når jobbet afsluttes

ny.TMP indeholder plotdata fra det afsluttende iterationsstep

ny.RES indeholder alle resultater fra det afsluttende iterationsstep

ny.DEF indeholder knudedeflytninger fra samtlige iterationsstep

Ved hjælp af filen ny.GEM kan man skaffe sig et overblik over forløbet af en udbøjningsiteration idet der for hvert step udskrives en tabel med samtlige knudedeflytninger suppleret med oplysninger om største vandrette og lodrette knudedeflytning samt de relative ændringer.

Valg af antal iterationsstep

Som nævnt gennemfører RAMSTAB en fuldstændig beregning med RAMPROG for hvert iterationsstep, og det gælder derfor om at ikke at vælge antal iterationsstep unødigt stort. Hvis der er tale om en konstruktion der påføres en lastkombination som giver tryknormalkræfter der er væsentligt lavere end den kritiske værdi vil den korrekte udbøjningsfigur, svarende til ligevægt, nås efter ganske få iterationsstep, men iterationen afbrydes dog først når det valgte antal iterationsstep er gennemført.

I de tilfælde hvor lastkombinationen giver tryknormalkræfter der ligger i nærheden af den kritiske værdi forløber udbøjningsiterationen meget langsoms, og RAMSTAB er derfor ikke særligt velegnet hvis man ønsker at bestemme den kritiske last.

Der benyttes et konvergenzkriterium for iterationen, og er dette ikke opfyldt efter det valgte antal step fås en advarsel og man har mulighed for at genstarte iterationen. Hvis derimod knudedeflytningerne i en udbøjningsiteration begynder at vokse kraftigt mellem 2 på hinanden følgende step eller flytningerne bliver meget store, benyttes et stopkriterium der definerer konstruktionens kollaps for den pågældende lastkombination.

Som konvergenzkriterium er valgt

$$\text{max. flytningstilvækst} < 1\text{‰}$$

Som stopkriterium er valgt den mindste af følgende værdier

$$\text{største knudedeflytning} > 1/20 \text{ af konstruktionens største tværmål}$$

$$\text{største knudedeflytning} > 100 * \text{største 1. ordens knudedeflytning}$$

De valgte konvergens- og stopkriterier er ret primitive og baseret på et begrænset erfaringsgrundlag, og der kan muligvis opstå problemer ved afviklingen af specielle opgavetyper. Det er hensigten at justere dem løbende og evt. lade brugeren selv få mulighed for at vælge grænserne.

Nedenfor vises 2 eksempler på problemer der kan løses ved hjælp af RAMSTAB. I eksempel 5.1 er det valgt at betragte et problem hvor den eksakte løsning kendes. I eksempel 5.2 videre bearbejdes resultaterne fundet i eksempel 4.1.

Eksempel 5.1

Ved dimensionering af den indspændte søjle i halkonstruktionen vist på fig. 5.1.1 er det nødvendigt at tage hensyn til koblingen til pendulsøjlen såfremt $\alpha > 0$. En vandret flytning af søjletoppen vil nemlig initiere en normalkraft i bjælken som også skal optages af den indspændte søjle.

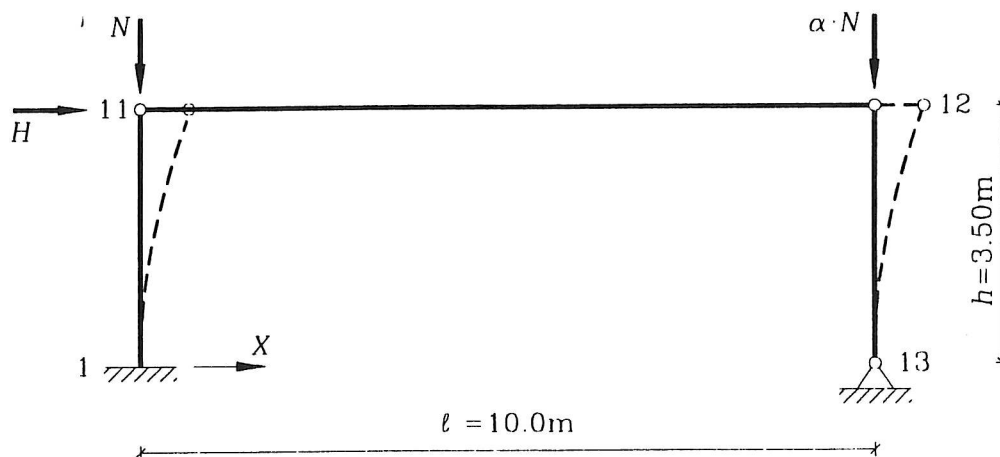


Fig. 5.1.1 Model af halkonstruktion

I beregningsmodellen (kun delvist angivet på fig.) er den indspændte søjle inddelt i 10 elementer medens der ikke er noget behov for at underindele de 2 øvrige konstruktionselementer. Der benyttes iøvrigt følgende data for både søjler og bjælke

$$\begin{aligned} \text{Inertimoment} \quad I &= 1.000 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4 \\ \text{Tværsnitsareal} \quad A &= 1.0 \text{ m}^2 \\ \text{Elasticitetsmodul} \quad E &= 2 \cdot 10^8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tværsnitsarealet er valgt så stort, at længdedeformationerne ikke påvirker resultaterne.

Først gennemføres beregningen med $N = 50 \text{ kN}$ og $H = 0.1 \text{ kN}$. Det giver følgende resultater med RAMPROG RAMSTAB (med 5 iterationsstep)

| α | Beregning udført med | Vandret flytning af søjletop (mm) | Vandret reaktion (kN) | Indspændingsmoment (kNm) | Momnetforøgelsesfaktor |
|----------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|
| 0.0 | RAMPROG | 0.715 | -0.100 | 0.3500 | - |
| | RAMSTAB | 0.814 | -0.100 | 0.3907 | 1.116 |
| 1.0 | RAMPROG | 0.715 | -0.100 | 0.3500 | - |
| | RAMSTAB | 0.921 | -0.1123 | 0.4421 | 1.263 |

En kontrolberegning med resultaterne fra RAMSTAB viser at konstruktionen er i ligevægt i udbøjet tilstand. Som ventet er momentforøgelsesfaktoren større for $\alpha = 1.0$ end for $\alpha = 0.0$. Bemærk, at momnetforøgelsesfaktoren ikke afhænger af de valgte værdier af N og H når blot N er mindre end den kritiske værdi efter elasticitetsteorien, se nedenfor.

Tværsnittet i den indspændte søjlet skal altså dimensioneres for kombinationen af normalkraften N og det resulterende indspændingsmoment fundet med RAMSTAB.

Hvis der ikke optræder nogen tværbelastning H skal søjlen dimensioneres som centralt belastet, og i den forbindelse er det nødvendigt at kende den kritiske søjlelængde. Man kan ikke direkte bestemme den kritiske søjlelængde ved hjælp af RAMSTAB, men nedenfor vises hvorledes dette kan gøres indirekte ved at beregne søjlens kritiske last ved hjælp af RAMSTAB.

På fig. 5.1.2 ses en grafisk fremstilling af resultater fra beregninger gennemført med forskellige værdier af N . Det fremgår at udbøjningen af søjletoppen vokser meget kraftigt når N nærmer sig den kritiske værdi således at man med nogenlunde sikkerhed fastlægger denne værdi. Iterationen er her blevet afbrudt for $N = 403 \text{ kN}$ og $N = 221 \text{ kN}$ som derfor antages at være den indspændte søjles kritiske laster for de 2 lastkombinationer.

I begge tilfælde er benyttet $H = 0.1 \text{ kN}$ for at initiere udbøjningsiterationen, men størrelsen af H er ikke afgørende for resultatet. **Det er dog nødvendigt, i hvert enkelt tilfælde, at vurdere om de ovenfor fastsatte værdier af stop- og konvergenskriterier kan påvirke resultatet.**

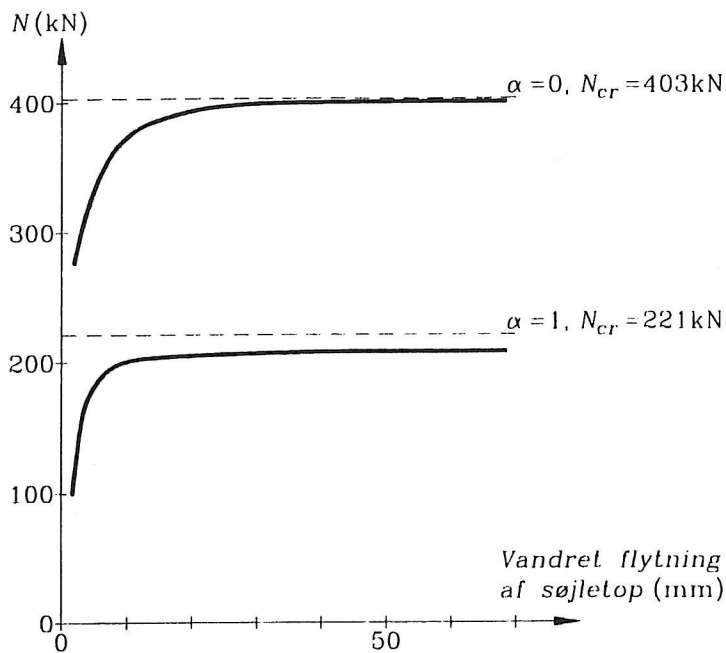


Fig. 5.1.2 Arbejdskurve for indspændt søjle

Den kritiske søjlelængde l_k bestemmes herefter ved hjælp af Eulerformlen

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(l_k)^2}$$

For $\alpha = 0.0$ indsættes $N_{cr} = 403 \text{ kN}$ der giver $l_k = 7.00 \text{ m}$ eller $l_k = 2.00 \cdot h$

For $\alpha = 1.0$ indsættes $N_{cr} = 221 \text{ kN}$ der giver $l_k = 9.45 \text{ m}$ eller $l_k = 2.70 \cdot h$

Med $\alpha = 0.0$ vil den indspændte søjle ikke påvirkes af nabokonstruktionen, derfor kan resultatet $l_k = 2.00 \cdot h$ umiddelbart verificeres ved at benytte analogien med en simpelt understøttet søjle med længden $2 \cdot h = 7.0 \text{ m}$.

I tilfældet med last på begge søjler ($\alpha = 1.0$) vil en tilfældig vandret udbøjning af søjles top medfører yderligere udbøjning på grund af lasten på den simpelt understøttede søjle, derfor fås en formel kritisk søjlelængde $l_k > 2 \cdot h$ for den indspændte søjle. Den beregnede værdi $l_k = 2.70 \cdot h$ stemmer med den teoretisk udledte værdi.

Eksempel 5.2

I eksemplet med halkonstruktionen i afsnit 4.1 blev der gennemført en 1. ordens beregning hvor der ikke tages hensyn til flytningernes bidrag ved beregning af snitkræfter mm. I det følgende gennemføres en supplerende beregning med RAMSTAB for at bestemme hvilke ekstrapåvirkninger konstruktionen udsættes for når den bringes i ligevægt i deformeret tilstand.

For at opnå en nogenlunde korrekt geometrisk beskrivelse af den deformerede hallkonstruktion er det nødvendigt at anvende en væsentlig finere elementinddeling end den der blev benyttet i eksempel 4.1. Nedenstående resultater er opnået med en inddeling hvor hvert rammeben og hver rammebjælke er inddelt i 10 elementer svarende til ialt 50 elementer og 51 knuder. Alle øvrige data og lastkombinationen er identisk med den på fig. 4.1.1 viste model hvortil der henvises. I skemaet nedenfor er der foretaget en sammenligning mellem 1. og 2. ordens beregninger for udvalgte resultater idet og knudenumrene på fig 4.4.1 benyttes.

| Knudernr. (fig. 4.1.1) | Resultattype | 1. ordens beregning (RAMPROG) | 2. ordens beregning (RAMSTAB) | Faktor |
|---------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------|
| 1 | moment | 19.33 kNm | 19.72 kNm | 1.020 |
| 2 | vandret flytning moment | 1.36 mm -46.71 kNm | 1.50 mm -46.95 kNm | 1.103 1.005 |
| 4 | resulterende flytning moment | 30.03 mm 41.75 kNm | 30.39 mm 42.29 kNm | 1.012 1.013 |

Det bemærkes at resultaterne af 1. ordens beregningen er identiske med de resultater der blev fundet med den langt grovere model anvendt i eksempel 4.1.

I dette tilfælde er udbøjningstillægget ubetydeligt og momentforøgelsen udgør kun max. 2%. Det skyldes at de tryknormalkræfter der optræder i konstruktionen for den betragtede lastkombination er langt mindre end de kritiske værdier for udbøjning i rammens plan (ikke bestemt her). En anden årsag er at dellasterne i denne lastkombination i nogen grad modvirker hinanden med hensyn til vandrette flytninger af rammehjørnerne, og derfor kan momentforøgelsesfaktoren for andre lastkombinationer udmærket vise sig at være betydeligt større.

De fundne resultatet er iøvrigt typisk for de rammekonstruktioner der anvendes i praksis hvor momnettillægget ofte kun udgør 5 - 10%.

Bilag A, Startvejledning

Man får adgang til RAMPROG og RAMSTAB via serveren SV2 (Sohngårdsholmsvej 57) hvorfra de nødvendige filer først skal kopieres til egen PC. Det kan ske med følgende ordre.

```
C:\ XCOPY N:\RAMPROG/S
```

hermed overflyttes følgende filer til brugerens harddisk eller diskette

```
egavga.bgi  
RAMPROG.exe  
RAMSTAB.exe  
RAMFIL  
    rameks1.dat  
    rameks2.dat
```

Filen egavga.bgi, (eller en tilsvarende) er en grafikdriver der er nødvendig hvis man ønsker at udnytte programmets plotfaciliteter på en EGA eller VGA skærm.

RAMFIL er et katalog hvor alle arbejdsfiler placeres. De 2 viste filer er eksempler på datafiler svarende til eksemplerne beskrevet i afsnit 4.1 og 4.2.

RAMPROG startes med kommandoen C:\ RAMPROG

RAMSTAB startes med kommandoen C:\ RAMSTAB

Programmerne kan frit kopieres til eget brug !

