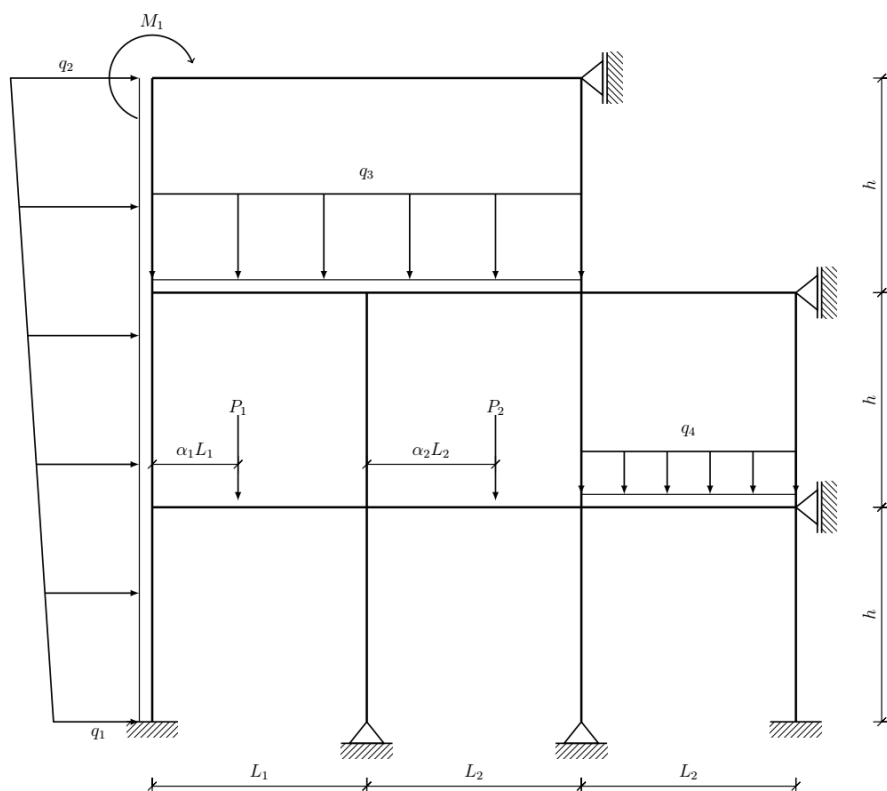


		<b>NTNU</b> Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for marin teknikk Faggruppe for marine konstruksjoner		<b>Karaktergivende Prosjektoppgave</b>	
<b>TMR4167 MARIN TEKNIKK 2</b>					
Dato: 06.10.17		Sign: JA		Utleveringsdato: 06.10.16	
				Innleveringsfrist: 05.11.16	

## RAMMEANALYSE MED MATRISEMETODEN

Hensikten med dette prosjektet er å få trening i å utføre beregningsoppgaver med MATLAB, samt få innsikt i oppbyggingen av dataprogram for analyse av rammekonstruksjoner. Prosjektarbeidet er karaktergivende og utgjør 25 % av totalkarakteren i faget.

Figur 1 viser en idealisert regnemodell av en stålramme i en modul på dekket av en offshore plattform. Rammen kan antas å være uforskyvelig slik at deformasjonen er fullstendig beskrevet av knutepunktsrotasjonene. Flytespenningen er satt lik 320 MPa i alle elementene, mens E-modulen er 210 GPa.



**Figur 1: Ramme**

Øverste dekk av rammen er et lagerområde, hvor lasten modelleres som jevnt fordelt last  $q_3$ . Dekket under skal bære vekten av annet utstyr, modellert som  $P_1$ ,  $P_2$  og  $q_4$ . Samtidig er rammen utsatt for sterke vindkrefter, som kan antas lineært fordel over høyden med intensitet

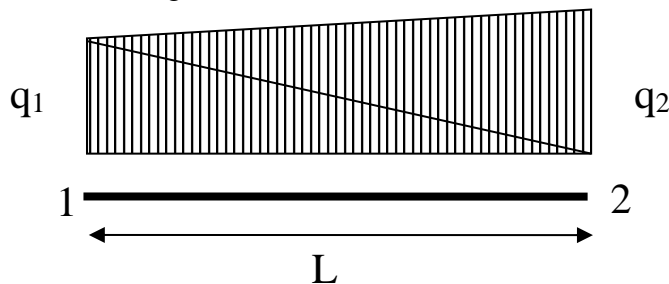
på henholdsvis  $q_1$  og  $q_2$  ved bunnen og toppen av rammen. Vindmomentet fra en mast i øvre venstre hjørnet modelleres som  $M_1$ . De vertikale søylene i rammen består av sirkulære, rørtverrsnitt, mens de horisontale bjelkene er består av I-profil. Knutepunktene kan antas å være stive.

Oppgaven går ut på å lage et enkelt program i MATLAB, som gjør at du kan analysere konstruksjonen med matrisemetoden.

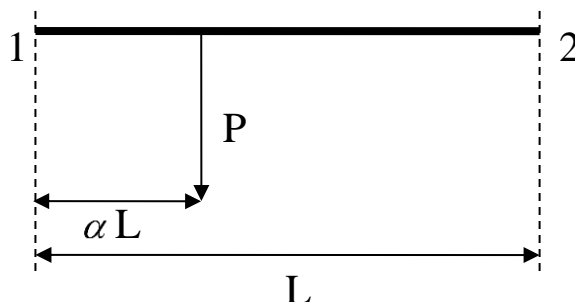
- a) Lag en funksjon som leser inn konstruksjonsdata som knutepunktskoordinater, elementenes tilknytning til knutepunktene, fordelte og konsentrerte laster til elementene, tverrsnittsdata for rør- og I-profil, grensebetingelser, materialdata osv. Lag også en funksjon som beregner bøyestivheten for elementene på bakgrunn av tverrsnittsdata. Det skal være mulig å benytte ulik tykkelse på flensene og stegene til I-profilet. Elementene skal kobles til riktig geometri og material via geometri- og materialnummer i inputfilen. La programmet kunne lese et vilkårlig antall knutepunkt, elementer, laster, tverrsnittsdata og materialer.
- b) Lag de nødvendige funksjoner for å beregne elementstivhetsmatriser, fastinnspenningsmoment, lastvektor, oppbygging av systemstivhetsmatrise, beregning av bøyemoment osv. Disse funksjonene implementeres i hovedprogrammet som er blitt utdelt. Noen av funksjonskallene er gitt i hovedprogrammet slik at det blir lettere å komme i gang med programmeringen.

Fastinnspenningsmoment skal kunne beregnes generelt for:

- i) Last som er lineært fordelt over elementet. Det kan for eksempel splittes i to trekantbidrag.



- ii) Punktlast med vilkårlig plassering fra ende 1.



Figur 2: Lasttilfeller

Grensebetingelsene for knutepunktsrotasjon skal innføres som beskrevet i punkt i) eller punkt ii):

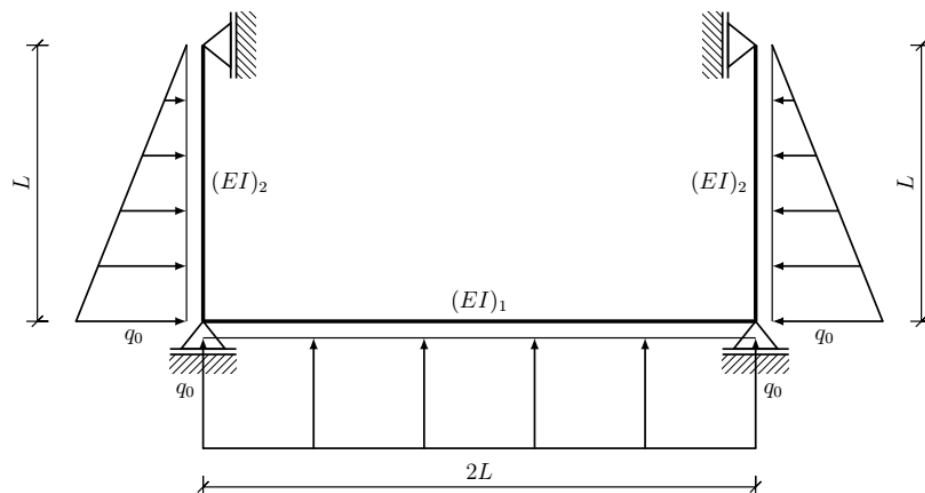
- i) Når et knutepunkt er fastholdt mot rotasjon skal tilhørende kolonne og linje nulles ut i systemstivhetsmatrisen. Diagonalelementet settes lik et vilkårlig tall. Tilhørende element i lastvektoren må også nulles ut.
- ii) Inkluder en rotasjonsfjær i samtlige knutepunkt. Dersom knutepunktet er fritt opplagt skal fjæren ha null stivhet. Fast innspenning kan simuleres ved å bruke en rotasjonsfjær med stor stivhet, for eksempel  $10^6$  ganger bøyestivheten av vertikale søyler. Rotasjonsfjærenes stivhet må adderes til korrekt diagonalelement i systemstivhetsmatrisen.

Programmet skal kunne beregne bøyemoment for elementer utsatt for punktlaster og fordelte laster. Bøyemomentene skal beregnes ved 3 ulike posisjoner langs bjelkene avhengig av belastning:

- i) Punktlast: Ved bjelkeendene og rett under punktlasten.
- ii) Fordelt last: Ved bjelkeendene og midt på bjelken.

Det kreves ikke at programmet skal beregne bøyemomenter for tilfeller hvor en bjelke er utsatt for både punktlast og fordelt last. Merk at det her er unødvendig å uttrykke momentet som funksjon av bjelkens x-koordinat vha. ”snittmetoden”.

- c) Benytt enhetslastmetoden til å beregne bøyemoment midt på den horisontale bjelken i Figur 3. Definer to vilkårlige bjelkeprofil med stivhet  $EI$  og  $2EI$ , og kontroller at MATLAB-programmet gir samme resultat som beregningene med enhetslastmetoden. Rammen er gitt som eksamensoppgave i 2014, og kan ved håndberegninger løses ved hjelp av symmetri. *Besvar også: Hvilken verdi går midtmomentet til når  $(EI)_1/(EI)_2$  går mot 0 og  $\infty$ ? Detaljerte utregninger er ikke nødvendig for å besvare dette.*



**Figur 3: Skipsramme**

- d) Analyser konstruksjonen i Figur 1 med MATLAB-programmet. Bestem tverrsnittsdimensjoner slik at største bøyespennning er i størrelsesorden 30-70 % av flytespenningen ved de mest belastede stedene på hvert horisontale og vertikale

bjelkenivå. Det er akseptabelt å benytte samme tverrsnitt for en vertikal søyle og horisontale bjelker på ett nivå.

Dimensjoneringen blir en iterasjonsprosess hvor man må prøve seg fram med ulike tverrsnittsdata. Kanskje er det en god idé å kontrollere resultatene med Nauticus 3D Beam før man begynner på oppgave e)?

- e) På grunnlag av valgte tverrsnittsdimensjoner og outputverdier fra MATLAB-programmet skal momentdiagram tegnes for rammen. Aksial- og skjærkraftdiagram skal tegnes.

Merk at det er akseptabelt å kun angi momentverdien på midten av bjelker med fordelt last selv om maksimal verdi ikke befinner seg her. Beregninger og tegning av diagrammer kan gjerne utføres for hånd.

Unngå bruk av "snittmetoden" i beregningene. Benytt heller superposisjonsprinsippet på bjelker utsatt for enkle lasttilfeller og bjelker belastet med endemomenter.

Det skal lages en kortfattet rapport over arbeidet som bl.a. viser skisse av konstruksjon, valgte tverrsnittsdimensjoner, elementinndeling, knutepunksnummerering, benyttede lastverdier og resultater fra deloppgave c), d) og e). For å redusere tidsbruken kan beregninger med enhetslastmetoden og tegning av diagrammer med tilhørende beregninger gjerne utføres for hånd.

***Prosjektet skal utføres i grupper på 3 personer. Man står fritt til å organisere dette. Hver gruppe leverer inn 1 prosjektrapport, med kandidatnummer til alle gruppemedlemmer oppført på forsiden***

Legg ved en minnepenn med MATLAB-program, inklusive inngangsdata. Legg også til MATLAB-koden som vedlegg i prosjektrapporten.

*Evalueringskriterier:*

- *Strukturert rapport med gode figurer (diagram kan gjerne være håndtegnet).*
- *Gode vurderinger av resultat.*
- *Ryddig MATLAB-program. Koden skal være oversiktlig og ha fylldige kommentarer. Det er ikke avgjørende at koden er mest mulig "avansert". Programmet skal være kjørbart.*
- *Vurderingsmatrisen blir publisert i et eget dokument på Blackboard sammen med prosjektet. Merk at bruk av Nauticus 3D Beam gir opp til 4 ekstrapoeng*

### Data for konstruksjonen:

Krefter i [kN]

Intensiteter i [kN/m]

Lengder i [m]

<b>P<sub>2</sub></b>	<b><math>\alpha_2</math></b>	<b>q<sub>1</sub></b>	<b>q<sub>4</sub></b>
60	0.4	10	12
<b>L<sub>1</sub></b>	<b>L<sub>2</sub></b>	<b>h</b>	
18	20	12	

Dersom sifrene i kandidatnummeret skrives som:

**XXXAB**

kan de resterende data hentes fra tabell

(ett av de tre studentnumrene benyttes)

Siffer i kand.nr.	Tallverdi	P <sub>1</sub>	$\alpha_1$	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>	M <sub>1</sub>
A	1,3,5	70	0.4		5	
	2,7,9	80	0.5		10	
	4,6,8,0	90	0.6		15	
B	1,2,3			16		200
	4,5,6			14		175
	7,8,9,0			12		150

### Ved bruk av Nauticus 3D Beam:

Dersom man velger å kontrollere resultater fra MATLAB-programmet med Nauticus 3D Beam vil man kunne observere små avvik. Bakgrunn for avvikene og tips til hvordan avvikene kan minimeres:

- 1) Stivhetsmatrisene som benyttes i 3D Beam er basert på at man analyserer en forskyvelig ramme. For at moment- og skjærkraftdiagram skal bli identisk med MATLAB-programmet må alle knutepunkter i 3D Beam være fastholdt mot translasjon. Merk at dette medfører at skjærkrefter og aksialkrefter blir ført til "jord" ved knutepunktene, i stedet for å balanseres av aksialkrefter i tilstøtende element.
- 2) 3D Beam er basert på en bjelkeformulering som inkluderer bidrag fra skjærdeformasjoner. Bjelkene i dette prosjektet består av slanke bjelker slik at bidrag fra skjærdeformasjoner kan neglisjeres. Sett derfor skjærfaktorene lik 1000 når tverrsnittene defineres.