

Tom Viggo Nilsen | Tom Lassen

KONSTRUKSJONSMEKANIKK FOR BACHELOR

STATIKK OG FASTHETSLÆRE



FAGBOKFORLAGET

KONSTRUKSJONSMEKANIKK FOR BACHELOR

Tom Viggo Nilsen | Tom Lassen

KONSTRUKSJONSMEKANIKK FOR BACHELOR

STATIKK OG FASTHETSLÆRE



FAGBOKFORLAGET

Copyright © 2019 by
Vigmostad & Bjørke AS
All Rights Reserved

ISBN: 978-82-450-3062-4
ISBN (trykt): 978-82-450-1890-5

1. utgave /1. opplag 2016

Tilrettelagt for e-bok: John Grieg, Bergen
Forsidedesign ved forlaget
Forsidefoto: © Christina Richards | Dreamstime.com

Boken er utgitt med støtte fra Utdannings- og
forskningsdepartementet, ved Lærebokutvalget for høyere utdanning.

Spørsmål om denne boken kan rettes til:
Fagbokforlaget
Kanalveien 51
5068 Bergen
Tlf.: 55 38 88 00 Faks: 55 38 88 01
e-post: fagbokforlaget@fagbokforlaget.no
www.fagbokforlaget.no

Materialet er vernet etter åndsverkloven.
Uten uttrykkelig samtykke er eksemplarframstilling
bare tillatt når det er hjemlet i lov eller avtale med Kopinor.

Innhold

Innledning	7
Litt historikk om mekanikk	9
Kort orientering om bygningskonstruksjoner	15
KAPITTEL 1	
Grunnleggende statikk.....	27
1.1 Likevekt. Definisjon av kraft og moment	27
1.2 Likevekt og summering av krefter	30
1.3 Forskjellige typer krefter	37
1.3.1 Ytre krefter	39
1.3.2 Opplagerreaksjoner og opplagerbetingelser	41
1.3.3 Fritt legeme-diagram (FLD)	45
1.3.4 Indre krefter	46
1.4 Beregning av likevekt	47
1.5 Beregning av konstruksjoner	53
1.5.1 Fagverk.....	53
1.5.2 Rammer med ledd.....	66
1.5.3 Kabler og tau	73
1.6 Oppgaver til kapittel 1	79
KAPITTEL 2	
Fasthetslære	89
2.1 Innledning	89
2.2 Grunnleggende spenningsteori.....	92
2.2.1 Spenninger i et bjelkeverrsnitt	93
2.2.2 Generell spenningsteori og tøyninger.....	106
2.2.3 Spenningskonsentrasjoner.....	124
2.2.4 Massegeometri	125
2.3 Spenninger i et bjelkeverrsnitt.....	136
2.4 Plater og skallkonstruksjoner.....	139
2.5 Knekking.....	144
2.6 Oversikt over dimensjoneringskriterier	151
2.7 Oppgaver til kapittel 2.....	156
KAPITTEL 3	
Deformasjonsberegninger og statisk ubestemte konstruksjoner	160
3.1 Sammenheng mellom belastning, skjærkraft og bøyemoment	160

3.1.1 Sammenheng mellom belastning, skjærkraft og moment I.....	160
3.1.2 Statisk ubestemte konstruksjoner, og bruk av nedbøyningsformler for å løse enkle statisk ubestemte bjelker	173
3.1.3 Sammenheng mellom belastning, skjærkraft og moment II	179
3.2 Oppgaver til kapittel 3	192
KAPITTEL 4	
Energimetoder.....	199
4.1 Teoretisk grunnlag. Energimetoder, Bettys lov om lasters gjensidig påvirkning og beregning av forskyvninger ved Castiglianos sats.....	199
4.1.1 Innledning.....	199
4.1.2 Bettys lov og Castiglianos sats.....	203
4.1.3 Castiglianos sats formulert for bjelker og staver	204
4.2 Enhetslastmetoden brukt på fagverk	207
4.3 Enhetslastmetoden brukt på rammer og bjelker	214
4.3.1 Enhetslastmetoden brukt på statisk bestemte rammer og bjelker	214
4.3.2 Enhetslastmetoden brukt på statisk ubestemte bjelker	225
4.3.3 Enhetslastmetoden brukt på statisk ubestemte rammer.....	239
4.4 Oppgaver til kapittel 4.....	257
KAPITTEL 5	
Rammestatik basert på matrisemetoder.....	261
5.1 Grunnlag og prinsipper	261
5.1.1 Innledning.....	261
5.1.2 Prinsipper for spenningsanalyse og løsning ved elementmetoden	262
5.2 Enkel illustrasjon ved et fagverk.....	265
5.3 Matrisemetoder for fagverk.....	266
5.3.1 Horisontale staver	266
5.3.2 Staver med vilkårlig retning.....	273
5.4 Matrisemetoder for rammer	284
5.4.1 Bjelkeelement med uforskyvelige ender	284
5.4.2 Bjelkeelement med rotasjon og forskyvninger	289
5.5 Oppgaver til kapittel 5	298
KAPITTEL 6	
Innledning til elementmetoden.....	300
6.1 Prinsippet om minimum potensiell energi (PMPE)	300
6.1.1 Innledning.....	300
6.1.2 Virtuelle forskyvningers prinsip (VFP).....	300
6.2 Elementmetoden anvendt på skiver	304
6.2.1 Problemstilling og definisjoner.....	304
6.3 Andre typer elementer og praktisk bruk	314
6.3.1 Plate- og skallelementer.....	314
6.3.2 Volumelementer.....	316
6.3.3 Praktisk bruk	316
Vedlegg	318
Fasit til øvingsoppgavene	322
Referanser	328
Stikkord	329

Innledning

Denne læreboka i konstruksjonsmekanikk tar for seg de grunnleggende klassiske temaene i fasthetslære og statikk. Vi har med det tradisjonelle grunnlaget, samtidig som det er tatt med emner som danner grunnlag for mer avanserte numeriske analysemetoder slik som matrisestativk og elementmetoden. Innholdet i boka er tenkt å dekke undervisningsbehovet i grunnleggende styrkeanalyse og dimensjonering ved bachelorstudiene i Norge. Boka er godt egnet både i maskintekniske fag og for bygningslinjene. Den inkluderer ikke dynamisk analyse.

Boka begynner med den grunnleggende kunnskapen innen statikk og fasthetslære. Den går videre med emner som energimetoder og matrisestativk. Disse to emnene gir et viktig grunnlag for spenningsanalyse og dimensjonering slik det utføres i norsk industri i dag; analysene er oftest basert på anvendelse av matrisestativk og elementmetoden. Boka avslutter derfor med en innledning til elementmetoden slik at studentene skal se sammenhengen mellom stoffet i boka og videregående kurs som tar for seg elementmetoden. Et viktig poeng i denne sammenhengen er at studentene ikke bare blir flinke «knappe-trykkere» foran PC-en, men forstår hva programvaren gjør og hvordan resultatene skal tolkes. I motsatt fall vil de to forfatterne ha en viss angst når de går inn i bygninger disse studenten har styrkeberegnert og dimensjonert. Mer om elementmetodene må studentene lære i påfølgende kurs, presentasjonen i denne boka er på ingen måte fullstendig. Men det er antagelig vanskelig å gå videre med stoffet innenfor et bachelorprogram.

I den klassiske delen har vi med grunnleggende analyse med matematisk beskrivelse av spenninger og tøyninger. Dette er gjort uten å gå utenfor det matematiske grunnlaget en bachelorstudent må kreves å kunne. Når det gjelder matematisk apparat, har vi lagt vekt på systematisk bruk av koordinatsystem og fortegnstregler. Vi har ikke brukt regler av typen med klokka og mot sola. Vi har også utelatt rene numeriske eller grafiske teknikker som er blitt avleggs på grunn av tilgang på datamaskiner og programvare. Typiske eksempler er beregninger av deformasjoner av bjelker ved krumningsflate og Cross-metoden for rammer. Det var heller ingen pedagogisk grunn til å beholde disse metodene. Mohrs sirkel er tatt med under tvil.

Oppgavene i boka er ment å være på et nivå vi mener bachelorstudentene innen konstruksjonsfag bør være på når grunnleggende statikk og fasthetslære er gjennomgått.

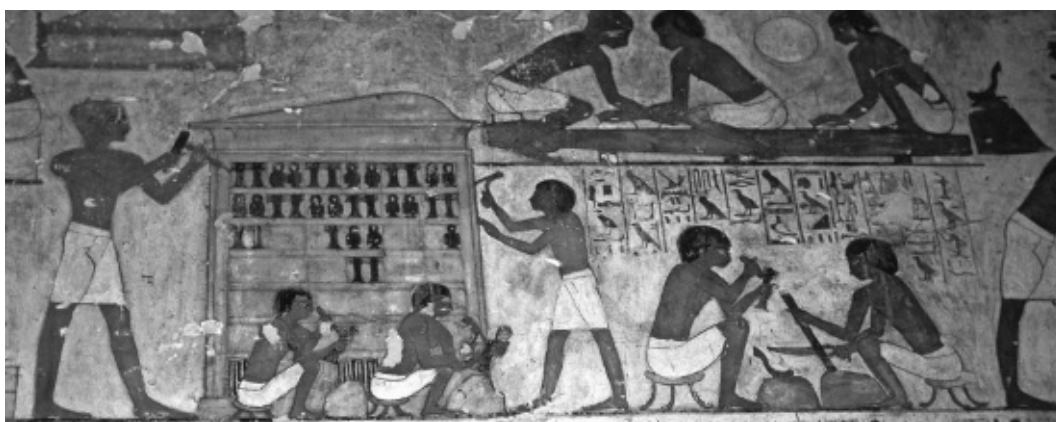
Forfatterne har den oppfatning at det er behov for en bok med det stoffutvalget som er foretatt. Det finnes gode lærebøker på fagskolenivå i Norge. Masterstudiene er også bra dekket med tilbud av bøker. På bachelornivå har det vært forfatterens erfaring at det er vanskeligere å finne en egnet bok med riktig stoffutvalg. Vi håper derfor at denne boka kan bli et nyttig hjelpemiddel til læring av et klassisk og viktig emne innen ingeniørfag på maskin- og bygningslinjene.

Litt historikk om mekanikk

Etymologisk sett er ordet mekanikk avledet fra gresk og betyr verktøy eller maskin. Fra gammelt av var mekanikken delt i to disipliner: statikk og dynamikk. Statikken var og er læren om likevekt, mens dynamikken er læren om sammenhengen mellom krefter og bevegelse. Seinere fikk vi innenfor mekanikken væskemekanikk som egen disiplin.

Ofte deles mekanikk inn i den klassiske mekanikken og kvantemekanikken.

I historisk sammenheng er det nødvendig å skille mellom mekanisk erfaring og mekanikk som vitenskap. Mekanikk som vitenskap baserer seg på klassiske mekaniske teorier (se under), og dagens ingeniørpraksis bygger på disse. Mekanikk som erfaring er svært gammel. På egyptiske og assyriske monumenter kan en finne beskrivelser av hvordan mekanikk kunne brukes. Figuren under viser et utsnitt fra en egyptisk frise.



Figur 0.1 Egyptisk frise med praktiske arbeidsoppgaver (© Werner Forman/Universal Images Group/Getty Images)

Lenge før man drømte om noen teori om mekanikk, ble mekanisk erfaring og mekanisk kunnskap brukt til å løse praktiske oppgaver. Det er bare å tenke på transport og løfting av store steinblokker når pyramidene i Egypt ble bygd.

De tidligste teoretiske undersøkelser innen mekanikken ble gjort av grekerne i antikken, og handlet om statikk og likevektsprinsippet. De grunnleggende betraktningene om dette ble gjort av Arkimedes av Syrakus (287–212 f.Kr.). Han baserte sine teorier på to aksiomer:

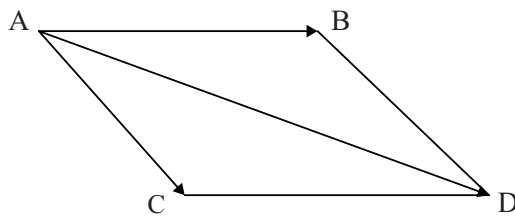
- Størrelser med lik vekt og plassert like langt fra opplagspunktet er i likevekt.
- Størrelser med lik vekt, men plassert med ulik avstand fra opplagspunktet er ikke i likevekt.

Av dette sluttet han at sammenlignbare størrelser er i likevekt dersom de er invers proporsjonale med deres avstander.

Etter den greske storhetstiden skjedde det ikke mye innenfor mekanikken før renesansen. Det var Leonardo da Vinci (1452–1519) som først innså viktigheten av det statiske momentet og brukte en skrivemåte (notasjon) vi kjenner i dag.

Bevegelse på skråplanet var tidlig underlagt teoretiske undersøkelser og praktiske forsøk. Galileo Galilei (1564–1642) og Stevinus (1548–1620) var pionerene på dette feltet.

Stevinus var også den første som formulerte prinsippet om summering av krefter som virker på et legeme (konstruksjonen av et parallelogram).



Dersom et legeme blir påvirket av to krefter, AB og AC, kan virkningen av disse to erstattes av en kraft AD som finnes grafisk ved å konstruere et parallelogram som vist på figuren.

Figur 0.2 Summering av krefter

Den klassiske mekanikk

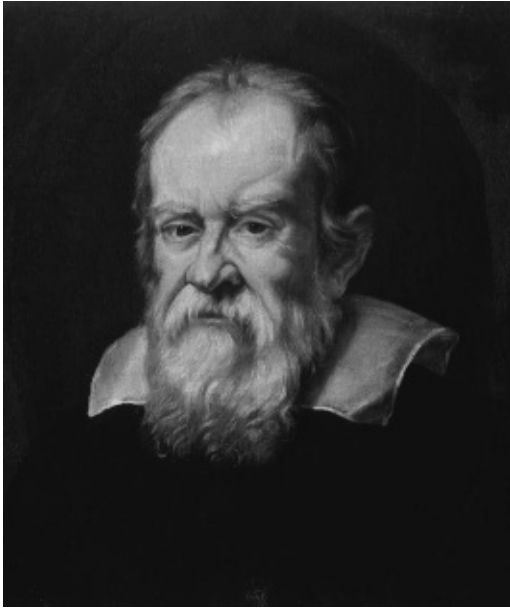
Den klassiske mekanikken er først og fremst grunnlagt av Galileo Galilei (1564–1642) til venstre, og Isaac Newton (1642–1727) til høyre på figuren under.

De første undersøkelsene innenfor dynamikken ble gjort av Galilei. Dette var et brudd med antikkens fysikk som utelukkende beskjeftiget seg med statikk. Han utførte mange eksperimenter med fallende steiner, og var særlig opptatt av akselerasjon uten å formulere noen lover for dette. De kom med Newton.

En lov som Galilei også oppdaget, men ikke formulerte matematisk, var treghetsloven. Denne sier at et legeme som ikke er påvirket av noen krefter vil beholde sin hastighet og retning.

Galilei var en stor astronom, forbedret teleskopet og utførte mange observasjoner som la grunnlaget for det heliosentriske verdenbildet der sola er i sentrum. Han er en av de få, sammen med Bacon og encyklopedistene Voltaire og Diderot, som er domfelt av kirken for vitenskapelige teorier.

Newton var både matematiker og fysiker. Som matematiker oppfant han, sammen med



Figur 0.3 Galileo Galilei og Isaac Newton (Galileo Galilei, kunstner: Boschi, Francesco (1619–1675) © Fine Art Images/Heritage Images/Getty Images; Isaac Newton (Woolsthorpe-by-Colsterworth, 1642–London, 1727) © DEA / G. NIMATALLAH/Getty Images)

franskmannen G.W. Leibniz, infinitesimalregningen (differensialer og integraler), som han kalte funksjonsregning. Som fysiker formulerte han gravitasjonsloven og mekanikkens bevegelseslover. Newtons lover er formulert slik:

Newtons 1. lov

Når summen av kreftene som virker på et legeme er null, vil legemet være i ro eller bevege seg med konstant hastighet langs en rett linje.

Når $\Sigma F = 0$ så er $v = \text{konstant}$

Newtons 2. lov

Et legemes akselerasjon er proporsjonal med summen av kreftene som virker på det (vektorsum), og den er i retning av denne vektorsummen.

$\Sigma F = m \cdot a$ der m er legemets masse, og a er legemets akselerasjon

Newtons 3. lov

Loven om aksjon og reaksjon. Når det virker en kraft på et legeme, virker det en motkraft som er like stor og motsatt rettet. De to kreftene ligger på samme linje. Loven stadfester at krefter alltid opptrer i par.

Etter Einsteins relativitetsteori blir Newtons lover en spesialteori under en mer generell

teori. Newtons lover gjelder bare når hastighetene er små i forhold til lyshastigheten og når det ikke kreves stor målenøyaktighet.

Newtons lover sto seg helt til ca. 1900. På denne tiden ble det gjort nye oppdagelser innen atomfysikken, det ble gjort mer nøyaktige astronomiske målinger, og spørsmålet om lys var bølger eller en strøm av partikler kom på dagsordenen. Newtons lover kunne ikke gi svar på disse og andre spørsmål.

Relativitetsteorien og kvantefysikken ble utviklet av fysikere som Einstein, Bohr, Planck, Poincare og Heisenberg. Siden disse teoriene ikke angår i det denne boka omhandler, stopper vi den historiske oversikten her.

Grunnenhetene i SI

Størrelse	Enhet	Symbol	Definisjon
Lengde	meter	m	Lengden av den strekning lyset tilbakelegger i tomt rom i løpet av $\frac{1}{299\,792\,458}$ sekund. (17. CGPM*, 1983)
Masse	kilogram	kg	Massen av den internasjonale kilogramnormal (tidl. kalt kilogramprototyp). (3. CGPM, 1901)
Tid	sekund	s	9 192 631 770 perioder av den stråling som svarer til overgangen mellom de to hyperfinnivåer i grunntilstanden for cesiumatomet ^{133}Cs . (13. CGPM, 1967)
Elektrisk strøm	ampere	A	Den konstante elektriske strøm som frembringer en gjensidig kraft på $0,2\ \mu\text{N}$ (mikronewton) per meter leder når strømmen går gjennom hver av to rettlinjede parallelle, uendelig lange ledere med sirkulært og neglisjerbart lite tverrsnitt, og lederne er anbrakt i en meters innbyrdes avstand i tomt rom. (9. CGPM 1948)
Temperatur	kelvin	K	Brøkdelen $\frac{1}{273,16}$ av den termodynamiske temperatur for vannets trippelpunkt. Enheten kelvin brukes også for å uttrykke et temperaturintervall eller en temperaturdifferanse. (13. CGPM, 1967).
Stoffmengde	mol	mol	Stoffmengden i et system som inneholder like mange elementære entiteter som det er karbonatomer i $0,012$ kilogram ^{12}C . Når enheten mol nyttes, må elementærentitetene spesifiseres. Disse kan for eksempel være atomer, molekyler, ioner, elektroner, andre partikler eller spesifiserte grupper av slike partikler (14. CGPM, 1971).
Lysstyrke	candela	cd	Lysstyrken i en gitt retning fra en kilde som sender ut monokromatisk stråling med frekvensen $540 \cdot 10^{12}$ hertz og med en strålingsstyrke i den gitte retningen på $\frac{1}{683}$ watt per steradian (16. CGPM, 1979).

* CGPM, forkortelse for *Conférence Générale des Poids et Mesures*, Generalkonferansen for mål og vekt

Avledede koherente SI-enheter med egne navn

Størrelse	Enhet	Symbol	Uttrykt ved andre enheter	Uttrykt ved grunnenheter
plan vinkel	radian	rad		$\text{m/m} = 1$
romvinkel	steradian	sr		$\text{m}^2/\text{m}^2 = 1$
frekvens	hertz	Hz		s^{-1}
kraft	newton	N		$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
trykk, spenning	pascal	Pa	N/m^2	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
energi, arbeid, varme	joule	J	$\text{N} \cdot \text{m}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
effekt, strålingsfluks	watt	W	Js^{-1}	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$
elektrisk ladning	coulomb	C		$\text{A} \cdot \text{s}$
elektrisk potensial, spenning	volt	V	W/A	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}$
kapasitans	farad	F	C/V	$\text{A}^2 \cdot \text{s}^4 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$
resistans	ohm	Ω	V/A^{-1}	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}$
konduktans	siemens	S	A/V^{-1}	$\text{s}^3 \cdot \text{A}^2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$
magnetisk fluks	weber	Wb	$\text{V} \cdot \text{s}$	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
magnetisk flukstetthet, induksjon	tesla	T	Wb m^{-3}	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-1}$
induktans	henry	H	Wb A^{-1}	$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{A}^{-2}$
celsiustemperatur	grad celsius	$^{\circ}\text{C}$		K
lysfluks, lysstrøm	lumen	lm		$\text{cd} \cdot \text{sr}$
illuminans, belyningsstyrke	lux	lx	lmm^{-2}	$\text{cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{m}^{-2}$
aktivitet	becquerel	Bq		s^{-1}
absorbert strålingsdose	gray	Gy	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
ekvivalentdose	sievert	Sv	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$

SI-prefikser

Dekadiske prefikser (forstavelser) med symboler for bruk i SI

Prefiks	Symbol	Faktor
yotta	Y	$10^{24} = 1$ kvadrillion
zetta	Z	$10^{21} = 1000$ trillioner
eksa	E	$10^{18} = 1$ trillion
peta	P	$10^{15} = 1000$ billioner
tera	T	$10^{12} = 1$ billion
giga	G	$10^9 = 1$ milliard
mega	M	$10^6 = 1$ million
kilo	k	$10^3 =$ tusen
hekto	h	$10^2 =$ hundre
deka	da	$10^1 =$ ti
desi	d	$10^{-1} = 1$ tidel
centi	c	$10^{-2} = 1$ hundredel
milli	m	$10^{-3} = 1$ tusendel
mikro	μ	$10^{-6} = 1$ milliondel
nano	n	$10^{-9} = 1$ milliarddel
piko	p	$10^{-12} = 1$ billiondel
femto	f	$10^{-15} = 1000$ trilliondeler
atto	a	$10^{-18} = 1$ trilliondel
zepto	z	$10^{-21} = 1000$ kvadrilliondeler
yokto	y	$10^{-24} = 1$ kvadrilliondel

Ifølge 20. CGPM, 1995
Tatt fra Store norske leksikon, nettutgaven

Kort orientering om bygningskonstruksjoner

Bygningskonstruksjoner er et vidt begrep, og omfatter mange forskjellige typer konstruksjoner. Alt fra de enkle løfteanretningene du har i garasjen eller på brygga til store sammensatte konstruksjoner som broer og plattformer for olje- og gassproduksjon. Når vi skal beregne disse for hånd eller ved hjelp av datamaskiner, må vi lage modeller av virkeligheten, modeller som mer eller mindre er forenklinger av virkelige konstruksjoner. Vi må selvfølgelig forenkle i mye større grad ved håndberegninger enn ved bruk av dataprogrammer. Selv om dataprogrammer er en nødvendighet ved beregning av konstruksjoner, er det helt nødvendig for en ingeniør å kunne gjøre håndberegninger, og kunne bruke klassiske teorier for dette. En ingeniør må være klar over mulige sviktmekanismer og dimensjonere slik at disse ikke inntreffer.

Konstruksjonstyper

Vi skal her kort se på to typer konstruksjoner som vi siden skal se trenger to forskjellige beregningsmetoder for dimensjonering.

- Fagverk. Fagverk har ledd i sammenføyningspunktene.
- Rammer. I sammenføyningspunktene kan rammer ha ledd, eller de kan være faste (sveiste eller boltede).

Figur 0.4 viser eksempler på fagverk.



Figur 0.4 Takstoler og brokonstruksjoner (a) © Mjøstre AS, b) © Treteknikk AS, c) © Pretre AS, d) © T.W. van Urk/Shutterstock)

Knutepunktene i fagverk er utformet slik at de kan betraktes som leddforbindelser. Disse kan dermed ikke overføre momenter. Dette betyr at vi ved beregninger kan anta at alle bjelkene i konstruksjonen bare er utsatt for aksiallast. En ekstra vanskelighet beregningsmessig får vi når konstruksjonene blir tredimensjonale.

Figur 0.5 viser to eksempler på stålrammer. Legg merke til de sveiste knutepunktene til høyre.



Figur 0.5 Eksempler på stålrammer (til venstre: © Sutichak/Shutterstock, til høyre: © Norsk Stålforbund)

Fagverk og rammer består altså av de samme konstruksjonselementene, men knutepunktene er utformet på en annen måte. Det vanligste er at knutepunktene i rammer er sveiste, men de kan også være boltede. Forskjellen fra fagverk er at de er stive, dvs. at en bjelke ikke kan dreie seg uavhengig av den bjelken den er festet til. Dermed kan bøyeeffekten overføres fra et element til et annet i konstruksjonen. Denne bøyeeffekten blir ofte dimensjonerende.

Konstruksjonselementer

De fleste konstruksjoner er satt sammen av flere elementer, og ofte er det også forskjellige materialer i samme konstruksjon. Innenfor byggebransjen er det stål, tre og betong som dominerer, men aluminium, glass, plast i forskjellige utgaver og komposittmaterialer finnes også.

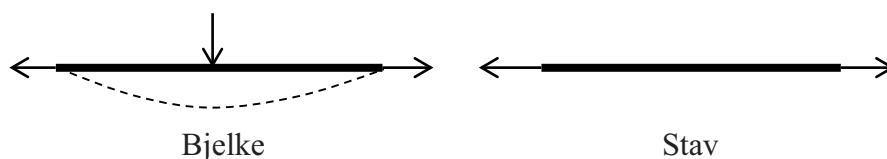
Elementene i en konstruksjon, om det er staver i fagverk eller bjelker i rammer, settes sammen til en større konstruksjon ved hjelp av forskjellige typer forbindelser. Eksempler på forbindelser er bolter og sveiseforbindelser. Egenskapene til disse forbindelsene vil i stor grad avgjøre utformingen av konstruksjonen og måten vi beregner den på.

Det er tre grunnleggende forskjellige konstruksjonselementer:

- Staver og bjelker
- Plater, skiver og skall
- Kabler

Både staver og bjelker er kjennetegnet ved at dimensjonen i lengderetningen er mye større enn i de to andre akseretningene. Det er disse elementene vi har omtalt i forrige avsnitt.

Av og til skiller man mellom staver og bjelker. Skillet går ikke på den geometriske utformingen, men på hva slags belastninger de blir utsatt for og dimensjonert for. Bjelker kan, som figuren under viser, oppta krefter i lengderetningen, den kan utsettes for bøyning og krefter vertikalt på lengderetningen.



Figur 0.6 Bjelke (venstre) og stav (høyre)

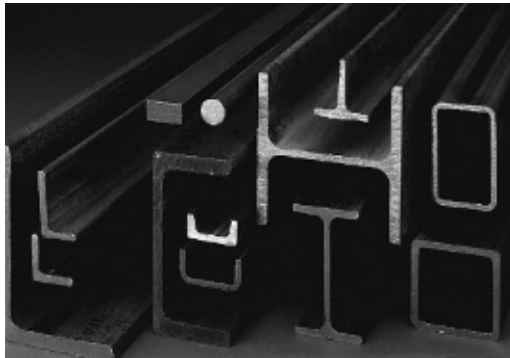
Staver utsettes bare for krefter i stavens lengderetning. Staven er et spesialtilfelle av bjelken.

Bjelker inngår som elementer i de konstruksjonene som kalles rammer, staver er elementer i fagverk.

De aller fleste bjelkene som brukes er standardiserte, dvs. at tverrsnittet er definert etter internasjonale standarder. Figur 0.7 på neste side viser et utvalg av de forskjellige standardprofilene i stål.

I noen tilfeller er det nødvendig med andre profiler enn de standardiserte. Da sveises

stålplater sammen til ønsket profil. Dette er som oftest tilfellet når vi trenger større profiler. (Det største standardiserte HE-profil har en høyde på 1000 mm.)



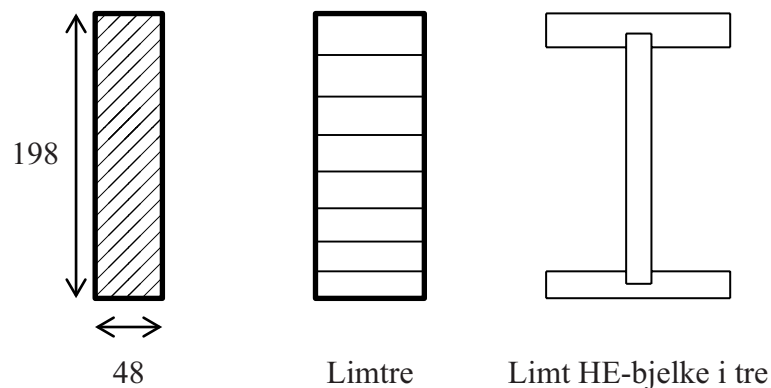
Her er det vist eksempler på:

- HE
- IPE
- Kanalstål, hulprofil
- L-profil
- Vinkelprofil
- T-profil
- U-profil
- Massive profiler

Figur 0.7 Typiske tverrsnitt profiler i stålbjelker (© Steel Construction (eget verk) [Public domain], via Wikipedia Commons)

Opplysninger om stålprofiler finnes stålhåndbøker og leverandørkataloger. Definisjon av tverrsnittet med høyde, bredde, tykkelse og radier er gitt i Norsk Standard (NS).

Bjelker i tre er som regel rektangulære. Da er de enten skåret i ett stykke som vist i figuren under, eller de er limt sammen av flere tynnere bjelker (limtre). I noen tilfeller er bjelken limt sammen slik at den har formen som en HE- eller IPE-bjelke (til høyre). Det siste gjøres for å kombinere høy styrke, liten vekt og en billigere bjelke.



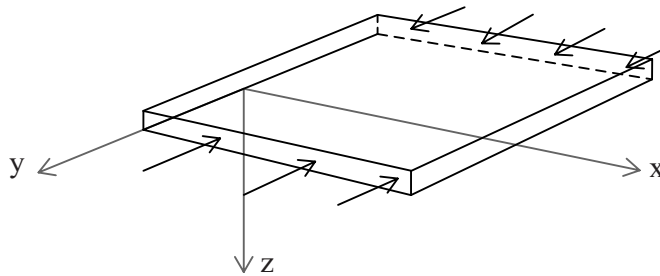
Figur 0.8 Bjelketverrsnitt

Figur 0.9 viser noen støpte betongbjelker. Disse er nesten uten unntak armerte, dvs. at de har innlagt armeringsstål i bjelkens lengderetning. Dette gjøres for å øke betongsøylenes evne til å tåle strekkbelastninger.



Figur 0.9 Betongelementer (© Nor Element)

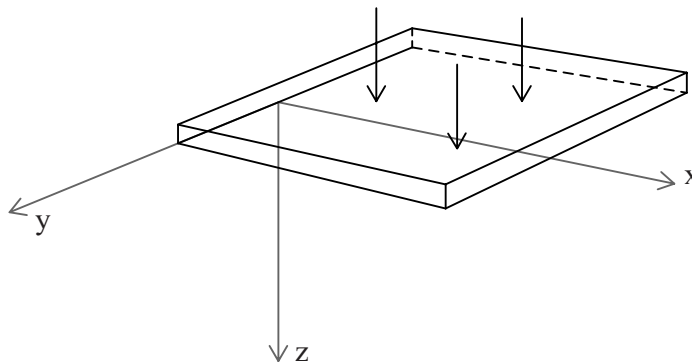
Heller ikke på plater, skiver og skall er det noen forskjell geometrisk. Alle tre kan betraktes som et todimensjonalt konstruksjonselement med liten tykkelse (dimensjon i z -retning) i forhold til størrelsene i de to akseretningene, se figur 0.10.



Figur 0.10 Skiveelement med typisk belastning

Skiver er karakterisert ved at belastningen virker i skivens plan (her x - y -planet). Skiver brukes som et avstivningselement i f.eks. høyhus. På bjelker med høye steg betraktes steget som en skive ved dimensjonering. Skiver betegnes også ofte som membranelementer.

Som nevnt er geometrien til en plate lik skivens. Forskjellen ligger i belastningen, og dermed i metoden for å beregne disse.



Figur 0.11 Plateelement med typisk laterallast