Kolbein Bell



DIMENSJONERING AV TREKONSTRUKSJONER

FAGBOKFORLAGET

Om gjerast skal, skal det gjerast vel

Fritt etter *Philip Stanhope*

Kolbein Bell

Dimensjonering av

TREKONSTRUKSJONER

FAGBOKFORLAGET

Copyright © 2019 by
Vigmostad & Bjørke AS
All Rights Reserved

1. utgave / 1. oppglag 2017

ISBN: 978-82-450-3046-4
ISBN (trykt): 978-82-450-2212-4

Tilrettelagt for e-bok: John Grieg, Bergen

Forsidedesign: Forfatteren
Forsidebilde: Forfatteren (Tynset bru, 2003)
Sats: Forfatteren

Utdrag fra Norsk standard NS-EN 14080 gjengis i tabellform.

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 eksemplarfremstilling
bare tillatt når det er hjemlet i lov eller avtale med Kopinor.

Forord

Det finnes sikkert personer som har bedre forutsetninger enn meg for å skrive en lærebok om trekonstruksjoner på norsk, men som pensjonist har jeg kanskje mer tid. Min bakgrunn er konstruksjonsmekanikk, og det preger nok i noen grad boken. Bortsett fra litt fusking i faget, som hobbysnekker gjennom en årrekke, var min CV syltynn på tre da jeg, som en midlertidig løsning, ble spurt om å ta over undervisningsansvaret for faget Trekonstruksjoner ved NTH, da Petter Aune valgte å pensjonere seg, for godt og vel 20 år siden.

Jeg takket ja, og den midlertidige løsningen fortsatte i ca. 10 år. I løpet av disse årene arbeidet jeg mer og mer med tre. Jeg kom med i standardarbeide, ble medlem av "trestandardkomiteen", og der er jeg fortsatt. Gjennom dette engasjementet har jeg fulgt arbeidet med den europeiske trestandarden – Eurokode 5 – på nært hold. Jeg utarbeidet flere forelesningsnotater og deltok i diverse praktiske prosjekter, og i hele perioden frem til nå har jeg hatt et nært og godt samarbeid med viktige aktører i "trebransjen".

Jeg er entusiast, men ikke fanatiker. For meg er det ikke tre for "alle penga", men riktig brukt, gjerne i kombinasjon med andre materialer, mener jeg at tre har et stort potensial som konstruksjonsmateriale.

Boken dekker mange tema. Noen kapitler er basert på ting jeg har skrevet tidligere og har således vært gjennom en viss kvalitetssikring. Andre kapitler omhandler emner hvor jeg selv har lite å fare med, og hvor jeg baserer meg på diverse anerkjente kilder. Disse kapitlene burde nok ha vært saumfart av eksperter, men tiden har vært en faktor her, og dermed står jeg alene ansvarlig for innholdet også i disse kapitlene.

Jeg har mange å takke for gode diskusjoner og innspill, først og fremst Petter Aune som "guidet" meg inn i trekonstruksjonens verden, og dagens "tre-professor" ved NTNU, Kjell Arne Malo. Min pensjonistkollega Per Kristian Larsen har også bidratt med nyttige synspunkter. Jeg har hatt et langt og godt samarbeid med Åge Holmestad som, gjennom sitt virke i Moelven Limtre, har betydd mer for trekonstruksjonen i dette landet enn noen andre jeg kjenner. Jeg vil også takke hans kollega, Harald Liven, som jeg har lent meg på i mange spørsmål knyttet til limtre. Erik Åsheim, og hans arbeidsplass, Norsk Treteknisk Institutt, har alltid vist stor velvilje overfor forespørsler av alle slag knyttet til tre.

Takk også til mine kolleger i "trestandardkomiteen", Nils Ivar Bovim, Tormod Dyken, og Håvard Thorsrud, som alle har vært gode "sparringpartnere". Rune Abrahamsen, som nå leder Moelven Limtre AS, og som var min første student som utførte sin hovedoppgave på et "tre-konstruksjons-problem", har velvillig stilt flere bilder til disposisjon, og han

har brakt mange interessante problemstillinger på banen gjennom sin aktive deltakelse i en rekke spennende og nyskapende tre-prosjekter.

Jeg vil også rette en takk til min redaktør, Lasse Postmyr, som nå har fulgt meg "gjennom" fem bøker og tre forlag.

Sist, men ikke minst, en stor takk til min kone Janet, som ikke bare lar meg holde på med mine skriverier – som stjeler både kvelder og helger – men som også leser korrektur (og arresterer meg) på et stoff som ligger langt utenfor hennes interessefelt.

På tross av iherdig innsats finnes det helt sikkert både feil, uklarheter og mangler i boken. Jeg vil sette stor pris på å bli gjort oppmerksom på alle forhold som kan gjøre boken bedre.

Kolbein Bell
Januar 2017

kolbein.bell@ntnu.no

Innhold

Forord **v**

Symboler og forkortelser **xv**

1. INNLEDNING **1**

2. LOVER OG REGELVERK – Dimensjoneringsprinsipper **11**

2.1 Lovverkets oppbygging 11

2.2 Eurokodene – organisering 13

2.3 Eurokodene – en vurdering 17

2.4 Eurokode 5 – status 19

2.5 Eurokodenes dimensjoneringsfilosofi 21

2.6 Pålitelighet og kontroll 25

2.7 Forkortelser 27

2.8 Referanser 27

3. TRE – hva, hvor og hvorfor **29**

3.1 Hvorfor tre – miljøaspektet 29

3.2 Forekomst, bruk og forvaltning 33

3.3 Typer av tre – treslag 35

3.4 Treets oppbygging 37

3.5 Virkesfeil 41

3.6 Referanser 45

4. TRE SOM KONSTRUKSJONSMATERIALE **49**

4.1 Innledning 49

4.2 Tre og fuktighet 51

4.3 Densitet 57

4.4 Fasthet og stivhet 59

4.5 Styrkeklasser – styrkesortering 63

4.6 Langtidseffekter – kryp 73

4.7 Virkningen av fuktighet på fasthet og stivhet 77

4.8 Tre og temperatur 81

4.9 Volumeffekter 83

4.10 Dimensjonerende fasthet og stivhet 87

4.11 Fiberhelning og bruddkriterier 89

4.12 Sammendrag 93

4.13 Referanser 95

5. BEARBEIDET TRE **97**

5.1 Limtre 97

5.2 Massivtre – CLT 113

5.3 Trebaserte plater 117

5.4 Referanser 127

6. LASTER OG LASTKOMBINASJONER **129**

6.1 Generelt 129

6.2 Last- og kombinasjonsfaktorer 131

6.3 Lastkombinasjoner – bruddgrensetilstand 135

6.4 Lastkombinasjoner – bruksgrensetilstand 137

6.5 Referanser 139

7. ENKLE SPENNINGSTILSTANDER **141**

7.1 Strekk parallelt med fiberretningen 141

7.2 Strekk tvers på fiberretningen 143

7.3 Trykk parallelt med fiberretningen 143
7.4 Trykk normalt på fiberretningen 143
7.5 Bøyning 149
7.6 Skjær 155
7.7 Torsjon 159
7.8 Trykkspenninger på en skrå flate 161
7.9 Kombinert bøyning og aksialt strekk 163
7.10 Kombinert bøyning og aksialt trykk 165
7.11 Referanser 165

8. INSTABILITET – KNEKKING OG VIPPING 167
8.1 Søyler – kombinert trykk og bøyning 167
8.2 Bjelker – bøyning og kombinert bøyning og trykk 183
8.3 Reduksjon av knekklengde – avstivning 193
8.4 Referanser 197

9. SPESIELLE (LIMTRE) KOMPONENTER 199
9.1 Innledning 199
9.2 Pulttaks- og saltaksbjelker 201
9.3 Buer 217
9.4 Plankrumme bjelker – boomerangbjelker 237
9.5 Referanser 243

10. FORBINDELSER – TYPER OG VIRKEMÅTE 245
10.1 Tradisjonelle forbindelser i trekonstruksjoner 245
10.2 Mekaniske stav-type-forbindelser 247
10.3 Tømmerforbindere 249
10.4 Spikerplater 251
10.5 Limte forbindelser 255
10.6 Skruer og gjengestenger 257
10.7 Beslag 259

10.8 Referanser 259

11. BEREGNINGSGRUNNLAGET FOR STAV-TYPE FORBINDERE **261**

11.1 Innledning 261

11.2 Trevirkets karakteristiske hullkantfasthet 263

11.3 Enkel flyteleddteori for staven 263

11.4 Kapasitet for en enkelt stav – kraft i fiberretningen 267

11.5 Mer om hullkantfastheten 287

11.6 Gruppe av forbindere – avstander 289

11.7 Tau-effekten 295

11.8 Stivhet i stav-type forbindelser 295

11.9 Momentoverførende stav-type forbindelser 297

11.10 Referanser 307

12. DIMENSJONERING AV STAV-TYPE FORBINDERE **309**

12.1 Innledning – generelle bestemmelser 309

12.2 Standardens skjærkapasitet per stavforbinder 317

12.3 Spiker 325

12.4 Bolter 337

12.5 Stavdybler 351

12.6 Treskruer 359

12.7 Mer om flersnitts forbindelser 367

12.8 To spesielle skjærbrudd 373

12.9 Referanser 377

13. DIMENSJONERING AV ANDRE MEKANISKE FORBINDERE **379**

13.1 Spikerplater 379

13.2 Tømmerforbindere 385

13.3 Beslag 395

13.4 Innlimte bolter 397

13.5 En enkel tradisjonell forbindelse 397
13.6 Referanser 399

14. BRUKSGRENSETILSTAND – DEFORMASJONER OG VIBRASJONER 401

14.1 Deformasjoner i trekonstruksjoner 401
14.2 Forskyvningsberegninger etter standarden 407
14.3 Beregning av forskyvninger 413
14.4 Deformasjoner tvers på fiberretningen 421
14.5 Svingninger 425
14.6 Referanser 429

15. SAMMENSATTE KOMPONENTER OG KONSTRUKSJONER 431

15.1 Limte bjelker med steg og flens 431
15.2 Mekanisk sammensatte bjelker 441
15.3 Sammensatte søyler 447
15.4 Fagverk 449
15.5 Skivekonstruksjoner i tre 449
15.6 Referanser 455

16. AVSTIVNING 457

16.1 Generelle betraktninger 457
16.2 Global avstivning 461
16.3 Lokal avstivning 465
16.4 Gaffellagring og vipping 467
16.5 Referanser 471

17. INNSNITT OG HULL – FORSTERKNINGER 473

17.1 Innledning 473
17.2 Innsnitt i bjelker med rektangulært tverrsnitt 475
17.3 Utsparinger i bjelker med rektangulært tverrsnitt 483
17.4 Andre situasjoner som kan kreve forsterkning 493

17.5 Referanser 495

18. BRANN OG BRANNBEREGNINGER 497

18.1 Innledning 497

18.2 Tre og brann 499

18.3 Branntekniske begreper og klasser 501

18.4 Forkulling 503

18.5 Brannteknisk dimensjonering 507

18.6 Beregning av brannmotstand 509

18.7 Litt om forbindelsers brannmotstand 517

18.8 Brannbeskyttelse av trekonstruksjoner 519

18.9 Referanser 527

19. HOLDBARHET OG BESKYTTELSE 529

19.1 Innledning 529

19.2 Biologiske skadegjørere og lys 531

19.3 Naturlig holdbarhet av tre 537

19.4 Kjemisk trebeskyttelse – trykkimpregnering 541

19.5 Tremodifisering 547

19.6 Konstruktiv beskyttelse 551

19.7 Referanser 553

20. BEREGNINGER OG BEREGNINGSMODELLER 555

20.1 Forutsetninger og begreper 555

20.2 Lineær kontra ikkelineær analyse 559

20.3 Føringer i Eurokode 5 565

20.4 Bjelke-søyle system 569

20.5 Rammer 579

20.6 Fagverk 587

20.7 Buer 597

20.8 Dimensjonering basert på ikkelineære beregninger 603

20.9 Referanser 611

21. TREBRUER 613

21.1 Innledning 613

21.2 Historisk overblikk 615

21.3 Typer og størrelser 617

21.4 Konstruktive systemer 619

21.5 Brudekke 627

21.6 Forbindelser og detaljer 631

21.7 Dynamikk 637

21.8 Bestandighet, oppføring og økonomi 639

21.9 Referanser 639

22. PROSJEKTERING, DATAVERKTØY OG KONTROLL – Noen personlige betraktninger 641

22.1 Innledning 641

22.2 Feilen 643

22.3 Prosjekteringen og dens dokumentasjon 645

22.4 Bruken av dataverktøy 655

22.5 Kontroll 659

22.6 Referanser 659

Vedlegg A Litt terminologi 661

Vedlegg B Kopi av noen viktige tabeller 663

Indeks 665

Symboler og forkortelser

Symbolbruken følger i det store og hele Eurokode 5, og i standarden **NS-EN 1995-1-1** finnes en meget detaljert symbolliste. Her er listet opp hovedtrekkene i symbolbruken.

A	tverrsnittsareal
E	elastisitetsmodul
F	kraft
G	skjærmodul, permanent last
H	høyde
I	2. arealmoment
J	torsjonskonstant
K	glidemodul
L	lengde
M	moment
N	normalkraft, aksialkraft
P	ytre, konsentrert last
Q	variabel last
R	motstand, kapasitet, radius
V	skjærkraft, volum
W	motstandsmoment
a	avstand
b	bredde
d	diameter, avstand
f	materialfasthet, frekvens
g	fordelt, permanent last
h	høyde
i	treghetsradius, innsnittshelning
k	diverse koeffisienter, stivhet
l	lengde
m	masse
n	antall
q	fordelt last
r	radius
s	innbyrdes avstand
t	tykkelse
w	nedbøyning
u,v,w	forskyvningskomponenter
x,y,z	kartesiske koordinater

α	vinkel
β	vinkel
γ	vinkel, partialkoeffisient
δ	forskyvning
ε	normaltøyning
λ	slankhetsforhold, varmeutvidelseskoeffisient
ρ	densitet (massetetthet)
σ	opptredende normalspenning
τ	opptredende skjærspenning
χ	forstørrelsesfaktor, lastforhold
ψ	kombinasjonsfaktor (for laster)
ω	fuktighetsinnhold (i %)

Noen viktige indekser

c	trykk (*compression*), som i σ_c (trykkspenning)
d	dimensjonerende (*design*), som i F_d (dimensjonerende kraft)
h	hullkant, som i f_h (hullkantfasthet)
k	karakteristisk, som i f_k (karakteristisk fasthet)
m	moment, som i f_m (bøyefasthet)
t	strekk (*tension*), som i σ_t (strekkspenning)
v	skjær, som i f_v (skjærfasthet)
0	angir "i fiberretningen", som i $\sigma_{t,0}$ (strekkspenning i fb.retn.)
90	angir "perpendikulært på fiberretningen" (tvers på fb.retn.)

Noen viktige koeffisienter, med angivelse av hvor de er definert

$k_{c,y}$, $k_{c,z}$	se side 177
k_{cr}	se side 155
k_{crit}	se side 187
$k_{c,90}$	se side 145
k_{def}	se side 79
k_{dis}	se side 85
k_h	se side 84
k_l	se side 225
k_m	se side 151
k_{mod}	se side 79
k_r	se side 221
k_{shape}	se side 159
k_v	se side 475
k_{vol}	se side 85

Forkortelser

BE	Statens byggetekniske etat
CCA	*Copper – Chrome – Arsenic*
CE	*Communauté Européenne*
CEN	*Comité Européen de Normalisation*
CIB	*Conseil Internationa dû Batiment*
CLT	*Cross Laminated Timber* – krysslaminert tre
CNC	*Computerised Numerical Control*
DOL	*Duration Of Load*
EK*n*	Eurokode *n*
EN	*European Norm*
ENV	*European prestandard*
EWP	*Engineered Wood Product*
HDF	*High Density Fibreboard*
IP	IndikasjonsParameter
LVL	*Laminated Veneer Lumber*
LSL	*Laminated Strand Lumber*
LST	*Linear Strain Triangle*
MDF	*Medium Density Fibreboard*
MUF	Melamin – Urea – Formaldehyd (lim)
NA	*National Annex*
NCCI	*Non-Contradicting Complementery Information*
NS	Norsk Standard
NTR	Nordisk TrebeskyttelsesRåd
OSB	*Oriented Strand Board*
PBL	Plan- og BygningsLov
PLV	*Parallel Laminated Veneer*
PRF	fenol (Phenol) – Resorcinol – Formaldehyd (lim)
PSL	*Parallel Strand Lumber*
PUR	PolyURethan (lim)
RF	Relativ Fuktighet
SC	*Sub Committee*
SL	*Stress Level*
SLS	*Serviceability Limit State*
SSP	*Stressed Skin Panel*
TC	*Technical Committee*
ULS	*Ultimate Limit State*

1

Innledning

Litt om hensikten med og omfanget av boken. På overordnet nivå ser vi også på hva som er spesifikt for tre som byggemateriale. Vi forklarer notasjon og layout og beskriver kort hvordan boken er organisert.

Lærebok og håndbok

Boken er skrevet primært som en lærebok, men den bør også kunne fungere som en håndbok for den praktiserende ingeniør i hans/hennes omgang med det europeiske regelverket – Eurokode 5.

At Petter AUNE ikke så seg i stand til å oppdatere sine utmerkede bøker [1.1 og 1.2] ved overgangen til ny standard, har etterlatt seg et behov for en lærebok på norsk om trekonstruksjoner som tilfredsstiller gjeldende standard. Denne boken forsøker å svare på det behovet.

Prosjektering av bærende konstruksjoner er etterhvert blitt en sterkt styrt prosess, hvor et stadig voksende regelverk – de felles europeiske konstruksjonsstandardene (Eurokodene) utgjør nå til sammen ca. 6000 sider – krever både innsikt og oversikt. Mye av denne boken er således opptatt med å tolke/forklare Eurokode 5. At det for tiden foregår et omfattende arbeid med å utarbeide nye og forhåpentligvis bedre utgaver av disse standardene gjør arbeidet med en bok som dette litt spesiell. Noe vet man vil bli endret, men ikke nøyaktig til hva, og andre ting håper en skal bli justert/forbedret samtidig som det også vil komme bestemmelser på nye områder. En bok om prosjektering av bærende konstruksjoner som utgis nå, vil derfor, uavhengig av materiale, kreve overhaling om ikke så altfor mange år. Optimistene ser for seg nye versjoner av Eurokodene allerede i 2020, realistene nærmere 2022-23 og pessimistene etter 2025.

Boken er blitt mer omfattende enn planlagt. Etter som en begynner å skrive er det mer og mer stoff som gjør krav på oppmerksomhet. Hva og hvor mye en skal ta med gir seg ikke selv, og mange vil kanskje mene at det blir både for mye og for lite, alt avhengig av hva som vurderes som viktig. Noen vil nok også savne mer anvendelig informasjon om et dagsaktuelt tema som krysslaminert tre (CLT). At den informasjonen



Figur 1.1 Heddal stavkirke (foto: K. Bell)

mangler skyldes at den foreløpig er helt fraværende i standarden; den vil helt sikkert komme med i neste versjon, men inntil da må bruken av dette produktet baseres på tekniske godkjenninger fra den enkelte produsent. Heller ikke samvirke mellom tre og betong er behandlet i dagens versjon av Eurokode 5, og derfor heller ikke i boken, men også det er et tema som er på vei inn i ny versjon av standarden.

Å forklare bakgrunn og bruk av alle viktige bestemmelser i Eurokode 5 har vært et overordnet mål for utarbeidelsen av boken. På noen områder hvor standarden ikke har bestemmelser er det foreslått løsninger som har en viss forankring i faglitteratur og/eller praksis. I noen få tilfeller antydes det også alternative løsninger til standardens noe konservative krav.

I motsetning til Eurokode 5, som synes å ha en viss preferanse for manuelle beregninger, forutsetter denne boken at ingeniører, som skal prosjektere bærende konstruksjoner i tre, ikke bare har de nødvendige faglige kvalifikasjoner, men at de også har adgang til adekvate dataverktøy. Alle statiske beregninger i bokens eksempler utføres ved hjelp av dataprogram.

Tre som konstruksjonsmateriale

Frem til den industrielle revolusjon var stein og tre enerådende som byggematerialer, men etter som støpejern, stål og armert betong gjorde sine inntog avtok bruken av både stein og tre, spesielt for større konstruksjoner, og fra tidlig 1900 tall dominerte stål og betong fullstendig i byggverk som krevde ingeniørberegninger. Tre var fortsatt et viktig og mye brukt materiale, men i mindre bygg som boliger og landbruksbygg som ble oppført stort sett uten ingeniørers medvirkning.

Med bearbeidde treprodukter, som limtre og diverse plateprodukter, og utviklingen av bedre forbindelsesmidler, har tre igjen kommet på banen som et interessant materiale for større bærende konstruksjoner. Mer fokus på miljø og bærekraft favoriserer også tre, og utviklingen går nå i retning av stadig mer bruk av tre i "avanserte" konstruksjoner som krever kvalifiserte ingeniører, helt på linje med stål og betong.

Bestandighet og brann er stikkord for de vanlige innvendingene mot tre. Både våre stavkirker, se figur 1.1, og andre gamle trebygg, se figur 1.2, viser at det er fullt mulig å bygge for fremtiden med tre. Brann kan også håndteres på tilfredsstillende vis, til og med i høybygg. Men, og det vil forhåpentligvis boken vise, tre er et meget komplisert materiale, med både gode og mindre gode egenskaper. Et vellykket trebyggverk krever at en bygger på treets premisser, som igjen krever god kjennskap til hvordan dette materialet oppfører seg under vekslende forhold. Stikkord her er trevirkets ekstreme anisotropi og dets problematiske forhold til fuktighet.



Figur 1.2 Gammelt stabbur – Maihaugen (foto: K. Bell)

Layout

Bokens "layout" er litt spesiell ved at det finnes tekst bare på høyresidene; venstresidene er forbeholdt figurer og andre ting som kan støtte opp om teksten på motstående side. Dette har både fordeler og ulemper. Den største fordelen er at figurer kan plasseres nært opp til teksten de skal illustrere, og en figur kan kopieres slik at leseren slipper å bla tilbake. Ulempen er at det totalt blir noen flere sider enn strengt tatt nødvendig (det er ikke alle venstresider som er fullt utnyttet).

Ser vi bort fra sidenummereringen, som er kontinuerlig gjennom hele boken, er all nummerering kapittelvis, som figur 4.19 og ligning (11-7), hvor det første tallet angir kapittelnummer mens tall nummer to angir rekkefølgen i kapitlet. Referanser til litteratur er også kapittelvis og angis som to nummer i hakeparentes, som f.eks. [8.2], og i alle kapitler hvor det refereres til litteratur finnes det en referanseliste til slutt i kapitlet.

I forbindelse med figurene er det benyttet *farger*, mest for å klargjøre, men og for å "live opp" litt. Det er gjort et forsøk på å bruke fargene litt konsekvent, som at grønt er benyttet på det meste som har med ytre belastning å gjøre. Reaksjonskrefter er stort sett vist med rødt og indre krefter med blått. Alle ligninger som er gjengitt nøyaktig slik de står i standarden befinner seg i et lysebrunt rektangel. Et eksempel er

$$f_d = f_k \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \qquad (4\text{-}13)$$

Det finnes en god del eksempler i boken, markert med lysegrønn bakgrunn, men det finnes ingen oppgaver. For en lærebok er nok mangelen på oppgaver et minus, men gode oppgaver i et prosjekteringsemne er det vanskelig og tidkrevende å lage. Å få boken utgitt ble vurdert som viktigere enn å utarbeide oppgaver og dermed forsinke utgivelsen.

Med hensyn til symboler og begreper følger vi stort sett standarden.



Dette symbolet i venstre marg signaliserer noe som krever litt ekstra oppmerksomhet.

Organisering av stoffet

Vi starter med en oversikt over de *lover* og *regler* som styrer all byggevirksomhet i landet, og vi tar spesielt for oss de konstruksjonsrelaterte **Eurokodene**, deres filosofi, oppbygging, organisering og "drifting".

I kapittel 3 ser vi på noen overordnede grunner til å bruke tre som konstruksjonsmateriale; her står *miljøaspektet* og det faktum at tre er en *fornybar ressurs* sentralt. Vi ser også på hvordan skogen som ressurs forvaltes, lokalt og globalt, før vi sier litt om hva tre egentlig er, dvs. hvordan det er bygget opp, og hvordan vi klassifiserer trevirke som konstruksjonsmateriale.



Figur 1.3 Massiv bruk av massivtre – tre av i alt 5 (9-etasjers) blokker på Moholt studentby i Trondheim, bygd i 2016 (foto: K. Bell)

Tre som *konstruksjonsmateriale* er behandlet ganske grundig i et relativt omfattende kapittel 4. Dette dreier seg om viktig kunnskap for den som vil prosjektere bærende konstruksjoner av tre.

I kapittel 5 ser vi på *bearbeidet tre*, som limtre, massivtre (se figur 1.3) og diverse trebaserte plateprodukter. Det er kanskje først når vi tar med disse produktene at tre blir en seriøs konkurrent til stål og betong.

Kapittel 6 handler om *laster* og *lastkombinasjoner*. Det meste av stoffet gjelder for konstruksjoner i sin alminnelighet, uavhengig av materialene. Hensikten er å definere noen viktige begreper samt å beskrive hvordan Eurokodene, på overordnet nivå, håndterer usikkerheten knyttet til belastning på konstruksjoner. Spesifikt for tre er at belastningens varighet har stor betydning.

I kapittel 7 starter vi med det som er bokens egentlige anliggende, og ser på hvordan vi kontrollerer at konstruksjonskomponenter av tre som er utsatt for *enkle spenningstilstander* har tilstrekkelig kapasitet til å motstå brudd.

Kapittel 8 er viet *instabilitet*, dvs. *knekking* og *vipping*, mens kapittel 9 tar for seg de spesielle, *ikke-prismatiske limtrekomponentene* hvor det ofte oppstår spenningssituasjoner som er ugunstige for trevirke.

Forbindelsene er noe av det viktigste og vanskeligste en må håndtere ved prosjektering/dimensjonering av en trekonstruksjon. Dette reflekteres ved at hele 4 kapitler, 10, 11, 12 og 13, eller nesten 1/4 av bokens sider, er forbeholdt utforming og dimensjonering av de viktigste typer av forbindelser.

Bruksgrenstilstanden, dvs. forskyvninger og i noen grad svingninger, er tema i kapittel 14. Treets krypegenskaper og dets avhengighet av fuktighetsinnholdet, kompliserer denne tilstanden i forhold til andre materialer.

Sammensatte komponenter og konstruksjoner er behandlet i kapittel 15, mens vi ser på generell *avstivning* av konstruksjoner og komponenter i kapittel 16. Mangelfull avstivning er ofte problemet når noe går galt med en trekonstruksjon.

Kapittel 17 ser på *innsnitt* og *hull* i limtrebjelker. Hulltaking er ikke behandlet i standarden, men det forekommer ofte, og vi har derfor tatt med noen forslag fra det tyske nasjonale tillegget til standarden. Det er mye som tyder på at noe som ligner mye på dette vil bli tatt inn i neste versjon av standarden. Som er en del av denne problematikken blir også *forsterkninger* behandlet i dette kapitlet.

Brann og *brannberegninger* er et stort og viktig tema i forbindelse med trekonstruksjoner, spesielt ettersom nye funksjonsbaserte brannforskrifter tillater at det oppføres høye trehus, se figur 1.3. I kapittel 18 ser vi på hvordan vi kan beregne bæreevnen til en trekonstruksjon etter at den har vært eksponert for brann i en viss tid, samt litt om beskyttelse mot brann.



Figur 1.4 Trebru ved Nybergsund – bygd i 2005 (foto: K.M. Mathisen)

Kapittel 19 ser på de mekanismer som bryter ned trevirke, og hvordan vi med kjemiske og konstruktive virkemidler kan *beskytte treet* mot disse mekanismene.

Lastvirkningsberegninger og dermed *modellering* er en sentral del av prosjekteringen. Dette diskuteres, med støtte av eksempler og i lys av bestemmelser i Eurokode 5, i et ganske omfattende kapittel 20.

Trebrua har fått sitt eget kapittel, nummer 21. Dette fordi vi i Norge har bygget et betydelig antall vegbruer i tre i løpet av de siste 20 årene. Et eksempel er vist i Figur 1.4.

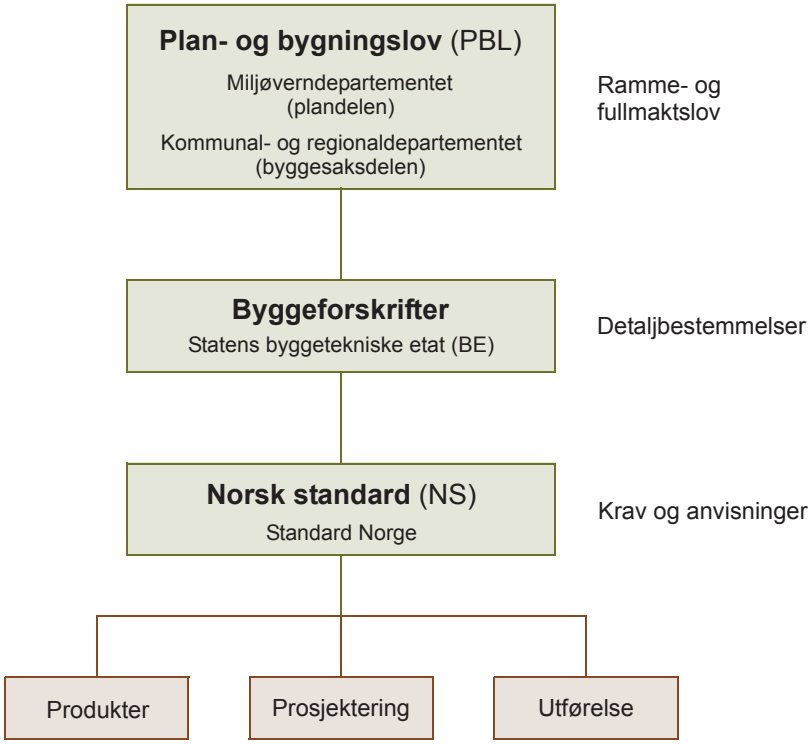
I kapittel 22, som avslutter boken, gir forfatteren, etter grundige overveielser, noen *personlige betraktninger* knyttet til prosjektering, bruk av dataverktøy og kontroll, på bakgrunn av kollapsen av Perkolo bru i februar 2016. Der gikk det meste galt, heldigvis uten alvorlige personskader. Det er litt synd å avslutte boken med en negativ hendelse, men slike vekkere kan og bør vi ta lærdom av, og slik snu det til noe positivt.

Helt til slutt er det tatt med to korte vedlegg, ett som klargjør litt "treterminologi", og ett som gjengir kopier av fire viktige tabeller. Det siste vedlegget er tatt med for at det skal være enkelt å finne disse tabellene (som en neppe går rundt og husker nummeret på).

Referanser

[1.1] P. AUNE: *Trekonstruksjoner*, del 1: Materialer – Dimensjonering – Forbindelser, Tapir forlag, Trondheim, 1992.

[1.2] P. AUNE: *Trekonstruksjoner*, del 2: Tak – Broer – Rehabilitering – Spesielle konstruksjoner, Tapir forlag, Trondheim, 1994.



Figur 2.1 Organisering av lover og regelverk

2

Lover og regelverk – dimensjoneringsprinsipper

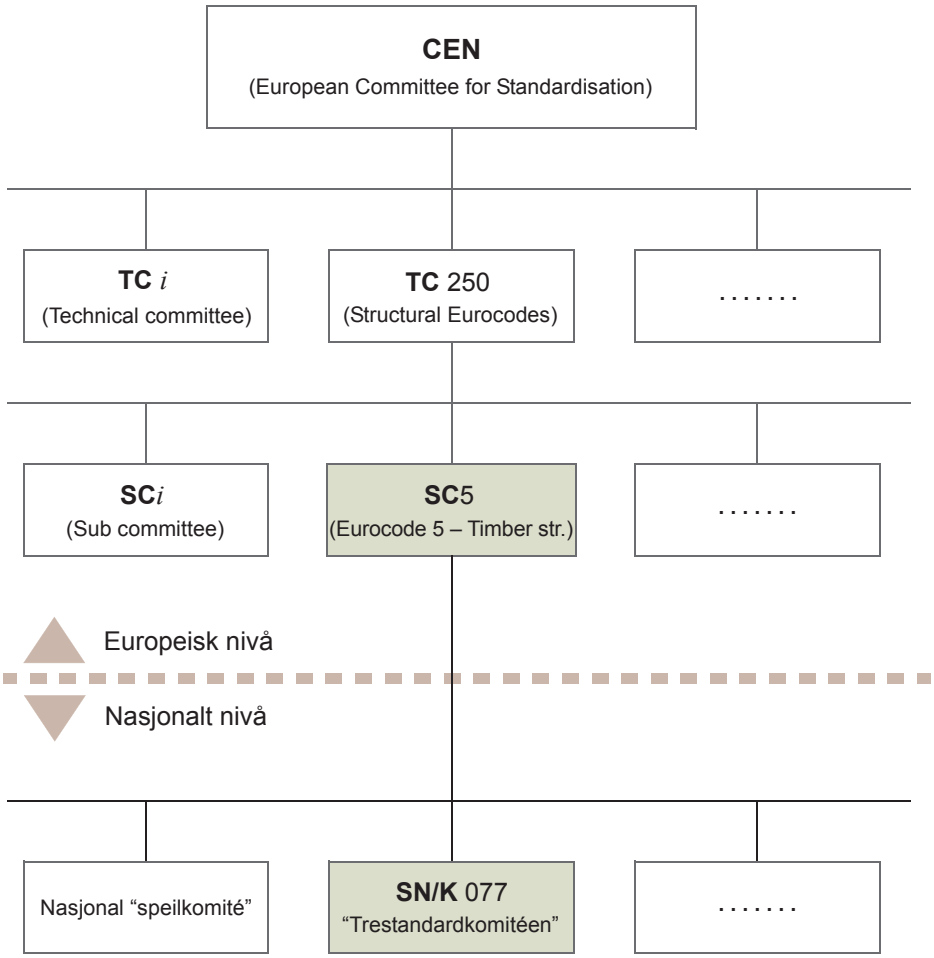
All byggevirksomhet av noen størrelse er underlagt offentlig kontroll i en eller annen form. Dette kontrollregimet er et omfattende og komplekst område som vi her bare skal omtale i store bokstaver. Hovedvekten legges på de konstruksjonsrelaterte Eurokodene og de grunnleggende prinsipper som disse standardene bygger på.

2.1 Lovverkets oppbygging

Figur 2.1 viser skjematisk hvordan lovverket knyttet til byggevirksomhet er bygget opp i Norge. På toppen av dette hierarkiet finner vi *Plan- og bygningsloven* (PBL) som er en ramme- og fullmaktslov som gjelder for planlegging av arealbruk og for byggesaksbehandling; dagens lov ble vedtatt i 2008.

Neste ledd er *Byggeforskriftene*, en samling av forskrifter som inneholder detaljbestemmesler for det aller meste som angår en byggesak. For våre formål er *Forskrift om tekniske krav til byggverk* (TEK10) det mest sentrale av dokumentene som utgjør Byggeforskriftene. Her finner en generelle funksjonskrav til materialer, konstruksjoner og bygningsdeler. Byggeforskriftene utarbeides og forvaltes av **Statens byggetekniske etat** (BE) på vegne av **Kommunal- og regionaldepartementet**. Samlet sett utgjør dagens byggeforskrifter en anselig mengde dokumenter – totalt antall sider vites ikke, men det er betydelig. Som en kuriositet kan det nevnes at byggeforskriftene av 15. desember 1949 var et lite hefte på 48 sider.

Som prosjekterende ingeniører forholder vi oss primært til det neste nivået i regelverk-hierarkiet, nemlig *Norsk standard* (NS) som omfatter regler for *produkter*, *prosjektering* og *utførelse*. Juridisk sett er NS å oppfatte som en del av PBL og TEK10 når disse henviser til Norsk standard, og for praktiske formål tilfredsstiller vi kravene i Plan- og bygningsloven og Byggeforskriftene dersom vi tilfredsstiller kravene i Norsk standard. Det er imidlertid ikke et krav at prosjekteringen skal utføres i



Figur 2.2 Organiseringen av arbeidet med Eurokodene - skjematisk oversikt

henhold til Norsk standard, men fravikes kravene i NS må det på annen måte dokumenteres at forskriftenes krav og hensikt er oppfylt.

Standardene, som utgis av **Standard Norge**, er i økende grad basert på felleseuropeiske standarder, og med hensyn til prosjektering er nå det aller meste regulert av de såkalte *Eurokodene*.

2.2 Eurokodene – organisering

Eurokodene er et sett av harmoniserte tekniske regler for prosjektering og utførelse av byggverk i den Europeiske Union, utviklet i regi av den *Europeiske komité for standardisering*, **CEN** (*Comité Européen de Normalisation*). Organiseringen av arbeidet er vist skjematisk i figur 2.2. CEN har en rekke tekniske komiteer (TC), og blant disse er det **TC 250** som har ansvaret for de konstruksjonsspesifikke standardene.

De tekniske komiteene har underkomiteer, såkalte SC (*sub-committee*). For TC 250 er det **SC5** som har ansvaret for "trestandarden" (Eurokode 5). Dette er en litt broket forsamling med et uspesifisert antall deltakere (eksperter) fra hvert av medlemslandene, dvs. alle land som er med i EU og EØS. SC5 har en formann og en sekretær, men ellers ingen faste medlemmer. På nasjonalt nivå har man de såkalte "speilkomiteene"; i Norge er det **SN/K 077**, "trestandardkomiteen", som behandler spørsmål knyttet til Eurokode 5 på vegne av Standard Norge, og det er denne komiteen som sender representanter til møtene i SC5.

For å antyde hvilket anseelig apparat som er knyttet til det europeiske standardiseringsarbeidet kan det nevnes at CEN i sine arbeidsprogrammer under direktivet *Construction Products* har 77 tekniske komiteer samt 13 andre TC'er som er nært knyttet til byggesektoren. Av de 77 tekniske komitéene har følgende fire kun ansvar for tre og trerelaterte produkter:

- CEN/TC 38: *Durability of wood and derived materials*
- CEN/TC 112: *Wood-based panels*
- CEN/TC 124: *Timber structures*
- CEN/TC 175: *Round and sawn timber*

Vi er primært interessert i konstruksjons-standardene. CEN/TC 250 ble opprettet i 1990 og tok da over et arbeid som startet på slutten av 1970 tallet. Om vi nå begrenser oss til Eurokode 5 (**EK5**) så ble det bestemt at den skulle utarbeides i tre deler, en generell del, en som omhandlet brann og en som var viet trebruer. Den første versjonen av hoveddelen,

> *ENV 1995-1-1: 1993 – Eurocode No. 5 – Design of timber structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings*

ble utgitt i 1993. Betegnelsen ENV signaliserte en *European Prestandard* som i motsetning til en **EN standard** (European Norm) tillot at nasjonale standarder med innhold som var i konflikt med ENV standarden