



SVEIN TERJE KOLSTAD OG ANDERS HOMB

# Beregning av nedbøyning til trebjelkelag. Vurdering av parametere og beregningsresultater.

Prosjektrapport 37

2009



SINTEF Byggforsk

Svein Terje Kolstad og Anders Homb

# **Beregning av nedbøyning til trebjelkelag. Vurdering av parametere og beregningsresultater.**

Prosjektrapport 37 – 2009

Prosjektrapport nr. 37  
Svein Terje Kolstad og Anders Homb  
**Beregning av nedbøyning til trebjelkelag.  
Vurdering av parametere og beregningsresultater.**

Emneord:  
Trebjelkelag, etasjeskiller, nedbøyning, beregning, vibrasjoner

Prosjektnr: B21066

ISSN 1504-6958  
ISBN 978-82-536-1090-0 (pdf)  
ISBN 978-82-536-1123-5(trykt)

60 eks. trykt av AIT AS e-dit  
Innmat: 100 g munken polar  
Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF Byggforsk 2009  
Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF Byggforsk er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.  
Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B  
Postboks 124 Blindern  
0314 OSLO  
Tlf.: 22 96 55 55  
Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

[www.sintef.no/byggforsk](http://www.sintef.no/byggforsk)

## **Samarbeidspartnere Comfort Properties**

### **Hovedsamarbeidspartnere**

Norges forskningsråd (NFR)  
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)  
Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB)  
Norske Takstolprodusenters forening  
Skogtiltaksfondet

### **Norske fagmiljøer**

Byggskolen  
Norsk Treteknisk institutt

### **Bransjepartnere**

Brendeland & Kristoffersen arkitekter  
COWI AS



# Forord

Denne prosjektrapporten omhandler gjennomgang og bruk av eksisterende beregningsprogram utviklet for å beregne nedbøyning av trebjelkelag. Dette er videre brukt for vurdering av hvor egnet programmene er for slike beregninger.

Vi ser et økt behov for å utarbeide underlag for å kunne prosjektere bjelkelag med større spennvidde enn det som til nå har vært vanlig, men også i større grad kunne differensiere løsningene avhengig av spennvidde, oppleggsbetingelser og eventuell bruk. Prosjektrapporten vil bidra som underlag for utviklingen av slike løsninger og tabeller for spennvidder.

Arbeidet i prosjektrapporten er utført innenfor arbeidspakke *WP-D: Analytical Modelling*. Dette er en del av et NFR-støttet prosjekt for Kompetanseoppbygging Med Brukermedvirkning (KMB) med tittel: *Comfort Properties of timber floor constructions*.

Prosjektets overordnede mål er å utvikle metoder og kunnskap knyttet til utvikling og prosjektering av golvkonstruksjoner i tre med økt spennvidde sammenlignet med vanlige, eksisterende løsninger. Faglig utvikling omhandler vibrasjonsegenskaper til etasjeskillere med menneskelig aktivitet og vanlige vibrasjonskilder for relevante bygningskategorier. Det er et delmål å utvikle beregningsmetode og målemetode som er anvendelig for dette formålet og utvikle kunnskap om hvordan man kan øke dempingen i slike konstruksjoner. For treindustrien vil økte spennvidder medføre at trekonstruksjoner blir mer konkurransedyktige sammenlignet med for eksempel betong- og stålkonstruksjoner. For industrien kan dette medføre et konkurransefortrinn, industrialisering og eventuelt nye produkter. Dette vil derfor også gi et bidrag til utvikling av verdikjeden ”fra skog til produkt”.

Prosjektet er et viktig ledd i arbeidet med å utvikle og revidere anvisninger i Byggforskserien og som underlag for å utarbeide produktdokumentasjon i tekniske godkjenninger og sertifiseringer. Prosjektet ledes av SINTEF Byggforsk og gjennomføres i samarbeid med Norges forskningsråd, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB), Norske Takstolprodusenters forening, Skogprogrammet, samt andre fagmiljøer og aktører i BAE-sektoren som arbeider med slike golvkonstruksjoner. Prosjektet, som ble igangsatt i 2006 og vil pågå fram til utgangen av år 2009, består av i alt 5 arbeidspakker.

Takk til Tore Henrik Erichsen som har vært ansvarlig for kvalitetskontroll av denne rapporten. En takk også til Nils Ivar Bovim for nyttige innspill.

Trondheim, desember 2009

Svein Terje Kolstad, Anders Homb  
SINTEF Byggforsk

# Innhold

<b>Forord</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Innledning</b> .....	<b>5</b>
1.1 Bakgrunn.....	5
1.2 Formål og omfang.....	5
<b>2. Gjennomgang av beregningsmetoder og grunnlag</b> .....	<b>6</b>
2.1 Nedbøyning ved punktlast som kriterium.....	6
2.2 Beregningsprogrammer.....	7
2.3 Gjennomgang av BTAB.....	8
2.3.1 Generell beskrivelse av BTAB.....	8
2.3.2 Parametere i BTAB.....	8
2.3.3 Brukervennlighet.....	10
2.4 Gjennomgang av KAN.....	10
2.4.1 Generell beskrivelse av KAN.....	10
2.4.2 Parametere i KAN.....	11
2.4.3 Brukervennlighet.....	12
2.5 Masteroppgave.....	12
2.6 Tresving.....	12
2.6.1 Generell beskrivelse av Tresving.....	12
2.7 Konstruksjonseksempler.....	13
2.7.1 Definisjoner.....	13
2.7.2 Definisjon av konstruksjonseksempler.....	13
<b>3. BTAB, Beregninger og vurderinger</b> .....	<b>14</b>
3.1 Beregning for konstruksjonseksempler.....	14
3.2 Effekt av parametere.....	15
3.2.1 Forbindelse mellom undergulv og bjelker.....	15
3.2.2 Innspenning av bjelkeender.....	16
3.2.3 Bredde på bjelkelag.....	16
3.2.4 Tverravstiving/himling.....	18
<b>4. KAN, Beregninger og vurderinger</b> .....	<b>21</b>
4.1 Beregning for konstruksjonseksempler.....	21
4.2 Effekt av parametere.....	21
4.2.1 Forbindelse mellom undergulv og bjelker.....	21
4.2.2 Innspenning av bjelke-ender.....	22
4.2.3 Bredde på bjelkelag.....	22
4.2.4 Tverravstiving/himling.....	22
<b>5. Sammenligning av beregningsresultater</b> .....	<b>25</b>
5.1 Sammenligning for konstruksjonseksempler.....	25
5.2 Sammenligning for effekt av parametere.....	26
5.2.1 Forbindelse mellom undergulv og bjelker.....	26
5.2.2 Tverravstiving.....	26
<b>6. Oppsummering og konklusjoner</b> .....	<b>29</b>
<b>7. Referanser</b> .....	<b>30</b>
<b>Appendiks A</b> .....	<b>31</b>

# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn

I dag blir vibrasjonsegenskapene til trebjelkelag i beboelsesrom vurdert på forskjellige måter rundt omkring i verden. En vanlig metode som benyttes som substitutt er krav til maksimal nedbøyning av bjelkelaget under en gitt punktlast. Andre benyttede vurderingskriterier er laveste egenfrekvens til bjelkelaget eller maksimal impulshastighet. Kombinasjon av disse parametrene har også blitt benyttet.

I Norge er bjelkelagstabellene som Norges byggforskningsinstitutt, NBI/Byggforsk (nå SINTEF Byggforsk) har utarbeidet, så langt bare vært basert på begrensning av nedbøyning under punktlast, se for eks. NBI (1997). Dette har sitt opprinnelige utspring i arbeider utført av Hansen (1958), hvor det ble gjennomført både målinger av egenskaper til bjelkelagene og undersøkelser av menneskers subjektive oppfatninger av bjelkelagets komfort. Arbeidet ble basert på bjelkelag med en maksimal spennvidde på omkring 4 m. Siden nedbøyning kun er en av flere viktige parametere, har man ikke hatt underlag til å anbefale vesentlig lengre spennvidder.

Da nedbøyning antagelig vil være en parameter for å vurdere trebjelkelag også i fremtiden, er det viktig at slike beregninger kan gjøres på en effektiv måte og med pålitelige resultater.

## 1.2 Formål og omfang

Arbeidet med gjennomgang av eksisterende beregningsprogrammer for nedbøyning av trebjelkelag inngår i delprosjektet *Analytical Modelling* i prosjektet *Comfort Properties*.

Formålet er å vurdere hvor gode eksisterende beregningsprogrammene er til å bestemme nedbøyning for trebjelkelag. Vurderingen er basert på gjennomgang av programmene, hvilke parametere programmene tar hensyn til og hva effektene av disse er. Videre er programmene benyttet til beregning og sammenligning av resultater for konstruksjonseksempler utført i laboratorium.

## 2. Gjennomgang av beregningsmetoder og grunnlag

### 2.1 Nedbøyning ved punktlast som kriterium

Historisk har det helt fra 1800-tallet vært utarbeidet bjelkelagstabeller hvor man delvis har beregnet nedbøyning ved jevnt fordelt last eller punktlast på etasjeskillere. Jevnt fordelt last har blitt mye benyttet opp gjennom tidene. Sannsynlig forklaring på dette er at man ville ta hensyn til overgolvs lastfordelende virkning, noe som er mer komplisert med punktlast. Hansen (1958) gjeninnførte bruken av nedbøyning under punktlast som kriterium. I dette forskningsarbeidet undersøkte man hvordan ulike bjelkelag subjektivt ble bedømt av forsøkspersoner. Resultatene fra disse arbeidene viste også god overensstemmelse med tilsvarende amerikanske forsøk. Som punktlast hadde man valgt å bruke 100 kg med måling av maksimal nedbøyning på bjelke midt i spennvidden. Disse resultatene dannet grunnlaget for NBI sine bjelkelagstabeller i nærmere 40 år. Krav til stivheten av et bjelkelag begrunnes ut fra både estetiske krav, praktiske krav, unngå sprekkdannelse og lignende, og ikke minst tolererbare rystelser.

Krav til maksimal nedbøyning ble introdusert i norske byggeforskrifter i 1967, men når forskriftene ble revidert i 1985 ble dette kravet utelatt, og isteden erstattet med et generelt funksjonskrav knyttet til vibrasjoner. Prinsippet har imidlertid blitt videreført av NBI, og bjelkelagstabeller som er gitt i Byggforskserien, NBI (1997), baserer seg fortsatt på nedbøyning under punktlast som kriterium.

Krav til statisk stivhet av golvkonstruksjoner er også gitt i andre nasjonale standarder og anvisninger, for eksempel Sverige og Canada. Tabell 2.1 viser en oversikt over noen anbefalte grenseverdier fra ulike institusjoner. Nedbøyning under 1 kN punktlast benyttes også som kriterium i kombinasjon med andre parametere.

Tabell 2.1

Anbefalte grenseverdier for nedbøyning til trebjelkelag

Nasjon / metode	Maksimal nedbøyning $\delta$ <sup>1)</sup> (mm)
<b>Norge</b>	
- Byggeforskrift til 1985 og NBI (1997) anbefaling: Teoretisk beregnet / målt i ferdig bygg	1.3 / 0.9
- NBI (1997) anbefaling "høy stivhet" fra 1997: Teoretisk beregnet / målt i ferdig bygg	0.9 / 0.67
<b>Kanada, CWC (1997): Teoretisk beregnet</b>	
- Spennvidde, $L < 3$ m	2.0 8
- Spennvidde, $L = 3$ m til 5.5 m	$L^{1.3}$
- Spennvidde, $L = 5.5$ m til 9.9 m	$\frac{2.55}{L^{0.63}}$
- Spennvidde, $L > 9.9$ m	0.6
<b>Finland, Toratti &amp; Talja (2006): Teoretisk beregnet</b>	
- Vibrasjonsklasse C, global nedbøyning når $f_0 > 10$ Hz	0.5
- Vibrasjonsklasse C, lokal nedbøyning <sup>2)</sup>	0.5

1) I mykest punkt med en punktlast på 1 kN.

2) Deformasjon knyttet til overgolv, flytende eller oppbygd golv. Spesifisert målepunkt.

## 2.2 Beregningsprogrammer

De programmene som er vurdert med hensyn på beregning av nedbøyning for trebjelkelag under punktlast er følgende:

- BTAB, Beregningsprogram utviklet av NBI, se Megård & Hansteen (1958).
- AIII-design method-v8.xls, Beregningsprogram utviklet etter kanadisk metode av Forintek Canada Corp, ref. Hu (2007). Metoden og programmet er heretter kalt KAN.
- TRESVING, Beregningsprogram utviklet av JJJConsult, ref. Jensen (2006).

I tillegg er et regneark utarbeidet av Øyvind Gulbrandsen i forbindelse med hans Masteroppgave, se Gulbrandsen (2007), gjennomgått.



## 2.3 Gjennomgang av BTAB

### 2.3.1 Generell beskrivelse av BTAB

Beregningsprogrammet BTAB er basert på metode beskrevet i NBI arbeidsrapport F624/5 av 24.6.1970 "Beregning av nedbøyning for trebjelkelag", ref. Megård & Hansteen (1958).

Programmet beregner nedbøyninger av trebjelkelag. Nedbøyningene beregnes midt på hver bjelke for et bjelkelag med en punktlast midt på en valgt bjelke. Eventuelt så kan maksimal tillatt lysåpning beregnes basert på et gitt nedbøyningskrav.

Metoden tar utgangspunkt i en skive- og plateteori, der platen (undergulvet) blir regnet som et skall understøttet av bjelker. Mellom platen og bjelkene er det antatt at det er en fjærende forbindelse som yter motstand mot relative bevegelser i bjelkens lengderetning.

I bjelkelagsmodellen er det brukt bjelker som er fritt opplagt ved endene. Bjelkenes bøyestivhet sideveis er neglisjert, og det er sett bort i fra torsjon av bjelkene.

Det er antatt at bjelkelaget ikke er opplagt på tverrsidene (vinkelrett på bjelkenes lengderetning).

BTAB regner at bjelkelagets teoretiske spennvidde er 0,10 m mer enn lysåpningen.

Definisjon av retninger:

- x-retning: sideveis, på tvers av bjelkeretning
- y-retning: på langs av bjelkene
- z-retning: vertikalretning

### 2.3.2 Parametere i BTAB

#### ***Bjelker***

Generelt kan bjelker i BTAB defineres ved senteravstand, høyde, aksial og bøyestivhet, eventuelt så kan rektangulære bjelker defineres ved senteravstand, tykkelse, høyde og E-modul. Det kan defineres forskjellige bjelketyper og dimensjoner for inntil sju bjelker som kan modelleres i programmet.

#### ***Plate (undergulv)***

Platen defineres ved å angi tykkelse, skivestivheter og platestivheter. Skive- og platestivhetene legges inn etter manuell beregning som tar hensyn til platens tykkelse, E-moduler (for aksial- og bøyebelastning i lengde- og tverretning), G-modul (i plateplanet) og tverrkontraksjonsfaktor  $\nu$ :

- Skivestivheter for undergulv med  $k$  lag:

$$C_x = \sum_{i=1}^k E'_{xi} \int_A dz$$

$$C_y = \sum_{i=1}^k E'_{yi} \int_A dz$$

$$C_1 = \sum_{i=1}^k E''_i \int_A dz$$

$$C_{xy} = \sum_{i=1}^k G \int_A dz$$

- Platestivheter for undergulv med k lag:

$$D_x = \sum_{i=1}^k E'_{xi} \int_A z^2 dz$$

$$D_y = \sum_{i=1}^k E'_{yi} \int_A z^2 dz$$

$$D_1 = \sum_{i=1}^k E''_i \int_A z^2 dz$$

$$D_{xy} = \sum_{i=1}^k G \int_A z^2 dz$$

$$E'_x = \frac{E_x}{1 - \nu_x \nu_y}$$

$$E'_y = \frac{E_y}{1 - \nu_x \nu_y}$$

$$E'' = \frac{\nu_y E_x}{1 - \nu_x \nu_y} = \frac{\nu_x E_y}{1 - \nu_x \nu_y}$$

$E_n$  = E-modul i retning n

G = Skjærmodul

$\nu_n$  = Tverrkontraksjonsfaktor i retning n

### **Kobling mellom plate og bjelker**

Koblingen mellom plate og bjelke regnes som en lineær elastisk fjærforbindelse (i bjelkens lengderetning) og man kan velge hvilken fjærstivhet man ønsker. Basert på prøving utført for spikret forbindelse ble gjennomsnittlig fjærstivheten funnet å være lik 200 N/mm, se Megård & Hansteen (1979). I denne testen ble det benyttet spikeravstand på 20 cm.

For limt og spikret gulv er det i samme referanse foreslått en fjærstivhet lik  $10^6$  N/mm (dvs. i praksis tilnærmet fast forbindelse).

### **Tverravstiving, himling**

BTAB tar ikke automatisk hensyn til tverravstivende elementer, men dette kan gjøres manuelt ved å øke platens skive- og platestivheter. Fjærstivheten mellom tverravstivingen og bjelkene blir dermed lik fjærstivheten mellom undergulv og bjelker.

For tverrbjelker montert vinkelrett på bærebjelkene kan bidraget fra disse tas hensyn til ved at man øker stivhetene  $C_x$  og  $D_x$ . Bidraget fra tverrbjelker blir dermed jevnt fordelt over bjelkelagets lengde, som et ekstra platelag i bjelkelagets tverretning (vinkelrett på bærebjelkene).

Bidrag fra rektangulære tverrbjelker kan beregnes slik:

- Bidrag til skivestivhet:  $C_x = \frac{E_{tv} \cdot b_{tv} \cdot h_{tv}}{cc_{tv}}$
- Bidrag til platestivhet:  $D_x = \frac{E_{tv} \cdot b_{tv} \cdot h_{tv}^3}{cc_{tv}}$

$E_{tv}$  = E-modul tverravstivere

$b_{tv}$  = bredde tverravstivere

$h_{tv}$  = høyde tverravstivere

$cc_{tv}$  = senteravstand mellom tverravstivere

Himling kan tas hensyn til ved å øke relevante skive- og platestivheter. Hvilke stivheter som er relevante å ta med må vurderes spesielt pga. himlingens diskontinuitet i skjøter.

### 2.3.3 Brukervennlighet

Programmet er relativt enkelt å bruke.

Programmet kan bli enklere å bruke ved at det i stedet for å oppgi skive- og platestivheter kan legges inn basisdata (dimensjon og stivhetsmoduler) for underguly, himling og tverravstivinger. Programmet kunne dermed regne ut skive- og platestivhetene fra disse basisdataene.

Med eksisterende brukergrensesnitt, kan det ikke legges inn stivheter for undergulv med mer enn 7 siffer, dvs. at aksialstivheten og bøyestivheten er begrenset til henholdsvis 9999999 N/mm og 9999999 Nmm. Dette er begrensende for bjelkelag med stor stivhet for undergulv. Endring av brukergrensesnitt slik at flere siffer kan legges inn burde vært gjort.

## 2.4 Gjennomgang av KAN

### 2.4.1 Generell beskrivelse av KAN

Forskningsinstituttet Forintek i Canada har utviklet et designkriterium for trebjelkelag som setter krav til forholdet mellom nedbøyning og egenfrekvens. Dette kravet er basert på menneskers subjektive opplevelse av et utvalg eksisterende gulv med ulik stivhet, der komfort er bedømt av en gruppe mennesker. I forbindelse med dette har Forintek laget en beregningsmetode og et regneark for beregning av nedbøyning og egenfrekvens til trebjelkelag. Dette er beskrevet i ”Design Guide for Wood-Framed Floor Systems”, ref. Hu (2007).

Kriteriet som blir benyttet er:

$$\frac{f_o}{\Lambda^{0.44}} > 18.7$$

$f_o$  = laveste, beregnede egenfrekvens til bjelkelaget [Hz]

$\Lambda$  = beregnet nedbøyning med 1 kN punktlast midt i spennet [mm]

Regnearket beregner derfor både nedbøyningen og egenfrekvensen for et trebjelkelag. Nedbøyningen beregnes ved en punktlast på 1 kN midt på bjelkelaget.

Metoden tar utgangspunkt i en ribbeplate-teori beskrevet av Timoshenko og Woinowsky-Krieger, som tilsvarende BTAB tar utgangspunkt i et skall understøttet av bjelker, der det er en fjærende forbindelse mellom platen og bjelkene. I regnemodellen er det antatt at bjelkelaget er fritt opplagt på alle fire sider. Resultatet er at nedbøyningen og egenfrekvens kan uttrykkes som enkle rekkeuttrykk.

Rekkeuttrykk for nedbøyningen,  $\Lambda$ , er gitt som:

$$\Lambda = \frac{4P}{ab\pi^4} \sum_{m=1}^{17} \sum_{n=1}^{33} \frac{1}{\left(\frac{m}{a}\right)^4 D_x + 4\left(\frac{mn}{ab}\right)^2 D_{xy} + \left(\frac{n}{b}\right)^4 D_y}$$

a	=	bjelkelagets spennvidde
b	=	bjelkelagets bredde, på tvers av spennvidden
P	=	punktlastens størrelse (punktlast i bjelkelagets midtpunkt)
$D_x$	=	bjelkelagets stivhet i x-retning (langs bjelkene)
$D_y$	=	bjelkelagets stivhet i y-retning (langs bjelkene)
$D_y$	=	bjelkelagets skjærstivhet og bjelkenes torsjonsstivhet

For å ta hensyn til forskjellige byggelementer (for himling og tverravstivende elementer) er det laget uttrykk og tabeller med ekvivalente verdier for systemer som er vanlig brukt i Canada. Disse er gitt både basert på rene materialdata og testing.

Bjelkelagets bredde blir i programmet satt tilnærmet lik bjelkenes spennvidde, men slik at det går opp med bjelkenes senteravstand.

Følgende elementer kan tas med i beregningen:

- Bjelker (I-bjelker, fagverksbjelker og rektangulære bjelker)
- Undergulv
- Gulv (overgulv)
- Tverravstivende elementer
- Himling

## 2.4.2 Parametere i KAN

### ***Bjelker***

Rektangulære bjelker defineres ved å angi senteravstand, bredde, høyde, E-modul, skjærmodul og masse. Når det brukes I-bjelker eller gitterbjelker defineres disse ved å angi bjelkenes senteravstand, bjelkehøyde, skjærfaktor, masse, bøyestivhet og flensenes bredde, tykkelse, E-modul og skjærmodul.

Skjærdeformasjon av bjelkene tas hensyn til ved at det kan regnes ut en ekvivalent bøyestivhet for bjelkene.

Det kan ikke brukes forskjellige bjelker i samme bjelkelag.

### ***Undergulv***

Undergulv defineres ved tykkelse, bøyestivhet i lengde- og tverr-retning, aksialstivhet i lengderetning, skjærmodul, massetetthet og avstand mellom plate-skjøter (dvs. bredden på hver undergulvsplate, målt vinkelrett på bjelkene).

### ***Gulv (overgulv)***

Gulvet defineres ved tykkelse, E-modul, skjærmodul og massetetthet. Det antas ingen samvirke mellom gulv og undergulv.

### ***Kobling mellom undergulv og bjelker***

Koblingen mellom undergulv og bjelke regnes som en lineær elastisk fjærforbindelse (i bjelkens lengderetning), og basert på gjennomgang av testdata er det gitt anbefalte stivhetsverdier. Anbefalt stivhet for spikret forbindelse er satt lik  $5 \cdot 10^6$  N/m/m og forbindelse som er både limt og spikret er satt lik  $100 \cdot 10^6$  N/m/m.

### ***Tverravstiving***

Beregningsprogrammet har mulighet til å ta med tverravstivinger av forskjellig slag, både som diskrete elementer (mellomkubbing) og som kontinuerlige elementer (strekstag, tverrbjelker). Det er oppgitt anbefalte verdier for forskjellige typer tverravstivinger som er vanlig brukt i Canada.

For mellomkubbing blir det regnet ut en ekvivalent bøyestivhet basert på rotasjonsstivheten til koblingen, dvs. det momentet som trengs for å rotere mellomkubbingen fra bjelken den er festet i. Verdier for denne rotasjonsstivheten er oppgitt for noen typer mellomkubbinger.

For strekkstag i underkant av bjelkene blir det regnet ut en ekvivalent bøyestivhet der det tas hensyn til stivheten til staget, bjelkehøyden og fjærstivheten mellom staget og bjelkene. Det er oppgitt en del inputverdier basert på laboratorieforsøk som skal brukes.

Tverravstivningen regnes plassert midt i spennet.

### **Himling**

Himling tas hensyn til på samme måte som tverravstivninger ved at det blir beregnet en bøyestivhet basert på oppgitte verdier for et ekvivalent strekkstag. Inputverdier for dette ekvivalente staget er avhengig av om himlingen er festet direkte til bjelkene eller ved nedlekting, og verdiene er oppgitt i tabell.

### **2.4.3 Brukervennlighet**

Programmet er lite brukervennlig på grunn av at input, mellomregninger og resultater ikke er separert. Brukergrensesnittet blir dermed rotete.

Pga. at alle formler er oppgitt i referansen, se Hu (2007), så kan alle lage seg et egnet beregningsprogram tilpasset sitt bruk. En del inputverdier er oppgitt for kanadiske produkter, og ved bruk av andre produkter må disse verdiene dermed estimeres. Eventuelt, kan verdier finnes ved prøving.

## **2.5 Masteroppgave**

I forbindelse med sin Masteroppgave, ref. Gulbrandsen (2007), har Øyvind Gulbrandsen laget et eget regneark som regner etter den kanadiske metoden. Regnearket er fullstendig basert på de formler som er oppgitt i den kanadiske referansen, se Hu (2007).

En del av inngangsparametrene må regnes ut på forhånd av brukeren. Dette gjør programmet fleksibelt. Man kan, som for det kanadiske beregningsprogrammet ta hensyn til alt av dekker, himlinger og stivheter, bare man vet hvordan inngangsdataene defineres.

I programmet blir det oppgitt at det for I-bjelker skal benyttes skjærmodul til stegmaterialet. Dette er ikke i henhold til det som er oppgitt i den kanadiske referansen, ref. Hu (2007).

Programmet er oversiktlig og enkelt å bruke. Utfordringen ligger i å regne ut inngangsparametrene.

## **2.6 Tresving**

### **2.6.1 Generell beskrivelse av Tresving**

Beregningsprogrammet Tresving er utviklet av JJJ Consult, og metoden er beskrevet i JJJ Consults rapport "Svingninger av trekonstruksjoner", ref. Jensen (2006).

Programmet beregner svingninger og dynamisk respons av trekonstruksjoner utsatt for dynamisk last. Regnearket kan gjøre beregninger for følgende typer konstruksjoner:

- Plate, fritt opplagt på alle fire sider
- Bjelke, fritt opplagt over et, to eller tre spenn

Resultatene av analysen er forskyvninger, svingehastigheter og akselerasjoner.

Programmet utfører en kontroll av resultatene ved å beregne statisk nedbøyning, men dette beregnes også kun for de konstruksjonene som er listet ovenfor. Programmet er ikke laget for å beregne statisk nedbøyning for trebjelkelag.

## 2.7 Konstruksjonseksempler

### 2.7.1 Definisjoner

Følgende definisjoner er brukt:

- bjelke: bærebjelke i spennets lengderetning
- tverrbjelke: kontinuerlig bjelke på tvers av bærebjelker
- nedbøyning: maksimal nedbøyning av bjelke for punktlast på 1 kN plassert midt på bjelkelaget
- lysåpning: fri lengde mellom opplager i spennets lengderetning (bjelkeretning)
- spennvidde: spennets teoretisk lengde mellom opplagerpunkter, langs bærebjelker. For bjelkelag opplagt på svill er spennvidde antatt å være 0,10 m lengre enn lysåpningen. For bjelkelag opplagt på sirkulære stålstenger er spennvidde satt lik lysåpningen.

### 2.7.2 Definisjon av konstruksjonseksempler

Konstruksjonseksemplene som er brukt til å vurdere de forskjellige beregningsprogrammene er vist i tabell nedenfor. En mer detaljerte oversikt over materialdata og forutsetninger er gitt i Appendiks A.

Det første konstruksjonseksempel, benevnt BDB, er hentet fra Byggforskeriens anvisning 522.351, se NBI (1997). Det er altså ikke et trebjelkelag som er prøvd i laboratorium. De andre fem konstruksjonseksemplene er trebjelkelag fra forsøk i laboratorium ved NBI, ref. Homb, Hveem & Gulbrandsen (1988). Betegnelse som er brukt for disse samsvarer med betegnelse brukt i referansen. Ingen av konstruksjonseksemplene har tverrbjelker.

Tabell 2.2

Konstruksjonseksempler

Betegnelse	Lysåpning	Bjelker	Undergulv	Himling
BDB	4,15 m	Heltre C30, 73 x 198 c/c 0,60 m	22 mm sponplater Spikret til bjelker	-
TL1	3,55 m	Heltre C24, 48 x 198 c/c 0,60 m	22 mm sponplater Skrudd til bjelker	-
TL2	3,55 m	Heltre, C24, 48 x 198 c/c 0,60 m	22 mm sponplater Skrudd til bjelker	12 mm sponplater Skrudd til bjelker
IL6 *	5,90 m	Ranti IB250 c/c 0,60 m	22 mm sponplater Skrudd til bjelker	-
IL8	7,10 m	Masonite H400 c/c 0,60 m	22 mm sponplater Skrudd til bjelker	-
IL9	7,10 m	Masonite H400 c/c 0,60 m	22 mm sponplater Skrudd til bjelker	12 mm sponplater Skrudd til bjelker

## 3. BTAB, Beregninger og vurderinger

### 3.1 Beregning for konstruksjonseksempler

I tabellen nedenfor er nedbøyningsresultater fra beregninger med BTAB vist sammen med målte verdier fra prøving av konstruksjonseksemplene. I tillegg er avvik mellom beregnet og målt nedbøyning gitt.

Tabell 3.1

Nedbøyning for konstruksjonseksempler

Betegnelse	Nedbøyning [mm]		Avvik	Merknad
	Målt	Beregnet		
BDB	1,33 <sup>1)</sup>	1,34	+1 %	
TL1	1,16	1,34	+16 %	
TL2	0,98	1,27	+30 %	Med himling
IL6	2,32	2,32	0 %	
IL8	1,32	1,52	+16 %	
IL9	1,03	1,43	+39 %	Med himling

<sup>1)</sup> Oppgitt verdi i NBI (1997), dvs. ikke målt.

For bjelkelag "BDB" viser beregnet nedbøyning tilnærmet samme nedbøyning som gitt i Byggforskseriens anvisning, ref. NBI (1997). Dette underbygger at programmet brukes rett i og med at det er BTAB som er brukt ved utarbeidelse av bjelkelagstabellene i anvisningen.

I beregningene er det brukt en anbefalt fjærstivhet for en spikret forbindelse mellom undergulv og bjelker, mens det i forsøkene var skrudd forbindelse. En skrudd forbindelse gir antagelig en økt fjærstivhet mellom undergulv og bjelker, men dette er ikke tatt høyde for i beregningene. Dersom vi i beregningene for konstruksjonseksempel TL1 øker fjærstivheten mellom undergulv og bjelker fra 200 til 550 N/mm, så vil beregnet nedbøyning bli lik den målte nedbøyningen, dvs. at nedbøyningen er følsom for endring i denne parameteren. Se for øvrig kapittel 3.2 vedrørende effekt av fjærstivhet.

For konstruksjonseksemplene fra prøving viser resultatene at det for bjelkelag uten himling (TL1, IL6, IL8) er relativt god overensstemmelse mellom målt og beregnet nedbøyning. Avvik er fra 0 – 16 %, dvs. at beregningene er på konservativ side. For konstruksjonseksempel IL6, som har bjelker opplagt på stålstenger, ga beregningene samme nedbøyning som målt nedbøyning. For konstruksjonseksemplene TL1 og IL8, som har bjelker opplagt på svill, ga beregningene nedbøyning 16 % større enn målt verdi. Det kan tyde på at antagelsen om at teoretisk spennvidde er 0,10 m lengre enn lysåpningen kan være noe overestimert.

For bjelkelag med himling (TL2, IL9) er avviket mellom målt og beregnet nedbøyning større, 30 – 39 %. Generelt er effekten av himling større enn det som blir tatt hensyn til i beregningene. Laboratoriemålt reduksjon i nedbøyning ved bruk av himling er mellom 16 og 22 %, mens tilsvarende beregnet reduksjon er 5 til 6 %.

For TL1 er det sett på følsomheten av å endre elastisitetsmodulen,  $E_{sp}$ , på sponplaten i undergulvet. Beregninger viser at for  $E_{sp}$  lik 2100 MPa (aksial) og 3500 MPa (bøyning) vil nedbøyningen bli

1,34 mm, men hvis  $E_{sp}$  økes til 4000 MPa (både aksial og bøyning) så vil nedbøyningen reduseres til 1,27 mm.

## 3.2 Effekt av parametere

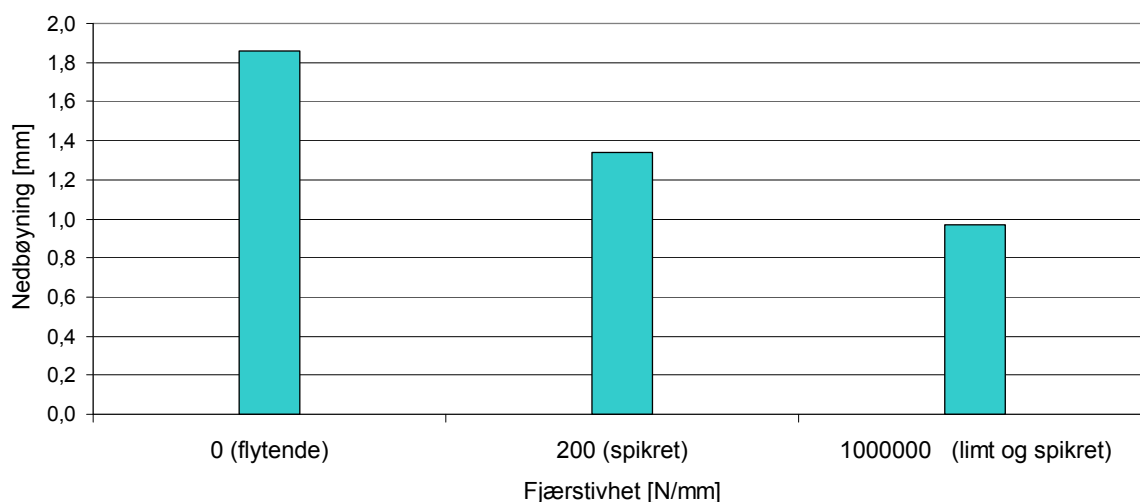
### 3.2.1 Forbindelse mellom undergulv og bjelker

Effekt av endring i fjærstivhet mellom undergulv og bjelker er undersøkt for bjelkelag TL1. Resultater er vist i tabell 3.2 og figur 3.1. For sammenligning var målt nedbøyning 1,16 mm der undergulvet var skrudd til bjelkene.

Tabell 3.2

Effekt av forbindelse mellom undergulv og bjelker, Bjelkelag TL1

Forbindelse		Nedbøyning [mm]	Merknad
Type	Fjærstivhet [N/mm]		
Spikret	200	1,34	
Limt og spikret	$10^6$	0,97	39 % mindre enn for spikret forbindelse.
Flytende undergulv	0	1,86	28 % større enn for spikret forbindelse.
	550	1,16	Fjærstivhet for å få nedbøyning lik målt verdi.



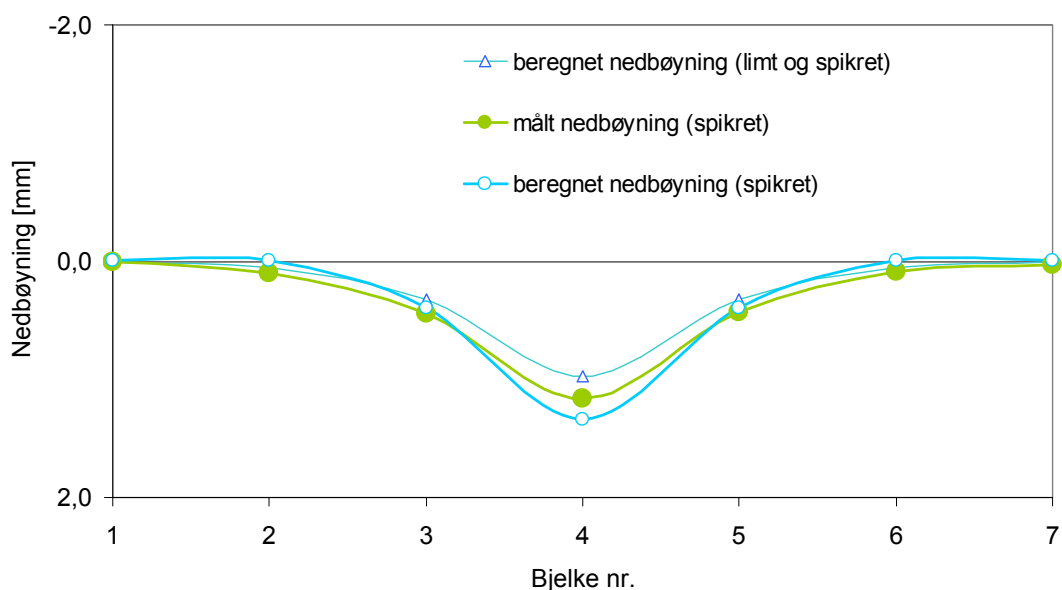
Figur 3.1.

Effekt av forbindelse mellom undergulv og bjelker

Dette viser at fjærstivheten mellom plate og bjelker har stor innvirkning på beregnet nedbøyning. Beregnet nedbøyning for bjelkelag med flytende undergulv er nesten dobbelt så stor som for bjelkelag der undergulv er limt og spikret til bjelkene.



Grafisk fremstilling av målte og beregna nedbøyninger for hver bjelke i bjelkelaget er vist i figur 3.2. Beregningsresultater er vist for både ”spikret” og ”limt og spikret” forbindelse. Som figuren viser, så er beregnet nedbøyning for ”spikret” forbindelse på midtre bjelke større enn målt nedbøyning, mens for de andre bjelkene er beregnet nedbøyning mindre enn målt verdi. For ”limt og spikret” forbindelse, så er fordelingen av de beregna nedbøyningene mer lik de målte nedbøyningene. Dette kan tyde på at stivheten mellom undergulv og bjelke var større i forsøket enn det beregningene tar med.



Figur 3.2.

Effekt av forbindelse mellom undergulv og bjelker for bjelkelag TL1. Nedbøyning av hver bjelke.

### 3.2.2 Innspenning av bjelkeender

BTAB regner kun på fritt opplagt trebjelkelag over et spenn, og har ikke mulighet for å regne innspenning ved bjelkeender.

### 3.2.3 Bredde på bjelkelag

Effekt av bredde på bjelkelag er vurdert basert på beregninger for bjelkelagseksempel TL1. TL1 bestod av 7 bjelker med senteravstand på 0,60 m og med undergulv av 22 mm sponplater. Resultat av beregninger for TL1 viser tilnærmet ingen nedbøyning på platerand, noe som stemmer godt overens med målte verdier ved laboratorieforsøkene, se figur 3.2.

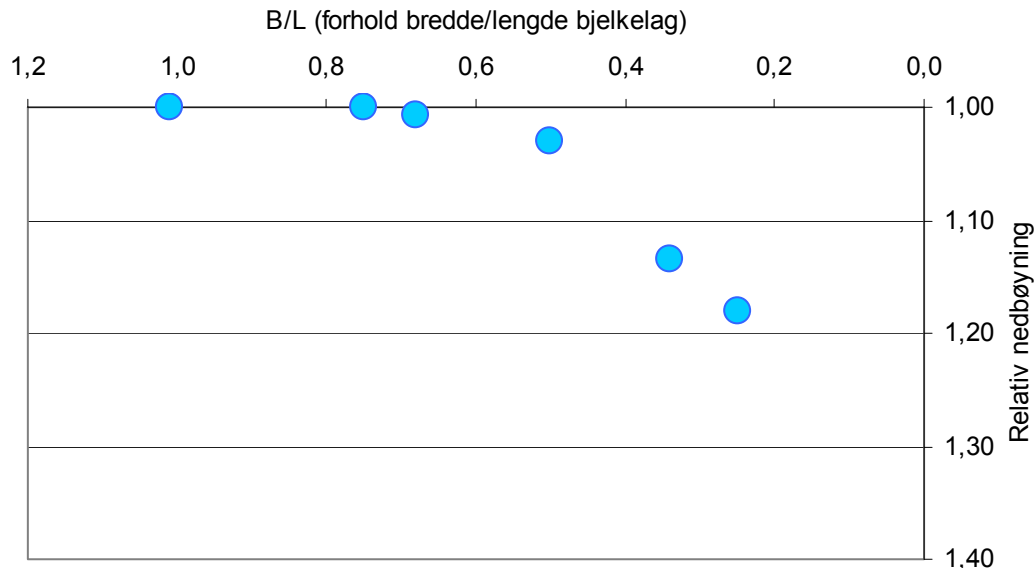
Nedbøyningsberegninger med BTAB for TL1 der antall bjelker ble redusert fra 7 til 5 og 3 bjelker er vist i tabell nedenfor. Det er også tatt med tilsvarende for samme bjelkelagstype men med økt spennvidde på 4,8 m. Det er ikke tatt hensyn til opplegg på bjelkelagets tverrsider, dvs. langs de ytre bjelkene. Ved å sammenligne resultatene, ser man at forholdet mellom bredde og lengde (bredde/lengde) må være mindre enn 50 % før det påvirker nedbøyningen i vesentlig grad. Dette er vist grafisk i figur 3.3. For en spennvidde på 4,8 m øker nedbøyningen bare med 3 % når bjelkelagsbredden reduseres fra 3,6 m til 2,4 m (tilsvarende en reduksjon fra 7 til 5 bjelker).

For bjelkelag der bjelkelagets stivhet i tverretning er større, vil nedbøyningen bli vesentlig påvirket for bjelkelag med understøttede randbjelker.

Tabell 3.3

Effekt av bredde på bjelkelag

Bjelkelag	Bredde av bjelkelag	Nedbøyning [mm]		Merknader
		Maks.	Ytre bjelker	
TL1 med lysåpning L=3,55 m	3,60 m (7 bjelker) B/L = 101 %	1,34	-0,01	
	2,40 m (5 bjelker) B/L = 68 %	1,35	-0,02	1 % større nedbøyning enn for bjelkelag med 7 bjelker
	1,20 m (3 bjelker) B/L = 34 %	1,52	0,33	13 % større nedbøyning enn for bjelkelag med 7 bjelker.
Som TL1, men med lysåpning L=4,80 m	3,60 m (7 bjelker) B/L = 75 %	2,32	-0,01	
	2,40 m (5 bjelker) B/L = 50 %	2,39	0,01	3 % større nedbøyning enn for bjelkelag med 7 bjelker
	1,20 m (3 bjelker) B/L = 25 %	2,74	1,14	18 % større nedbøyning enn for bjelkelag med 7 bjelker



1) Relativ nedbøyning er nedbøyning relativt til nedbøyning for B/L=1,00.

Figur 3.3.

Effekten av forholdet mellom bjelkelagets bredde/lengde på beregnet nedbøyning.

Dersom et bjelkelag har liten bredde og opplegg på tverrsidene (under randbjelkene) vil dette påvirke nedbøyningen midt på bjelkelaget. Dersom man skal analysere slike bjelkelag med BTAB, så kan dette gjøres ved at man for de ytre bjelkene legger inn stor bøyestivhet. Dette vil gi ubetydelig nedbøyning for de ytre bjelkene og dermed virke som et opplegg.

Effekten av opplegg på bjelkelagets tverrsider ved bruk av BTAB er vist i tabell 3.4. Det er tatt utgangspunkt i bjelkelag TL1, men med forskjellig antall bjelker og spennvidder.

Resultatene viser at tverrsideopplegg ikke påvirker nedbøyningen i vesentlig grad når bjelkelagets bredde/lengde-forhold er 50 % eller mer. Det korresponderer med resultat ovenfor, og tilsvarende så vil disse resultatene ikke gjelde for bjelkelag med stor stivhet i tverretning (for eks. ved bruk av tverrbjelker).

Tabell 3.4

Effekt av opplegg på bjelkelagets tverrsider

Bjelkelag	Bredde av bjelkelag, B	Nedbøyning [mm]			
		Uten tverrside- opplegg		Med tverrside- opplegg	
		Maks.	Ytre bjelke	Maks.	Ytre bjelke
TL1 med lysåpning 3,55 m	2,40 m, (5 bjelker), B/L=0,68	1,35	-0,02	1,34	0,00
Som TL1, men med lysåpning 4,00 m	2,40 m, (5 bjelker), B/L=0,60	1,69	-0,01	1,69	0,00
Som TL1, men med lysåpning 4,80 m	2,40 m, (5 bjelker), B/L=0,50	2,39	0,01	2,37	0,00
Som TL1, men med lysåpning 6,00 m	2,40 m, (5 bjelker), B/L=0,40	3,72	0,47	3,58	0,00

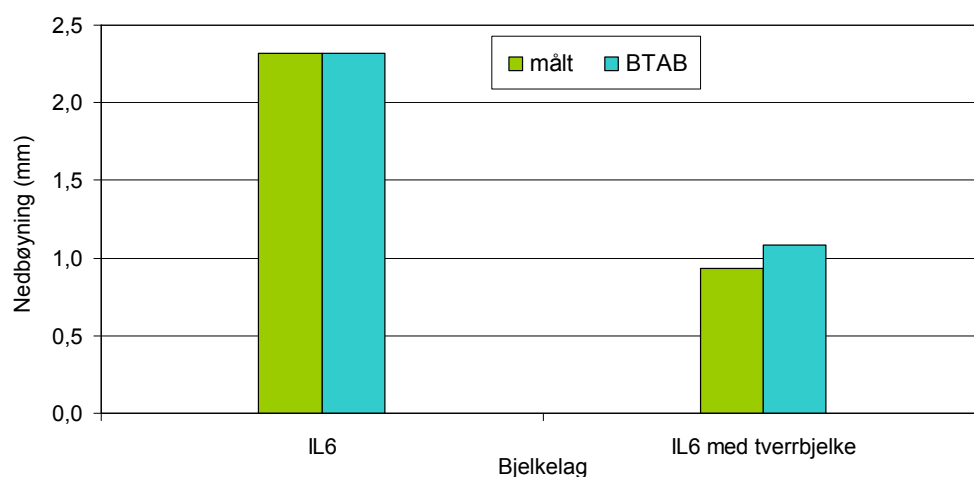
### 3.2.4 Tverravstiving/himling

Effekt av bruk av tverrbjelke er undersøkt for bjelkelag IL6 som er uten tverrbjelke og samme bjelkelag med en tverrbjelke midt i spennet av typen Ranti IB300. I BTAB legges stivheten fra tverrbjelker inn som en platestivhet jevnt fordelt over hele bjelkelagets bredde, dvs. at programmet ikke regner med en tverrbjelke plassert på midten av spennet. Det er konservativt regnet at stivheten fra tverrbjelken er jevnt fordelt over hele spennet. Resultater er vist i tabell 3.5 og figur 3.4. De beregnede nedbøyningene er funnet å være 2,32 mm uten tverrbjelke og 1,08 mm når tverrbjelken er med, dvs. en reduksjon av nedbøyningen på 53 %. Tilsvarende målte verdier er 2,32 mm uten tverrbjelke (likt med beregnet verdi) og 0,93 mm når tverrbjelken er med, dvs. en reduksjon på 58 %. Dette viser at beregningene stemmer godt overens med målte verdier.

Tabell 3.5

Effekt av tverrbjelke, Bjelkelag IL6 / IL6 med tverrbjelke

Bjelkelag		Nedbøyning [mm]		Endring p.g.a. tverrbjelke
		Uten tverrbjelke	Med tverrbjelke	
IL6	Målt verdi	2,32	0,93	-60 %
	Beregnet verdi	2,32	1,08	-58 %



Figur 3.4

Effekt av en tverrbjelke midt under bjelkelaget, Bjelkelag IL6 / IL6 med tverrbjelke

Det er også utført en beregning der den jevnt fordelte stivheten er lik det dobbelte av stivheten til tverrbjelken midt i spennet. Den beregnede nedbøyningen for dette tilfellet er funnet å være 0,95 mm, dvs. veldig nært den målte verdien på 0,93 mm. Dette viser at antagelsen av en fordelt tverrstivhet lik to ganger stivheten til en tverrbjelke midt i spennet kan være fornuftig.

Effekt av himling (12 mm sponplater) på nedbøyning av bjelkelag er vist i tabell 3.6. Tabellen viser målte nedbøyninger for bjelkelag med og uten himling, og tilsvarende er vist for beregninger utført med BTAB. I beregningene er bidrag fra himling tatt med for følgende skive- og platestivheter:  $C_x$ ,  $C_y$ ,  $C_1$ ,  $C_{xv}$ ,  $D_x$ ,  $D_y$ ,  $D_1$  og  $D_{xy}$ . Resultatene viser at målt effekt av himling er større enn det som blir beregnet ved bruk av BTAB.

Tabell 3.6

Effekt av himling.

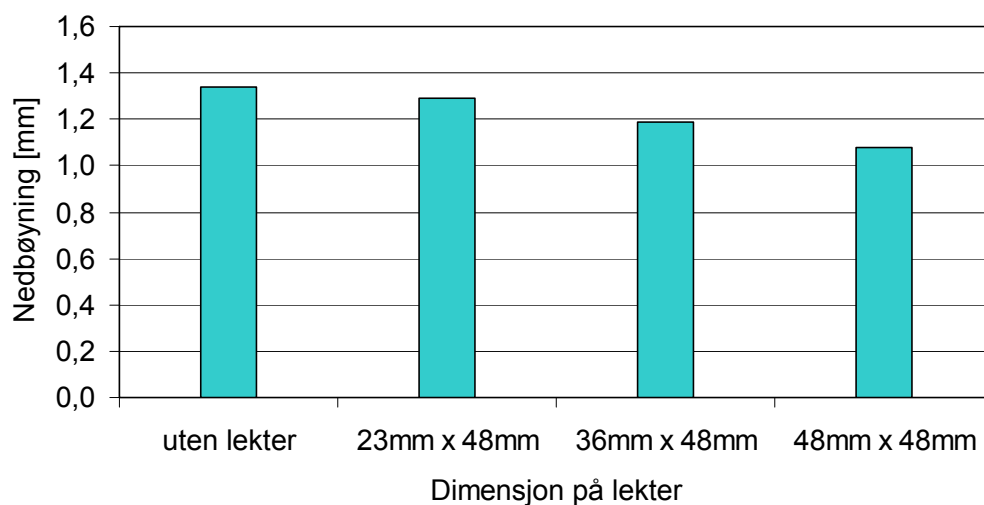
Bjelkelag		Nedbøyning [mm]		Endring p.g.a. himling
		Uten himling	Med himling	
TL1 / TL2	Målt verdi	1,16	0,98	-16 %
	Beregnet verdi	1,34	1,27	-5 %
IL8 / IL9	Målt verdi	1,32	1,03	-22 %
	Beregnet verdi	1,52	1,43	-6 %

Beregningsmessig effekt av lekter på tvers av bjelker er vist i tabell 3.7 og figur 3.5. Tabellen viser nedbøyninger for bjelkelag TL1 og med bruk av forskjellige lektedimensjoner. Resultatene viser at for lektedimensjon 48 x 48 mm med senteravstand 600 mm, så vil nedbøyningen bli redusert med 19 % (fra 1,34 mm til 1,08 mm). Lektenes tykkelse, dvs. høyden, har større betydning enn bredden for å redusere nedbøyningen. Dette skyldes tykkelsens store innvirking på den totale bøyestivheten for konstruksjonen.

Tabell 3.7

Effekt av tverrlekter under bjelker.

Bjelkelag		Nedbøyning [mm] beregnet	Endring p.g.a. tverrlekter
TL1	Uten lekter	1,34	-
	23 x 48 mm, cc 600 mm	1,29	-4 %
	36 x 48 mm, cc 600 mm	1,19	-11 %
	48 x 48 mm, cc 600 mm	1,08	-19 %



Figur 3.5

Effekt av tverrlekter under bjelker, beregnet verdi. Bjelkelag TL1

## 4. KAN, Beregninger og vurderinger

### 4.1 Beregning for konstruksjonseksempler

I tabell 4.1 er nedbøyningsresultater fra beregninger med KAN vist sammen med målte verdier fra prøving for konstruksjonseksemplene. I tillegg er avvik mellom beregnet og målt nedbøyning gitt.

Tabell 4.1

Nedbøyning for konstruksjonseksempler.

Bjelkelag betegnelse	Nedbøyning [mm]		Avvik
	Målt	Beregnet	
BDB	1,33 <sup>1)</sup>	1,36	+2 %
TL1	1,16	1,60	+38 %
TL2	0,98	1,47	+50 %
IL6	2,32	2,75	+19 %
IL8	1,32	1,90	+44 %
IL9	1,03	1,62	+57 %

<sup>1)</sup> Oppgitt verdi, ikke målt.

For bjelkelag "BDB" viser beregningsresultatet god overensstemmelse med oppgitt nedbøyning i byggedetaljbladet, se NBI (1997).

I beregningene er det brukt en anbefalt fjærstivhet for en spikret forbindelse mellom undergulv og bjelker, mens det i forsøkene var skrudd forbindelse. En skrudd forbindelse gir antagelig høyere fjærstivhet mellom undergulv og bjelker enn en spikret forbindelse, men dette er det ikke tatt høyde for i beregningene. Se for øvrig kapittel 4.2 nedenfor vedrørende effekt av fjærstivhet.

For konstruksjonseksemplene for bjelkelag uten himling (TL1, IL6, IL8) gir beregningene noe større nedbøyning enn målt i lab. Avvik er fra 19 – 44 %, d.v.s. at beregningene er på konservativt side.

For bjelkelag med himling (TL2, IL9) er avviket mellom målt og beregnet nedbøyning større, fra 50 til 57 %. Generelt er effekten av himling større enn det som tas hensyn til i beregningene.

### 4.2 Effekt av parametere

#### 4.2.1 Forbindelse mellom undergulv og bjelker

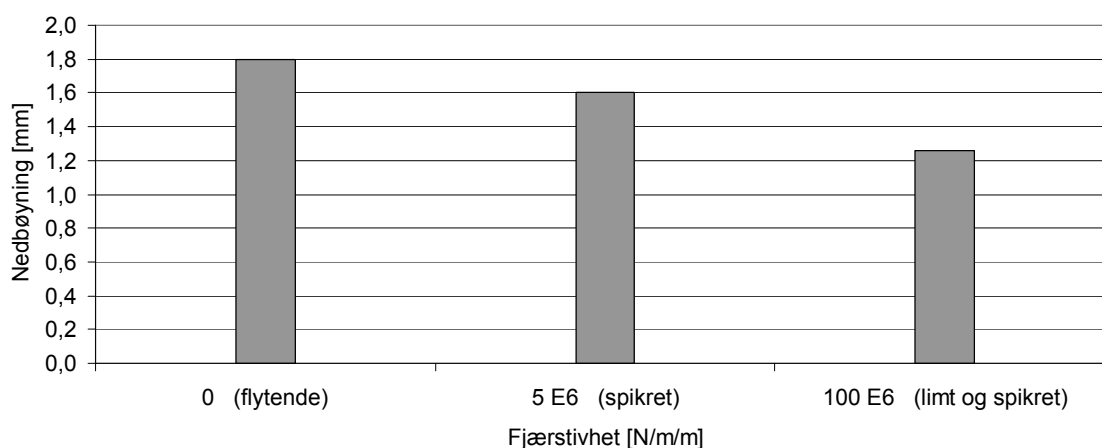
Fjærstivheten som anbefales brukt er basert på data fra tester utført for kryssfiner, OSB plater og gipsplater festet til bjelker.

Effekt av endring i fjærstivhet mellom undergulv og bjelker er sjekket for bjelkelag TL1. Resultater er vist i tabell 4.2 og figur 4.1. For sammenligning var målt nedbøyning 1,16 mm for konstruksjonseksemplet der undergulvet var skrudd til bjelkene.

Tabell 4.2

Effekt av forbindelse mellom undergulv og bjelker, Bjelkelag TL1

Forbindelse		Nedbøyning [mm] beregnet	Merknad
Type	Fjærstivhet [N/m/m]		
Spikret	$5 \cdot 10^6$	1,60	
Limt, spikret	$100 \cdot 10^6$	1,26	22 % mindre enn for spikret forbindelse.
Flytende undergulv	0	1,80	12 % mer enn for spikret forbindelse.



Figur 4.1

Effekt av forbindelse mellom undergulv og bjelker, Bjelkelag TL1, beregnet verdi.

Dette viser at fjærstivheten mellom plate og bjelker har ganske stor innvirkning på beregnet nedbøyning. Beregnet nedbøyning for bjelkelag med flytende undergulv er nesten 50 % større enn for forbindelse der undergulv er limt og spikret til bjelkene.

Men selv om fjærstivheten settes lik anbefalt verdi for både limt og spikret forbindelse, så er fortsatt beregnet nedbøyning (1,26 mm) større en målt nedbøyning i laboratorieforsøket.

#### 4.2.2 Innspenning av bjelke-ender

KAN regner kun på at trebjelkelaget er fritt opplagt på alle fire sider, og har ikke mulighet for å regne med innspenning ved bjelkeender.

#### 4.2.3 Bredder på bjelkelag

Det er en forutsetning i KAN at bredden er tilnærmet lik lengden på bjelkelaget.

#### 4.2.4 Tverravstiving/himling

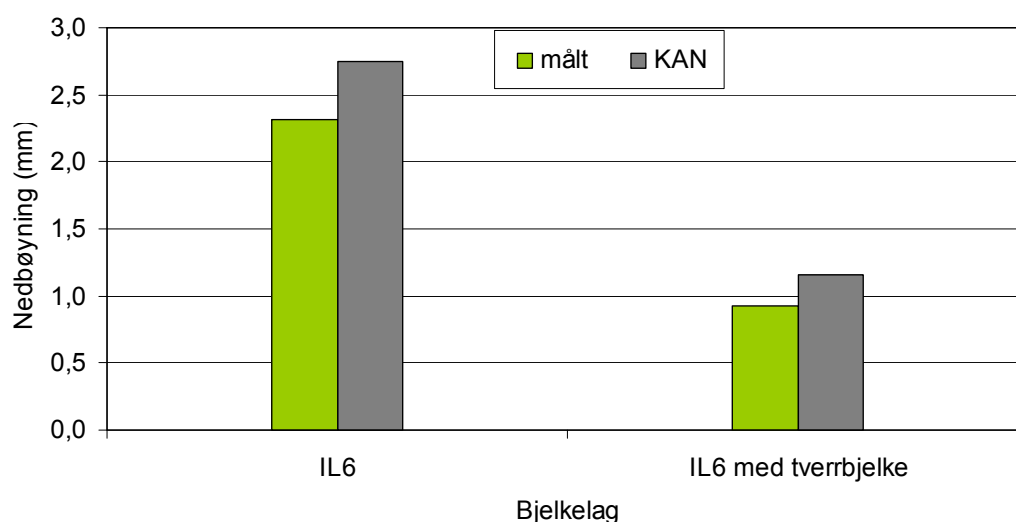
Effekt av å bruke tverrbjelke er undersøkt for bjelkelag IL6. Analyse er utført for dette bjelkelaget og for tilsvarende bjelkelag med en tverrbjelke midt i spennet av typen Ranti IB300. Resultater er vist i tabell 4.3 og figur 4.2. De beregnede nedbøyningene er funnet å være 2,75 mm uten

tverrbjelke og 1,16 mm når tverrbjelken er med, dvs. en reduksjon av nedbøyningen på 60 %. Tilsvarende målte verdier er 2,32 mm uten tverrbjelke og 0,93 mm når tverrbjelken er med, d.v.s. en reduksjon på 58 %. Dette viser at beregningene stemmer godt overens med målte verdier.

Tabell 4.3

Effekt av tverrbjelke, Bjelkelag IL6 uten og med tverrbjelke

Bjelkelag		Nedbøyning [mm]		Endring p.g.a. tverrbjelke
		Uten tverrbjelke	Med tverrbjelke	
IL6	Målt verdi	2,32	0,93	-60 %
	Beregnet verdi	2,75	1,16	-58 %



Figur 4.2

Effekt av en tverrbjelke midt under bjelkelaget, Bjelkelag IL6 / IL6 med tverrbjelke.

Effekt av himling på nedbøyning av bjelkelag er vist i tabell 4.4. Tabellen viser målte nedbøyninger for bjelkelag med og uten himling, og tilsvarende for beregninger utført med KAN. For begge eksemplene er beregnet effekt av himling mindre enn målt effekt.

Tabell 4.4

Effekt av himling, Bjelkelag TL1/TL2 og IL8/IL9

Bjelkelag		Nedbøyning [mm]		Endring p.g.a. himling
		Uten himling	Med himling	
TL1 / TL2	Målt verdi	1,16	0,98	-16 %
	Beregnet verdi	1,60	1,47	-8 %
IL8 / IL9	Målt verdi	1,32	1,03	-22 %
	Beregnet verdi	1,90	1,62	-15 %



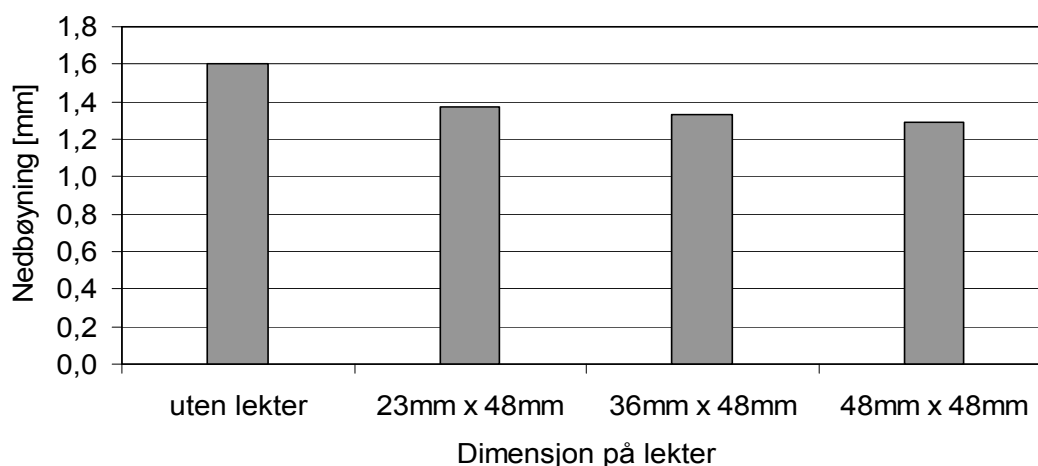
Beregningsmessig effekt av en lekt på tvers midt på bjelkelaget er vist i tabell 4.5 og figur 4.3. Tabellen viser nedbøyninger for bjelkelag TL1 og med bruk av forskjellige lektedimensjoner. Resultatene viser at for lektedimensjon 48 x 48 mm, så vil nedbøyningen bli redusert med 19 % (fra 1,60 mm til 1,29 mm).

Videre viser resultatene at nedbøyningen blir redusert med 14 % når man bruker en lekt i dimensjon 23 x 48 mm (tykkelse x bredde) midt i spennet. Men hvis lektedimensjonen økes til 48 x 48 mm (tykkelse x bredde), så gir ikke dette større tilleggsreduksjon i nedbøyningen enn 6 %. Lektedimensjonen har altså ikke så stor betydning, det vesentlige er at det er en lekt under bjelkene.

Tabell 4.5

Effekt av en lekt midt på bjelkelag, Bjelkelag TL1

Bjelkelag		Nedbøyning [mm]	Endring p.g.a. himling
TL1	Uten lekt	1,60	
	23 x 48 mm, 1 lekt midt på	1,37	-14 %
	36 x 48 mm, 1 lekt midt på	1,33	-17 %
	48 x 48 mm, 1 lekt midt på	1,29	-19 %



Figur 4.3

Beregnet effekt av en tverrlekt midt under bjelkelaget, Bjelkelag TL1.

## 5. Sammenligning av beregningsresultater

### 5.1 Sammenligning for konstruksjonseksempler

Resultatene for nedbøyning for de forskjellige bjelkelag ved bruk av BTAB og KAN er vist i tabell 5.1 og figur 5.1.

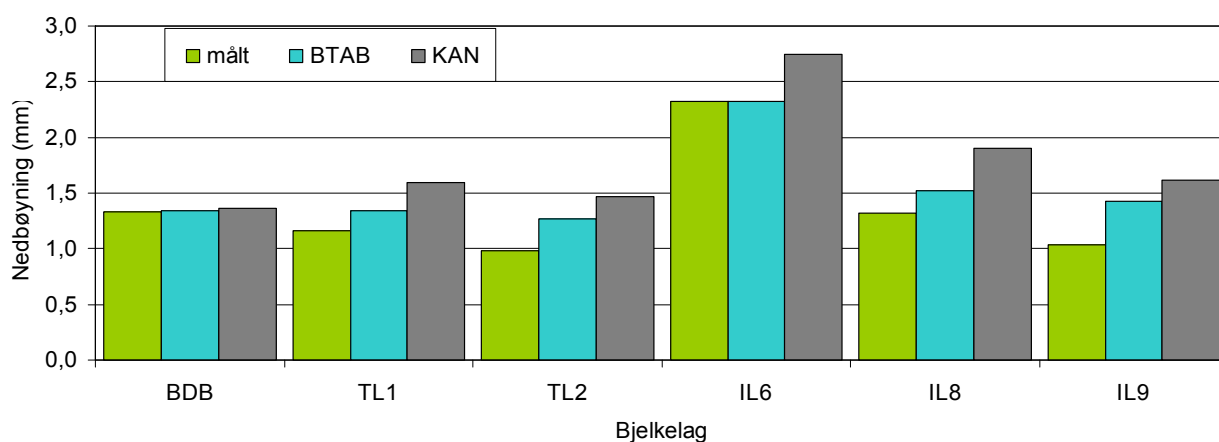
Tabell 5.1

Nedbøyning for konstruksjonseksempler

Betegnelse	Målt	Beregnet med BTAB		Beregnet med KAN	
	nedbøyning	Nedbøyning	Avvik <sup>2)</sup>	Nedbøyning	Avvik <sup>2)</sup>
	[mm]	[mm]		[mm]	
BDB	1,33 <sup>1)</sup>	1,34	+1 %	1,36	+2 %
TL1	1,16	1,34	+16 %	1,60	+38 %
TL2	0,98	1,27	+30 %	1,47	+50 %
IL6	2,32	2,32	0 %	2,75	+19 %
IL8	1,32	1,52	+16 %	1,90	+44 %
IL9	1,03	1,43	+39 %	1,62	+57 %

1) Oppgitt verdi, ikke målt.

2) Med avvik menes avvik fra målt verdi.



Figur 5.1

Nedbøyning for konstruksjonseksempler

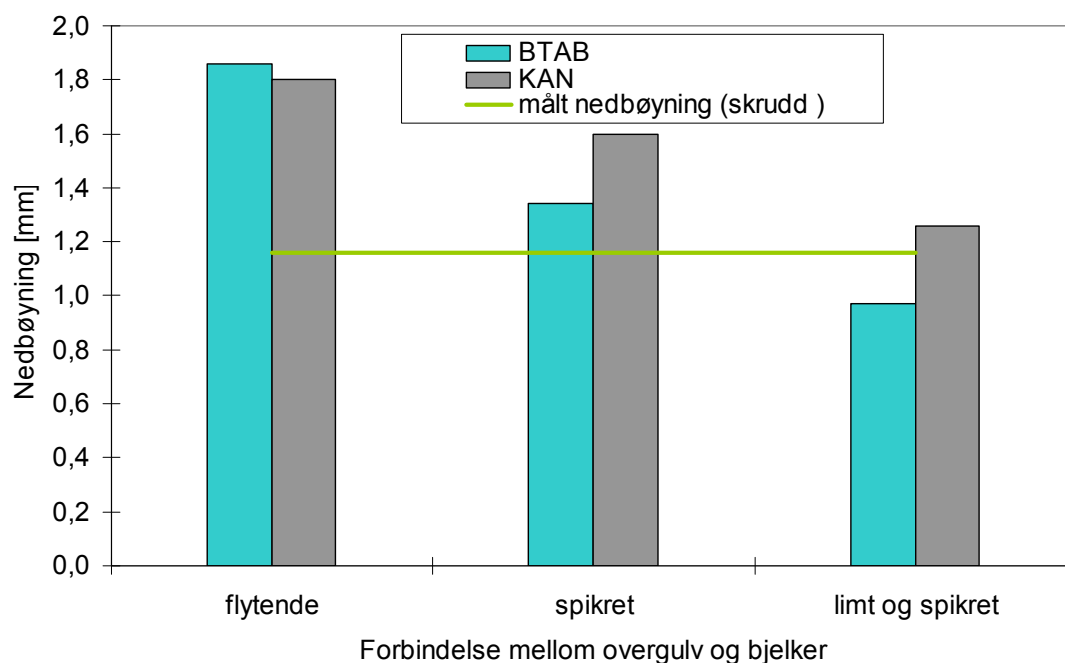
Vurdering:

- BTAB beregner nedbøyning med mindre avvik til målte verdier enn KAN. Gjennomsnittlig avvik fra målt verdi ved bruk av BTAB er 17 %, mot 35 % ved bruk av KAN.
- Både BTAB og KAN gir større nedbøyning enn det som ble målt, dvs at beregningene er på konservativ side. Dette kan skyldes at stivheter for undergulv er større enn det som er brukt i beregningene. Det kan også skyldes at fjærstivhetene mellom undergulv og bjelkene som brukes i beregningene er underestimert.
- Målt effekt av himling er større en beregnet.

## 5.2 Sammenligning for effekt av parametere

### 5.2.1 Forbindelse mellom undergulv og bjelker

Effekten av variasjon i fjærstivhet er større ved bruk av programmet BTAB enn ved bruk av KAN. Dette gjelder spesielt for reduksjon av nedbøyning fra bjelkelag med flytende undergulv til bjelkelag med undergulv spikret til bjelkene. Som vist i figur 5.2 for bjelkelag TL1, så er beregnet nedbøyning for flytende undergulv tilnærmet likt for BTAB og KAN. Men for spikret forbindelse og limt og spikret forbindelse er beregnet nedbøyning 0,3 mm mindre ved bruk av BTAB enn ved bruk av KAN.



Figur 5.2

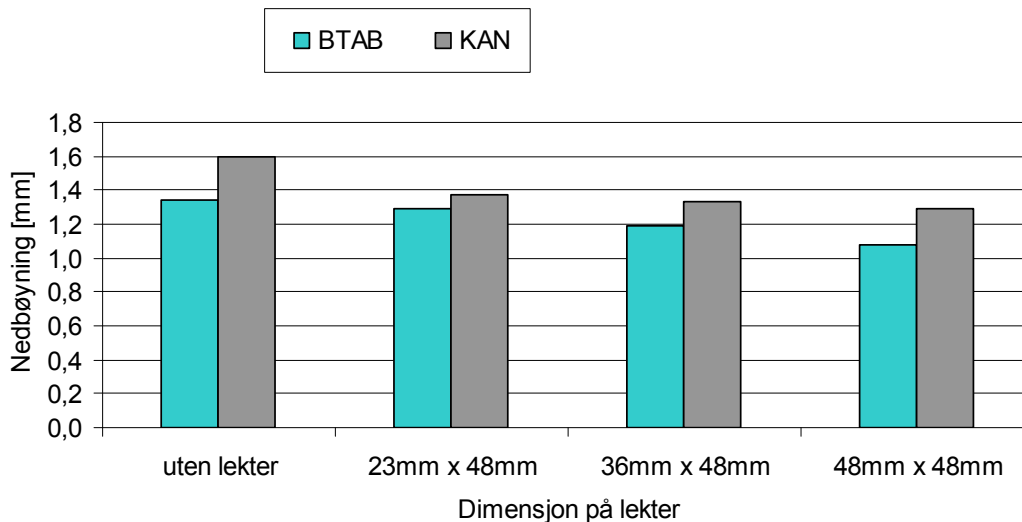
Sammenligning av metoder. Effekt av forbindelse mellom overgulv og bjelker for bjelkelag TL1.

### 5.2.2 Tverravstiving

I BTAB blir tverrlekker regnet som jevnt fordelt over spennvidden, mens KAN regner med en lekt plassert midt i spennet. I vurderingen nedenfor er beregnet nedbøyning for bjelkelag TL1 sammenlignet ved bruk av BTAB med tverrlekker med senteravstand 0,60 m mot KAN med én tverrlekt plassert midt under bjelkene.

Som figur 5.3 viser, så gir beregninger med KAN ganske stor reduksjon i nedbøyning når man bruker tverrlekker selv om lektene er små (23 mm x 48 mm). For beregninger med BTAB så er denne effekten vesentlig mindre.

Ved økende tverrlektedimensjon, så gir dette relativt liten endring av nedbøyning ved bruk av KAN, men ved bruk av BTAB så blir reduksjonen av nedbøyning større. Dette skyldes antagelig at BTAB ikke tar hensyn til rotasjon av bjelkene, mens for KAN så vil innføring av lektene redusere rotasjon av bjelkene.



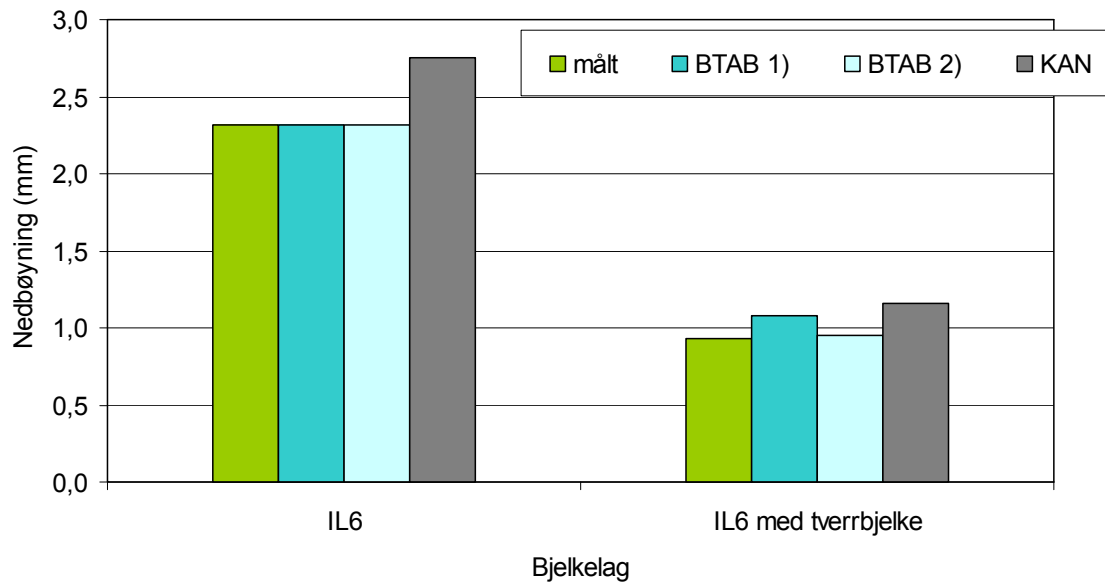
Figur 5.3

Sammenligning av metoder. Effekt av lektet basert på bjelkelag TL1.

Tilsvarende, ved bruk av tverrbjelker blir disse i KAN regnet å være plassert midt i spennet, mens BTAB regner med stivheter fra tverrbjelker jevnt fordelt over spennet. I figur 5.4 er beregnede nedbøyninger vist for konstruksjonseksempel IL6, både med og uten tverrbjelker. Nedbøyningsresultater uten og med effekt av tverrbjelke for følgende beregninger/måling er vist:

- Målt: Målte nedbøyninger fra prøving
- KAN: Beregna nedbøyning ved bruk av KAN der tverrbjelken regnes plassert midt i spenn (som målt tilfelle)
- BTAB 1): Beregna nedbøyning ved bruk av BTAB der jevnt fordelt stivhet fra tverrbjelken tilsvarer stivhet av en tverrbjelke
- BTAB 2): Beregna nedbøyning ved bruk av BTAB der jevnt fordelt stivhet fra tverrbjelken tilsvarer stivhet av to tverrbjelker

Som figur 5.4 viser, så gir beregninger med både BTAB og KAN en reduksjon i nedbøyning pga tverrbjelken som stemmer godt overens med målte verdier. Bruk av BTAB gir noe mindre nedbøyning enn ved bruk av KAN.



- 1) Jevnt fordelt tverrstivhet tilsvarende en tverrbjelke
- 2) Jevnt fordelt tverrstivhet tilsvarende to tverrbjelker

Figur 5.4

Sammenligning av metoder. Effekt av tverrbjelke midt i spenn basert på bjelkelag IL6.

## 6. Oppsummering og konklusjoner

De programmene som er vurdert og brukt for beregning av nedbøyning for trebjelkelag under punktlast er følgende:

- BTAB: Beregningsprogram utviklet av NBI
- KAN: Beregningsprogram utviklet etter kanadisk metode av Forintek Canada Corp.

I BTAB så kan det defineres forskjellige parametere og dimensjoner for inntil sju bjelker. Platen defineres ved å angi tykkelse, skivestivheter og platestivheter, og det er opp til brukeren å finne/beregne disse stivhetene ut ifra data på platen, himling, tverrbjelker etc.

I KAN defineres det kun en type bjelke i hvert bjelkelag. Det er forutsatt at bjelkelagets lengde er tilnærmet likt bjelkelagets bredde. Undergulv og overgulv defineres av fysiske parametre (tykkelse, elastisitetsmodul etc.). For himling og tverravstivinger (både som diskrete elementer som mellomkubbing og som kontinuerlige elementer som strekkstag eller tverrbjelker) er det oppgitt anbefalte verdier for forskjellige typer tverravstivinger som er vanlig brukt i Canada. Ut fra disse verdiene blir det beregnet en ekvivalent stivhet som brukes i beregningene.

For å vurdere BTAB og KAN ble beregninger utført for seks konstruksjonseksempler. Et konstruksjonseksempel ble hentet fra Byggdetaljblad 522.351. De andre fem konstruksjonseksempelene er trebjelkelag som er prøvd i laboratorium.

For alle konstruksjonseksempelene gir både BTAB og KAN nedbøyningsresultater som er konservative, dvs. at beregnet nedbøyning er større enn målt nedbøyning ved prøving. Ved bruk av BTAB er beregnede nedbøyninger fra 0 – 39 % større enn målte verdier, med et gjennomsnittlig avvik på 17 %. Tilsvarende, ved bruk av KAN er beregnede nedbøyninger fra 3 – 57 % større enn målte verdier, med et gjennomsnittlig avvik på 35 %. BTAB beregner dermed nedbøyninger med mindre avvik til målte verdier enn KAN.

For enkle trebjelkelag uten himling eller tverrbjelker, så gir beregninger med BTAB nedbøyninger med mindre avvik til målte verdier enn KAN. Beregninger med BTAB gir nedbøyninger som stemmer relativt godt med målte verdier, ved at beregnede nedbøyninger avviker mindre enn 16 % fra målte verdier. KAN gir nedbøyninger som avviker noe mer, ved at beregnede nedbøyninger avviker opptil 44 % fra målte verdier.

For trebjelkelag med tverrbjelke gir både BTAB og KAN nedbøyningsresultater som stemmer godt med målte verdier.

For trebjelkelag med himling beregner både BTAB og KAN nedbøyninger som avviker mer fra målte verdier enn det som er tilfellet for trebjelkelag med tverrbjelker. Himlingens effekt på nedbøyningen er større enn det både BTAB og KAN tar hensyn til.

For å få beregnet nedbøyning for bjelkelag med himling og tverravstivinger mer i overensstemmelse med måleresultater, så må det for BTAB utledes/defineres uttrykk for å finne bidragene til skive- og platestivheter fra disse elementene.

Hvis man ønsker å bruke KAN, så vil det være fordelaktig å finne relevante ekvivalente verdier på himlinger og tverravstivinger som er vanlig brukt her i Norge.

For både BTAB og KAN, så ville det være en forbedring om programmene kunne videreutvikles slik at de kunne regne med innspenninger ved opplegg og bjelkelag over flere (to) felt.

## 7. Referanser

- CWC (1997). Development of design procedures for vibration controlled spans using engineered wood members. *Concluding report Canadian Wood Council, DMO Associated, Quaile Engineering Ltd. and Forintek Canada Corp.* September 04, 1997.
- Edvardsen, K. I., Ramstad, T. (2007). Trehus. Håndbok 53. *Norges byggforskningsinstitutt*, 2007.
- Gulbrandsen, Ø. (2007). Vibrasjonskontroll av trebjelkelag. Sammenligning av målinger og beregninger. Masteroppgave 30 STP. *Universitetet for miljø- og biovitenskap*. Ås 2007.
- Hansen, H. (1958). Nedbøyning av trebjelkelag. *Norges Byggforskningsinstitutt NBI, Rapport No. 26*. Oslo 1958.
- Homb, A. (2007). Kriterier for opplevde vibrasjoner i etasjeskillere. Delrapport fra prosjektet ”Comfort properties of timber floor constructions”. Prosjektrapport 8 2007. *SINTEF Byggforsk*, 2007.
- Homb, A., Hveem, S. & Gulbrandsen, O. (1988). Svingninger i lette bjelkelag. *Rapport O 1375, Norges byggforskningsinstitutt for NTNU/ industigruppe* (ikke publisert). Oslo Januar 1988.
- Hu, L.J. (2007). Design Guide for Wood-Framed Floor Systems. *Report no. 32 to Canadian Forest Service*. Final Report 2006/2007. Forintek Canada Corp. 2007.
- Jensen, J. J. (2006). Svingninger av trekonstruksjoner. Rapport nr. 06-048-01. *JJJConsult*, 2006.
- Masonite Beams (2004). Engineering Manual, Performance Data, Span Tables and General Details. July 2004.
- Megård, G., Hansteen, O. E. (1978). Beregning av nedbøyning for trebjelkelag, Arbeidsrapport F624/5 av 24.6.1979. *Norges Byggforskningsinstitutt*. Oslo 1978.
- NBI (1997). Trebjelkelag. Dimensjonering og utførelse. *Norges byggforskningsinstitutt, Byggforskserien Byggdetaljer, 522.351*. Oslo 1997.
- NBI. Teknisk Godkjenning Nr. 2141 Ranti-bjelken, Revidert 28.02.2006. *Norges byggforskningsinstitutt*. Oslo 2006.
- Norsk Standard NS 3470-1:1999. Prosjektering av trekonstruksjoner, Beregning og dimensjonering.
- Norsk Standard NS-EN 12369-1:2001. Trebaserte plater, Karakteristiske verdier for dimensjonering av trekonstruksjoner, Del 1: OSB-plater, sponplater og trefiberplater.
- SINTEF Byggforsk (2007). Forbedring av stivhet i trebjelkelag. *SINTEF Byggforsk, Byggforskserien Byggforvaltning 722.528*. Oslo 2007.
- Toratti, T. & Talja, A. (2006). Classification of Human Induced Floor Vibrations. *Building Acoustics*. Volume 13 No. 3, 2006 pages 229-239.

# Appendiks A

## Data og antagelser for konstruksjonseksempler

Sammenheng mellom lysåpning og spennvidde:

- For bjelkelag opplagt på svill (48 mm x 98 mm): spennvidde = lysåpning + 0,10 m
- For bjelkelag opplagt på sirkulære stålstenger: spennvidde = lysåpning

BDB      Eksempel fra Byggforskseriens anvisning 522.351, Ref. NBI (1997).

Bjelkelag med lysåpning 4,15 m (spennvidde 4,25 m)

Bjelkelagsbredde 3,6 m (7 bjelker)

Bjelker:

Material: konstruksjonsvirke T30 (ihht. NS3470-1, s. 23)

E-modul: 12000 MPa

G-modul: 750 MPa

Massetetthet: 380 kg/m<sup>3</sup> gir 5,328 kg/m  
(karakteristisk tetthet ihht. trehus, s. 103)

Dimensjon: 73 mm x 198 mm  
(redusert til 71,9 mm x 195,0 mm, ihht.  
dokumentasjon for bjelketabell)

Senteravstand: 0,60 m

Undergulv:

Material: sponplate

Utførelse: limt i not og fjær

Dimensjon: 22 mm

E-modul, (iht papir fra T.Ramstad, KO19876, 01.04.1996)

aksielt: 3000 MPa

bøyning: 4000 MPa

G-modul: 1000 MPa, (ihht. notat fra T.Ramstad, KO19876,  
01.04.1996)

Poissons tall,  $\nu$ : 0,2

Massetetthet: 550 kg/m<sup>3</sup>

Feste mellom undergulv og bjelker:

Spikret eller skrudd



TL1 Bjelkelag med benevnelse "TL1" som ble oppbygd og målt i laboratorium.  
Ref. Homb, A., Hveem, S. og Guldbrandsen, O (1988).

Bjelkelag med lysåpning 3,55 m opplagt på svill 48mm x 98 mm  
(spennvidde 3,65 m)

Bjelkelagsbredde 3,6 m (7 bjelker)

Bjelker:

Material:	konstruksjonsvirke C24
E-modul:	11000 MPa (NS3470-1 s. 23 / trehus s. 103) (samsvarer med E-modul beregnet ved prøving av nedbøyning på enkeltbjelker)
G-modul:	690 MPa (NS3470-1 s. 23 / trehus s. 103)
Massetetthet:	420 kg/m <sup>3</sup> gir 3,99 kg/m (midlere tetthet ihht. trehus, s. 103)
Dimensjon:	48 mm x 198 mm
Senteravstand:	0,60 m

Undergulv:

Material:	sponplate, ref. NS-EN 121369, type P6
Utførelse:	limt i not og fjær
Dimensjon:	22 mm
E-modul,	
aksielt:	2100 MPa
bøyning:	3500 MPa
G-modul:	1050 MPa
Poissons tall, $\nu$ :	0,2
Massetetthet:	550 kg/m <sup>3</sup>

Feste mellom undergulv og bjelker:

Skrudd

Annet:

Randbelastning ved opplegg

TL2 Bjelkelag med benevnelse "TL2" som ble oppbygd og målt i laboratorium.  
Ref. Homb, A., Hveem, S. og Guldbrandsen, O (1988).

Bjelkelag med lysåpning 3,55 m opplagt på svill 48mm x 98 mm  
(spennvidde 3,65 m)

Bjelkelagsbredde 3,6 m (7 bjelker)

Bjelker:

Material:	konstruksjonsvirke C24
E-modul:	11000 MPa (NS3470-1 s. 23 / trehus s. 103) (samsvarer med E-modul beregnet ved prøving av nedbøyning på enkeltbjelker)
G-modul:	690 MPa (NS3470-1 s. 23 / trehus s. 103)
Massetetthet:	420 kg/m <sup>3</sup> gir 3,99 kg/m (midlere tetthet ihht. trehus, s. 103)
Dimensjon:	48 mm x 198 mm
Senteravstand:	0,60 m

Undergulv:

Material:	sponplate, ref. NS-EN 121369, type P6
Utførelse:	limt i not og fjær
Dimensjon:	22 mm
E-modul,	
aksielt:	2100 MPa
bøyning:	3500 MPa
G-modul:	1050 MPa
Poissons tall, $\nu$ :	0,2
Massetetthet:	550 kg/m <sup>3</sup>

Feste mellom undergulv og bjelker:

Skrudd

Himling:

Material:	sponplate
Utførelse:	skrudd til bjelker
Dimensjon:	tykkelse 12 mm bredde 0,60 m lengde 2,40 m

IL6 Bjelkelag med benevnelse "IL6" som ble oppbygd og målt i laboratorium.  
Ref. Homb, A., Hveem, S. og Guldbrandsen, O (1988).

Bjelkelag med spennvidde 5,90 m fritt opplagt på sirkulær stålstang

Bjelkelagsbredde 3,6 m (7 bjelker)

Bjelker:	Ranti-bjelke IB250
Senteravstand:	0,60 m
Total bøyestivhet EI:	591 kNm <sup>2</sup> (ref. ETA 03/0056 og TG 2141)
Total aksialstivhet EA:	59300 kN (ref. ETA 03/0056 og TG 2141) (KAN bruker EAflens=57400 kN)
Masse:	3,0 kg/m (beregnet)
Flenser:	(ref. ETA 03/0056 s. 9)
Material:	trevirke
E-modul:	13000 MPa (
G-modul:	813 MPa (=13000/16)
Massetetthet:	450 kg/m <sup>3</sup>
Dimensjon:	48 mm x 48 mm
Steg:	(ref. ETA 03/0056 s. 9)
Material:	sponplate iht NS-EN 312-7
E-modul:	3000 MPa
G-modul:	1300 MPa
Massetetthet:	600 kg/m <sup>3</sup>
Dimensjon:	10 mm tykkelse

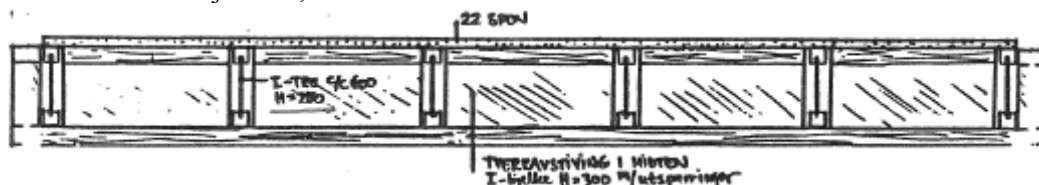
Undergulv:	
Material:	sponplate, ref. NS-EN 121369, type P6
Utførelse:	limt i not og fjær
Dimensjon:	22 mm
E-modul,	
aksielt:	2100 MPa
bøyning:	3500 MPa
G-modul:	1050 MPa
Poissons tall, $\nu$ :	0,2
Massetetthet:	550 kg/m <sup>3</sup>

Festemiddel undergulv til bjelker:  
Skrudd

For beregning for å se på effekt av tverrbjelke ble følgende data brukt:

Tverrbjelke:	Ranti-bjelke IB300
Total bøyestivhet EI:	917 kNm <sup>2</sup> (ref. ETA 03/0056 og TG 2141)
Total aksialstivhet EA:	60,8 kN (ref. ETA 03/0056 og TG 2141)

I tverrbjelken ble det saget ut utspæringer i overgurt og steg for tilpasning til hovedbjelkene, som er vist nedenfor:



IL8 Bjelkelag med benevnelse "IL8" som ble oppbygd og målt i laboratorium.  
Ref. Homb, A., Hveem, S. og Guldbrandsen, O (1988).

Bjelkelag med lysåpning 7,10 m opplagt på svill 48mm x 98 mm  
(spennvidde 7,20 m)

Bjelkelagsbredde 3,6 m (7 bjelker)

Bjelker:	Masonite H 400
Senteravstand:	0,60 m
Total bøyestivhet EI:	1701 kNm <sup>2</sup> (beregnet ut fra målt E-modul)
Total aksialstivhet EA:	72868 kN (beregnet ut fra målt E-modul) (KAN bruker EAflens=47700 kN)
Masse:	4,5 kg/m (ref. Masonite Engineering manual)
Flenser:	(ref. Masonite Engineering manual)
Material:	trevirke (K24)
E-modul:	10800 MPa (målt, NBI, snitt 3 midtre bjelker)
G-modul:	700 MPa
Dimensjon:	47 mm x 47 mm
Areal:	4180 mm <sup>2</sup>
Steg:	(ref. Masonite Engineering manual)
Material:	trefiberplate (hard fibreboard/structural board)
E-modul:	10800 MPa (målt, NBI, snitt 3 midtre bjelker)
G-modul:	990 MPa
Dimensjon:	8 mm tykkelse
Areal:	2567 mm <sup>2</sup>
Undergulv:	
Material:	sponplate, ref. NS-EN 121369, type P6
Utførelse:	limt i not og fjær
Dimensjon:	22 mm
E-modul,	
aksielt:	2100 MPa
bøyning:	3500 MPa
G-modul:	1050 MPa
Poissons tall, $\nu$ :	0,2
Massetetthet:	550 kg/m <sup>3</sup>

Festemiddel undergulv til bjelker:  
Skrudd

IL9 Bjelkelag med benevnelse "IL9" som ble oppbygd og målt i laboratorium.  
Ref. Homb, A., Hveem, S. og Guldbrandsen, O (1988).

Bjelkelag med lysåpning 7,10 m opplagt på svill 48mm x 98 mm  
(spennvidde 7,20 m)

Bjelkelagsbredde 3,6 m (7 bjelker)

Bjelker:	Masonite H 400
Senteravstand:	0,60 m
Total bøyestivhet EI:	1701 kNm <sup>2</sup> (beregnet ut fra målt E-modul)
Total aksialstivhet EA:	72868 kN (beregnet ut fra målt E-modul) (KAN bruker EAflens=47700 kN)
Masse:	4,5 kg/m (ref. Masonite Engineering manual)
Flenser:	(ref. Masonite Engineering manual)
Material:	trevirke (K24)
E-modul:	10800 MPa (målt, NBI, snitt 3 midtre bjelker)
G-modul:	700 MPa
Dimensjon:	47 mm x 47 mm
Areal:	4180 mm <sup>2</sup>
Steg:	(ref. Masonite Engineering manual)
Material:	trefiberplate (hard fibreboard/structural board)
E-modul:	10800 MPa (målt, NBI, snitt 3 midtre bjelker)
G-modul:	990 MPa
Dimensjon:	8 mm tykkelse
Areal:	2567 mm <sup>2</sup>
Undergulv:	
Material:	sponplate, ref. NS-EN 121369, type P6
Utførelse:	limt i not og fjær
Dimensjon:	22 mm
E-modul,	
aksielt:	2100 MPa
bøyning:	3500 MPa
G-modul:	1050 MPa
Poissons tall, $\nu$ :	0,2
Massetetthet:	550 kg/m <sup>3</sup>
Festemiddel undergulv til bjelker:	
Skrudd	
Himling:	
Material:	sponplater
Utførelse:	skrudd til bjelker
Dimensjon:	tykkelse 12 mm bredde 0,60 m lengde 2,40 m
Annet:	
Randbelastning ved opplegg	

**SINTEF** er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

**SINTEF Byggforsk** er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

