

# Buefysikk; en bondevett-tilnærming

Ole Kristian Brattli

23. mai 2004

Målet med denne lille artikkelen<sup>1</sup> er å besvare endel spørsmål som mange lurer på angående buefysikk. Jeg har tenkt å våge den bolde akt å gjøre dette uten en eneste formel eller matematisk operasjon. Når vitenskapen ikke er tilgjengelig er det bare en ting som duger, nemlig sunt bondevett. Eksempler på spørsmål det ofte lures på er:

- Hva skjer når en bue bøyes?
- Hvor kommer energien som blir med pila fra?
- Hvor i buen lagres energien?
- Hvor blir det av energien som er lagret i buen når den er spent?
- Hvordan er det å være bue?
- Når har pila sin maksimums hastighet?
- Hvordan bøyer en jamntykk planke seg?

Først en tommelfingerregel: Kun tre som bøyes, lagrer energi. Dermed var det meste av leksjonen faktisk unnagjort. Dette prinsippet vil vi vende tilbake til igjen og igjen. Men hvorfor er det slik? Se, det må vi bruke litt tid på å forklare?

## 1 Ordliste

Det er i all hovedsak fem egenskaper som er av interesse for oss når vi skal beskrive hva som skjer når en bue bøyes. De fem er: **elastisitet, strekkstyrke, kompresjons styrke, skjærstyrke og vekt.** Hva betyr så disse merkelige ord?

---

<sup>1</sup>Både tekst og bilder i dette dokumentet er forfatters eiendom. Vennligst ikke bruk noe av det til egne publikasjoner eller i andre kommersielle sammenhenger uten skriftlig samtykke fra forfatter.

**Elastisitet:** Evnen til å gå tilbake til samme form som før en deformering. Dette er egentlig det stikk motsatte av plastisitet. Tenk på en pølse med plastelina; man bøyer den, og den forblir bøydd. Prøv nå det samme med en bit tykk gummi... joda du bøyer den, slipper og vips: sproing den har fått tilbake akkurat samme form som før du bøyde den. Gummi kan med andre ord sies å være veldig elastisk, mens plastelina ikke er elastisk i det hele tatt.

**Strekkestyrke:** Evnen til å motsette seg strekking uten å deformeres. Eksempel: Lintråd av en kvalitet og tykkelse tåler at et 6 kilos lodd henges i enden uten at den ryker. Samme tykkelse Dacron tåler f.eks at et 12 kilos lodd henges i enden. Dacron har mao. høyere strekkstyrke enn lin.

**Kompresjonsstyrke:** Evnen til å motsette seg kompresjon uten å deformeres. Eksempel: en jernbanesville tåler godt at toget står i ro oppå seg. Hvis vi hadde laget den samme jernbanesvillen i knekkebrød, ville jernbanesvillen øyeblikkelig fått kompresjonsskader. Den ville mao blitt klemt flat. Man kan dermed si at jern har høyere kompresjonsstyrke enn knekkebrød.

**Skjærstyrke:** en sammenføynings evne til å holde seg sammen selv om de to sammenføyde bitene påvirkes med krefter som går i hver sin retning. eksempel: Ola har murt fast en stein på feil plass i en mur. dette er den første steinen i denne raden, men mørtelen har fått herde. Ola har ingen andre verktøy å hjelpe seg med enn hendene. han må skyve mursteinen bortover til den løsner. Skjærstyrken i dette eksempelet vil være den styrken som Ola skyver med når steinen løsner.

**Vekt:** Vekta på treslag varierer voldsomt. Det vet alle som har tatt i en bit bjørk og en bit gran. Det skal mere energi til for å flytte på noe tungt enn noe lett, derfor er også vekta av interesse.

For ytterligere informasjon om disse rare ord, kan denne linken være av interesse:

[http://www.treteknisk.no/fagartikler/lauvtre/Mekaniske\\_egenskaper.htm](http://www.treteknisk.no/fagartikler/lauvtre/Mekaniske_egenskaper.htm)

## 2 Bøying

OK, da var vokabularet i orden, da kan vi fortsette med buefysikken. Man tager en planke og bøyer den. Hva kjenner man når man bøyer? Jo, planken vil nødvendig bøyes. Den gjør sitt ytterste for å motsette seg bøyingen vår. Når vi så bøyer hardere, så vil planken et-

terhvert bøye seg. Straks vi slipper planken retter den seg ut igjen. Snedig. Kan man lage bue av denne planken? Joda, det går så fint så. Hvis den retter seg ut igjen når man bøyer den, så kan man lage bue av den. Så enkelt er det. Utfordringen ligger i å finne riktig buedesign for dette treslaget. Forklaring følger snart, jeg vil bare tilbake til det at planken måtte “overtales” til å bøyes. Når man bøyer en plankebit utfører man et arbeid på planken. Studer figuren under:

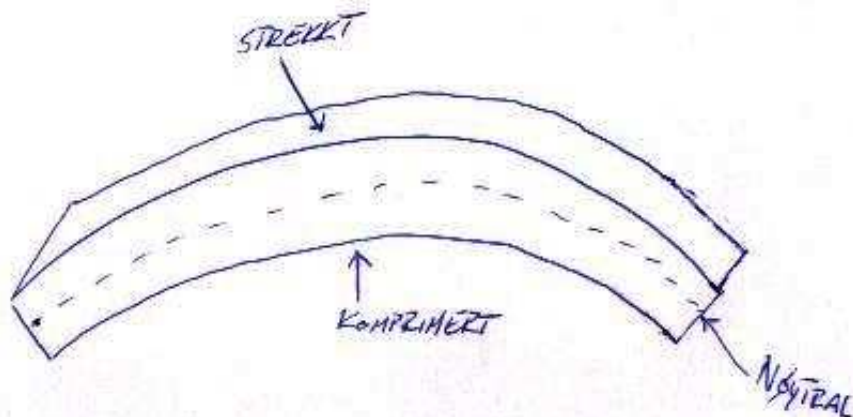


Fig.1: Oversiden strekkes Undersiden komprimeres. Skjærsonen bare bøyes, men utsettes samtidig for krefter som går i motsatt retning; strekk på oversiden, og komprimering på undersiden

På oversiden av planken strekkes trefibrene. På undersiden komprimeres trefibrene. En eller annen plass inni går det en grense hvor man går fra bøyning til strekking eller omvendt. Denne grensen kalles den nøytrale sonen eller skjærsonen. Her skjer det ingen strekking og ingen komprimering. Hvis vi hadde hatt en finérbit som var uendelig tynn, så ville denne ikke motsatt seg å bli bøyd. Det ville ikke bli strekt noe på oversiden og ikke komprimert noe på undersiden. Det ville blitt en veldig svak bue av denne uendelig tynne planken. Helt ubrukelig for oss og selvsagt umulig å få til å lage i praksis. Men som tankeeksperiment har den gjort oss klar over flere ting:

- Jo tykkere en planke er, jo tyngre er det å bøye den.
- Jo tyngre det er å bøye en plankebit, jo kraftigere bue blir det av den.
- Oversiden må strekkes og/eller undersiden må komprimeres for at energi skal kunne lagres ved å bøye en plankebit.

Hvorfor er det tyngre å bøye en tykk plankebit enn en tynn plankebit? Reint intuitivt vet vi jo at dette er sann. Det er simpelthen mere

strekking og komprimering som må til for å bøye en tykk plankebit til samme radius som en tynn en.

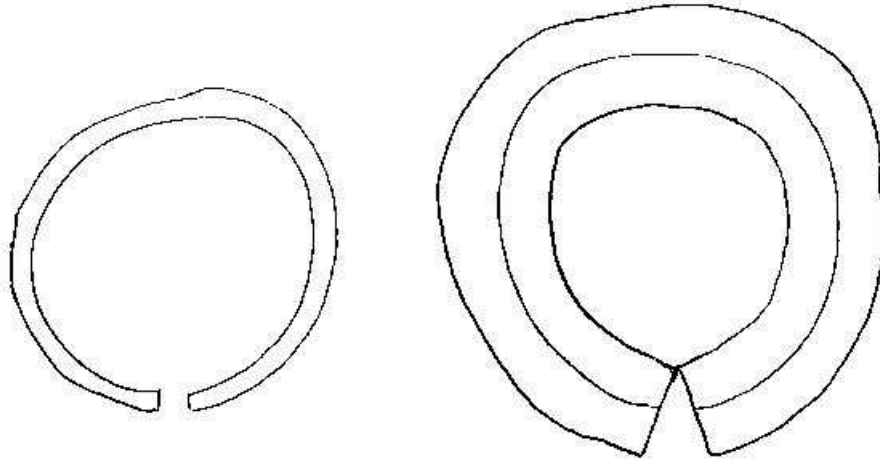


Fig.2:Forskjellen mellom over og undersiden er større på den tykkeste av disse to plankene selv om de er bøyd til samme radius.

Her ser vi to plankebiter som er bøyd i en sirkel med samme radius. Hvis vi måler "lengden" på den øverste plankebiten på over- og undersiden, så ser vi at oversiden er lengre enn undersiden! Hvis vi så måler lengden på planken når den ikke er bøyd, så ser vi at dette målet ligger mellom de to vi målte tidligere. Oversiden er med andre ord strekt og undersiden er med andre ord komprimert. Hvis vi så gjør dette for de to plankebitene av forskjellig tykkelse så vil vi se at oversiden av den tykkeste planken er lengre enn oversiden av den tynneste planken. Vi fatter straks mistanke, og måler undersiden av den tynneste planken. Joda, ganske riktig så er undersiden på den tykkeste planken kortere enn undersiden på den tynneste. Den tykkeste planken er strekt og komprimert mere enn den tynne planken, og den er tyngre å bøye. Hmmm. Vi aner at det er en sammenheng. Kanskjer det rett og slett er komprimeringen og strekkingen som er lagringsplass for energien vi tilfører plankene når vi bøyer dem?

### 3 Buedesign

Da må det jo lønne seg å lage tjukke buer? Veeeeelll. Det er mere komprimering og strekking på tykkere buer enn på tynne. Før eller siden, så når vi den magiske terskelverdien hvor treet i buen har fått

**nok strekk eller nok kompresjon. Den tåler rett og slett ikke mere. Buen knekker...**

**Men det finnes da flere måter å lage kraftige buer på enn å lage dem tykkere!**

- Som vi husker så er det kun tre som bøyer seg som lagrer energi. Dermed skjønner vi at det vil lønne seg å lage buene lange i tillegg. Da blir det mere tre som kan lagre energi. I tillegg må buen bøye seg mindre hvis buen er lang, dette må da være sunt for treverket
- Vi kan jo rett og slett bare lage den breiere! Så hvis vi lager buen dobbelt så brei, så blir den dobbelt så tung. Hvis du ikke synes dette er rett fram og logisk, så se for deg at du holder to helt like buer teipet sammen side ved side. Disse to er selvsagt dobbelt så tunge å trekke tilsammen som hver av buene for seg selv. Den store fordelene med å lage breie buer er at man kan lage dem tynne. Dermed kan de bøyes mere før treet tar skade av det. Ved å forfølge denne filosofien så kan man med andre ord lage bue av selv de dårligste treslag? Det er faktisk helt korrekt. Hvis du har svake treslag: lag breie buer.

Vi har med andre ord løst alle buemakingens problemer?

- Nei.

Hvis du lager en bue dobbelt så brei, så veier den også dobbelt så mye. Lager du en bue lengre så øker du også vekta på buelemmet. Vektøkning er dumt av flere grunner. Buelemmene beveger seg når buen skal sende pila avgårde. Jo tyngre buelemmene er jo mere kraft må brukes for å rette dem ut. Tenk på et tog. Det veier mange tonn og bruker lang tid på å starte, det trenger også veldig mye energi for å gjøre dette. Tenk så på en motorsykkel. Den veier lite og bruker kort tid på å komme opp i samme hastighet som toget. Den bruker også bare en brøkdel av motorkraften. Det samme med tunge buelemmer. De bruker også lengre tid og mere energi på å bevege seg fra fullt trekk til at pila har flydd sin vei.

En tommelfingerregel sier at hvis du lager en bue dobbelt så tykk, så vil den bli ca 8 ganger så kraftig. Det vil med andre ord lønne seg å lage en bue tykk og kort, for da veier den ikke så mye. Men så var det belastningen på treet da...

Alt dette er da bare et lass med selvmotsigelser, sier du kanskje. Ja det er helt riktig. Buedesigning er den store kompromiss-kunsten. Og da har jeg ikke nevnt at det er enda litt vanskeligere i virkeligheten hvor tre ikke er helt homogent. Hvis vi hadde laget to helt identiske buer fra samme treet, men fra forskjellige deler av treet, så er det

slett ikke sikkert at de to buene hadde vært like kraftige, tunge, eller bøyd seg likeens. Det er der håndarbeidet kommer inn.

Det er ikke en fasit for buedesign, men mange. De er alle kommet til ved prøving og feiling og ved at han som lager buen har skjønnet hva som er resultatet av utprøvingen sin. Slik har personene, tilgangen på tre og omgivelsene spillet inn i evolusjonen som resulterte i det ene eller det andre designet. Jeg har lyst til å trekke frem to design som er lure, og som er veldig forskjellige.

- Det første designet er en flatbue, det vil si at den er breiere enn den er tykk, og som regel at den har stivt handtak. Ca midt mellom grepet nokken, så smalner buen drastisk inn og blir litt tykkere enn den er bred. Denne buen er forholdsvis kort, bare ca dobbelt så lang som trekk lengden. Denne buen er veldig lurt designet. Siden den er bred, så belastes ikke treet så mye, siden den er tynn ytterst ved nokken, så er den ikke tung ved nokken. Etttersom nokken er det punktet på buen som beveger seg mest, så tjener man mest på å ha buen lett her. Siden buen er kort, så er det mindre vekt som skal flyttes. I tillegg er den da grei å ha med seg på jakt i almeskogen. Dette smarte designet er den eldste buen som man har funnet alle delene av. Buen er 8000 år gammel og ble funnet i en myr i Danmark. Buen har fått navn etter myra, som heter holmegard.
- Det neste designet er en Engelsk krigsbue av den typen man brukte fra tidlig/midten av 1400 tallet. buen er lang, like lang som personen som skyter den, av og til lengre. De som skjøt den hadde veldig langt trekk. Buen bøyer jamnt gjennom hele, så den lagrer også energi i hele buen. Buen er kraftig, noen av forståelsepærene mener opptil 120 pund. Sikkert er det i alle fall at man kan se på slitasjen i skulderknokkene hvem som var bueskyttere i slutten av hundreårs krigen. Denne buen er så lett som den kunne være over det hele. Den er smal også, for å utnytte det kompresjonssterke treverket som har begynt å bli mangelvare. Det er en bue som det går an å lage mange av fort. Dette er en bue som er beregnet på å kaste tunge krigspiler så langt som det går an. For det byttet man jakter på skyter nemlig tilbake.

## 4 Når tre ryker

Hva er det som skjer når tre ryker? Alle norske treslag er sterkere i strekk enn de er i kompresjon. Det vil si at trecellene ryker under kompresjon eller i skjærsonen før de ryker under strekk. Se for dere at vi bøyer en planke. planken er hengt opp på midten og vi belaster den med økende vekt i hver ende til den ryker. Når den ryker, så skjer et av to:

- I skjærsonen er det store krefter i sving fordi her skifter belastningen fra kompresjon til strekk og omvendt. Det vil si at skjærsonen belastes

med kompresjon på oversiden og strekk på undersiden. disse kreftene er motsatt rettet. tilslutt kan trefibrene skli i fra hverandre. Noen treslag er mere utsatt for dette enn andre. I tabellverker kan man finne skjærstyrken til de fleste norske treslag.

- Når trecellene blir sammenklemt, så blir det mindre treceller til å tåle kompresjon. den nøytrale sonen (skjærsonen) flytter seg da oppover mot strekksone. Det blir høyere belastning på strekksone og til slutt når vi strekkstyrken til treslaget. da ryker treet i strekk, men har for lengst blitt deformert i kompresjon. Kompresjonsskader kan sees på undersiden som små sik-sakk striper. de er til forveksling lik krakkelert lakk.

Når du er ute i skogen og hugger et ungt tre, så er det vanlig å bøye treet før du hugger der treet er strekk mest. når dette skjer, så klarer ikke resten av trestammen å stå i mot den kraften som du og trets tyngde utsetter den for. Det samme kan skje med buer. Hvis det er en svakhet i ryggen på buen eller hvis ryggen på buen får et slag el.l når buen er på fullt trekk, så kan buen ryke. Hvis du er i tvil om det er en svakhet på ryggen av buen din, så bør du forsterke buen med å lime på f.eks lin eller råhud på ryggen av buen.

## 5 Energi

Et av grunnprinsippene innen fysikken er at energi ikke kan oppstå av seg selv eller forsvinne til ingenting. Det må komme fra en plass. Det må også bli av en plass. Når du trekker en bue, så tilfører du kraft til buen. Det finnes ingen magisk mystisk kraft som gir mere kraft etter at du har sluttet å dra. Du er den eneste tilføreren av kraft til buen.

Når du så slipper strengen, så er det på tide for den energien du har lagret i buen å bli løslatt. Energien går med til å sende pila av gårde. Den går også med til å bevege buelemmene tilbake til den posisjonen de hadde før du begynte trekket. Jo mindre andel energi som går med til å bevege buelemmene, jo mere er det tilovers til å bevege pila. Når pila har forlatt strengen har den fått så mye energi som det lar seg gjøre fra buen via buestrengen. Denne energien har gått med til å starte bevegelsen til pila. Ut fra dette skjønner vi to ting.

- Pila har sin maksimale hastighet når den akkurat har sluppet strengen. Det foregår ingen akselerering av pila etter at den har sluppet strengen! Buen er jo den eneste tilføreren av energi til pila
- Jo lettere pil, jo raskere pil. Men aldri raskere enn buelemmene kan rette seg ut.

Den energien som er igjen i buen etter at pila har forlatt strengen er egentlig helt nytteløs. Den brukes ikke til noe annet enn å prøve å ryke strengen. Hvis du mistenker at det er masse uutnyttet energi i buen din(synger strengen din? Slår buen i hånda?), så er det en ide å gå over til tyngre piler. Som alle andre ting ved bueskyting og buemaking har også dette ulemper. Du får mere "fall" med tunge piler. På kort hold betyr det ikke så mye, men skyting på varierende hold blir vanskeligere. Mere om dette når vi kommer til tuning.