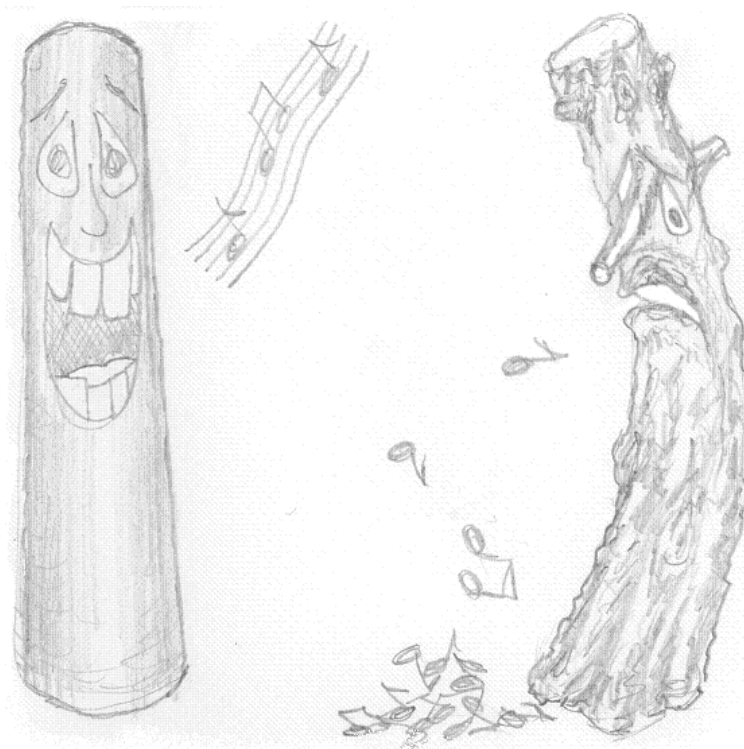


# Akustisk sortering av grantimmer med hänsyn till utbytets hållfasthet



Jacob Edlund  
Håkan Lindström  
Fredrik Nilsson

Institutionen för Skogens Produkter och Marknader, SLU,  
Uppsala 19/3-2004

## **Inledning**

Vedegenskaperna i sågtimmer varierar kraftigt och vissa är mycket svåra att fastställa visuellt. Samtidigt bidrar det höga tempot på ett modernt sågverk till att utveckling av teknik för detta ändamål prioriterats. Att utveckla automatiska metoder att sortera ut sågtimmer med hänsyn till inre egenskaper är därför önskvärt.

Som ett led i utvecklingen av nya metoder för sågtimmermätning, beslutade virkesmätningrådet 1999 att genomföra projektet ”Effektivare Sågtimmermätning” för att effektivisera och öka kapaciteten och noggrannheten vid stockmätning av sågtimmer. Ett av målen vara att se över befintliga sorteringsystem för gran och tall och anpassa detta till automatiska mätmetoder.

Någon akustisk metod att klassa sågtimmer var inte aktuell vid starten av projektet men i slutfasen av projektet gjordes en studie på ett mindre antal stockar av Chalmers Tekniska Högskola som påvisade metodens potential (Kliger et al. 2003). Detta har också bekräftats i mer omfattande studier utomlands som visat att akustisk sorterings teknik är användbar vid sortering av sågtimmer och massaved. Föreliggande arbete är delvis finansierat av VMR (Rådet för virkesmätning och redovisning) och kan ses som en utvidgning av Kligers studie för att på ett större material utvärdera akustik som metod att sortera stockar för hållfasthet och därmed metodens lämplighet för vederlagsmätning och processtyrning i allmänhet.

## **Syfte**

Denna studie syftade främst till att fastställa sambandet mellan MoE (elasticitetsmodulen) beräknat via stockars egenfrekvens och hållfastheten på utbytena. Vidare skulle samband fastställas mellan egenskaper synliga på stocken och MoE samt mellan samma stockegenskaper och utbytenas hållfasthet.

## **Mätning med akustik**

### **Sortering av sågtimmer med akustisk teknik**

Akustisk teknik för sortering av sågtimmer används i bland annat Nya Zeeland. Denna metod har visat sig användbar i många olika sammanhang. Grundprincipen går ut på att en impuls eller ett ljud fortplantar sig genom ett material med en hastighet som är relaterad till materialets egenskaper.

Detta kan utnyttjas för att mäta material/vedegenskaper i timmer och massaved enligt följande samband:

- Ljudets hastighet ökar om virket har :  
liten växtvridenhet/låg mikrofibrillvinkel/längre fibrer och hög veddensitet.

- Ljudets hastighet minskar om virket har:  
Växtvridenhet, hög mikrofibrillvinkel, korta trakeider, låg veddensitet, röta och/eller tjurved.

De sistnämnda egenskaperna är oönskade i virkessammanhang och leder ofta till dålig hållfasthet och torkningsdeformationer vilket gör att sådana stockar är mindre lämpade som råvara till sågat virke.

Mätning av vedegenskaper med ljudvågor används praktiskt på en rad områden: förekomst av röta i parkträd, nedbrytning av veden i träkonstruktioner såsom broar och

dylikt, hållfasthetssortering av sågad vara med den svenska mätutrustningen ”Dynagrade” etc. I Nya Zeeland har man dessutom utvecklat kommersiellt användbar teknik för sortering av sågtimmer med hjälp av ljudvågor. Flera Nya Zeeländska studier har visat på metodens effektivitet och ett nyutvecklat system med ett handburet instrument (figur 2) har börjat användas kommersiellt ([www.fibre-gen.com](http://www.fibre-gen.com)).



Figur 2. Industriell mätning av stockars egenfrekvens vid ett sågverk på Nya Zeeland.

Potentialen ligger i att reducera antalet stockar med oacceptabelt låg MoE (elasticitetsmodulen) som kommer till sågverken. Det tillverkande företaget menar att man kan förbättra vinstmarginalen markant på enskilda sågverk. En stationär sorteringsutrustning är också under utveckling på företaget AWDON i Roturua, Nya Zeeland. Andra studier visar också på potentialen att sortera massaved med hjälp av akustik (Huang m. fl. 2003).

En mindre svensk pilotstudie på 35 granstockar på Deromesågen i Halland visade bra samband mellan elasticitetsmodulen hos stockar och hos regler,  $R^2 = 0,62$  (Kliger et al. 2003). I denna studie mättes både densitet och egenfrekvens på stockarna varefter de sågades till regler i dimensionerna 47x 100 mm och 47 x 150 mm. Reglarnas egenfrekvens och densitet mättes, varefter man beräknade sambanden. Den mekaniska hållfastheten på reglarna mättes således inte utan MoE skattades genom egenfrekvensen. I studien jämförde man skillnaden mellan egenfrekvensen på stockar mätt på dämpande underlag och egenfrekvensen mätt på hårt underlag och man kunde konstatera att underlaget vid mätning av egenfrekvensen hade mycket liten betydelse.

### **Akustiska mätprinciper**

Ljud/impulshastighet kan mätas på olika sätt, ofta delas de upp i metoder baserade på transit-timetekniker eller resonansbaserad teknik. Transit-timeteknik bygger på att man mäter tiden det tar för en ljudsignal att gå mellan en punkt (en sändare) till en annan (mottagare). Avståndet mellan dessa två punkter och tiden det tar för ljudet att transportera sig används för att beräkna signalhastigheten. Om det är någon onormal störning mellan punkterna, exempelvis ett röthål kommer hastigheten att vara lägre.

Ett annat sätt är att mäta stockens egenfrekvens. Genom att slå med en hammare på en av stockens ändtor alstras en energiimpuls som kan delas upp i ett antal frekvenser beroende på materialegenskaperna i stocken. Förstärkning sker av de frekvenser som ligger nära egenfrekvensen av stocken  $f$  och multiplar av denna:  $2f, 3f, \dots$ . I princip relaterar egenfrekvensen till tiden det tar för denna ljudvåg att transportera sig från ena

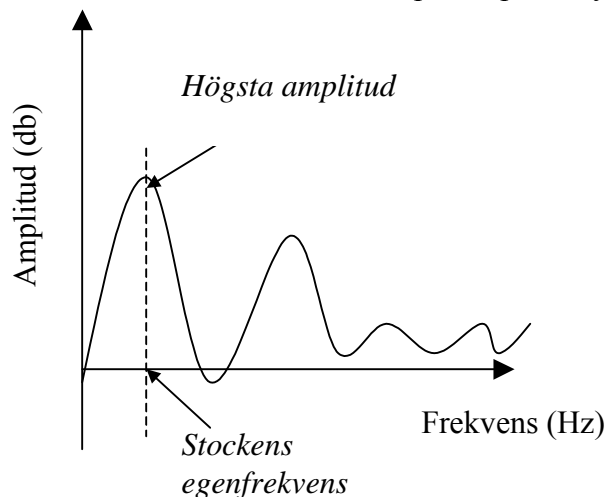
änden av stocken och sedan tillbaks. Då ljudvågen i stammen fortplantar sig genom hela stocken blir frekvensen/impulshastigheten också representativ för hela stockens volym. I och med detta har exempelvis en rötfläck eller kvistar mindre betydelse då dessa representerar en så liten del av hela stockens volym. En stor andel juvenilverd/hög andel tjurved/växtvriden/rötad ved ger dock utslag.

Ur egenfrekvensen och längden på stocken kan man enkelt beräkna hastigheten enligt formeln

$$V=2lf,$$

där  $V$  är ljudhastigheten,  $l$  är stockens längd och  $f$  är egenfrekvensen.

Ljudet mäts med speciell apparatur med accelerometer för att undvika störcällor som kan påverka mätningarna. Accelerometern läggs an mot stockens ändyta för att registrera tonhöjd (frekvens) och ljudstyrka (amplitud) efter man slagit på samma ändyta på stocken med hammaren. På detta sätt erhålls en kurva enligt figur 2 och den relativt högsta ljudstyrkan i kurvan uppnås vid stockens egenfrekvens. Det har följaktligen inte någon större betydelse hur hårt man slår, tonen/egenfrekvensen blir densamma. Jämför att slå hårt resp. löst på en xylofon.



Figur 2. Mätning av en kropps egenfrekvens.

Fenomenet som utnyttjas är således att hastigheten ökar när stocken har en vedstruktur som består av rakare, längre fibrer med låg mikrofibrillvinkel och fibervinkel mot stammens längdriktning. Denna högre hastighet ger en högre frekvenston och denna kan vi mäta med akustiska instrument. Sambandet mellan ljudets hastighet och träets styvhet är: hastigheten i kvadrat gånger vedens densitet är vedens hållfasthet. Vedens densitet samverkar alltså med ljudhastigheten men är i normalfallet i trä mindre betydelsefull än hastigheten då denna är i kvadrat. Densiteten kan därför på stocknivå sättas till ett och samma värde, för att underlätta omfattande experiment som detta.

Träets styvhet eller elasticitetsmodul (MoE) mäts i gigapascal (GPa) och formeln för beräkning av MoE ses nedan:

$$\text{MoE}=\rho V^2,$$

där V är hastigheten och  $\rho$  är rådensiteten som antas vara ca  $1000\text{kg/m}^3$ .

### **Faktorer som inverkar på akustiska mätresultat**

Det finns ett antal faktorer som kan tänkas påverka mätresultaten t.e.x. timrets temperatur, fuktkvot, och om timret är fruset eller inte. Akustiska studier med mätning av MoE på vedprover och stockar visar dock att skillnaderna är små inom temperaturintervallet  $-20\text{ C}$  till  $+40\text{ C}$  (max ca 10 %, (USDA 1974)). Vad gäller fuktkvoten så bör skillnaderna vara små för färskt timmer som har en fuktkvot över 80 % (Mishiro 1995). Mer omfattande studier bör genomföras i syfte att upprätta korrektionsfaktorer av MoE baserat på dessa variabler.

## **Material och metod**

### **Stockdata**

Studien genomfördes under senhösten 2003 på AB Karl Hedin Sågverk i Karbenning, ca 1 mil öster om Norberg i norra Västmanland. Totalt 841 granstockar samlades in under en femveckorsperiod från sågens ordinarie upptagningsområde, som i huvudsak är Bergslagen, norra Uppland och södra Hälsingland. Utsortering skedde under ordinarie drift i timmersorteringen i två olika timmerklasser, 196-4 samt 236-5,5, med en uppdelning på VMR-klasserna 1-3 respektive 4 i varje timmerklass. Beroende på osäkra registreringar uteslöts data från 13 stockar ur studien vilket slutligen gav komplett data från 828 stockar.

Stockarna märktes med nummer och längd och diameter mättes i en mätram. Efter detta klassades stockarna av en kontrollmätare från VMF Qbera med avseende på följande variabler/klasser:

kvalitetsklass: enligt VMR 1/99,

längd: i cm,

stocktyp: rotstock eller övrig stock,

årsringar: bedömning av antalet årsringar skedde 2-8 cm från mörgen i klasserna: ant.< 12, 12 <= ant. < 20 och 20 <=ant,

krök: mättes som båghöjd i klasserna: < 1.0 %, >=1,0 %,

tjurved: Bedömning av tät tjurved skedde i klasserna: ingen tjurved, ”ringa omfattning” till 20 % och mellan 20 % och 50 %,

nedklassningskoder: Bedömningen av nedklassningsorsak skedde för följande egenskaper: råkvist, torrkvist, spröt- eller röt kvist, kvistansvällningar/bulor, röta, lyra, fetved, överskriden båghöjd, årsringar, tjurved och toppbrott.

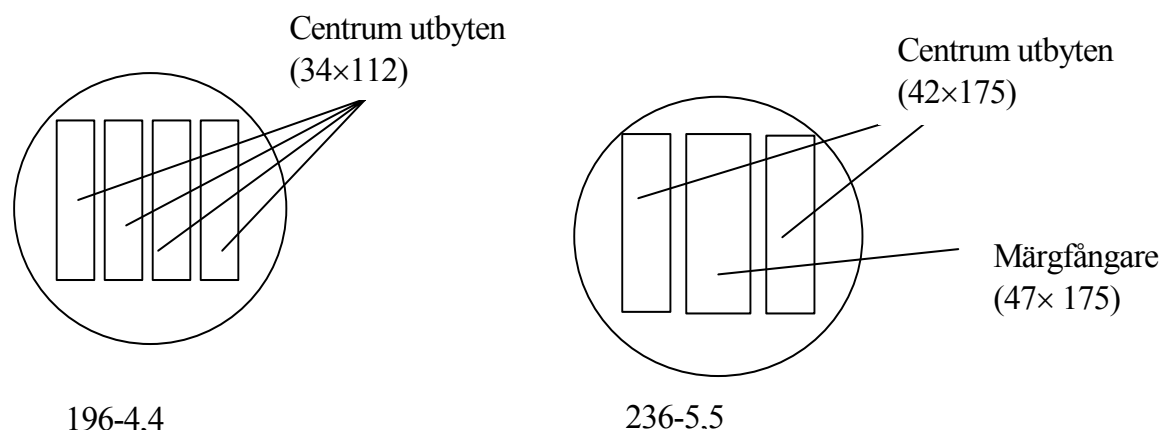
Tabell 1. Antalet stockar i studien fördelat på dimension och VMR-klass.

Timmerklass	Kvalitet					Totalt
	1	2	3	4	Vrak	
196-4	1	90	197	91	8	387
236-5,5	8	4	271	148	10	441

Mätning av egenfrekvensen på respektive stock gjordes med hjälp av en ljud mätare, RION-SA77 kopplad till en accelerometer (www.rion.com). Ljudet alstrades med hjälp av ett slag på stockens ändyta med en snickerihammare. Frekvensen vid högsta amplitud mättes i samband med slaget varvid frekvensen lästes av på den grafiska displayen i jämna 10-tal Hertz. (Fig. 2). Stockarna låg fritt eller i kontakt med de två parallellt närliggande stockarna och vilade på två stockar som låg på marken vinkelrätt mot stockarna som skulle mätas. Det visade sig att hårdheten på slaget eller var på ändytan man slog inte påverkade mätningen, inte heller om stocken låg fritt eller i kontakt med andra stockar, vilket bekräftats i tidigare studier.

### Provsågning

Vid provsågningen registrerades i vilken ordning stockarna sågades med hjälp av det Id-nummer varje stock var märkt med. Efter att stockarna sönderdelats märktes respektive centrumutbyte med ett löpande Id-nummer för att kunna spåra respektive centrumutbyte till varje enskild stock och dess mätdata. Timmerklass 196-4 sågades i 4 ex log, i dimensionerna 34 x 112 och timmerklass 236-4 sågades i 3 ex log med dimensionerna 42 x 175 i ytterbitarna samt 47 x 175 i centrumbiten (fig 3). Endast centrumutbytena märktes och utvärderades. Efter sågning torkades dimensionen 34 x 112 i kammartork till fuktkvot 13 %, dimension 42 x 175 torkades också i kammartork till fuktkvot 18 % och 47 x 175 torkades i vandringsstork till fuktkvot 18 %.



Figur 3. Postningsmönster för de två timmerklasserna.

Efter torkning bedömdes samtliga utbyten i ett helautomatiskt justerverk, FinScan Boardmaster. Vid justeringen bedömdes kvalitet, tjocklek och längd. Skevhet, kantkrok och flatböj mättes med en noggrannhet på 1,5 mm. Med hjälp av FinScan-utrustningen bedömdes kvisttyp och kviststorleken mättes med en noggrannhet på 0,4 till 1,2 mm. Inga avkap gjordes i samband med justeringen då detta skulle få en negativ inverkan på den efterkommande hållfasthetsortering då virkesdefekter såsom tjur, röta, kantkrok, flatböj och skevhet skulle ha kapats bort. Efter justering och paketering fraktades virket till Uppsala Träs anläggning strax norr om Uppsala för hållfasthetsortering. Virket, totalt ca 84,2 m<sup>3</sup>, hållfasthetsorterades i klasserna K30, K24, K18-reject med hjälp av en Cook -Bolinder tandemmaskin och enligt SPs regelverk för konstruktionsvirke.

### **Beräkningar**

Stockarnas dynamiska MoE beräknades med hjälp av formeln  $MoE = \rho V^2$ . Med antagandet att densiteten  $\rho$  är 1000kg/m<sup>3</sup>. Denna styvhet jämfördes med de på stockarna manuellt uppmätta variablerna :

- krok,
- kvalitetsklasser,
- årsringsbredd,
- stocktyp
- andel tjurved.

För de uppsågade utbytena jämfördes hållfasthetsklasserna med stockens MoE. Data från FinScan gav mätvärden för största råa och torra kvist, utbytenas skevhet, kantkrok och flatböj. Tyvärr bedömdes dessa data vid senare utvärderingar som mindre tillförlitliga och avfärdades i analysen. Andelar av olika hållfasthetsklasser jämfördes hos stockar grupperade på:

- kvalitetsklass,
- årsringsbredd,
- andel tjurved.

## **Resultat**

### **Klassning av stockdata**

Tabell 2 redovisar stockarnas MoE grupperade i olika klasser och ett totalt test på om det skiljer mellan klasserna med avseende på medelvärdet av MoE. Det testades också om det skiljde mellan klasserna var för sig, exempelvis mellan VMR-klass 1 och 4 med avseende på MoE. Inledande test visade att det inte var någon signifikant skillnad med avseende på MoE mellan dimensionsklasserna 196 och 236 varför de mesta stockdatat fortsättningsvis testades med dimensionsklasserna hopslagna.

Testerna visade att det var en signifikant skillnad mellan alla klasserna förutom mellan dimensionsklasserna (tabell 2). Mellan stocktyperna var skillnaden minst och mellan årsringklasser var skillnaden relativt stor. Stockar med stor andel tjurved och krök hade lägre MoE än övriga. Man bör dock beakta att andelen krokiga stockar i studien var liten. De få stockarna i VMR-klass 1 hade en betydligt högre MoE än stockar i övriga klasser, dock var antalet observationer inte tillräckligt i klass 1 för att kunna se en signifikant skillnad. Mellan klasserna 2 och 3 var skillnaden inte signifikant, däremot mellan klass 4 och övriga klasser.

Tabell 2. Egenskaper av MoE hos stockar uppdelat på olika klasser, samt Anovatest av skillnad mellan klasserna.

Variabel	Klass	Stockarnas MoE (Gpa)					ANOVA
		Antal	Medel	Min	Max	StAvv	Pr > F
Dimension	196	387	15.7	8.8	23.9	2.4	n.s.
	236	441	16	9.6	23.2	2.2	(<0.0538)
Antal årsringar (2-8 cm från mårgen)	Ant. >20	524	16.4	9.8	18.8	2.2	***
	20 > Ant. <12	268	15.1	9.6	23.3	2.1	(< 0.0001)
	Ant. < 12	17	14.1	8.8	23.9	2.6	
Kvalitet (VMR 1-99)	1	9	17.9	5.7	19.2	1.3	***
	2	95	16	8.8	23.9	2.6	(< 0.0001)
	3	460	16.2	9.6	23.2	2.2	
	4	234	15.2	9.2	22.0	2.2	
	Vrak	11	14.7	9.8	17.9	2.4	
Tjur (Inom behandlings- cylinderns area)	Ingen tjur	444	16.1	9.8	23.9	2.3	***
	Ringa - 20 %	257	15.7	8.8	23.2	2.2	(< 0.0001)
	20- 50 %	127	15.1	9.2	19.4	2.1	
Krok (Båghöjd relaterat till stocklängd)	< 1 %	777	15.9	8.8	23.9	2.3	**
	> 1 %	32	14.7	9.2	18.9	2.2	(<0.0034)
Stocktyp	Rotstock	509	15.8	9.2	21.9	2.2	*
	Övrig stock	300	16.1	8.8	23.9	2.5	(< 0.0182)

\* Boxplotdiagram som grafiskt illustrerar datat redovisas i bilaga.



Tabell 3 visar de sågade utbytenas fördelning på hållfasthetsklasser samt stockarnas MoE-värden. Tabellen visar att stockar med utbyten i klass K30 har betydligt högre MoE-värden än de stockar som gav K24 och K18-reject. Något förvånande har stockar med utbyten i klass K18-reject högre MoE än stockar med utbyten i klass K24. I bilagan finns MoE som funktion av utbytenas hållfasthetsklass i boxplotform.

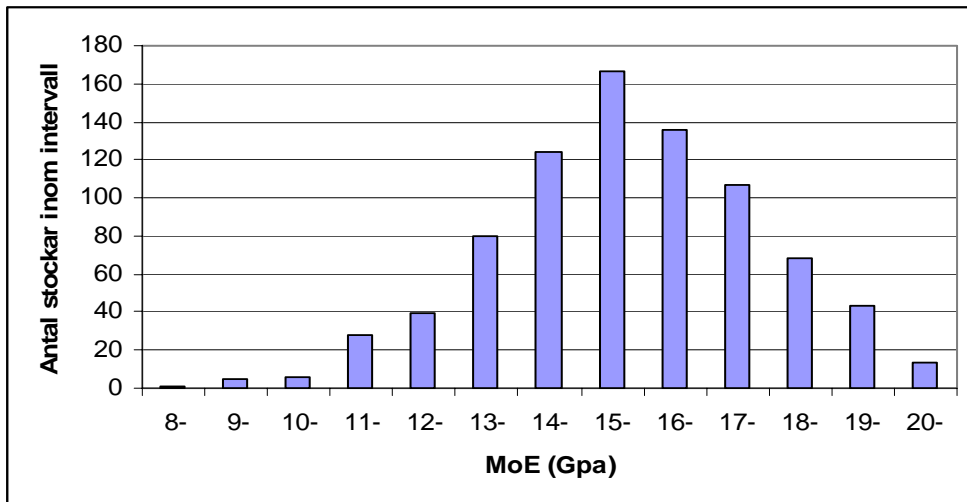
*Tabell 3. Egenskaper av MoE hos stockar tillhörande utbyten i olika hållfasthetsklasser, samt Anovatest av olikhet mellan klasserna.*

Stockarnas dimensions- klass	Cetrumutbytenas hållfasthetsklass	Antal utbyten	Stockarnas MoE (Gpa)				ANOVA
			Medel	Min	Max	StAvv	Pr > F
Alla	K30	2069	16.2	8.8	23.9	2.2	***
	K24	198	14.3	9,8	20.0	1.9	(<0.0001)
	K18-reject	604	15.1	8.8	23.9	2.3	
196	K30	1066	16.0	8.8	23.9	2.3	***
	K24	87	14.2	9.8	18.4	2.0	(<0.0001)
	K18-reject	395	15.2	8.8	23.9	2.3	
236	K30	1003	16.5	9.6	23.2	2.0	***
	K24	111	14.4	11.0	20.0	1.9	(<0.0001)
	K18-reject	209	15.0	9.6	22.0	2.3	

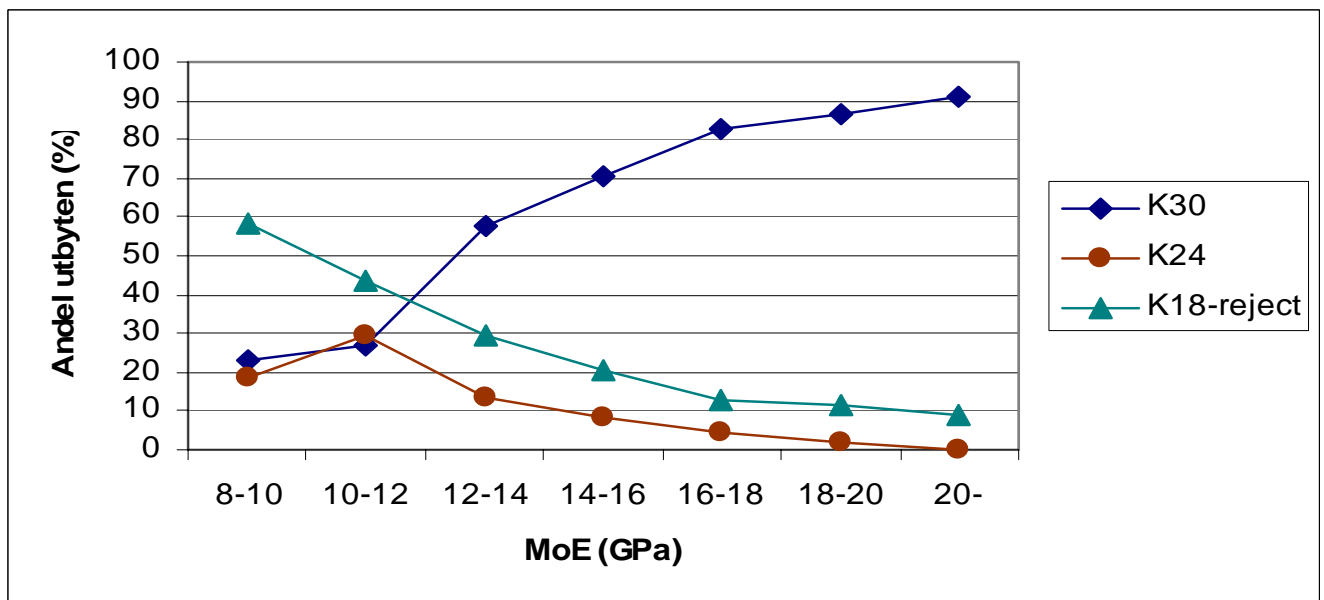
\* Boxplotdiagram som grafiskt illustrerar datat redovisas i bilaga.

## Hållfasthetsklassning

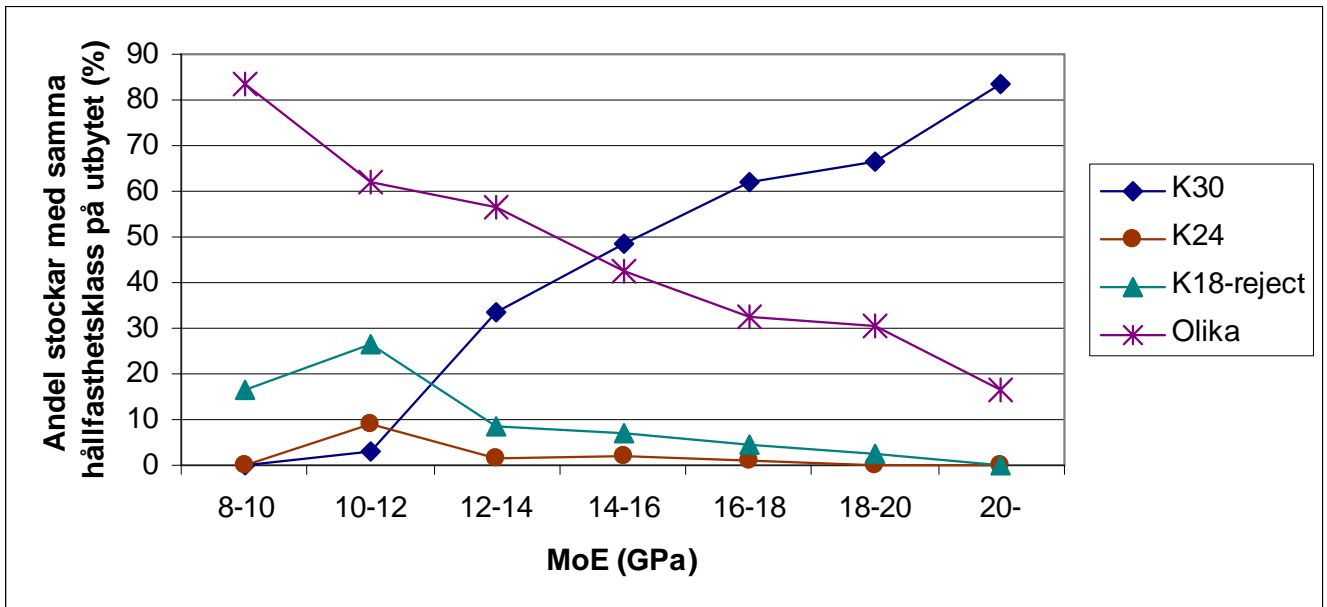
Antalet stockar i olika intervall av MoE finns redovisat i figur 4, fördelningen var till synes normalfördelad. Figur 5 redovisar andelen utbyten i olika hållfasthetsklasser som föll ut från stockar i olika MoE-intervall. För exempelvis stockar med en uppmätt MoE mellan 8 och 10 Gpa var volymsandelen K18-reject 58 %, K24 18 % och K30 23 %. Antalet stockar i denna grupp var sex stycken (figur 4). Figur 6 redovisar hur stor andel av stockarna som hade utbyten i samma hållfasthetsklass fördelat på olika hållfasthetsklasser resp. utbyten i olika hållfasthetsklasser (gruppen olika). Vid exempelvis en uppmätt MoE över 20 Gpa var andelen stockar där samtliga utbyten var K30 83 %, de övriga 17 % av stockarna hade olika hållfasthetsklass. Av stockar i intervallet mellan 10 och 12 Gpa hade 61 % blandade utbyten, 26 % av stockarna var rena K18-reject-stockar, 9 % rena K24-stockar och endast 3 % rena K30-stockar.



Figur 4. Antalet stockar inom olika intervall av MoE.



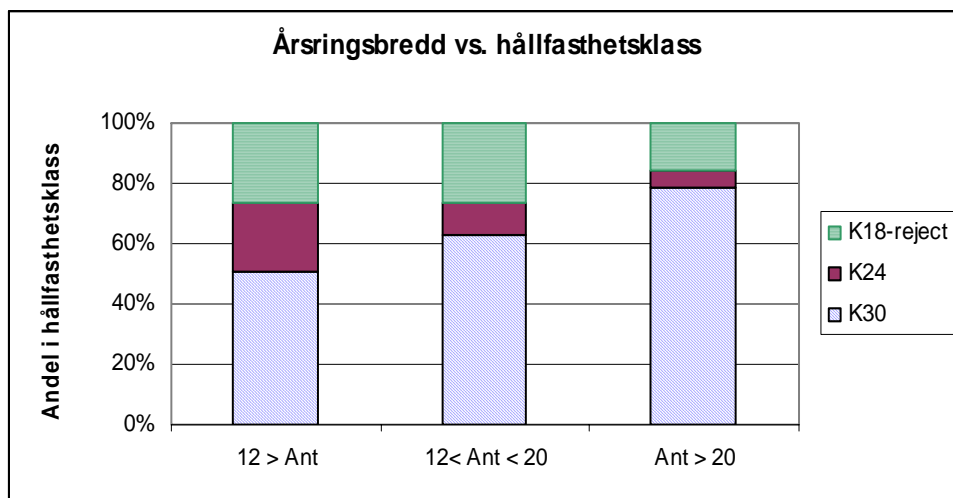
Figur 5. Sågutbytenas fördelning på hållfasthetsklasser vid olika elasticitetsmoduler (MoE) på stocken.



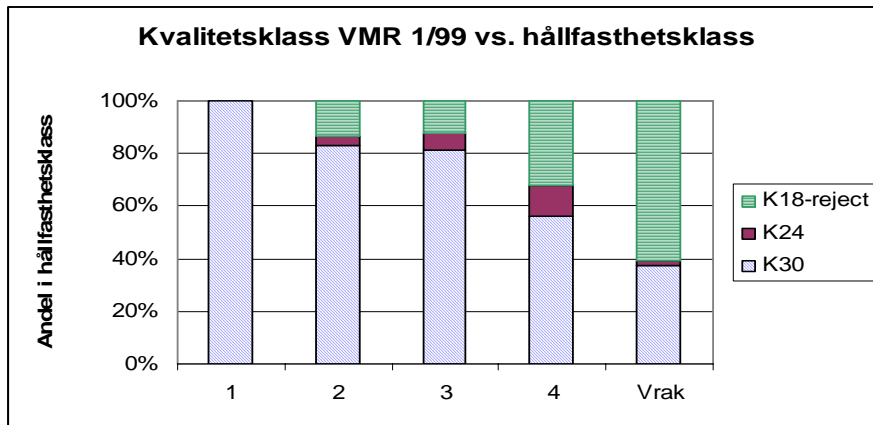
Figur 6. Andelen stockar med samma hållfasthetsklass resp. olika hållfasthetsklass på utbytet vid olika hållfasthetsklasserna vid olika elasticitetsmoduler på stocken.

### Hållfasthet och stockklassning

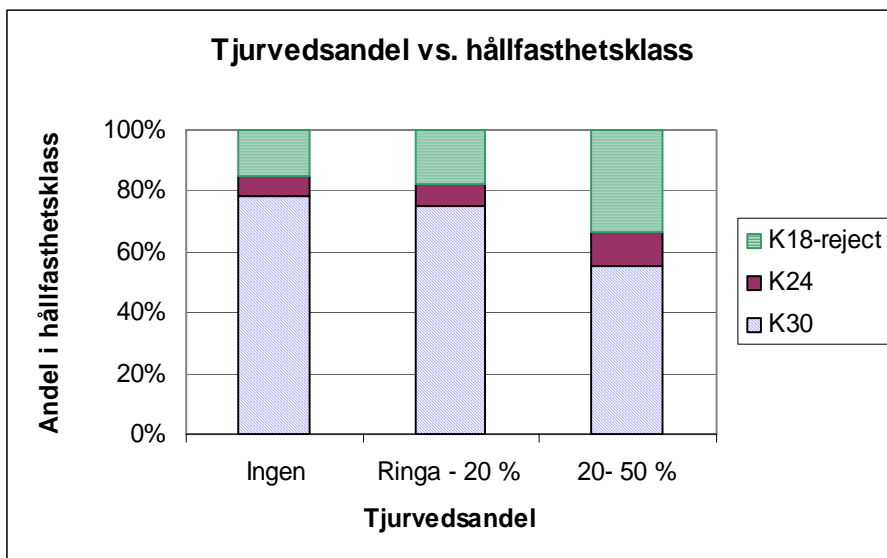
I figur 7 – 9 redovisas samband mellan stockegenskaperna tjurved, årsringsbredd, kvalitetsklass och utbytenas hållfasthetsklass.



Figur 7. Andel utbyten i olika hållfasthetsklasser uppdelat på stockar med olika årsringsbredd.



Figur 8. Andel utbyten i olika hållfasthetsklasser uppdelat på stockar med olika kvalitetsklasser enligt VMR 1/99.



Figur 9. Andel utbyten i olika hållfasthetsklasser uppdelat på stockar med olika andel tjurved.

## Diskussion och slutsats

Resultaten i denna studie visar att akustik skulle kunna vara en metod att sortera sågtimmer för att påverka utfallet av hållfast virke. Utfallet av virke i den bästa hållfasthetsklassen ökade markant och andelen i de sämre klasserna sjönk med ökad MoE. Var metoden har störst ekonomisk potential beror på många saker, inte minst ingående råvara.

Resultatet visade att andelen utbyten i bästa hållfasthetsklass sjönk markant i intervallet under 13 Gpa. Om man exempelvis sorterar ut alla stockar med MoE under 12 Gpa, vilket innebär 5% av stockarna, skulle utfallet i den gruppen vara 22 % K30, 23 % K24 och 50 % K18-reject. I gruppen bättre stockar skulle utfallet vara 74 % K30 6 % K24 och 20 % K18- reject. Vid en annan såg med en sämre råvara skulle troligen andelen stockar med en MoE under 12 Gpa vara större. Vid en industriell tillämpning skulle stockar med det lägre värdet kunna sorteras ut som emballagevirke eller massaved. Man skulle med denna metod bättre kunna sortera ut sämre råvara än i dagsläget.

Ett mera marknadsorienterat tillämpningsområde skulle kunna vara att för vissa produkter skapa en speciell extra hållfast timmerklass. Till exempel för regelvirke eller råvara till limträ där det är höga krav på hållfasthet på den färdiga produkten. Om man sorterar ut de stockar som har en MoE på över 19 GPa, vilket motsvarar 8% av stockarna skulle den timmerklassen ge mer än 90 % av de sågade utbytena i K 30. Det är dock möjligt att dessa produkter trots allt måste hållfasthets-sorteras om det kundkravet finns. Men man har då trots allt sparat stora summor på minskad produktionstid, frakt samt kostnader för hållfasthets-sortering på råvara där man vet att en stor andel ej kommer att klara hållfasthetskraven för K30.

Förutom samband mellan sågad vara och MoE på stocken kunde en hel del samband fastställas rörande stocken yttre synliga egenskaper och MoE. Intressantast var sambandet med årsringsbredd vara, då årsringsbredd samvarierar med kviststorlek och hållfasthet generellt. Även tjurved som samvarierar med hållfasthet påverkade MoE. Att krök påverkade MoE berodde troligen på att de få krokiga stockarna också hade en hög andel tjurved. Skillnaden med avseende på MoE och stocktyp var relativt liten, detta har även visats i studier på Nya Zeeland (Xu et al. 1999).

Vissa samband mellan egenskaper på stocken och andelar utbyten i olika hållfasthetsklasser kunde också påvisas. Man bör dock beakta andelen stockar i de olika grupperna. Klass 1-stockar hade exempelvis 100 % K30-utbyten men antalet stockar i denna klass var endast nio.

Begränsningarna i studien rör främst att kvistdatat från den automatiska justeringen (Finnsconnern) inte gick att analysera då dessa ansågs vara otillförlitliga. Kvist är en viktig parameter när det gäller att skatta hållfasthet på utbyten. Andra data som hade varit intressant att analysera är densiteten på stockarna då denna är en av ingångsparametrarna i formeln för MoE och även i sig viktig parameter för att prediktera hållfasthet. Arbetet med att få fram dessa parametrar ansågs vara alltför arbetskrävande i denna relativt stora studie. Ytterligare en begränsning i studien var att det på Uppsala Trä inte fanns möjlighet att separera utbytena i mer än tre fack vilket ledde till att K18 och reject lades som en grupp och har samanalyserats. Detta kan förklara att stockar vars utbyten kommer från gruppen K18-reject har högre MoE än stockar vars utbyten är K24. Detta kan bero på att många utbyten som hade god

hållfasthet klassades ner som ”reject” på grund av spricka eller någon annat som inte hade att göra med vedegenskaper som är kopplade till MoE.

För att få en industriell tillämpning och ett genomslag för metoden bör utrustning utvecklas som kan användas inomhus i timmersorteringen. En sådan utrustning måste därmed klara den matningshastighet och de förhållanden som råder på ett modernt sågverk. Den manuella metoden som användes upplevdes som relativt robust och tekniken är relativt billig. En industriell mätare bör kunna utvecklas.

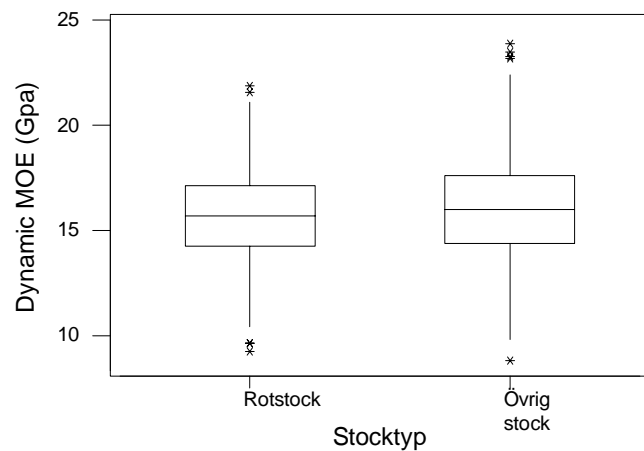
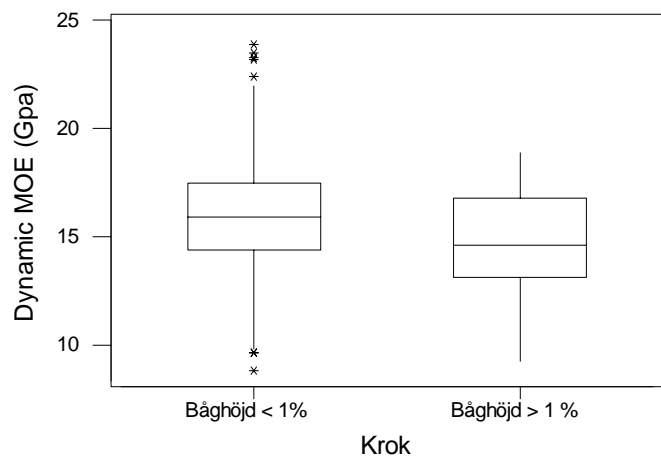
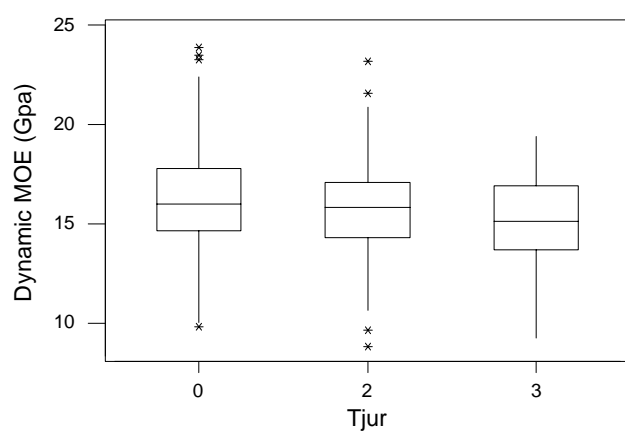
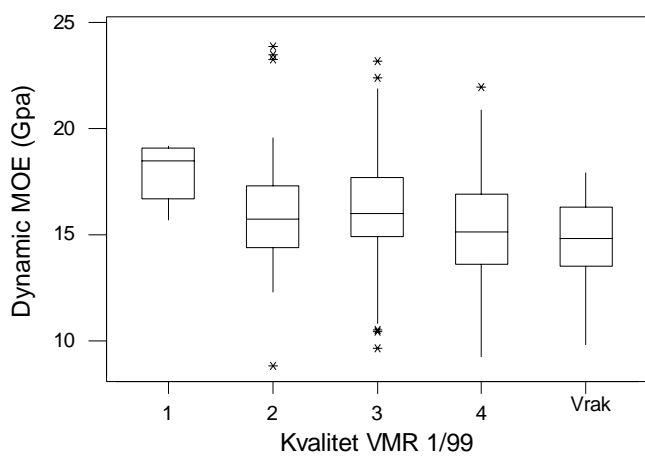
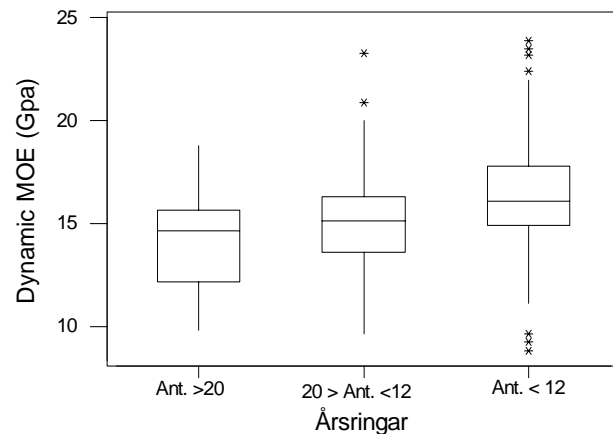
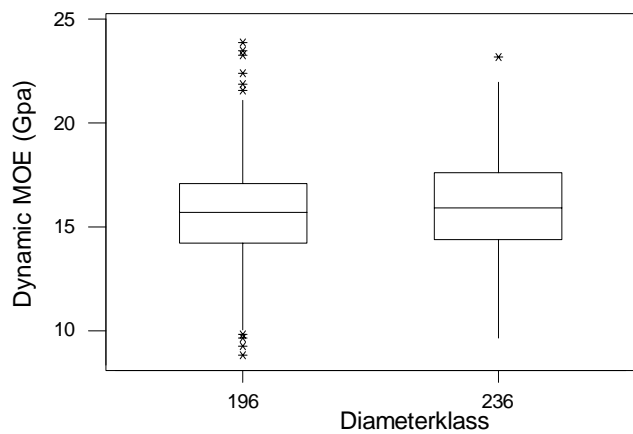
Vid fortsatta studier bör man koncentrera sig på ett mindre antal stockar samtidigt som fler variabler granskas så att sambanden mellan stockens egenskaper och utbytenas hållfasthet ytterligare klarläggs. Förutom de data som var med i denna studie bör man även mäta densiteten på stocken som är en ingående variabel i formeln för MoE och kan förklara en del av variationen i hållfasthet. Fuktkvoten bör också mätas då denna kan vara av betydelse för ljudhastigheten. Ett kontinuerligt värde på böjhållfastheten skulle föredras då man direkt skulle kunna beräkna korrelationen mellan MoE och utbytenas hållfasthet. Även mått på kvistarnas storlek och mängd bör vara av intresse för hållfastheten.

**Denna studie visar att ljudets hastighet genom stocken minskar med en rad icke önskvärda egenskaper hos sågtimmer. Låg egenfrekvens hos stocken leder därmed i sin tur till hög andel mindre hållfast virke. Sammantaget bör stora värden skapas genom en bättre och billig sortering av bra respektive dåligt virke vid timmersorteringen. Med andra ord: akustik är ljuv musik för sågverksbranschen.**

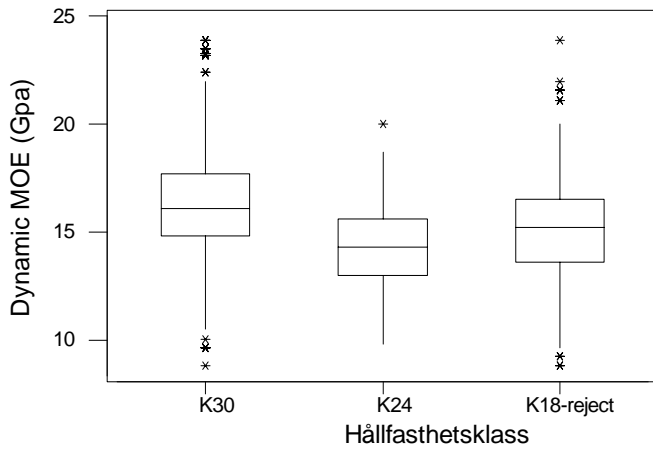
## Litteratur

- Huang, C., Lindström, H., Nakada, R. & Ralston, J., 2003. Cell wall structure and wood properties determined by acoustics- a selective review. Holz-als-Roh-und-Werkstoff, 61(2003):: 321-335. (In press).
- Kliger, R., Johansson, G. & Bäckström, M., 2003. Dynamic measuring of modulus of elasticity on logs- a possible way to sort logs. Division of Steel and Timber Structures, Gothenburg, Sweden. Report 03:5, 16 pp.
- Mishiro, A., 1995. Ultrasonic velocity in Wood and its Moisture content. Mokuzai Gakkaishi, 41: 1086-1092.
- USDA, 1974. Wood Handbook: Wood as a engineering material. US Forest Products Laboratory, Madison, WI
- Xu, P., Nakada, R. & Walker, J. C. F. 1999. Optimizing your processing: the right wood for the right technology. In 3rd Wood Quality Symposium: Emerging technologies for wood processing, Rotorua & Melbourne, pp. 12.

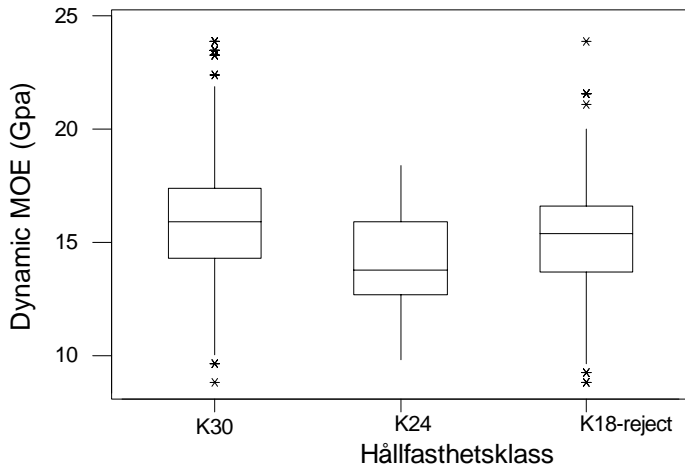
**Bilaga: Boxplotdiagram som grafiskt illustrerar data som redovisas i tabell 2 och 3.**



Alla utbyten



Diameterklass 196



Diameterklass 236

