
Nordisk samkalibrering av styrkesorteringsmaskiner

Nordtest Technical Report 210

av Kjell Helge Solli

INNHALDSFORTEGNELSE.

	Side nr.
Bakgrunn	3
Sammendrag	4
Prøveomfang og utvelgelse	5
Densitet og fuktighet	6
Kvister	6
Laboratoriemålt elastisitetsmodul lavkant, MOE_{lk}	7
Lavkant elastisitetsmodul og densitet	10
Lavkant elastisitetsmodul og kvist	11
Laboratoriemålt elastisitetsmodul høykant, MOE_{hk}	15
Høykant elastisitetsmodul og densitet	18
Høykant elastisitetsmodul og kvist	19
Forholdet mellom MOE_{hk} og MOE_{lk}	21
Maskinsortering	24
Resultater fra sortering med Cook-Bolinder	24
Cook-Bolinder - elastisitetsmoduler	25
Cook-Bolinder - elastisitetsmodul og densitet	26
Cook-Bolinder - sammenligning mellom maskinmålt og laboratoriemålt elastisitetsmodul	27
Cook-Bolinder - sammenligning mellom maskinmålt elastisitetsmodul for hel og halv prøvelengde	31
Resultater fra sortering med Computermatic	38
Computermatic - elastisitetsmoduler	38
Computermatic - elastisitetsmodul og densitet	38
Computermatic - sammenligning mellom maskinmålt og laboratoriemålt elastisitetsmodul	39
Computermatic - sammenligning mellom maskinmålt elastisitetsmodul for hel og halv prøvelengde	41
Maskinsortering - sammenstilling og diskusjon av noen av de fremkomne resultatene	45
1. Forholdet mellom minste og midlere elastisitetsmodul	45
2. Forholdet mellom maskinmålt elastisitetsmodul og densitet	48
3. Forholdet mellom maskinmålt og reell elastisitetsmodul	49
4. Forholdet mellom sortering av hel og halv planke	54
Konklusjon	56
Litteraturhenvisninger	58

BAKGRUNN.

I de siste årene har interessen for maskinell styrkesortering øket kraftig. Dette skyldes både ønsket om å øke effektiviseringen i sorteringsprosessen og at det er blitt definert sorteringsklasser med høyere krav til kvalitet, som det ikke lot seg gjøre å sortere visuelt. Dersom en ser fremover, vil en måtte forvente at etterspørselen etter maskinsortert trevirke vil øke generelt, og etter virke i de høyeste fasthetsklassene spesielt. Innenfor det kommende systemet av europastandarder (CEN) defineres det flere fasthetsklasser som ligger høyere enn hva som kan sorteres ut ved hjelp av visuelle sorteringsregler. Dersom limtreindustrien ønsker å produsere limtrebjelker med fastheter opp mot det de i dag gjør, vil de bli tvunget til å benytte sorterings-/fasthetsklasser som kun kan klassifiseres ved bruk av maskin.

Hensikten med dette prosjektet har vært å undersøke hvordan enkelte materialparametere, hver for seg og kombinert med andre, har innvirkning på utfallet ved maskinell styrkesortering. Målsettingen er at resultatene fra dette prosjektet skal være med på å legge grunnlaget for en optimal maskinell styrkesortering, både med hensyn til sorteringsutbytte og sikker sortering. Videre er målsettingen at prosjektets resultater kan være med på å dokumentere grunnlaget for maskinsortert, nordisk trelast med hensyn til det europeiske markedet.

SAMMENDRAG.

Det er i dette Nordtest-prosjektet forsøkt å kartlegge en del parametre som ansees å ha innflytelse på utfallet ved maskinell styrkesortering. Det er i prosjektet valgt å konsentrere seg om relativt få prøvestykker. På denne måten ble det mulig å undersøke langt flere parametere.

Prosjektet har undersøkt følgende forhold:

- Forholdet mellom laboratoriemålt elastisitetsmodul, målt henholdsvis ved bøyning om svak og sterk akse.
- Densitetens innvirkning på nevnte elastisitetsmoduler.
- Kvisters innflytelse på nevnte elastisitetsmoduler.
- Elastisitetsmoduler bestemt ved hjelp av en Cook-Bolinder sorteringsmaskin, samt hvilket forhold det er mellom disse og korresponderende verdier bestemt ved laboratoriemålinger.
- Elastisitetsmoduler bestemt ved hjelp av en Computermatic sorteringsmaskin, samt hvilket forhold det er mellom disse og korresponderende verdier bestemt ved laboratoriemålinger.
- Hvordan materialenes lengde innvirker på maskinmålingene ved sortering med Cook-Bolinder og Computermatic.

Resultatene fra prosjektet tyder på at dersom en skal oppnå en optimal sortering, er det enkelte av dagens rutiner som bør modifiseres noe. I tillegg gis det foreslag til hvordan en kan tenke seg å redusere feilsortering (nedklassing) ved hjelp av tilleggsrutiner som bør kunne innarbeides i sorteringsprosessen.

Rapporten konkluderer med at dagens rutiner og innstillinger gir tilfredsstillende sortering av de fasthetsklassene som det er størst etterspørsel etter. En kan imidlertid forvente en øket etterspørsel etter trevirke i høyere fasthetsklasser etter hvert som de kommende CEN-standardene trer i kraft (spesielt til limtreindustrien). Dersom en skal oppnå dette, vil det være behov for bedre styring av sorteringsprosessen. En bedre styrt sorteringsprosess vil medføre at en mindre prosentandel enn i dag feilaktig nedklassifiseres til lavere klasser. Dette vil videre medføre at en må heve sorteringsgrensene for disse lavere klassene. Det antas i rapporten at en slik innskjerping vil kunne forsvares ved at utbyttet i de høyere klassene øker.

PRØVEOMFANG OG UTVELGELSE.

Forsøkene som denne rapporten omhandler, er utført på 30 planker. Disse var fordelt på følgende dimensjoner (nominelle mål):

5 stk. 38 mm x 98 mm
5 stk. 38 mm x 148 mm
5 stk. 38 mm x 198 mm
5 stk. 48 mm x 98 mm
5 stk. 48 mm x 148 mm
5 stk. 48 mm x 198 mm

Samtlige prøver med unntak av serien med dimensjon 48 mm x 98 mm ble tatt fra lager på et nærliggende sagbruk. Disse 25 prøvene var alle visuelt sortert og stemplet som T18. Utvelgelsen av prøver skjedde etter lengde. Målsettingen var å skaffe prøvestykker med lengde 5,0 m eller lenger.

Serien med nominell dimensjon 48 mm x 98 mm stammet fra et trelastparti som tidligere hadde inngått i et prosjekt ved Norsk Treteknisk Institutt (NTI). Prøvene var ikke påstemplet sorteringsklasse. En visuell vurdering av de 5 prøvene i denne klassen viste at materialene var meget kvistfri og med få unntak ville blitt sortert til klasse T30.

På samtlige prøver ble det oppmålt og inntegnet et nummerert referansesystem. Dette ble gjort ved at man først målte seg inn 500 mm fra den ene enden. Dette ble definert som *målepunkt 1*. Deretter ble det avmerket målepunkter med avstand 150 mm i hele prøvens lengde. Disse ble fortløpende nummerert og betegnet som *målepunkt 2*, *målepunkt 3*...osv. inntil det gjennsto 500 mm. Den påfølgende testingen ble hele tiden utført med referanse til den enkelte prøves nummersystem.

Samtlige 30 prøver ble klimatisert i laboratoriet til NTI før testingen startet. NTI's laboratorium har konstant klima gitt ved +20°C og RF = 65 %.

DENSITET OG FUKTIGHET.

Fra enden av samtlige 30 prøver ble det tatt ut densitetsprøver (feilfritt virke). Prøveuttakingen skjedde umiddelbart etter at laboratoriemålingene (MOE_{lab}) var avsluttet. Prøvestykkenes volum og vekt ble registrert. Deretter ble de tørket ved ca. 100°C inntil de var helt tørre. Tørrvekten ble så registrert. Fuktighet (f %) ble beregnet på bakgrunn av de registrerte data. Prøvenes densitet ble korrigert til vekt og volum ved 12 % trefuktighet.

	48x98	48x148	48x198	36x98	36x148	36x198
ρ_{midd}	484,0	427,7	407,3	416,2	438,2	430,5
ρ_k	357,5	325,9	320,1	300,8	331,1	348,3

Tabell 1. Sammenstilling av densiteter ($\rho_{12,12}$) for seriene.

	48x98	48x148	48x198	36x98	36x148	36x198
f_{midd}	13,0	13,9	14,6	13,5	12,4	13,6

Tabell 2. Sammenstilling av trefuktighet for seriene.

Dersom en sammenligner verdiene for densitet med kravverdiene i prEN 338 [1], ville en på bakgrunn av densitet alene fått følgende klasser:

	48x98	48x148	48x198	36x98	36x148	36x198
f_{midd}	C24	C18	C18	C14	C18	C22

Tabell 3. Sammenstilling av korresponderende fasthet (prEN 338) for serienes densitetsverdier.

KVISTER.

Kvistene og deres plassering ble registrert for hver prøve. De angitte kvistmål tilsvarende forholdet mellom kvistdiameter og dimensjon (tykkelse evt. bredde). Det ble skilt mellom flatsidekvist og kantkvist. Beregning av diameter ble gjort i henhold til NS 3080 [2] og INSTA 142 [3]. Kvistens plassering ble satt i forhold til et på hver prøve innmålt referansesystem.

LABORATORIEMÅLT ELASTISITETSMODUL LAVKANT, MOE_{lk} .

For hver prøve ble MOE_{lk} registrert i punkter med med senteravstand 150 mm i hele prøvens lengde (med unntak av 500 mm i hver ende). Dette ga ca. 25 - 35 målepunkter pr. prøve.

Spennvidden for hver måling av MOE_{lk} var 914 mm og det ble benyttet en sentrisk plassert punklast. Lastpåføringen skjedde med konstant hastighet frem til en bøyespenning tilsvarende 15 N/mm².

Deformasjonen ble målt med en elektronisk deformasjonsgiver plassert sentrisk i forhold til både spennvidden og prøvebredden.

Både prøvemaskin og deformasjonsgiver var tilkoblet en PC. PC'en registrerte fortløpende de korresponderende måleresultatene fra prøvemaskin og deformasjonsgiver. Registrering av måleresultater skjedde i et intervall som for hver prøve hadde nedre grense 5 N/mm² og øvre grense 14 N/mm². Innenfor dette intervallet ble det registrert mellom 200 og 300 avlesninger av forholdet mellom kraft og deformasjon. Ved oppnådd øvre grense beregnet PC'en direkte den rettlinjete regresjonslinjen mellom de avleste verdiene. Alle registrerte data ble lagret i PC'en.

36 x 98	MIN.	MIDD.	MAX.
Nr.1	8095	9133	9974
Nr. 2	10530	11607	12566
Nr. 3	8885	9931	11316
Nr. 4	9062	11923	14305
Nr. 5	6425	8718	10064

Tabell 4. Laveste (MIN), midlere (MIDD) og høyeste (MAX) registrerte MOE_{lk} for prøver med dimensjon 36 x 98 mm.

$$(MIDD) = 0,80 \cdot (MIN) + 3390 \quad (r = 0,83) \quad (1)$$

$$(MIDD) = 0,76 \cdot (MAX) + 1441 \quad (r = 0,96) \quad (2)$$

36 x 148	MIN.	MIDD.	MAX.
Nr.1	8210	9143	9802
Nr. 2	7265	8838	10676
Nr. 3	8299	11245	12704
Nr. 4	10152	12478	13699
Nr. 5	11427	11901	12426

Tabell 5. Laveste (MIN), midlere (MIDD) og høyeste (MAX) registrerte MOE_{lk} for prøver med dimensjon 36 x 148 mm.

$$(MIDD) = 0,80 \cdot (MIN) + 3481 \quad (r = 0,81) \quad (3)$$

$$(MIDD) = 0,98 \cdot (MAX) - 865 \quad (r = 0,94) \quad (4)$$

36 x 198	MIN.	MIDD.	MAX.
Nr.1	8779	9567	10288
Nr. 2	10289	11656	12563
Nr. 3	6688	7546	8208
Nr. 4	9474	10187	10880
Nr. 5	9594	10552	11313

Tabell 6. Laveste (MIN), midlere (MIDD) og høyeste (MAX) registrerte MOE_{lk} for prøver med dimensjon 36 x 198 mm.

$$(MIDD) = 1,09 \cdot (MIN) + 142 \quad (r = 0,99) \quad (5)$$

$$(MIDD) = 0,95 \cdot (MAX) - 208 \quad (r = 1,00) \quad (6)$$

For samtlige prøver med tykkelse 36 mm:

$$(MIDD) = 0,87 \cdot (MIN) + 2580 \quad (r = 0,85) \quad (7)$$

$$(MIDD) = 0,85 \cdot (MAX) + 638 \quad (r = 0,95) \quad (8)$$

48 x 98	MIN.	MIDD.	MAX.
Nr.1	12170	13754	15090
Nr. 2	8773	10412	11698
Nr. 3	9736	10494	11015
Nr. 4	9431	11047	11519
Nr. 5	10408	10993	11431

Tabell 7. Laveste (MIN), midlere (MIDD) og høyeste (MAX) registrerte MOE_{lk} for prøver med dimensjon 48 x 98 mm.

$$(MIDD) = 0,99 \cdot (MIN) + 1379 \quad (r = 0,93) \quad (9)$$

$$(MIDD) = 0,81 \cdot (MAX) + 1542 \quad (r = 0,97) \quad (10)$$

48 x 148	MIN.	MIDD.	MAX.
Nr.1	11146	12245	12919
Nr. 2	7350	7992	8527
Nr. 3	7046	8052	9071
Nr. 4	7859	9164	10793
Nr. 5	7382	8741	9168

Tabell 8. Lavest (MIN), midlere (MIDD) og høyeste (MAX) registrerte MOE_{lk} for prøver med dimensjon 48 x 148 mm.

$$(MIDD) = 1,02 \cdot (MIN) + 934 \quad (r = 0,99) \quad (11)$$

$$(MIDD) = 0,94 \cdot (MAX) - 259 \quad (r = 0,96) \quad (12)$$

48 x 198	MIN.	MIDD.	MAX.
Nr. 1	6906	7287	7581
Nr. 2	8571	9578	9476
Nr. 3	8930	9263	9476
Nr. 4	8240	9414	9975
Nr. 5	5061	7276	8747

Tabell 9. Laveste (MIN), midlere (MIDD) og høyeste (MAX) registrerte MOE_{lk} for prøver med dimensjon 48 x 198 mm.

$$(MIDD) = 0,66 \cdot (MIN) + 3591 \quad (r = 0,89) \quad (13)$$

$$(MIDD) = 0,91 \cdot (MAX) + 149 \quad (r = 0,90) \quad (14)$$

For samtlige prøver med tykkelse 48 mm:

$$(MIDD) = 0,96 \cdot (MIN) + 1454 \quad (r = 0,96) \quad (15)$$

$$(MIDD) = 0,92 \cdot (MAX) + 11 \quad (r = 0,97) \quad (16)$$

For samtlige 30 prøver (tykkelse 36 mm og 48 mm)

$$(MIDD) = 0,93 \cdot (MIN) + 1838 \quad (r = 0,91) \quad (17)$$

$$(MIDD) = 0,88 \cdot (MAX) + 400 \quad (r = 0,96) \quad (18)$$

Norsk Treteknisk Institutt gjennomførte i 1990/91 et større prosjekt om styrkeegenskaper hos norsk limtre [4]. I dette prosjektet ble det bl.a. sortert 5602 limtre lameller (38 mm x 90 mm) på en Computermatic styrkesorteringsmaskin.

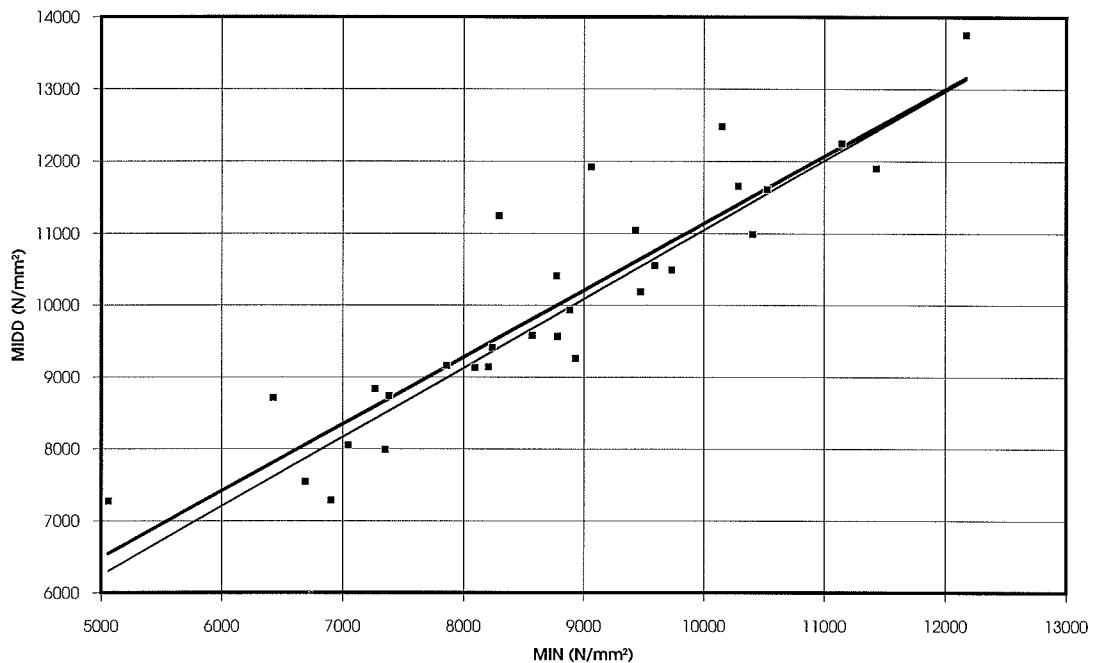
Data fra denne sorteringen er gjennomgått med hensyn på å bestemme sammenhengen mellom midlere og minste registrerte maskinmålte elastisitetsmodul. Resultatene fra 5602 lameller ga følgende sammenheng:

$$(MIDD) = 0,96 \cdot (MIN) + 1447 \quad (r = 0,91) \quad (19)$$

Som det fremgår av ligning (19) er sammenhengen mellom de maskinmålte (MIN) og (MIDD) tilnærmet den samme som ble bestemt for dette prosjektets 30 prøver (17).

Figur 1 viser hvordan ligning (17), fet strek, og ligning (19), tynn strek, ligger sammenliknet med de 30 dataparene fra laboratoriemålingen.

Det gjøres oppmerksom på at dataene fra limtreprosjektet [4] i ettertid ble noe modifisert på grunn av visse feilkilder skyldet vibrasjoner under sorteringsprosessen.



Figur 1. Sammenheng mellom (MIN) og (MIDD) for prosjektets 30 prøver. Fet linje tilsvare ligning (17) funnet for de 30 prøvene. Tynn linje tilsvare ligning (19) besemt for 5602 limtre lameller.

LAVKANT ELASTISITETSMODUL OG DENSITET.

Densitet og laboratoriemålt elastisitetsmodul er sammenlignet. De benyttete densitetverdiene er omregnet til 12 % og volum ($\rho_{12,12}$).

Samtlige 15 prøver med tykkelse 36 mm:

$$(\text{MIN}) = 23,03 \cdot \rho_{12,12} - 1000 \quad (r = 0,63) \quad (20)$$

$$(\text{MIDD}) = 28,53 \rho_{12,12} - 1924 \quad (r = 0,77) \quad (21)$$

$$(\text{MAX}) = 29,47 \rho_{12,12} - 1236 \quad (r = 0,71) \quad (22)$$

Samtlige 15 prøver med tykkelse 48 mm:

$$(\text{MIN}) = 16,96 \cdot \rho_{12,12} + 1143 \quad (r = 0,49) \quad (23)$$

$$(\text{MIDD}) = 17,67 \rho_{12,12} + 1947 \quad (r = 0,51) \quad (24)$$

$$(\text{MAX}) = 20,29 \rho_{12,12} + 1557 \quad (r = 0,55) \quad (25)$$

For samtlige 30 prøver (tykkelse 36 mm og 48 mm)

$$(\text{MIN}) = 18,51 \cdot \rho_{12,12} + 701 \quad (r = 0,52) \quad (26)$$

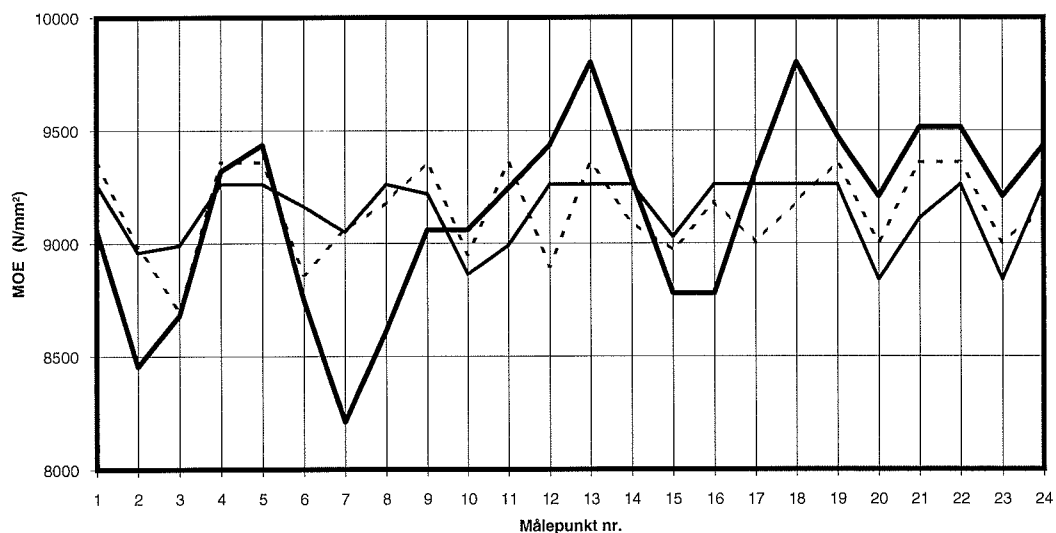
$$(\text{MIDD}) = 20,48 \cdot \rho_{12,12} + 1115 \quad (r = 0,57) \quad (27)$$

$$(\text{MAX}) = 22,0 \cdot \rho_{12,12} + 1382 \quad (r = 0,55) \quad (28)$$

LAVKANT ELASTISITETSMODUL OG KVIST.

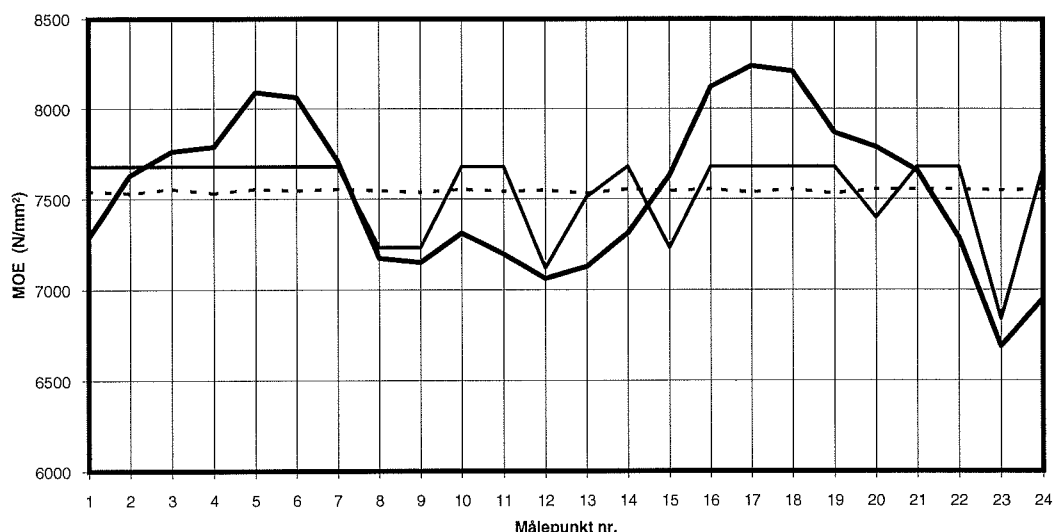
For å undersøke hvorvidt de enkelte prøvenes laboratoriemålte elastisitetsmodul hadde sammenheng med registrerte kvistdiametre i korresponderende målepunkter, ble det for hver prøve utført to regresjonsanalyser. Den ene analysen uttrykker MOE_{lk} som funksjon av korresponderende flatsidekvist ($\emptyset_f$), og den andre som funksjon av korresponderende kantkvist ($\emptyset_k$). Dersom det i et målepunkt var mer enn én flatsidekvist, eventuelt kantkvist, er kvistmålet satt lik summen av de respektive kvisttyper. Alle kvistmål er satt som kvistdiameter dividert med bredde ($\emptyset_f = D_f/b$), eventuelt tykkelse ($\emptyset_k = D_k/t$).

Resultatene fra disse analysene viser ingen god statistisk sammenheng mellom MOE_{lk} og kviststørrelsene $\emptyset_f$ og $\emptyset_k$. For enkeltstående prøver kan en tidvis finne relativt god sammenheng (eksempel, se figur 2 og 3), mens det for andre er tilsynelatende ingen sammenheng (eksempel, se figur 4).



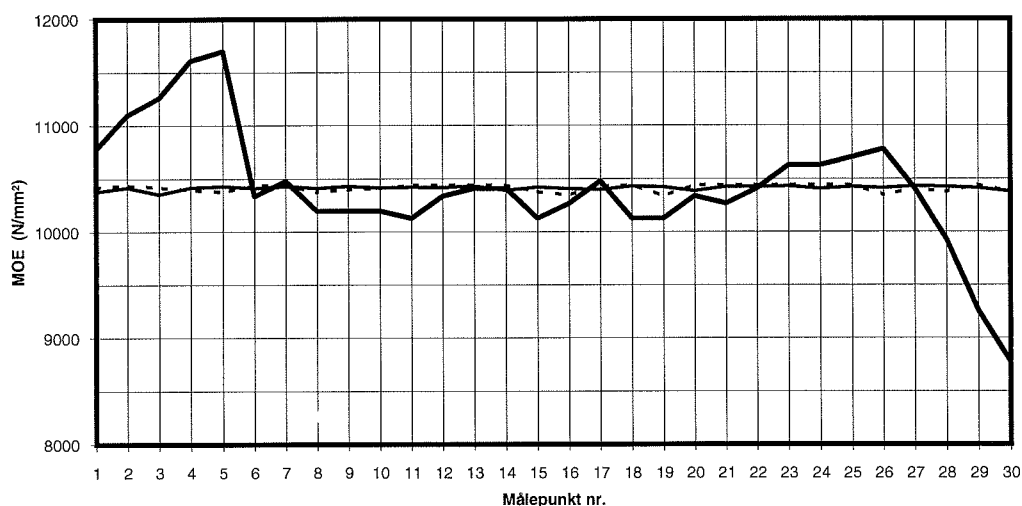
Figur 2. MOE_{lk} gitt som funksjon av relle verdier (fet, heltrukken strek), kantsidekvist ($\emptyset_k$) (halvfet, heltrukken strek) og flatsidekvist ($\emptyset_f$) (halvfet, stiplet strek).

Figur 2 viser hvordan estimerte verdier for MOE_{lk} , beregnet på bakgrunn av $\emptyset_k$ og $\emptyset_f$, begge har en viss samstemmighet med den reelle verdien. Figur 2 angir verdier bestemt for prøve (36 x 148/Nr. 1).



Figur 3. MOE_{ik} gitt som funksjon av relle verdier (fet, heltrukken strek), kantsidekvist ($\bar{\sigma}_k$) (halvfet, heltrukken strek) og flatsidekvist ($\bar{\sigma}_f$) (halvfet, stiplet strek).

Figur 3 viser forløpet av MOE_{ik} . Tilsvarende forløp av estimert MOE_{ik} , beregnet på bakgrunn av $\bar{\sigma}_k$ gir relativ god sammenheng med den relle verdien. For denne prøven (36x198/Nr.3) er det registrert flatsidekvist i bare 3 av 24 målepunkter. Et estimat for MOE_{ik} som funksjon av $\bar{\sigma}_f$ vil derfor som på figur 3 fremstå som en tilnærmet rett linje.



Figur 4. MOE_{ik} gitt som funksjon av relle verdier (fet, heltrukken strek), kantsidekvist ($\bar{\sigma}_k$) (halvfet, heltrukken strek) og flatsidekvist ($\bar{\sigma}_f$) (halvfet, stiplet strek).

I figur 4 går det klart frem at variasjonene i MOE_{lk} ikke skyldes kvister. Estimert forløp av MOE_{lk} både som funksjon av $\bar{\varnothing}_f$ og $\bar{\varnothing}_k$ fremstår som tilnærmete rette linjer.

Fallet i reell MOE_{lk} i de siste 3 målepunktene skyldtes for denne prøven (48x98/Nr.2) store fiberforstyrrelser fra et toppbrudd.

Dersom samtlige målepunkter for MOE_{lk} for alle prøver med tykkelse 36 mm kombineres med sine respektive kvistregistreringer, fås følgende sammenhenger ($n = 393$):

$$MOE_{lk} = - 3718 \cdot \bar{\varnothing}_f + 10559 \quad (r = 0,20) \quad (29)$$

$$MOE_{lk} = - 95,5 \cdot \bar{\varnothing}_k + 10334 \quad (r = 0,09) \quad (30)$$

Tilsvarende for alle prøver med tykkelse 48 mm ($n = 422$):

$$MOE_{lk} = + 936,6 \cdot \bar{\varnothing}_f + 9673 \quad (r = 0,04) \quad (31)$$

$$MOE_{lk} = + 93,3 \cdot \bar{\varnothing}_k + 9715 \quad (r = 0,01) \quad (32)$$

Tykkelse 36 mm og 48 mm sammenslått ($n = 815$):

$$MOE_{lk} = -1371 \cdot \bar{\varnothing}_f + 10098 \quad (r = 0,07) \quad (33)$$

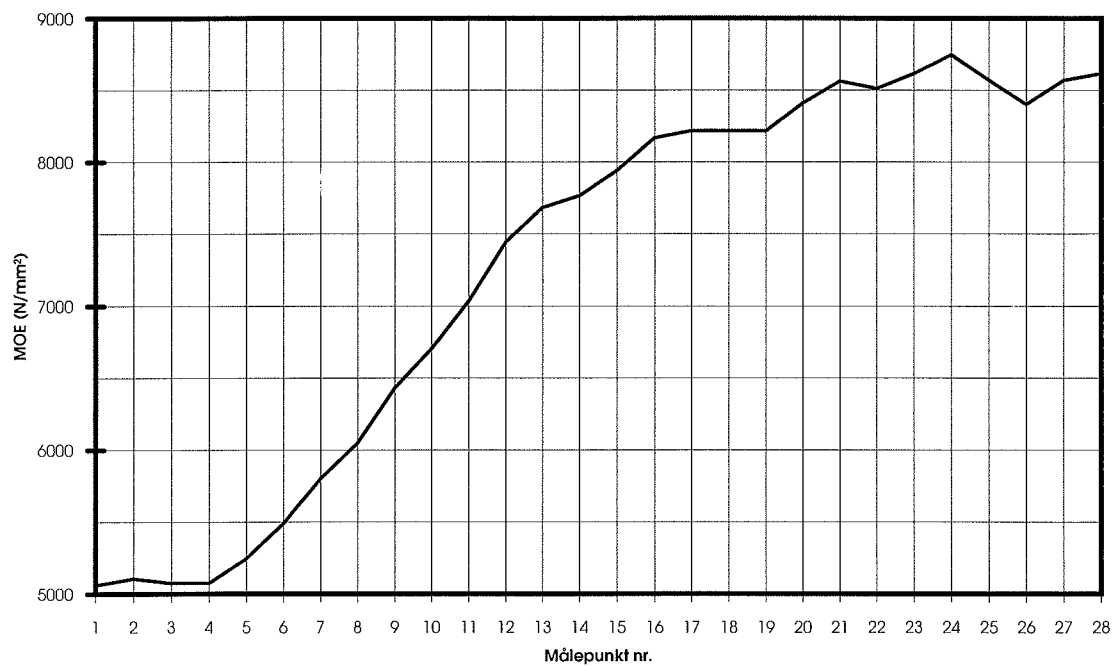
$$MOE_{lk} = - 81,0 \cdot \bar{\varnothing}_k + 10027 \quad (r = 0,05) \quad (34)$$

Disse 6 siste ligningene forteller at det vil være meningsløst å sortere med hensyn på elastisitetsmodul når en kun tar hensyn til kviststørrelse.

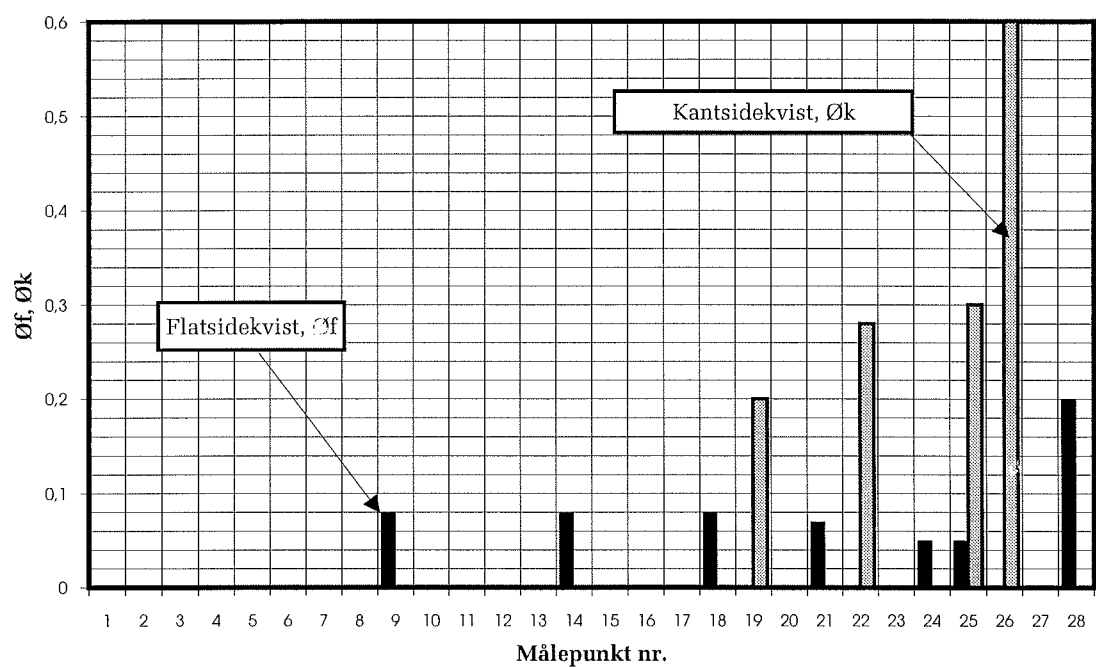
Enkelte av prøvestykkene som har inngått i dette prosjektet viste variasjoner av MOE_{lk} over prøvestykkets lengde, som ikke var påvirket av kvistplassering eller størrelse. Figur 5 viser et slikt forløp av MOE_{lk} for prøvestykke (48x198/Nr.5). På figur 6 er flatside- og kantkvistenes størrelser og plassering vist for det samme prøvestykket. Dersom en ser på MOE_{lk} i målepunktene 19, 22, 25 og 26 (figur 5), kan en ane lokale avvik fra den tilsynelatende jevne kurven. Ser en så på figur 6, finner en at det i de samme punktene fantes kvister. Imidlertid er kvistenes innflytelse på variasjonen av MOE_{lk} for denne aktuelle prøven langt mindre enn den variasjonen prøvestykket har i seg selv, hele lengden tatt i betraktning. Den største kantkvisten har, som det går fram av figur 6/målepunkt 26, en diameter lik $(0,6 \cdot 48) \text{ mm} \approx 29 \text{ mm}$.

I og med at densitetsprøven er skåret ut i den ene enden, vet en ikke om den jevne stigningen av MOE_{lk} over prøvestykkets lengde skyldes tilsvarende forandring i densitet. Dette må likevel være en av flere sannsynlige forklaringer.

Selv om dette prøvestykket representerer et unntak, gir det et godt eksempel på hvordan visuelle sorteringsregler som i hovedsak baserer seg på kvistbedømmelse ikke er et fullkomment sorteringsverktøy.



Figur 5. MOE_{lk} som funksjon av målepunktene for prøve (48x198/Nr.5)



Figur 6. Plassering og størrelse av Øf og Øk for (48x198/Nr.5)

LABORATORIEMÅLT ELASTISITETSMODUL HØYKANT, MOE_{hk}

MOE_{hk} ble målt i henhold til ISO 8375 [5].

Målingene ble gjort med referanse til de samme målepunktene som ble brukt under registrering av MOE_{lk} . For å dekke størst mulig av prøvestykkenes lengde, ble det målt flere verdier av MOE_{hk} for hver prøve. Da prøvemethoden angir målelengder som funksjon av prøvestykkets høyde, ble antall enkeltverdier pr. prøvestykke lavere desto større tverrsnittshøyden var.

For tverrsnitt med høyde (nominell) 98 mm ble første måling gjort ved å feste deformasjonsgiveren ved målepunkt nr. 5. Måleområdet dekket målepunkt 4, 5 og 6 (pluss 95 mm på hver side av 4 og 6).

Neste måling ble gjort med tilsvarende å feste deformasjonsgiveren ved målepunkt nr. 8. Måleområdet dekket målepunkt 7, 8 og 9 (pluss 95 mm på hver side av 7 og 9).

På denne måten ble måleområdet forskjøvet med 3 målepunkter for hver måling i hele prøvestykkets lengde.

For tverrsnitt med høyde (nominell) 148 mm ble første måling gjort ved å feste deformasjonsgiveren ved målepunkt nr. 8. Måleområdet dekket målepunkt 6, 7, 8, 9 og 10 (pluss 70 mm på hver side av 6 og 10).

Neste måling ble gjort med tilsvarende å feste deformasjonsgiveren ved målepunkt nr. 11. Måleområdet dekket målepunkt 9, 10, 11, 12 og 13 (pluss 70 mm på hver side av 9 og 13).

På denne måten ble måleområdet forskjøvet med 3 målepunkter for hver måling i hele prøvestykkets lengde.

For tverrsnitt med høyde (nominell) 198 mm ble første måling gjort ved å feste deformasjonsgiveren ved målepunkt nr. 11. Måleområdet dekket målepunkt 8, 9, 10, 11, 12, 13 og 14 (pluss 45 mm på hver side av 8 og 14).

Neste måling ble gjort med tilsvarende å feste deformasjonsgiveren ved målepunkt nr. 14. Måleområdet dekket målepunkt 11, 12, 13, 14, 15, 16 og 17 (pluss 45 mm på hver side av 11 og 17).

På denne måten ble måleområdet forskjøvet med 3 målepunkter for hver måling i hele prøvestykkets lengde.

MOE_{hk} -verdien fra hvert måleområde (uansett dimensjon) er en middelvei av 3 pålastinger. Dette ble gjort da deformasjonene som ble registrert er relativt små og derfor lett påvirkelig for unøyaktigheter i testoppsettet (skjevheter etc.). Dersom de 3 enkeltverdier varierte med mer enn 3 %, ble det foretatt 3 nye målinger.

Både prøvemaskin og deformasjonsgiver var tilkoblet en PC. PC'en registrerte fortløpende de korresponderende måleresultatene fra prøvemaskin og deformasjonsgiver. Registrering av måleresultater skjedde i et intervall som for hver prøve hadde nedre grense 5 N/mm² og øvre grense 14 N/mm². Innenfor dette intervallet ble det registrert mellom 200 og 300 avlesninger av forholdet mellom kraft og deformasjon. Ved oppnådd øvre grense beregnet PC'en direkte

den rettlinjete regresjonslinjen mellom de avleste verdiene. Alle registrerte data ble lagret i PC'en.

36 x 98	MIN.	MIDD.	MAX.
Nr.1	9804	11074	11976
Nr. 2	10760	12701	14046
Nr. 3	8249	10843	12342
Nr. 4	12070	14599	19302
Nr. 5	9036	9776	10563

Tabell 10. Laveste (MIN), midlere (MIDD) og høyeste (MAX) registrerte MOE_{hk} for prøver med dimensjon 36 x 98 mm.

$$(MIDD) = 1,15 \cdot (MIN) + 296 \quad (r = 0,91) \quad (35)$$

$$(MIDD) = 0,54 \cdot (MAX) + 4438 \quad (r = 0,97) \quad (36)$$

36 x 148	MIN.	MIDD.	MAX.
Nr.1	9147	9996	10484
Nr. 2	6148	7538	8693
Nr. 3	11806	12769	14074
Nr. 4	12409	14230	15846
Nr. 5	12011	13622	15411

Tabell 11. Laveste (MIN), midlere (MIDD) og høyeste (MAX) registrerte MOE_{hk} for prøver med dimensjon 36 x 148 mm.

$$(MIDD) = 1,05 \cdot (MIN) + 863 \quad (r = 0,99) \quad (37)$$

$$(MIDD) = 0,88 \cdot (MAX) + 261 \quad (r = 0,99) \quad (38)$$

36 x 198	MIN.	MIDD.	MAX.
Nr.1	13104	13509	13924
Nr. 2	11422	13546	15070
Nr. 3	7886	8192	8497
Nr. 4	10178	11509	12922
Nr. 5	10888	11533	11953

Tabell 12. Laveste (MIN), midlere (MIDD) og høyeste (MAX) registrerte MOE_{hk} for prøver med dimensjon 36 x 198 mm.

$$(MIDD) = 1,08 \cdot (MIN) + 154 \quad (r = 0,94) \quad (39)$$

$$(MIDD) = 0,85 \cdot (MAX) + 1051 \quad (r = 0,98) \quad (40)$$

For samtlige prøver med tykkelse 36 mm:

$$(MIDD) = 1,05 \cdot (MIN) + 937 \quad (r = 0,94) \quad (41)$$

$$(MIDD) = 0,71 \cdot (MAX) + 2410 \quad (r = 0,95) \quad (42)$$

48 x 98	MIN.	MIDD.	MAX.
Nr.1	16188	17391	19178
Nr. 2	12388	13497	14454
Nr. 3	11581	12629	12936
Nr. 4	12767	13679	15139
Nr. 5	13504	14564	15384

Tabell 13. Laveste (MIN), midlere (MIDD) og høyeste (MAX) registrerte MOE_{hk} for prøver med dimensjon 48 x 98 mm.

$$(MIDD) = 1,04 \cdot (MIN) + 564 \quad (r = 1,00) \quad (43)$$

$$(MIDD) = 0,78 \cdot (MAX) + 2260 \quad (r = 0,99) \quad (44)$$

48 x 148	MIN.	MIDD.	MAX.
Nr.1	13150	13908	14657
Nr. 2	10145	11274	11860
Nr. 3	7400	9715	11686
Nr. 4	11785	12589	13461
Nr. 5	9418	10210	11638

Tabell 14. Lavest (MIN), midlere (MIDD) og høyeste (MAX) registrerte MOE_{hk} for prøver med dimensjon 48 x 148 mm.

$$(MIDD) = 0,76 \cdot (MIN) + 3656 \quad (r = 0,97) \quad (45)$$

$$(MIDD) = 1,23 \cdot (MAX) - 4005 \quad (r = 0,96) \quad (46)$$

48 x 198	MIN.	MIDD.	MAX.
Nr.1	7501	8135	8478
Nr. 2	11719	11975	12179
Nr. 3	10762	11575	12308
Nr. 4	9061	10093	10817
Nr. 5	8091	8935	9388

Tabell 15. Laveste (MIN), midlere (MIDD) og høyeste (MAX) registrerte MOE_{hk} for prøver med dimensjon 48 x 198 mm.

$$(MIDD) = 0,92 \cdot (MIN) + 1499 \quad (r = 0,99) \quad (47)$$

$$(MIDD) = 0,97 \cdot (MAX) - 147 \quad (r = 0,99) \quad (48)$$

For samtlige prøver med tykkelse 48 mm:

$$(MIDD) = 0,97 \cdot (MIN) + 1339 \quad (r = 0,98) \quad (49)$$

$$(MIDD) = 0,90 \cdot (MAX) + 398 \quad (r = 0,98) \quad (50)$$

For samtlige 30 prøver (tykkelse 36 mm og 48 mm)

$$(MIDD) = 0,98 \cdot (MIN) + 1370 \quad (r = 0,96) \quad (51)$$

$$(MIDD) = 0,80 \cdot (MAX) + 1514 \quad (r = 0,96) \quad (52)$$

HØYKANT ELASTISITETSMODUL OG DENSITET.

Densitet og laboratoriemålt elastisitetsmodul er sammenlignet. De benyttete densitetverdiene er omregnet til 12 % fuktighet og volum ($\rho_{12,12}$).

Samtlige 15 prøver med tykkelse 36 mm:

$$(MIN) = 39,52 \cdot \rho_{12,12} - 6599 \quad (r = 0,80) \quad (53)$$

$$(MIDD) = 43,23 \cdot \rho_{12,12} - 6819 \quad (r = 0,80) \quad (54)$$

$$(MAX) = 53,70 \cdot \rho_{12,12} - 9994 \quad (r = 0,74) \quad (55)$$

Samtlige 15 prøver med tykkelse 48 mm:

$$(MIN) = 24,28 \cdot \rho_{12,12} + 357 \quad (r = 0,51) \quad (56)$$

$$(MIDD) = 28,28 \cdot \rho_{12,12} - 424 \quad (r = 0,61) \quad (57)$$

$$(MAX) = 33,86 \cdot \rho_{12,12} - 1983 \quad (r = 0,67) \quad (58)$$

For samtlige 30 prøver (tykkelse 36 mm og 48 mm)

$$(MIN) = 30,36 \cdot \rho_{12,12} - 2497 \quad (r = 0,63) \quad (59)$$

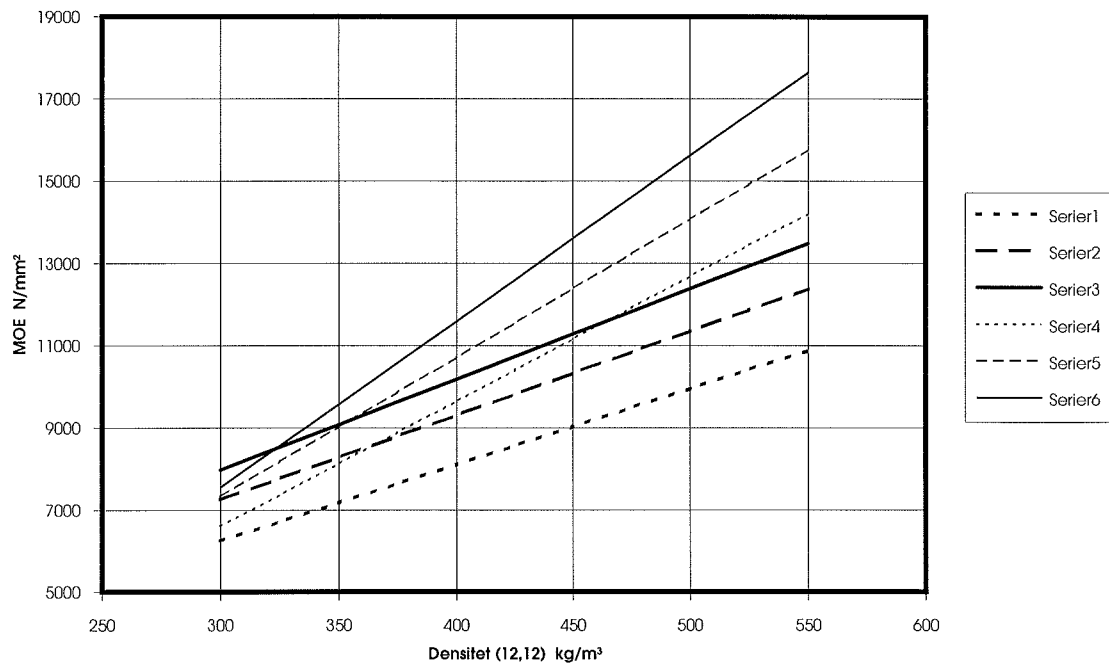
$$(MIDD) = 33,65 \cdot \rho_{12,12} - 2752 \quad (r = 0,68) \quad (60)$$

$$(MAX) = 40,32 \cdot \rho_{12,12} - 4543 \quad (r = 0,68) \quad (61)$$

Sammenligner en med resultatene fra tilsvarende ligninger for MOE_{lk} , kan det tyde på at MOE_{hk} øker raskere med stigende densitet. Som hovedtendens bør denne påstanden kunne forsvares, selv om ligningene bygger på et lite antall enkeltprøver ($n = 30$).

Et viktig moment en må ta i betraktning når disse resultatene vurderes, er at densitetsverdiene ikke er målt i de eksakte målepunktene MOE_{lk} og MOE_{hk} er bestemt, men stammer fra prøvestykker skåret ut i den ene enden av enkeltprøvene. Ved en undersøkelse som primært har som mål å studere

sammenheng mellom densitet og de respektive elastisitetsmoduler, må korresponderende verdier være å tilstrebe. Imidlertid kunne dette ikke la seg gjøre under dette prosjektet da prøvene skulle benyttes til videre forsøk. Med "ikke-destruktiv" densitetsmåling ville det nok vært mulig, men slike metoder har ikke vært disponible innenfor dette prosjektet.



Figur 7. Sammenheng mellom densitet og de respektive elastisitetsmoduler.

Serie 1: $MOE(\min)_{lk}$ som funksjon av $\rho_{12,12}$ (26)

Serie 2: $MOE(midd)_{lk}$ som funksjon av $\rho_{12,12}$ (27)

Serie 3: $MOE(max)_{lk}$ som funksjon av $\rho_{12,12}$ (28)

Serie 4: $MOE(\min)_{hk}$ som funksjon av $\rho_{12,12}$ (59)

Serie 5: $MOE(midd)_{hk}$ som funksjon av $\rho_{12,12}$ (60)

Serie 6: $MOE(max)_{hk}$ som funksjon av $\rho_{12,12}$ (61)

HØYKANT ELASTISITETSMODUL OG KVIST.

De samme tendensene som ble funnet ved sammenligning mellom MOE_{lk} og kvist, viste seg også tydelig med hensyn til MOE_{hk} og kvist. De påfølgende ligninger viser kvisters innvirkning på MOE_{hk} , og er besemt ved å sammenligne de kvister som befant seg innenfor de respektive måleområdene MOE_{hk} ble registrert over.

Tendensen viser at kvistenes størrelse statistisk sett ikke er egnet til å sortere ut forskjellige klasser som er gitt ved elastisitetsmodulens størrelse alene.

Dersom samtlige registrerte verdier for MOE_{hk} kombineres med sine respektive kvistmål, ble følgende sammenheng for samtlige prøver med tykkelse 36 mm funnet ($n = 321$):

$$MOE_{hk} = -2243 \bar{O}_f + 12009 \quad (r = 0,09) \quad (62)$$

$$MOE_{hk} = -119 \bar{O}_k + 11883 \quad (r = 0,09) \quad (63)$$

Tilsvarende for alle prøver med tykkelse 48 mm ($n = 349$):

$$MOE_{hk} = +2609 \bar{O}_f + 11899 \quad (r = 0,09) \quad (64)$$

$$MOE_{hk} = +384 \bar{O}_k + 12012 \quad (r = 0,05) \quad (65)$$

Tykkelse 36 mm og 48 mm slått sammen ($n = 670$):

$$MOE_{hk} = +19,8 \bar{O}_f + 11963 \quad (r \approx 0) \quad (66)$$

$$MOE_{hk} = -29,0 \bar{O}_k + 11974 \quad (r = 0,05) \quad (67)$$

Ligningen (29), (30), (31), (32), (33) og (62), (63), (64), (65), (66), (67) viser at verdiene bestemt under dette prosjektet gir ingen statistisk sammenheng mellom kviststørrelse og elastisitetsmoduler når flere prøver slås sammen. For enkeltprøver ble høyeste korrelasjonskoeffisient bestemt til $r = 0,50$, men dette var et unntak. For et stort flertall var det ingen statistisk sammenheng mellom målt elastisitetsmodul (MOE_{lk} , eventuelt MOE_{hk}) og kviststørrelsene ($\bar{O}_f$, eventuelt $\bar{O}_k$) for de kvister som befant seg innenfor de respektive måleområdene for elastisitetsmodulene.

Visuell styrkesortering tar hensyn til mange trevirkeegenskaper/feil, men i de aller fleste praktiske tilfeller vil det være kvistens størrelse og plassering som fastsetter sorteringsklassen. Tar en i betraktning at den endelige bruddårsak oftest skyldes kvist, må dette ansees som et akseptabelt sorteringsgrunnlag. Gjentatte forsøk av visuell sortering med påfølgende styrkeprøving har likeledes bekreftet at visuell sortering gir tilfredsstillende resultater.

Videre er det allment akseptert at den statistiske sammenhengen mellom elastisitetsmodul og bøyebryddstyrke er god. Dette kommer for eksempel til uttrykk ved at de tradisjonelle styrkesorteringsmaskinene måler elastisitetsmodulen og dermed indirekte styrken.

Disse to momentene skulle i utgangspunktet peke mot at resultatene for sammenhengen mellom kvist og elastisitetsmodul bestemt under dette prosjektet, ikke gir et korrekt bilde av virkeligheten. Dette er imidlertid en noe hurtig konklusjon. Både visuell og maskinell styrkesortering vil under riktig bruk kunne bestemme riktige fasthetsklasser, men basisen for deres

sorteringskriterier er ikke den samme. En visuell bedømmelse av maskinsortert trelast vil fort avsløre at langt større kvister tillates innenfor en gitt styrkeklasse enn hva de korresponderende visuelle reglene gir rom for. Selv om sorteringsmetodenes "sluttprodukt" er det samme, dvs. samme konklusjon på valg av fasthetsklasse for et gitt trevirkesstykke, er det ikke grunnlag for å forvente at de innbyrdes skal ha noe felles. Det blir som å lete etter identiske trekk i en bensinmotor og en elektrisk motor som begge to gir samme effekt. Sluttproduktet (effekten) er identisk, men hvordan den frembringes er vidt forskjellig...

I Norge ble det på 80-tallet utført en del undersøkelser med henblikk på styrke- og stivhetsegenskaper hos gran som vokser langs vestkysten, såkalt vestlandsgran [6], [7]. Det som karakteriserer vestlandsgran er at den vokser under gunstige vekstforhold (milde vintre og nok nedbør). Sammenlignet med gran fra mere tradisjonelle skogbruksområder, vokser vestlandsgran fort, noe som generelt sett medfører lavere densitet og større årringbredde. Kvistandelen er tilnærmet den samme. I [7] er det blant annet sett på sammenheng mellom kvister og elastisitetsmodul, og resultatene av den undersøkelsen faller sammen med hva som er bestemt i dette prosjektet. Dette gjaldt både for serien bestående av vestlandsgran og for en serie østlandsgran som også inngikk i forsøket ("referanseserie").

Videre vil en referere til et foredrag holdt av prof. Marcel Samson (Laval University, Canada) ved NTI i 1992 [8]. Her ble det opplyst at en av de mest overraskende oppdagelsene en (så langt) hadde gjort innenfor det aktuelle forskningsprogrammet, var hvor begrenset effekten av kvist var for tverrsnittets stivhet. En av forklaringene Samson ga på dette "fenomenet" var at densiteten lokalt øker da fibrene blir komprimert rundt kvistene, og at denne økningen i densitet langt på vei kompenserer for kvistarealet.

Til slutt vil en her nevne at spenningsnivået som elastisitetsmodulen normalt måles ved ligger langt under bruddspenningen. Dette medfører at effekten fra kvistene ikke aktiviseres fullt ut. Når spenningen nærmer seg bruddgrensen, vil ofte trevirket sprekke opp rundt kvister på grunn av lokal skråfibrighet. Kvistens bidrag til brudd skyldes derfor snarere de skader den påfører trevirket, enn kvisten i seg selv.

FORHOLDET MELLOM MOE_{hk} og MOE_{lk} .

Verdiene for MOE_{lk} fra de enkelte målepunkter er sammenlignet med de korresponderende verdiene for MOE_{hk} . Der for eksempel MOE_{hk} er bestemt over en lengde som dekker 5 målepunkt, er MOE_{lk} i hvert av de 5 målepunktene statistisk satt opp mot MOE_{hk} (rettlinjet regresjonsanalyse).

Følgende sammenhenger ble bestemt for prøvene som har inngått i undersøkelsen:

36 x 98	$MOE_{hk} = 1,22 MOE_{lk} - 646$	$(r = 0,83)$	(68)
36 x 148	$MOE_{hk} = 1,39 MOE_{lk} - 3433$	$(r = 0,88)$	(69)
36 x 198	$MOE_{hk} = 0,96 MOE_{lk} + 2048$	$(r = 0,70)$	(70)
48 x 98	$MOE_{hk} = 1,17 MOE_{lk} + 997$	$(r = 0,84)$	(71)
48 x 148	$MOE_{hk} = 0,82 MOE_{lk} + 3912$	$(r = 0,78)$	(72)
48 x 198	$MOE_{hk} = 1,20 MOE_{lk} - 289$	$(r = 0,87)$	(73)

Samtlige med tykkelse 36 mm:

$$t = 36 \text{ mm} \quad MOE_{hk} = 1,15 MOE_{lk} - 237 \quad (r = 0,79) \quad (74)$$

Samtlige med tykkelse 48 mm:

$$t = 48 \text{ mm} \quad MOE_{hk} = 1,20 MOE_{lk} + 297 \quad (r = 0,89) \quad (75)$$

Samtlige med bredde 98 mm:

$$b = 98 \text{ mm} \quad MOE_{hk} = 1,34 MOE_{lk} - 1362 \quad (r = 0,86) \quad (76)$$

Samtlige med bredde 148 mm:

$$b = 148 \text{ mm} \quad MOE_{hk} = 0,90 MOE_{lk} + 2551 \quad (r = 0,76) \quad (77)$$

Samtlige med bredde 198 mm:

$$b = 198 \text{ mm} \quad MOE_{hk} = 1,08 MOE_{lk} + 798 \quad (r = 0,82) \quad (78)$$

Samtlige totalt:

$$\text{Totalt} \quad MOE_{hk} = 1,12 MOE_{lk} + 576 \quad (r = 0,82) \quad (79)$$

Antall enkeltprøver som inngår i denne undersøkelsen er for lite til at de enkelte ligningene kan tillegges alt for stor verdi. Ligning (79) bygger på en sammenligning av 668 verdipar, noe som burde gi et rimelig godt statistisk grunnlag. Imidlertid er de 668 verdiparene samlet fra bare 30 enkeltprøver slik at ligning (79) består av 30 grupper med verdipar. Innenfor hver av disse verdipar-gruppene (enkeltp prøvene) vil verdiparene være beslektet da de kommer fra samme enkeltprøve. En velger i dette prosjektet å anta at selv om ligning nr. 79 lider av mulige statistiske feilkilder, er den representativ for de aktuelle materialene som har inngått i prosjektet.

Resultatene fra sammenligningen mellom MOE_{hk} - og MOE_{lk} -forløpet for de enkelte prøvene viste at for hele 10 prøver (33 %) var beliggenheten av laveste registrerte MOE_{lk} forskjellig fra laveste registrerte MOE_{hk} . I forbindelse med maskinell styrkesortering hvor materialene bøyes om svakeste akse, er dette et viktig poeng.

MASKINSORTERING.

Samtlige 30 planker ble sendt til Statens Provningsanstalt (SP) i Borås, Sverige. Prøvene var emballert i plast på en slik måte at deres fuktighet ikke skulle endres under transporten. Ved SP's laboratorium ble samtlige prøver maskinsortert både ved hjelp av en maskin av typen Cook-Bolinder og en maskin av typen Computermatic.

Sorteringen foregikk etter følgende prinsipp: Hver prøve ble sortert 3 ganger av hver maskintype (65 m/min.). Innmatingen i maskinene fulgte et på forhånd bestemt system slik at en i ettertid skulle kunne sammenligne data både fra de 2 maskinene, og fra de tidligere utførte laboratoriemålingene.

Deretter ble hver prøve kappet på midten slik at en fikk 2 prøver med identisk lengde fra hver av de opprinnelige. Disse 60 prøvene ble deretter sortert på nytt i begge maskiner. Hvert prøvestykke ble sortert 3 ganger gjennom hver maskintype etter samme system og under samme forutsetninger som ved sortering av hele prøver.

Resultatene ble fortløpende registrert ved hjelp av en datamaskin som var knyttet til sorteringsmaskinen. Resultatene ble deretter oversendt NTI for videre analyse og sammenligning med de korresponderende laboratoriemålte verdiene.

På grunn av et uhell med SP's datamaskin, gikk en del av grunndataene fra sortering med Cook-Bolindermaskinen tapt. Videre kom det frem enkelte uregelmessige resultater fra sorteringen med Computermatic som det i ettertid har vist seg vanskelig å korrigere.

Sett under ett ble det likevel samlet tilstrekkelig med maskindata, og det videre forløp av prosjektet lider ikke særlig mye av nevnte tap av data.

RESULTATER FRA SORTERING MED COOK-BOLINDER.

Ved en Cook-Bolinder styrkesorteringsmaskin blir materialene påtvunget en på forhånd fastsatt deformasjon over et spenn på 900 mm. Når materialene passerer gjennom maskinen, blir den nødvendige kraften som skal til for å oppnå den fastsatte deformasjonen registrert. Normalt registreres kraften i punkter med 100 mm intervall. Maskinen ved SP's laboratorium er imidlertid noe modifisert, slik at det lar seg gjøre å registrere målepunkter med 10 mm senteravstand.

Cook-Bolinder maskinen måler ikke direkte materialenes forhåndskrumning. Materialene må derfor sorteres 2 ganger, enten ved hjelp av 2 passeringer gjennom samme maskin, eller ved at det benyttes 2 maskiner ("tandem-oppstilling"). Ved andregangs sortering blir sorteringskraften påført fra motsatt

side. Utbøyningen fra hver passering blir i hvert punkt midlet. Effekter fra en eventuell forhåndskrumning vil derfor bli eliminert.

COOK-BOLINDER - ELASTISITETSMODULER.

På grunn av et uhell med datamaskinen under maskinssorteringen ved SP, savnes resultater fra serien med nominell dimensjon 36 mm x 98 mm. For de resterende seriene ble følgende sammenhenger bestemt:

Tykkelse 36 mm (n = 10):

$$(MIDD) = 0,98 \cdot (MIN) + 1683 \quad (r = 0,97) \quad (80)$$

$$(MIDD) = 0,88 \cdot (MAX) + 74 \quad (r = 0,93) \quad (81)$$

Tykkelse 48 mm (n = 15):

$$(MIDD) = 0,84 \cdot (MIN) + 2535 \quad (r = 0,93) \quad (82)$$

$$(MIDD) = 1,07 \cdot (MAX) - 1812 \quad (r = 0,98) \quad (83)$$

Tykkelse 36 mm og 48 mm sammenslått (n = 25):

$$(MIDD) = 0,95 \cdot (MIN) + 1736 \quad (r = 0,96) \quad (84)$$

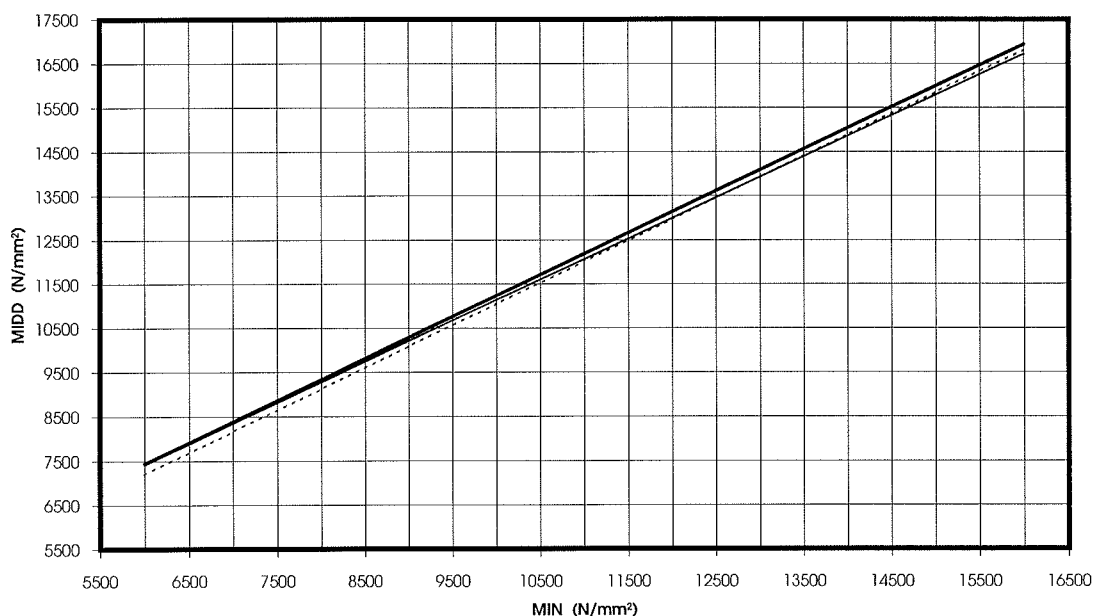
$$(MIDD) = 0,92 \cdot (MAX) - 235 \quad (r = 0,97) \quad (85)$$

(MIDD) = Midlere elastisitetsmodul registrert for hver enkelt prøve

(MIN) = Laveste elastisitetsmodul registrert for hver enkelt prøve

(MAX) = Høyeste elastisitetsmodul registrert for hver enkelt prøve

Dersom en sammenligner disse resultatene med hva en fikk ved laboriemålingen av MOE_{lk} (ligning (17) og (18)), vil en se at resultatene fra Cook-Bolindermaskinen gir god overensstemmelse. Figur 8 viser ligning (84) sammen med tilsvarende fra laboriemålinger av MOE_{lk} (17), og fra NTI's store limtreprosjekt (19).



Figur 8. Sammenheng mellom (MIN) og (MIDD). Fet, heltrukken linje tilsvare ligning (84) som representerer resultater fra Cook-Bolindermaskinen. Tynn, heltrukken linje tilsvare ligning (17) som representerer resultatene fra laboratoriemålinger av MOE_{lk} . Tynn, stiplet linje tilsvare ligning (19) som representerer verdier fra sortering av 5602 limtre lameller.

COOK-BOLINDER - ELASTISITETSMODUL OG DENSITET.

Densitet og elastisitetsmoduler bestemt ved hjelp av sortering med Cook-Bolindermaskin er sammenlignet. Densitetsverdiene er omregnet til 12 % fuktighet og volum ($\rho_{12,12}$). Følgende sammenhenger ble funnet:

Tykkelse 36 mm ($n = 10$):

$$(MIN) = 29,94 \cdot \rho_{12,12} - 2736 \quad (r = 0,72) \quad (86)$$

$$(MIDD) = 33,12 \cdot \rho_{12,12} - 2678 \quad (r = 0,79) \quad (87)$$

$$(MAX) = 38,23 \cdot \rho_{12,12} - 3417 \quad (r = 0,87) \quad (88)$$

Tykkelse 48 mm ($n = 15$):

$$(MIN) = 19,66 \cdot \rho_{12,12} - 52 \quad (r = 0,63) \quad (89)$$

$$(MIDD) = 18,61 \cdot \rho_{12,12} + 1578 \quad (r = 0,66) \quad (90)$$

$$(MAX) = 15,49 \cdot \rho_{12,12} + 4012 \quad (r = 0,60) \quad (91)$$

Tykkelse 36 mm og 48 mm sammenslått (n = 25):

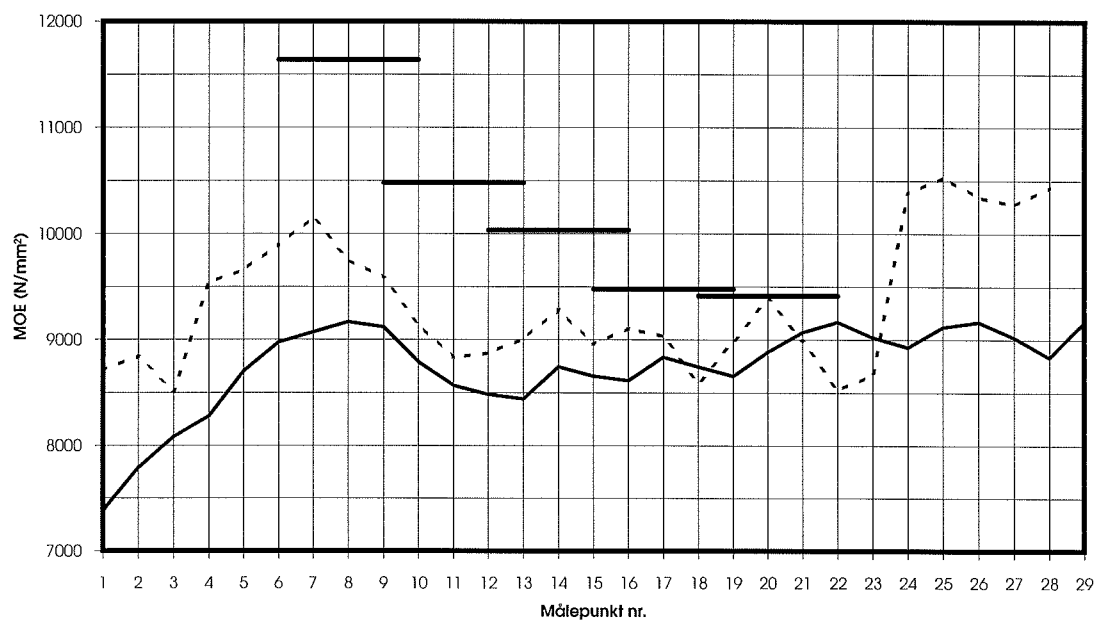
$$(\text{MIN}) = 21,00 \cdot \rho_{12,12} + 73,87 \quad (r = 0,54) \quad (92)$$

$$(\text{MIDD}) = 20,80 \cdot \rho_{12,12} + 1437 \quad (r = 0,54) \quad (93)$$

$$(\text{MAX}) = 19,40 \cdot \rho_{12,12} + 3278 \quad (r = 0,48) \quad (94)$$

COOK-BOLINDER - SAMMENLIGNING MELLOM MASKINMÅLT OG LABORATORIEMÅLT ELASTISITETSMODUL.

Hver planke ble sortert 3 ganger. Resultatene fra sortering med Cook-Bolinder representerer middelverdien av disse 3 sorteringene. Så langt det har vært mulig, har en forsøkt å finne igjen korresponderende målepunkt fra laboratorieprøvingen. Korresponderende målepunkter fra laboratoriemålingene og maskinsorteringen er deretter kombinert slik at en kan få frem sammenhengen mellom disse.



Figur 9. Elastisitetsmoduler for prøve nr. 48x148/5. Heltrukket, fet linje representerer verdiene for MOE_{lk} funnet i laboratoriet. Fet, stiplet linje representerer verdiene funnet fra Cook-Bolinder. Rette, fete linjer representerer MOE_{hk} funnet i laboratoriet (lengden på disse linjene tilsvarer lengden de ble målt over).

Følgende sammenhenger ble fastlagt på bakgrunn av resultatene fra laboratoriemålingene og Cook-Bolindermaskinen:

Dimensjon 48 mm x 98 mm.

$$MOE_{lk} = 1,16 MOE_{CB} - 3156 \quad (r = 0,78) \quad (95)$$

$$MOE_{hk} = 1,87 MOE_{CB} - 8097 \quad (r = 0,75) \quad (96)$$

Dimensjon 48 mm x 148 mm.

$$MOE_{lk} = 1,31 MOE_{CB} - 3659 \quad (r = 0,62) \quad (97)$$

$$MOE_{hk} = 1,60 MOE_{CB} - 4136 \quad (r = 0,66) \quad (98)$$

Dimensjon 48 mm x 198 mm.

$$MOE_{lk} = 1,08 MOE_{CB} - 246 \quad (r = 0,91) \quad (99)$$

$$MOE_{hk} = 1,44 MOE_{CB} - 1503 \quad (r = 0,79) \quad (100)$$

Samtlige med tykkelse 48 mm.

$$MOE_{lk} = 0,69 MOE_{CB} + 2482 \quad (r = 0,70) \quad (101)$$

$$MOE_{hk} = 1,09 MOE_{CB} + 966 \quad (r = 0,79) \quad (102)$$

Dimensjon 36 mm x 148 mm.

$$MOE_{lk} = 1,05 MOE_{CB} - 247 \quad (r = 0,90) \quad (103)$$

$$MOE_{hk} = 1,50 MOE_{CB} - 4591 \quad (r = 0,83) \quad (104)$$

Dimensjon 36 mm x 198 mm.

$$MOE_{lk} = 0,93 MOE_{CB} + 759 \quad (r = 0,89) \quad (105)$$

$$MOE_{hk} = 0,98 MOE_{CB} + 1233 \quad (r = 0,75) \quad (106)$$

Samtlige med tykkelse 36 mm.

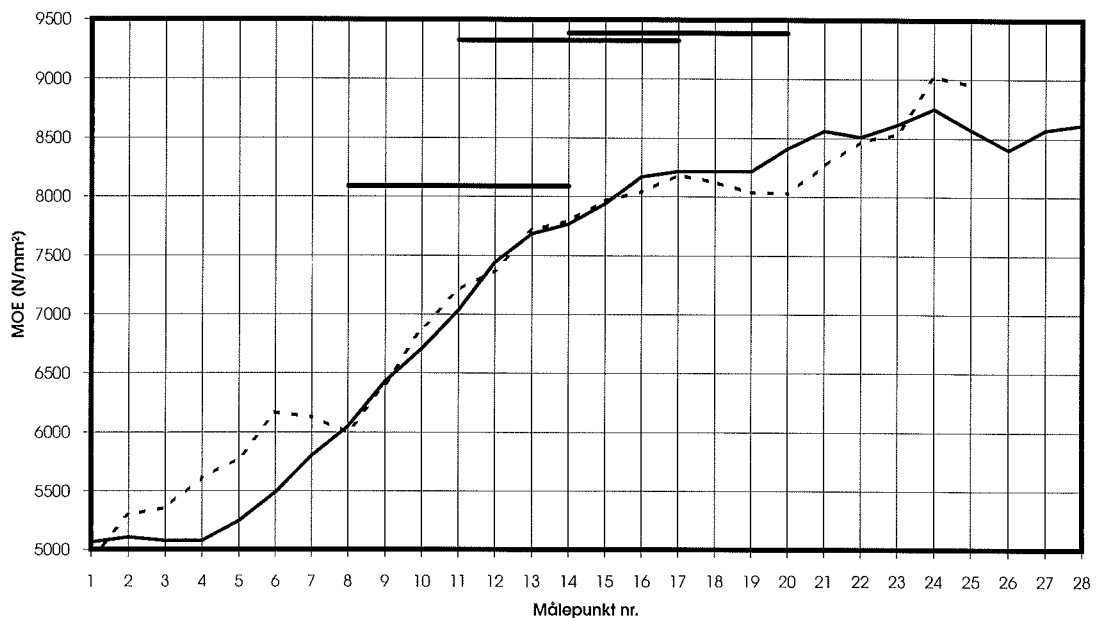
$$MOE_{lk} = 0,95 MOE_{CB} + 655 \quad (r = 0,89) \quad (107)$$

$$MOE_{hk} = 1,19 MOE_{CB} - 1251 \quad (r = 0,79) \quad (108)$$

Tykkelse 48 mm og 36 mm sammenslått:

$$MOE_{lk} = 0,95 MOE_{CB} + 237 \quad (r = 0,85) \quad (109)$$

$$MOE_{hk} = 0,97 MOE_{CB} + 1783 \quad (r = 0,78) \quad (110)$$



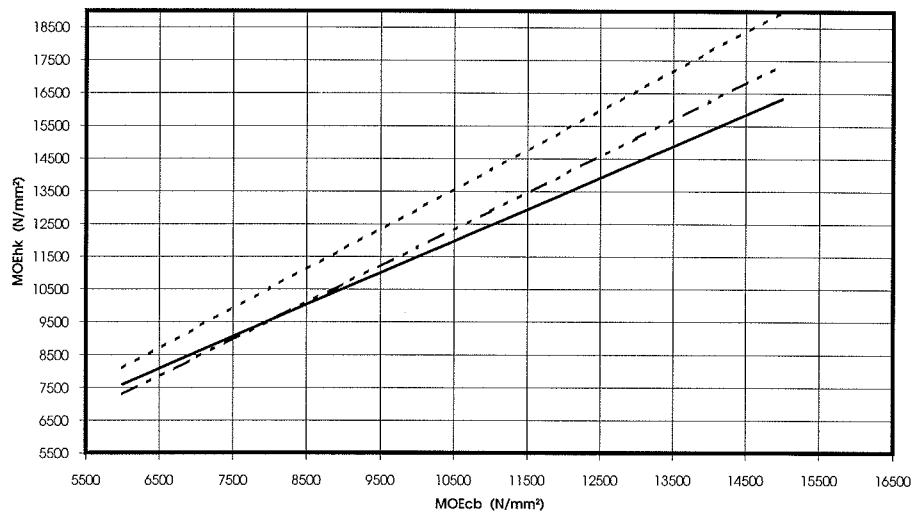
Figur 10. Elastisitetsmoduler for prøve nr. 48x198/5. Heltrukket, fet linje representerer verdiene for MOE_{Ik} funnet i laboratoriet. Fet, stiplet linje representerer verdiene funnet fra Cook-Bolinder. Rette, fete linjer representerer MOE_{hk} funnet i laboratoriet (lengden på disse linjene tilsvarer lengden de ble målt over).

Dersom en sammenligner ligning (110) med resultatene fra den store svenske undersøkelsen av styrkesorteringsmaskiner [9], finner en at ligning (110) gir noe lavere verdier for MOE_{hk} for tilsvarende maskinmålte verdier. Den korresponderende svenske ligningen er gitt ved:

$$\text{MOE}_{hk} = 1,21 \cdot \text{MOE}_{mask} + 843 \quad (r = 0,85) \quad (111)$$

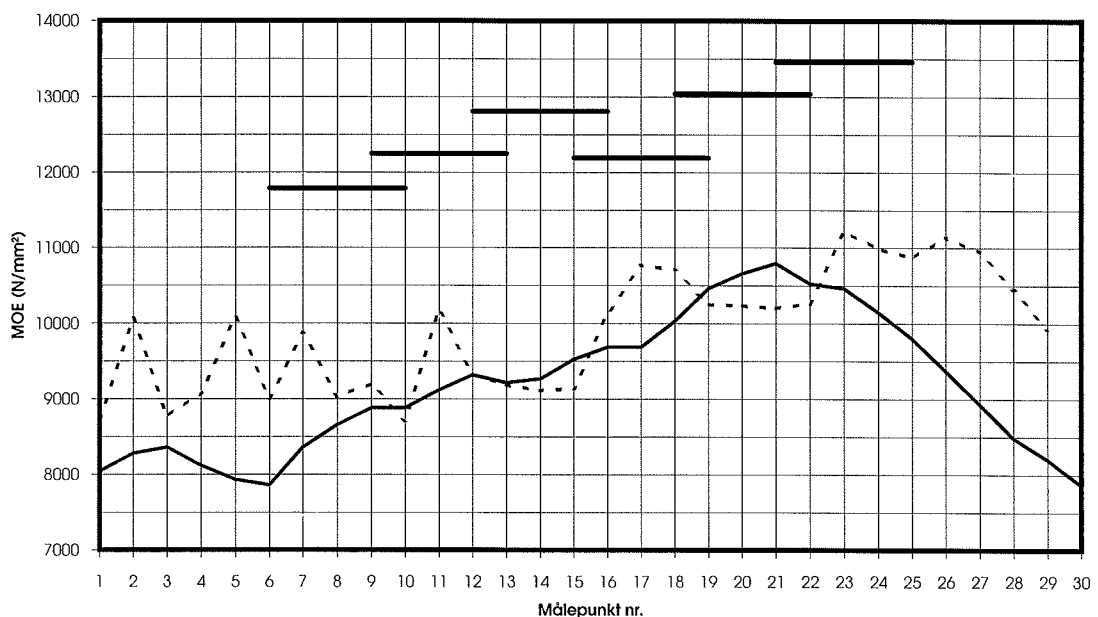
Ligning (111) er forøvrig bestemt på bakgrunn av en annen maskintype, nemlig Computermatic. En direkte sammenligning kan derfor tenkes å være noe misvisende da ligning (111) muligens tar hensyn til enkelte maskinavhengige forhold. En har like vel valgt å ta med denne sammenligningen for å vise hvordan forskjellen slår ut tallmessig.

I figur 11 er ligning (110) og (111) tegnet inn i samme system. Ligning (79) som representerer forholdet mellom laboratiemålt MOE_{Ik} og MOE_{hk} er også vist i samme figur. Heltrukken linje tilsvarer forholdet mellom MOE_{CB} og MOE_{hk} (110), småstiplet linje tilsvarer ligning (111) og lang-kort-stiplet linje tilsvarer ligning (79).



Figur 11. Ligning (79), (110) og (111) satt inn i samme system.

Ved gjennomgang av resultatene for de enkelte prøvene, viste det seg at i enkelte tilfeller var det liten samstemmighet mellom de laboratoriemålte verdiene for MOE_k og MOE_{cb} . Dette gjaldt spesielt prøvenes første halvdel. Mye tyder på at disse avvikene kan føres tilbake til vibrasjoner/svingninger i prøvestykket under maskinsorteringen. Det er verdt å merke seg at dette ikke var et konstant opptredende fenomen, men kun var synlig for enkelte prøver. Figur 12 viser forløpet av MOE for en slik prøve (nr. 48x148/4).



Figur 12. Tilsynelatende vibrasjoner/svingninger under første del av maskinsorteringen (stiplet linje). Prøve nr. 48x148/4.

COOK-BOLINDER - SAMMENLIGNING MELLOM MASKINMÅLT ELASTISITETSMODUL FOR HEL OG HALV PRØVELENGDE.

Etter at prøvene var ferdig sorterte på både Cook-Bolinder - og Computermatic-maskinene, ble de kappet på midten slik at hver av de opprinnelige prøvene besto av en a-prøve (første halvdel) og en b-prøve (siste halvdel). Samtlige av de 60 "nye" prøvestykkene ble hver maskinsortert 3 ganger i begge sorteringsmaskinene.

Det er ønsket å undersøke med dette, var hvorvidt plankens lengde og masse ville innvirke på sorteringsutfallet. Det er antatt at unøyaktigheter som skyldes vibrasjoner/svingninger i prøvene under sortering kan være avhengig av lengde og masse. Ved å sammenligne forløpet til maskinregistrert elastisitetsmodul *for samme måleområde* før og etter at prøvene er delt, vil det kunne la seg gjøre å påvise lengdeavhengige effekter på sorteringen.

I de følgende tabellene er det satt opp en oversikt over laveste registrerte elastisitetsmodul henholdsvis for prøvene sortert med hel lengde (H_{min}) og for halv lengde (h_{min}), midlere registrerte elastisitetsmodul for prøvene sortert med hel lengde (H_{midd}) og for halv lengde (h_{midd}), og største registrerte elastisitetsmodul for prøvene sortert med hel lengde (H_{max}) og for halv lengde (h_{max}). Betegnelsen a og b i angivelsen av prøvenummeret angir første (a) og siste (b) halvdel.

På grunn av at maskinsorteringsresultatene representerte meget store data-mengder å gå gjennom og modifisere/bearbeide, er det kun sett på 3 prøver av hver dimensjon.

	H_{min}	h_{min}	H_{midd}	h_{midd}	H_{max}	h_{max}
48x98-1a	8949	11086	10878	11783	12215	12465
48x98-1b	10467	11016	1009	11679	11658	12215
48x98-2a	9438	10034	10339	10834	10940	11485
48x98-2b	8126	8327	10575	10790	11611	11709
48x98-3a	10197	10197	11156	11176	12063	10470
48x98-3b	10857	10200	11150	10510	11504	10807

Tabell 16. Registrerte elastisitetsmoduler for prøver med dimensjon 48 mm x 98 mm.

Ved å sette opp en statistisk sammenheng mellom verdiene i hvert målepunkt fra sortering som hel prøve, med korresponderende verdier/målepunkt fra sortering som halv prøve, får en følgende for dimensjon 48 mm x 98 mm:

$$MOE_{h,a} = 0,22 MOE_{H,a} + 8859 \quad (r = 0,31) \quad (112)$$

$$MOE_{h,b} = 0,83 MOE_{H,b} + 1931 \quad (r = 0,64) \quad (113)$$

	H _{min}	h _{min}	H _{midd}	h _{midd}	H _{max}	h _{max}
48x148-1a	8949	11086	10878	11783	12215	12465
48x148-1b	10467	11016	11009	11679	11658	12216
48x148-2a	8367	9281	9650	9813	10628	10229
48x148-2b	9090	8407	9479	8773	10089	9273
48x148-3a	8986	8632	9497	9910	10114	10506
48x148-3b	9789	8424	10265	9277	10788	9998

Tabell 17. Registrerte elastisitetsmoduler for prøver med dimensjon 48 mm x 148 mm.

Ved å sette opp en statistisk sammenheng mellom verdiene i hvert målepunkt fra sortering som hel prøve, med korresponderende verdier/målepunkt fra sortering som halv prøve, får en følgende for dimensjon 48 mm x 148 mm:

$$MOE_{h,a} = 0,78 MOE_{H,a} + 2717 \quad (r = 0,71) \quad (114)$$

$$MOE_{h,b} = 1,67 MOE_{H,b} - 7233 \quad (r = 0,89) \quad (115)$$

	H _{min}	h _{min}	H _{midd}	h _{midd}	H _{max}	h _{max}
48x198-1a	6363	7465	7070	7842	8130	8329
48x198-1b	6630	6888	7234	7520	8118	8182
48x198-2a	7642	8517	9257	9956	10199	10774
48x198-2b	8057	8614	8632	8932	9402	9290
48x198-3a	7999	8891	8788	9482	9600	10296
48x198-3b	8208	8941	8977	9256	9637	9677

Tabell 18. Registrerte elastisitetsmoduler for prøver med dimensjon 48 mm x 198 mm.

Ved å sette opp en statistisk sammenheng mellom verdiene i hvert målepunkt fra sortering som hel prøve, med korresponderende verdier/målepunkt fra sortering som halv prøve, får en følgende for dimensjon 48 mm x 198 mm:

$$MOE_{h,a} = 0,80 MOE_{H,a} + 2423 \quad (r = 0,82) \quad (116)$$

$$MOE_{h,b} = 0,81 MOE_{H,b} + 1844 \quad (r = 0,92) \quad (117)$$

Ved å sammenstille resultatene for prøver med tykkelse 48 mm, fås følgende ligninger:

$$MOE_{h,a} = 0,79 MOE_{H,a} + 2570 \quad (r = 0,86) \quad (118)$$

$$MOE_{h,b} = 0,93 MOE_{H,b} + 702 \quad (r = 0,89) \quad (119)$$

Ligning (118) bygger på $n = 1327$ korresponderende datapar. Ligning (119) bygger tilsvarende på $n = 1275$.

	H _{min}	h _{min}	H _{midd}	h _{midd}	H _{max}	h _{max}
36x148-1a	9174	9684	10023	10309	11022	11065
36x148-1b	9185	9410	10537	10400	11724	10991
36x148-2a	7610	9078	10525	10954	12191	11865
36x148-2b	8084	8860	9033	9154	9897	9446
36x148-3a	11212	12729	12821	13444	14095	13997
36x148-3b	9920	9158	10670	10986	11718	12356

Tabell 19. Registrerte elastisitetsmoduler for prøver med dimensjon 36 mm x 148 mm.

Ved å sette opp en statistisk sammenheng mellom verdiene i hvert målepunkt fra sortering som hel prøve, med korresponderende verdier/målepunkt fra sortering som halv prøve, får en følgende for dimensjon 36 mm x 148 mm:

$$MOE_{h,a} = 0,88 MOE_{H,a} + 1835 \quad (r = 0,91) \quad (120)$$

$$MOE_{h,b} = 0,82 MOE_{H,b} + 2003 \quad (r = 0,82) \quad (121)$$

	H _{min}	h _{min}	H _{midd}	h _{midd}	H _{max}	h _{max}
36x198-1a	10985	10518	11892	12476	12481	13790
36x198-1b	11822	11869	13214	13891	12643	12883
36x198-2a	12071	12811	12639	14031	13500	15074
36x198-2b	13526	14008	14506	14815	15093	15281
36x198-3a	8784	9786	9510	10082	10307	10451
36x198-3b	8279	9098	9497	9946	10373	10407

Tabell 20. Registrerte elastisitetsmoduler for prøver med dimensjon 36 mm x 198 mm.

Ved å sette opp en statistisk sammenheng mellom verdiene i hvert målepunkt fra sortering som hel prøve, med korresponderende verdier/målepunkt fra sortering som halv prøve, får en følgende for dimensjon 36 mm x 198 mm:

$$MOE_{h,a} = 1,19 MOE_{H,a} - 1277 \quad (r = 0,92) \quad (122)$$

$$MOE_{h,b} = 0,94 MOE_{H,b} + 1136 \quad (r = 0,97) \quad (123)$$

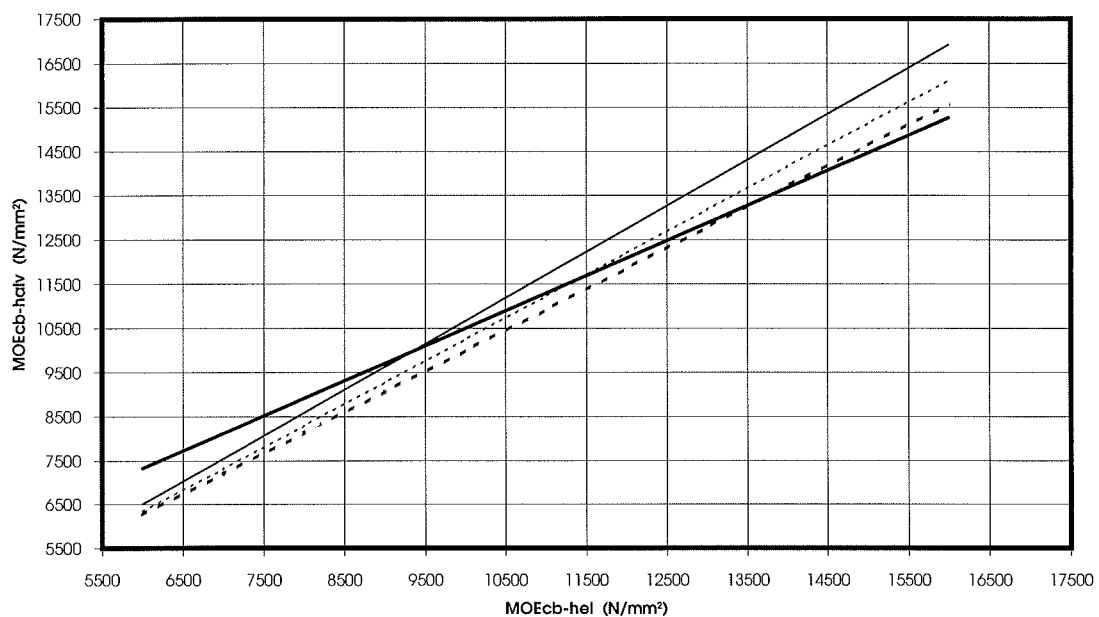
Ved å sammenstille resultatene for prøver med tykkelse 36 mm, fås følgende ligninger:

$$MOE_{h,a} = 1,04 MOE_{H,a} + 268 \quad (r = 0,90) \quad (124)$$

$$MOE_{h,b} = 0,98 MOE_{H,b} + 490 \quad (r = 0,96) \quad (125)$$

Ligning (124) bygger på $n = 841$ korresponderende datapar. Ligning (125) bygger tilsvarende på $n = 824$.

En sammenstilling av $MOE_{h,a}/MOE_{H,a}$ og $MOE_{h,b}/MOE_{H,b}$ for tykkelse 48 mm og 36 mm viste en dårligere statistisk sammenheng enn for 48 mm og 36 mm hver for seg. Korrelasjonskoeffisienten gikk ned fra ca. $r = 0,90$ (tykkelsene hver for seg) til ca. $r = 0,55$ (tykkelsene sammenslått).



Figur 13. Fet, heltrukket linje angir ligning (118), fet stiplet linje angir ligning (119), begge for tykkelse 48 mm. Tynn, heltrukket linje angir ligning (124), tynn stiplet linje angir ligning (125), begge for tykkelse 36 mm.

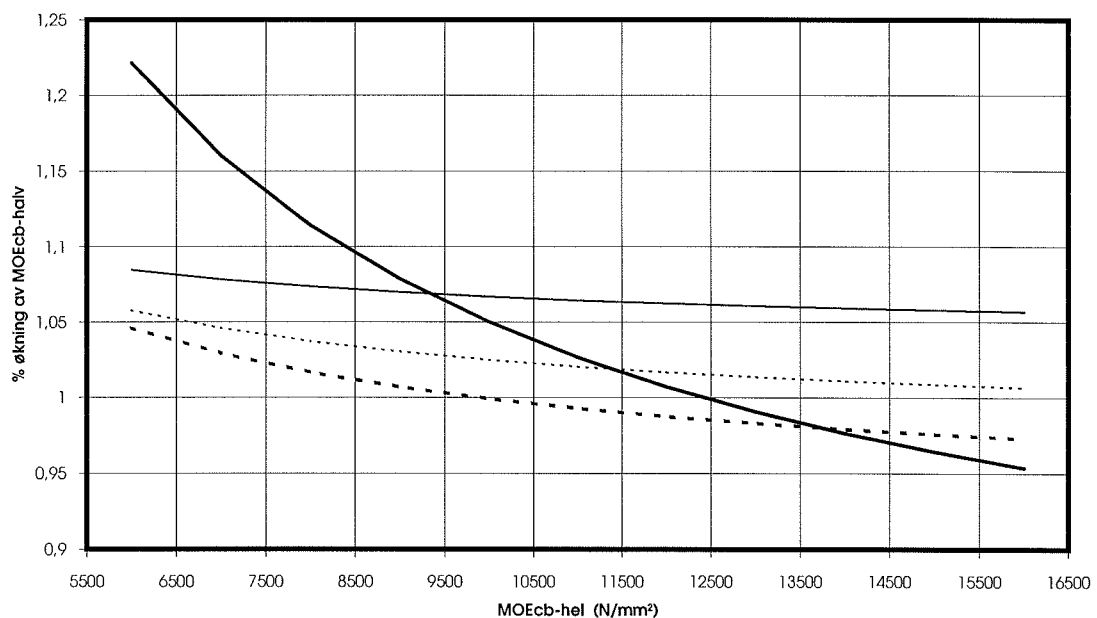
Figur 13 viser elastisitetsmodulen for prøver med halv lengde gitt som funksjon av elastisitetsmodulen for prøvene før de ble delt opp.

Det er spesielt verdt å merke seg de 2 heltrukne linjene. Disse representerer den enden som ble først matet inn ved sortering av hel prøve, og tilsvarende halvdel (halvdel a). Erfaringsmessig er vibrasjoner/svingninger et større problem i første del av prøvenes lengde. Når prøvene har kommet lenger inn i maskinen, dempes normalt svingningene/vibrasjonene noe. Dette kommer frem i figur 13 ved at de stiplede linjene (representerer siste del av prøvene) gir et tilnærmet *én til én* forhold mellom elastisitetsmodul fra hel og halv prøve.

Tilsvarende forhold er vist i figur 14. Figuren viser prosentvis økning av elastisitetsmodulen når prøven sorteres i halv lengde.

Eksempel.

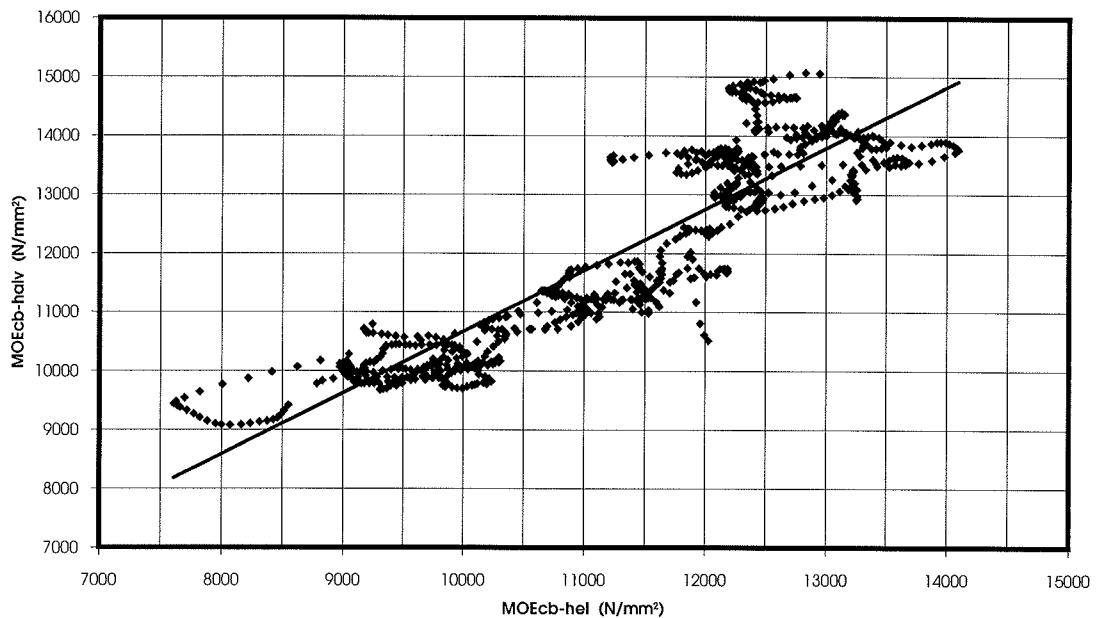
En prøve med tykkelse 48 mm og lengde 5 m får registrert en elastisitetsmodul lik 8500 N/mm² både på første og andre halvdel. Prøven deles deretter i to like lange halvdeler som sorteres på nytt. Den halvdelen som tilsvarer den halvdelen av den hele prøven som ble matet først inn i sorteringsmaskinen, vil kunne forventes å få registrert en elastisitetsmodul som ligger ca. 1,1 gang høyere enn ved sortering som hel prøve (heltrukket fet linje).



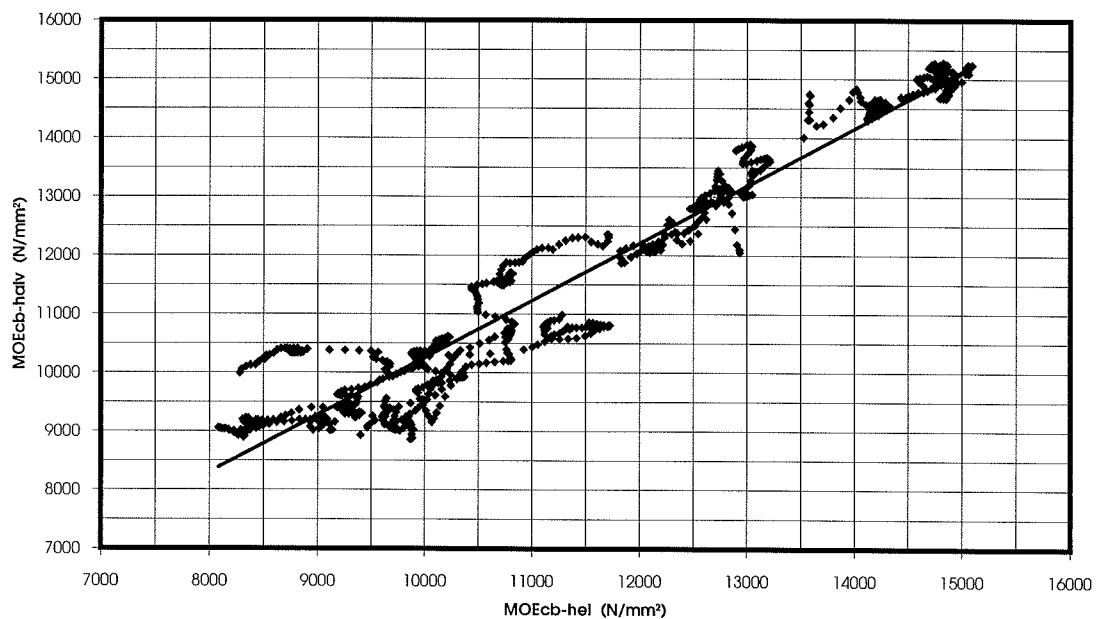
Figur 14. Fet, heltrukket linje = $MOE_{h,a}/MOE_{H,a}$ for tykkelse lik 48, fet stiplet linje = $MOE_{h,b}/MOE_{H,b}$ for tykkelse 48 mm. Tynn, heltrukket linje = $MOE_{h,a}/MOE_{H,a}$ for tykkelse lik 36, tynn stiplet linje = $MOE_{h,b}/MOE_{H,b}$ for tykkelse 36 mm.

De stiplede linjene i figur 14 viser hvordan forholdet mellom siste halvdel sortert som hel og halv ikke avviker så mye fra 1,0.

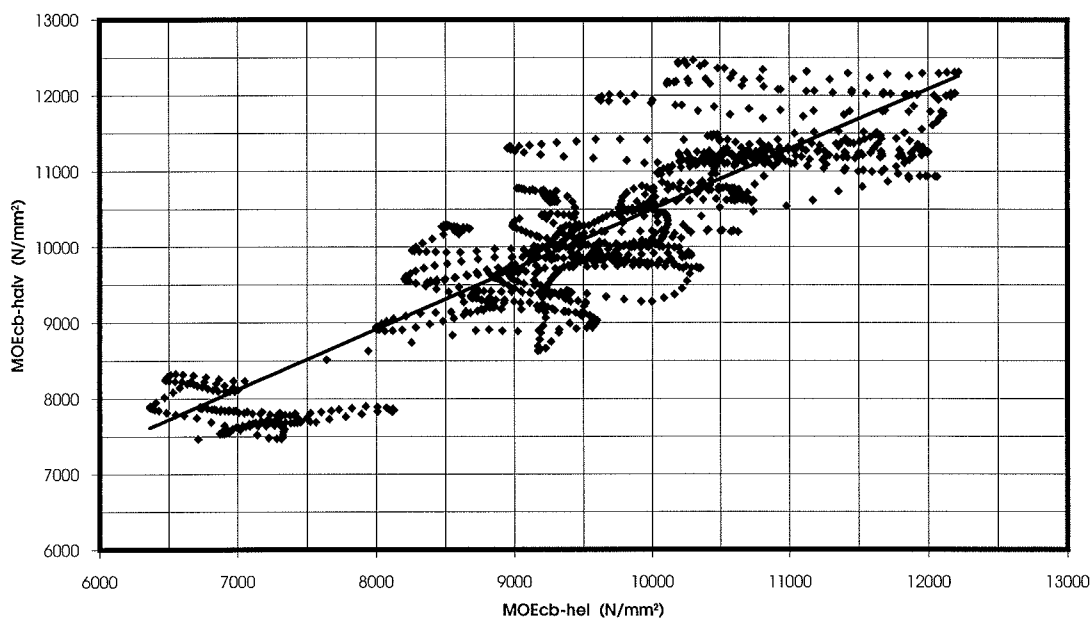
Fra figur 14 kan en se at desto lavere elastisitetsmodul en prøve har, desto større gevinst vil det gi å sortere den med kort lengde. Eller for å si det omvendt; prøver med lav elastisitetsmodul er mer påvirkelig av prøvens lengde enn hva tilfellet er for prøver med høyere elastisitetsmodul.



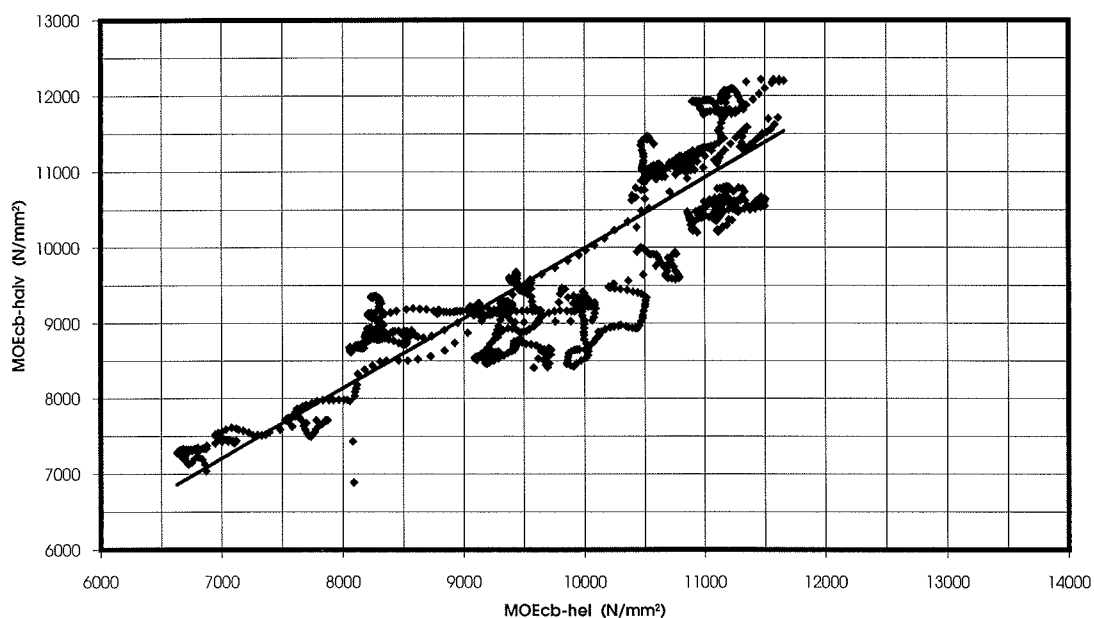
Figur 15. Sammenhengen mellom elastisitetsmodulen bestemt på hel prøvelengde og elastisitetsmodulen bestemt på halv prøvelengde for *første halvdel*, tykkelse 36 mm.



Figur 16. Sammenhengen mellom elastisitetsmodulen bestemt på hel prøvelengde og elastisitetsmodulen bestemt på halv prøvelengde for *andre halvdel*, tykkelse 36 mm.



Figur 17. Sammenhengen mellom elastisitetsmodulen bestemt på hel prøvelengde og elastisitetsmodulen bestemt på halv prøvelengde for *første halvdel*, tykkelse 48 mm.



Figur 18. Sammenhengen mellom elastisitetsmodulen bestemt på hel prøvelengde og elastisitetsmodulen bestemt på halv prøvelengde for *andre halvdel*, tykkelse 48 mm.

RESULTATER FRA SORTERING MED COMPUTERMATIC.

Ved en Computermatic styrkesorteringsmaskin blir materialene påført en på forhånd fastsatt kraft over et spenn på 914 mm. Kraften tilsvarer en konstant bøyespenning på (normalt) 13,8 N/mm². Når materialene passerer gjennom sorteringsmaskinen, blir deformasjonen som kraften påfører materialene registrert i punkter med intervall 150 mm.

En eventuell forhåndskrumning av materialene blir målt i de tilsvarende målepunktene ved en egen deformasjonsmåler plassert på innmatningssiden. Forhåndsdeformasjonen for et gitt målepunkt blir deretter lagt til, eventuelt trukket fra deformasjonen som er registrert under sorteringskraften i det tilsvarende målepunktet slik at effekten elimineres.

I en Computermatic sorteringsmaskin registreres deformasjonen i såkalte BIT-verdier. 1 BIT = 0,1905 mm.

COMPUTERMATIC - ELASTISITETSMODULER.

Ved gjennomgang av resultatene fra maskinsorteringen med Computermatic, viste det seg at resultatene fra samtlige 15 prøver med tykkelse 36 mm lå på et nivå av bare 50 - 60 % av forventet verdi. Årsaken til dette har i ettertid ikke latt seg finne. Derfor vil det for Computermatic sin del kun bli gjenngitt resultater fra sortering av prøver med tykkelse 48 mm. For disse 15 prøvene med tykkelse 48 mm ble følgende sammenhenger bestemt:

$$(MIDD) = 0,96 \cdot (MIN) + 1441 \quad (r = 0,96) \quad (126)$$

$$(MIDD) = 0,91 \cdot (MAX) - 39 \quad (r = 0,99) \quad (127)$$

(MIDD) = Midlere elastisitetsmodul registrert for hver enkelt prøve

(MIN) = Laveste elastisitetsmodul registrert for hver enkelt prøve

(MAX) = Høyeste elastisitetsmodul registrert for hver enkelt prøve

COMPUTERMATIC - ELASTISITETSMODUL OG DENSITET.

Elastisitetsmoduler bestemt ved hjelp av sortering med Computermatic er kombinert med prøvenes densitet. Densitetsverdiene er omregnet til 12 % fuktighet og volum ($\rho_{12,12}$). Følgende sammenhenger ble funnet for de 15 prøvene med tykkelse 48 mm:

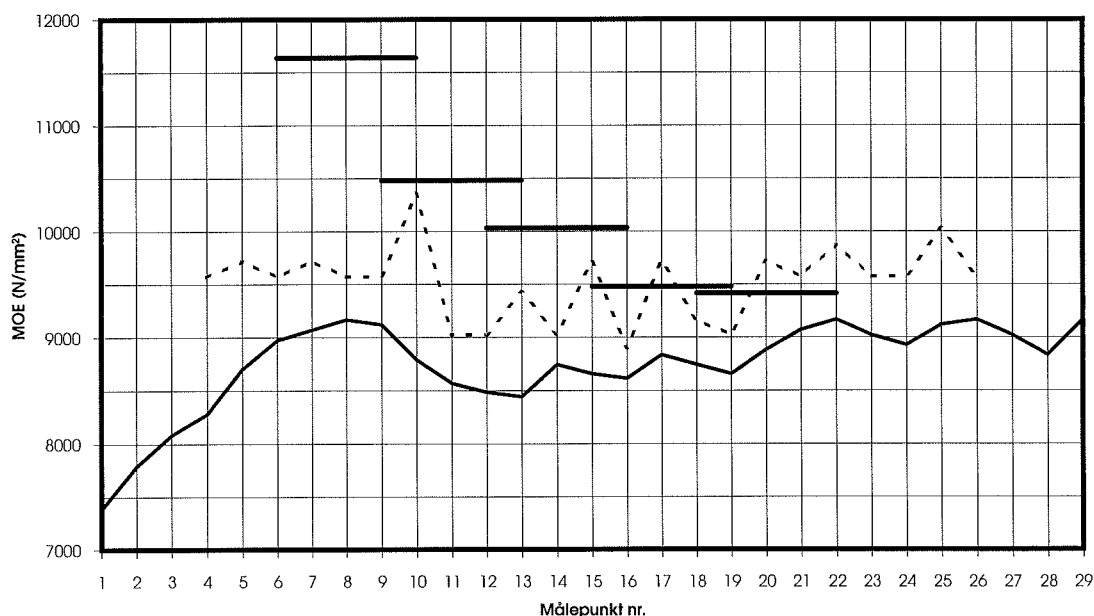
$$(\text{MIN}) = 21,17 \cdot \rho_{12,12} - 95 \quad (r = 0,63) \quad (128)$$

$$(\text{MIDD}) = 19,55 \cdot \rho_{12,12} + 1661 \quad (r = 0,59) \quad (129)$$

$$(\text{MAX}) = 22,45 \cdot \rho_{12,12} + 1481 \quad (r = 0,62) \quad (130)$$

COMPUTERMATIC - SAMMENLIGNING MELLOM MASKINMÅLT OG LABORATORIEMÅLT ELASTISITETS-MODUL.

Hver prøve ble sortert 3 ganger. Resultatene fra sortering med Computermatic representerer middelveien av disse 3 sorteringene. Så langt det har vært mulig, har en forsøkt å finne igjen de korresponderende målepunktene fra laboratorieprøvingen. Korresponderende målepunkter fra maskinen og fra laboratiemålingene er deretter kombinert slik at en kan få frem en sammenheng mellom disse.



Figur 19. Elastisitetsmoduler for prøve nr. 48x148/5. Stiplet linje viser resultater fra Computermatic-sortering (se forøvrig tilsvarende prøve for Cook-Bolinder resultater, vist i figur 9).

Følgende sammenhenger ble fastlagt på bakgrunn av resultatene fra laboratiemålingene og Computermatic:

Dimensjon 48 mm x 98 mm.

$$\text{MOE}_{lk} = 0,64 \cdot \text{MOE}_{cm} + 2562 \quad (r = 0,91) \quad (131)$$

$$\text{MOE}_{hk} = 0,88 \cdot \text{MOE}_{cm} + 3012 \quad (r = 0,83) \quad (132)$$

Dimensjon 48 mm x 148 mm.

$$\text{MOE}_{lk} = 1,04 \cdot \text{MOE}_{cm} - 1786 \quad (r = 0,84) \quad (133)$$

$$\text{MOE}_{hk} = 0,85 \cdot \text{MOE}_{cm} + 2452 \quad (r = 0,66) \quad (134)$$

Dimensjon 48 mm x 198 mm.

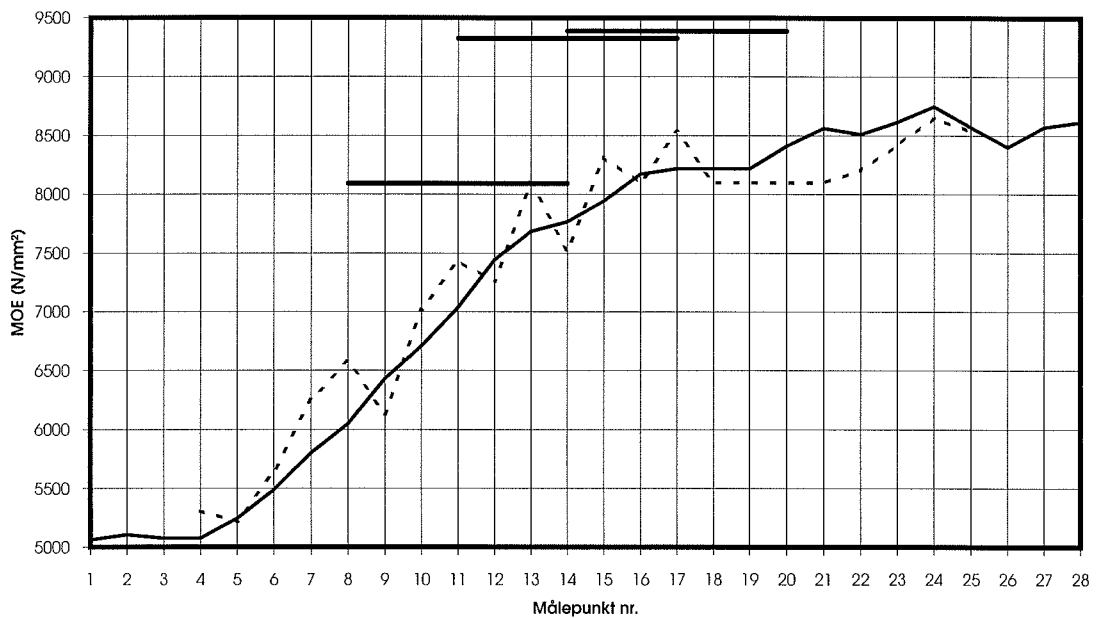
$$\text{MOE}_{lk} = 0,92 \cdot \text{MOE}_{cm} + 532 \quad (r = 0,95) \quad (135)$$

$$\text{MOE}_{hk} = 1,10 \cdot \text{MOE}_{cm} + 414 \quad (r = 0,81) \quad (136)$$

Samtlige med tykkelse 48 mm.

$$\text{MOE}_{lk} = 0,70 \cdot \text{MOE}_{cm} + 2090 \quad (r = 0,85) \quad (137)$$

$$\text{MOE}_{hk} = 0,96 \cdot \text{MOE}_{cm} + 1635 \quad (r = 0,82) \quad (138)$$



Figur 20. Elastisitetsmoduler for prøve nr. 48x198/5. Stiplet linje viser resultater fra Computermatic-sortering (se forøvrig tilsvarende prøve for Cook-Bolinder-resultater, vist i figur 10).

COMPUTERMATIC - SAMMENLIGNING MELLOM MASKINMÅLT ELASTISITETSMODUL FOR HEL OG HALV PRØVELENGDE.

I de følgende tabellene er det satt opp en oversikt over laveste registrerte elastisitetsmodul for henholdsvis prøvene sortert med hel lengde ($H_{\min}$) og for halv lengde ($h_{\min}$), midlere registrerte elastisitetsmodul for prøvene sortert med hel lengde (H_{midd}) og for halv lengde (h_{midd}), og største registrerte elastisitetsmodul for prøvene sortert med hel lengde ($H_{\max}$) og for halv lengde ($h_{\max}$). Betegnelsen a og b i angivelsen av prøvenummeret angir første (a) og siste (b) halvdel. Som for tilsvarende undersøkelse av Cook-Bolinder, er verdiene som representerer sortering av hel prøvelengde kun tatt fra den aktuelle halvdel det sammenlignes med.

Da en for Computermatic savner resultatene fra samtlige prøver med tykkelse 36 mm, har en tatt med samtlige 15 prøver med tykkelse 48 mm.

	$H_{\min}$	$h_{\min}$	H_{midd}	h_{midd}	$H_{\max}$	$h_{\max}$
48x98-1a	12894	13733	14569	15041	15539	15539
48x98-1b	13467	12368	14033	14705	14781	18938
48x98-2a	10272	6887	10901	10261	11654	12121
48x98-2b	10101	9469	10363	10336	10632	11019
48x98-3a	9935	10101	10505	10843	11223	11435
48x98-3b	9469	9182	9753	9909	10101	10632
48x98-4a	8783	9775	10983	11558	13175	11883
48x98-4b	10101	6313	10947	11043	11435	14781
48x98-5a	8703	10101	10569	10975	12368	11223
48x98-5b	10101	8417	11101	10739	11883	11654

Tabell 21. Registrerte elastisitetsmoduler for prøver med dimensjon 48 mm x 98 mm.

Ved å sette opp en statistisk sammenheng mellom verdiene målt i hvert målepunkt fra sortering som hel prøve, med de korresponderende verdier/målepunkt fra sortering som halv prøve, får en følgende for dimensjon 48 mm x 98 mm:

$$MOE_{h,a} = 0,90 \cdot MOE_{H,a} + 1180 \quad (r = 0,80) \quad (139)$$

$$MOE_{h,b} = 1,15 \cdot MOE_{H,b} - 1541 \quad (r = 0,75) \quad (140)$$

	H _{min}	h _{min}	H _{midd}	h _{midd}	H _{max}	h _{max}
48x148-1a	12150	11700	13052	12590	13735	13443
48x148-1b	11282	11921	12510	12454	13162	12636
48x148-2a	9291	9291	10269	9721	11084	10190
48x148-2b	8205	8100	8570	8514	9156	8899
48x148-3a	10190	9430	10758	10181	11487	10708
48x148-3b	9573	9430	10177	9725	10530	10029
48x148-4a	9430	9720	11432	10093	11487	10530
48x148-4b	10530	9872	11395	10867	11921	11487
48x148-5a	9026	8899	9860	10002	10530	10530
48x148-5b	9026	9430	9617	9723	10029	10029

Tabell 22. Registrerte elastisitetsmoduler for prøver med dimensjon 48 mm x 148 mm.

Ved å sette opp en statistisk sammenheng mellom verdiene målt i hvert målepunkt fra sortering som hel prøve, med de korresponderende verdier/målepunkt fra sortering som halv prøve, får en følgende for dimensjon 48 mm x 148 mm:

$$MOE_{h,a} = 0,72 \cdot MOE_{H,a} + 2657 \quad (r = 0,81) \quad (141)$$

$$MOE_{h,b} = 0,88 \cdot MOE_{H,b} + 1031 \quad (r = 0,93) \quad (142)$$

	H _{min}	h _{min}	H _{midd}	h _{midd}	H _{max}	h _{max}
48x198-1a	6940	7259	7302	7615	7608	7894
48x198-1b	7259	6790	7445	7389	7796	7796
48x198-2a	9425	9152	10180	10147	10525	11079
48x198-2b	8894	7701	9456	8964	9568	9715
48x198-3a	8894	9425	9319	9854	9867	11079
48x198-3b	9152	8771	9389	9683	9568	11079
48x198-4a	9867	9715	10651	10154	11277	10703
48x198-4b	9021	9021	9533	9628	9715	10525
48x198-5a	5219	5444	6196	5776	7429	6510
48x198-5b	8096	8309	8299	8572	8651	9021

Tabell 23. Registrerte elastisitetsmoduler for prøver med dimensjon 48 mm x 198 mm.

Ved å sette opp en statistisk sammenheng mellom verdiene målt i hvert målepunkt fra sortering som hel prøve, med de korresponderende

verdier/målepunkt fra sortering som halv prøve, får en følgende for dimensjon 48 mm x 198 mm:

$$MOE_{h,a} = 0,97 \cdot MOE_{H,a} + 259 \quad (r = 0,95) \quad (143)$$

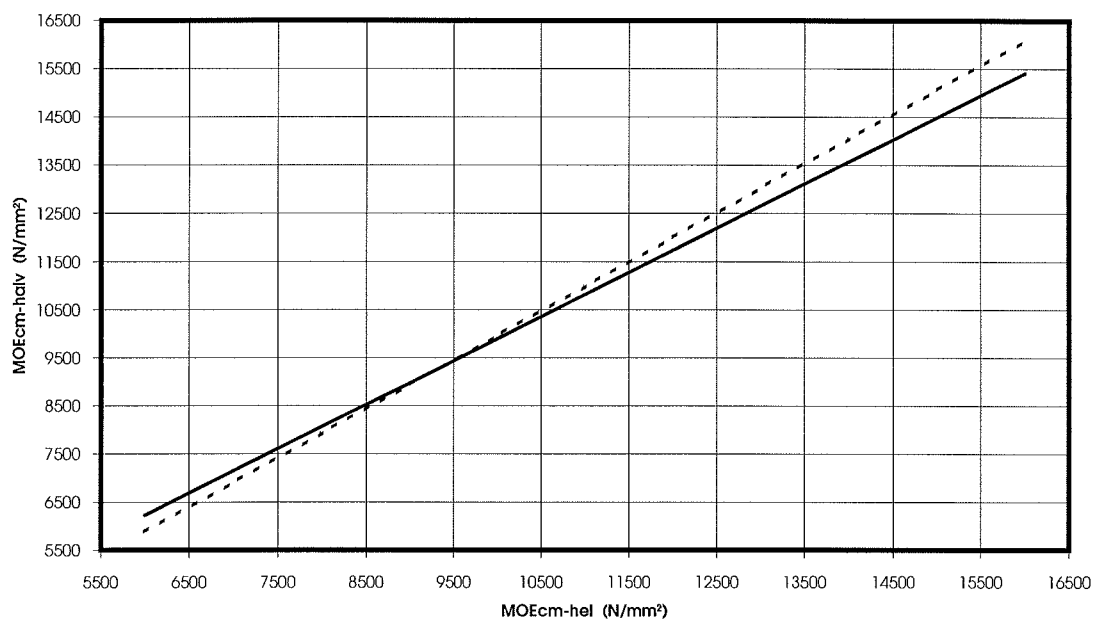
$$MOE_{h,b} = 1,01 \cdot MOE_{H,b} - 72 \quad (r = 0,88) \quad (144)$$

Ved å sammenstille resultatene fra alle 3 dimensjoner med tykkelse 48 mm, fås følgende ligninger:

$$MOE_{h,a} = 0,92 \cdot MOE_{H,a} + 718 \quad (r = 0,90) \quad (145)$$

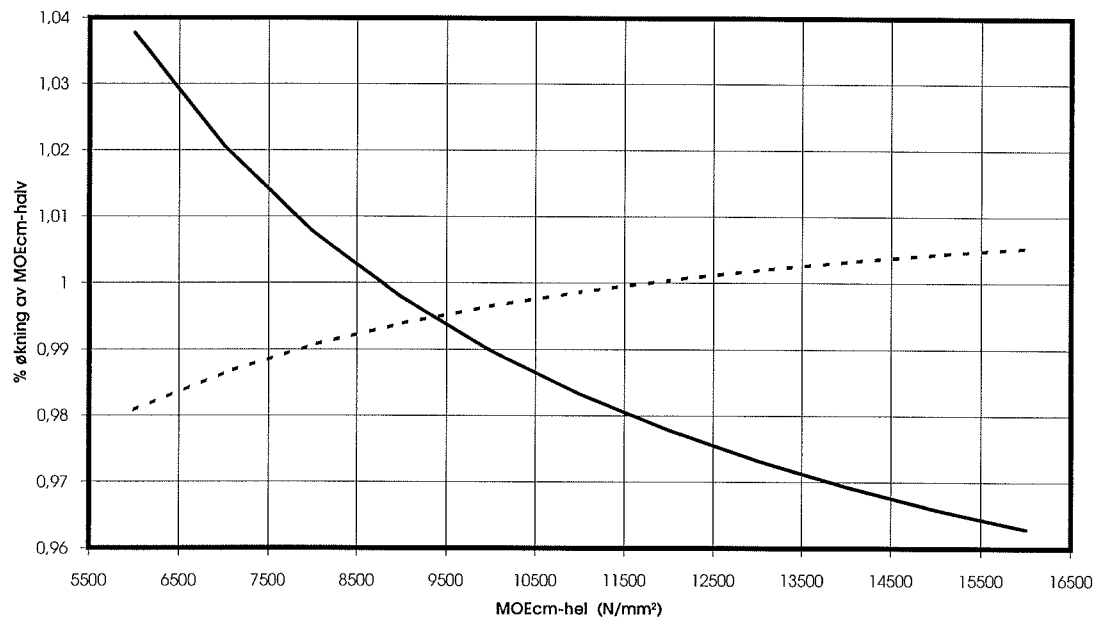
$$MOE_{h,b} = 1,02 \cdot MOE_{H,b} - 235 \quad (r = 0,86) \quad (146)$$

Ligning (145) bygger på $n = 118$ korresponderende datapar. Ligning (146) bygger tilsvarende på $n = 113$.



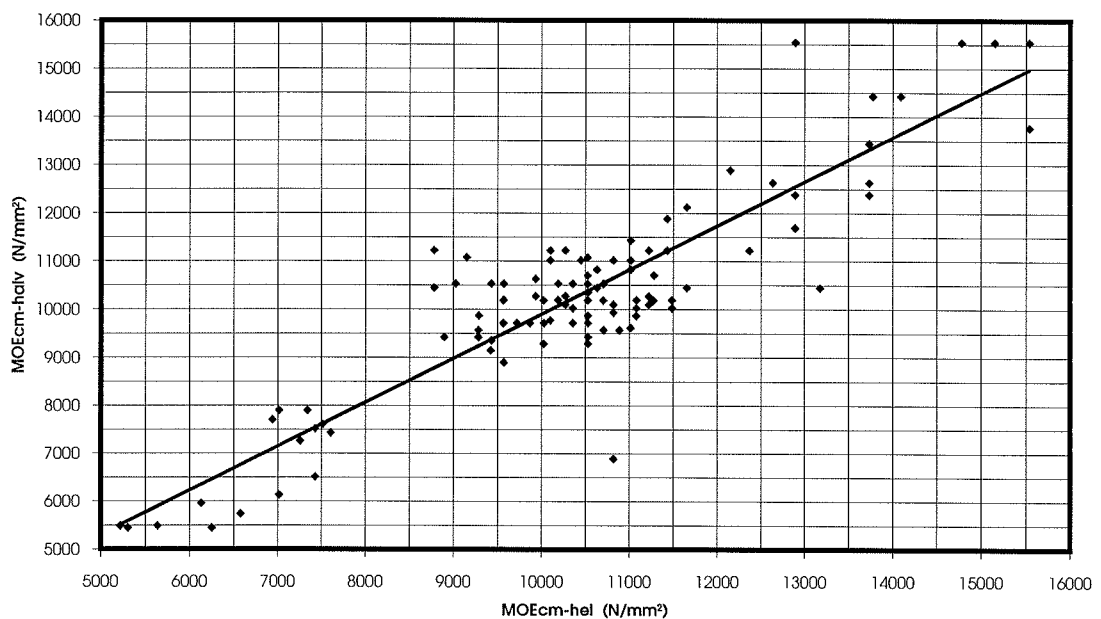
Figur 21. Fet, heltrukket linje angir ligning (145), fet, stiplet linje angir ligning (146).

Som det går frem av figur 21, er forholdet mellom elastisitetsmodulen registrert på hel prøve og tilsvarende for halv prøve tilnærmet *én til én*. Se forøvrig tilsvarende figur (figur nr. 13) for Cook-Bolinder.

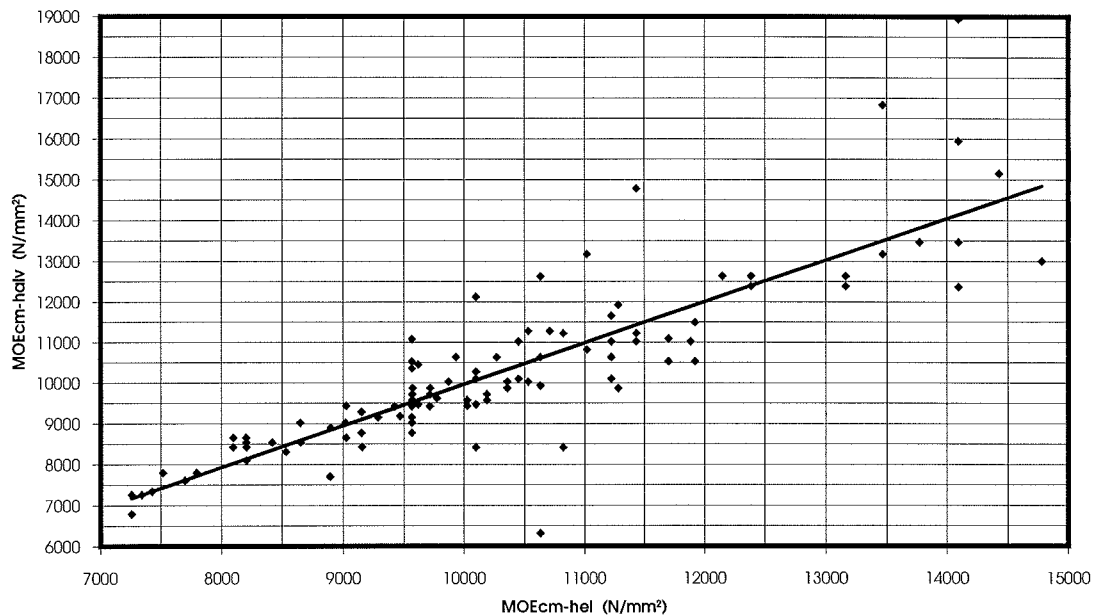


Figur 22. Heltrukket linje = $MOE_{h,a}/MOE_{H,a}$. Stiplet linje = $MOE_{h,b}/MOE_{H,b}$.

Ligning nr. (145) og (146) tyder på at prøvestykkenes lengde har liten innvirkning på resultatene. Figur 22 viser prosentvis forskjell mellom prøver sortert i hel og halv lengde som funksjon elastisitetsmodul for hel lengde.



Figur 23. Sammenhengen mellom elastisitetsmodulen bestemt på hel prøvelengde og elastisitetsmodulen bestemt på halv prøvelengde for *første halvdel*.



Figur 24. Sammenhengen mellom elastisitetsmodulen bestemt på hel prøvelengde og elastisitetsmodulen bestemt på halv prøvelengde for *andre halvdel*.

MASKINSORTERING - SAMMENSTILLING OG DISKUSJON AV NOEN AV DE FREMKOMNE RESULTATENE.

1. Forholdet mellom minste og midlere elastisitetsmodul.

Det er i denne rapporten satt opp 4 forskjellige ligninger som uttrykker sammenhengen mellom *minste* og *midlere* elastisitetsmodul for et prøvestykke. Disse ligningene er gitt ved:

$(MIDD) = 0,93 \cdot (MIN) + 1836$	$(r = 0,91)$	(17)
$(MIDD) = 0,96 \cdot (MIN) + 1447$	$(r = 0,91)$	(19)
$(MIDD) = 0,95 \cdot (MIN) + 1736$	$(r = 0,96)$	(84)
$(MIDD) = 0,96 \cdot (MIN) + 1441$	$(r = 0,96)$	(126)

(17) bygger på resultatene fra laboratoriemålingene av MOE_{lk} for dette prosjektets 30 prøver. (19) bygger på resultatene fra maskinsortering av 5602 limtrelameller med en Computermatic sorteringsmaskin, gjort under NTI's limtreprosjekt (1990/91) [4]. (84) bygger på resultatene fra maskinsortering av

25 prøver med en Cook-Bolinder sorteringsmaskin, gjort under dette prosjektet. (126) bygger på resultatene fra maskinsortering av 15 prøver med en Computermatic sorteringsmaskin, gjort under dette prosjektet.

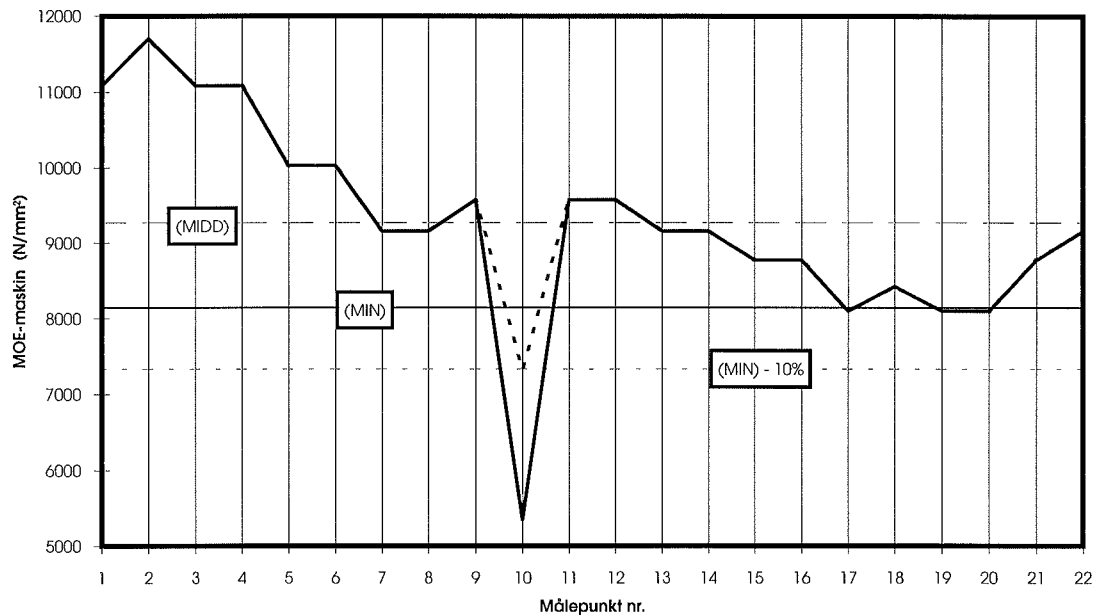
Som det går frem av de 4 ligningene, beskriver de et tilnærmet konstant forhold mellom verdiene for en plankes midlere og minste elastisitetsmodul. En kan spesielt legge merke til ligning (19) og (126) som begge stammer fra sortering med samme slags sorteringsmaskin (Computermatic).

MIN	MIDD ₁₇	MIDD ₁₉	MIDD ₈₄	MIDD ₁₂₆
7500	8811	8647	8861	8641
10000	11136	11047	11236	11041
12500	13461	13447	13611	13441
15000	15786	15847	15986	15841

Tabell 24. Middelerverdier beregnet etter de 4 nevnte ligningene, som funksjon av noen valgte minimumsverdier.

I praksis kan en tenke seg disse resultatene brukt til å kontrollere resultatene fra sorteringsmaskinene på en slik måte at eventuelle ekstrem-verdier kan lukkes ut. Dersom maskinenes "datahjerter" utbygges til å omfatte mer enn det de i dag gjør, kan en tenke seg innlagt en rutine hvor samtlige registrerte måleverdier for en og samme planke midles, hvorpå enkeltverdiene sammenlignes med teoretisk (MIN)-verdi gitt fra en av de nevnte ligningene. Dersom det viser seg at en verdi avviker sterkt fra a) den foregående verdi, b) den etterfølgende verdi og fra c) den teoretiske middelerverdien, kan verdien erstattes med den teoretiske middelerverdien med et påslag på for eksempel 10 % til sikker side.

Figur 25 viser et eksempel på hvordan en kan tenke seg å bruke det påviste forholdet mellom (MIN) og (MIDD). I eksemplet er ligning (19) valgt brukt. Den fete, heltrukne linjen symboliserer de maskinmålte elastisitetsmodulverdiene. De 3 horisontale linjene representerer den midlere elastisitetsmodulen (MIDD) (beregnet på bakgrunn av maskinmålte verdier), korresponderende teoretisk minimumsverdi (MIN) (beregnet på bakgrunn av (MIDD) og ligning (19)) og en korrigert (MIN)-verdi som ligger på 90 % av beregnet (MIN) ((MIN)-10%). På figuren er det også inntegnet (fet, stiplet linje) hvordan elastisitetsmodulen blir dersom korreksjonen utføres.



Figur 25. Et tenkt forløp av maskinmålt elastisitetsmodul med en "ekstrem-verdi" i målepunkt nr. 10.

Målsettingen bør alltid være at maskinene *ikke* har feilkilder som medfører ekstremverdier. Erfaringsmessig vet en imidlertid at dette er vanskelig å oppnå, og spesielt under industrielle forhold hvor det sorteres under høy hastighet og med store påkjenninger på maskinene.

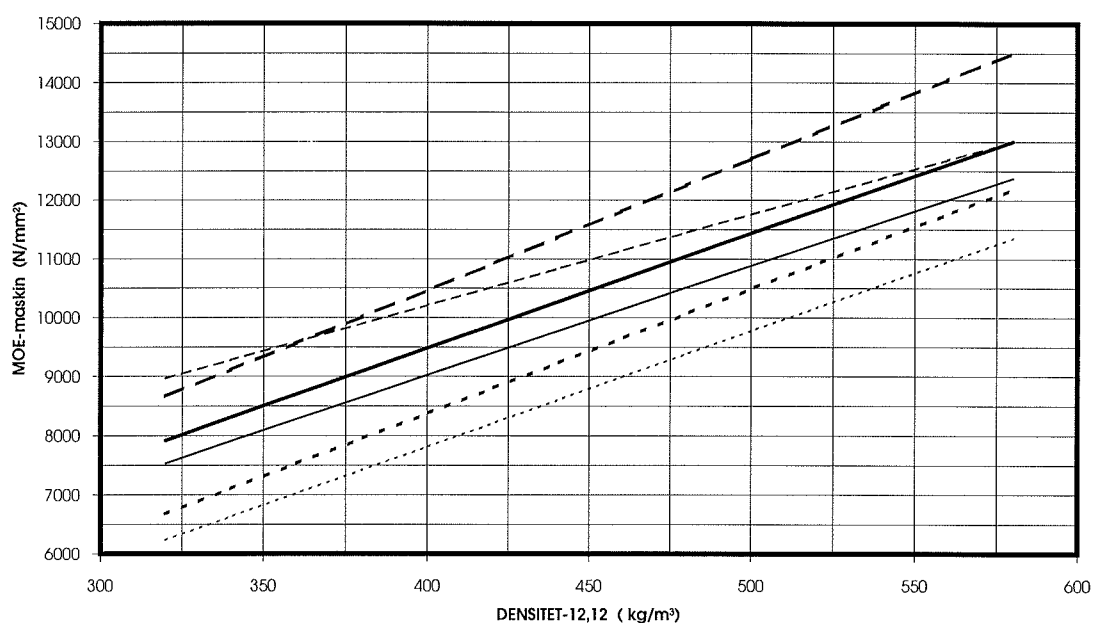
Inntil en har mer sikre maskiner, kan en tenke seg den beskrevne metoden, kanskje i kombinasjon med andre indirekte kontroller, brukt til å eliminere en del av de mest opplagte feilverdiene som tidvis oppstår. I forbindelse med NTI's limtreprosjekt [4] ble samme tankegang benyttet på resultatene fra maskinsorteringen av 5602 limtre lameller. Etter tradisjonell sortering satt en igjen med under 5 % lameller i fasthetsklasse C37-14E. Forløpet av elastisitetsmodulen ble deretter gransket hos samtlige lameller og en korreksjon ble foretatt. Dette resulterte i at utbyttet i klasse C37-14E steg til hele 48 %! Korreksjonen ble utført på en slik måte at en statistisk hele tiden lå til sikker side. Ved senere laboratorieprøving av et relativt stort antall lameller, viste det seg at de korrigerte verdiene stemte meget godt med de virkelige. Det må her understrekes at ligning (19), som bygger på resultater fra det nevnte limtreprosjektet, er beregnet på bakgrunn av de *ukorrigerte* verdiene.

En økning i utbytte fra 5 % til 48 % for en så høy fasthetsklasse som C37-14E må nok ansees som ekstremt i forhold til vanlige, industrielle forhold, men en bør kunne forvente en betydelig økning.

2. Forholdet mellom maskinmålt elastisitetsmodul og densitet.

Resultatene fra sammenligning av maskinmålt elastisitetsmodul og densitet viste ingen god korrelasjon. Dette skyldes høyst sannsynlig at densitetsprøvene ble skåret ut i enden av hver prøve og derfor ikke nødvendigvis gir et riktig bilde av hele lengdens densitet.

Figur 26 viser sammenhengen mellom maskinmålt elastisitetsmodul og densitet for prøver med tykkelse 48 mm, sortert henholdsvis på Cook-Bolinder og Computermatic.



Figur 26. Sammenheng mellom densitet og maskinmålt elastisitetsmodul for prøvestykker med tykkelse 48 mm.

Tynn, småstiplet linje:

$$\text{(Cook-B.) (MIN)} = 19,66\rho_{12,12} - 95 \quad (r = 0,63) \quad (89)$$

Fet, småstiplet linje:

$$\text{(Comp.) (MIN)} = 21,17\rho_{12,12} - 53 \quad (r = 0,63) \quad (128)$$

Tynn, heltrukket linje:

$$\text{(Cook-B.) (MIDD)} = 18,61\rho_{12,12} + 1578 \quad (r = 0,66) \quad (90)$$

Fet, heltrukket linje:

$$\text{(Comp.) (MIDD)} = 19,55\rho_{12,12} + 1661 \quad (r = 0,59) \quad (129)$$

Tynn, storstiplet linje:

$$\text{(Cook-B.) (MAX)} = 15,49\rho_{12,12} + 4012 \quad (r = 0,60) \quad (91)$$

Tynn, småstiplet linje:

$$\text{(Comp.) (MAX)} = 22,45\rho_{12,12} + 1481 \quad (r = 0,62) \quad (130)$$

At den reelle sammenhengen mellom densitet og elastisitetsmodul er god, er allment akseptert og godt dokumentert. Dersom det lot seg gjøre å måle densiteten mer eller mindre kontinuerlig over hele plankens lengde under sorteringsprosessen, samt forholde de registrerte verdiene til korresponderende maskinmålte elastisitetsmoduler i samme punkt, ville det være mulig å bedre kontrollen av sorteringsprosessen. En slik kontinuerlig densitetsmåling kan tenkes utført for eksempel med ultralyd eller gammastråler.

Dersom tidligere nevnte maskinkontroll på bakgrunn av teoretisk (MIN)-verdi av elastisitetsmodulen kombineres med en kontroll basert på kontinuerlig densitetsmåling, burde en være i stand til å heve sorteringsutbyttet i de høyere klasser på en effektiv og sikker måte.

3. Forholdet mellom maskinmålt og reell elastisitetsmodul.

I henhold til ISO 8375 [5] og prEN 408 [11] skal elastisitetsmodulen bestemmes ved høykantbøyning. Verdiene som angis som krav for de enkelte fasthetsklassene i prEN 338 [1] er definert på denne bakgrunn.

Et av de viktigste spørsmålene når det gjelder maskinsortering av den type det i dette prosjektet dreier seg om, er å bestemme forholdet mellom den maskinmålte og reelle elastisitetsmodulen.

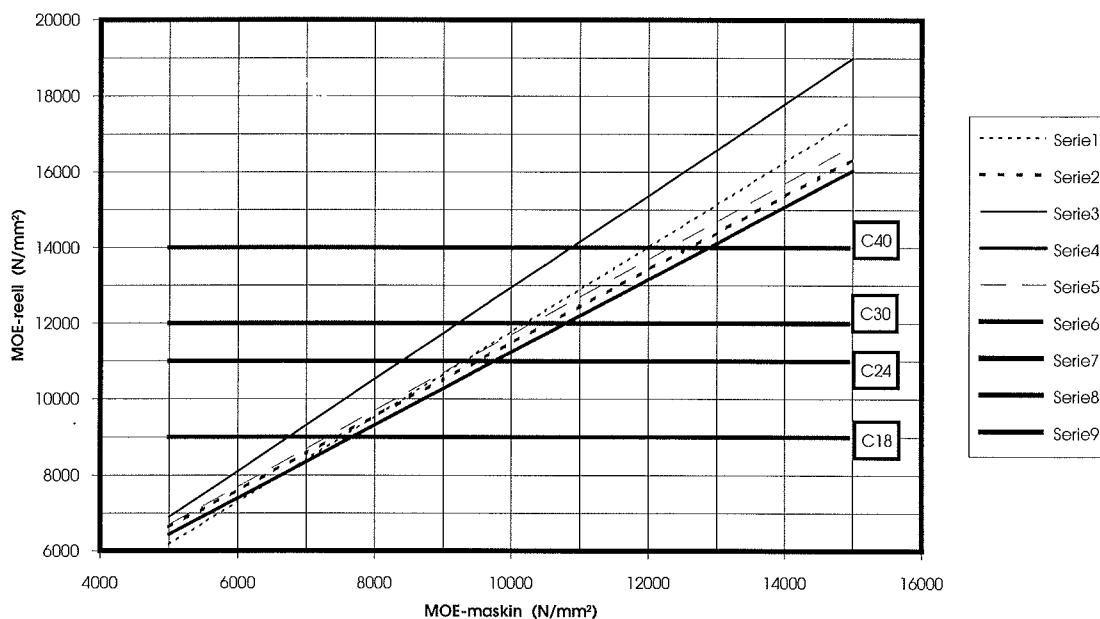
På bakgrunn av forsøkene som er gjort i dette prosjektet, er det bestemt 3 hovedligninger som beskriver sammenhengen mellom lavkant- og høykantmålt elastisitetsmodul. Videre er det ytterligere 2 ligninger som er kjent fra andre forhold, som også vil bli tatt inn i denne diskusjonen. Disse 5 ligningene er gitt ved:

$MOE_{hk} = 1,12 \cdot MOE_{lk} + 576$	$(r = 0,82)$	(79)
$MOE_{hk} = 0,97 \cdot MOE_{cb} + 1783$	$(r = 0,78)$	(110)
$MOE_{hk} = 1,21 \cdot MOE_{cm} + 843$	$(r = 0,85)$	(111)
$MOE_{hk} = 0,96 \cdot MOE_{cm} + 1635$	$(r = 0,81)$	(138)
$MOE_{hk} = 1,00 \cdot MOE_{cm} + 1694$	$(r = 0,87)$	(147)

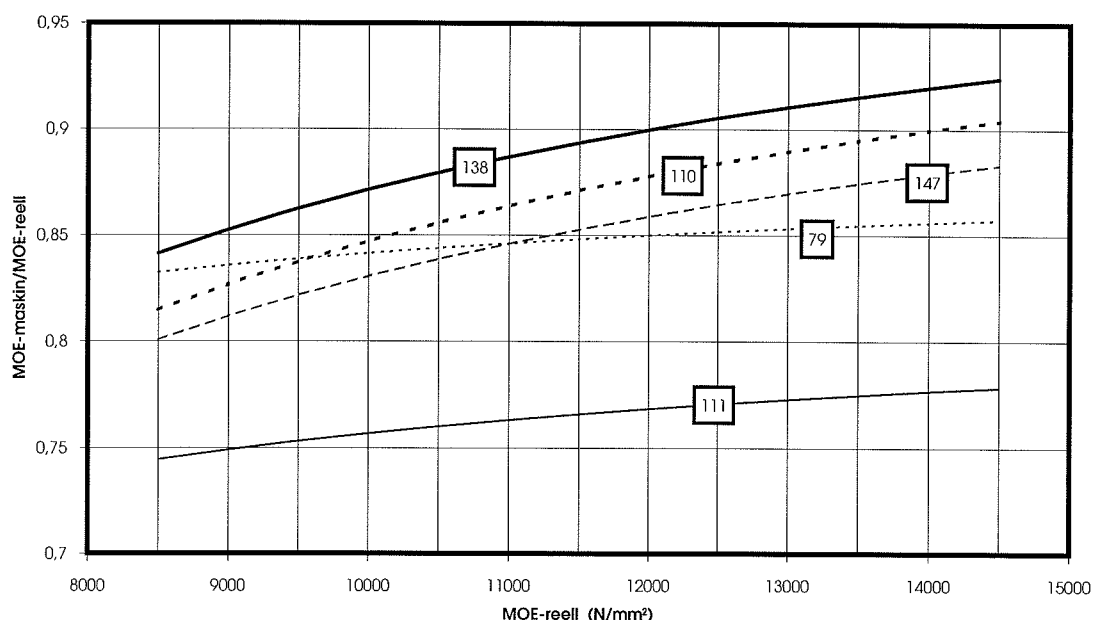
(79) bygger på resultatene fra laboratoriemålingene av MOE_{hk} og MOE_{lk} gjort på de 30 prøvene innenfor dette prosjektet. Det må påpekes at bestemmelsen av MOE_{lk} skjedde med gradvis pålasting og uten ytre dynamiske effekter. En direkte sammenligning med tilsvarende verdier målt i en sorteringsmaskin vil derfor kunne inneholde feilkilder på grunn av forskjell i "prøvemethoden". (110) bygger på resultatene fra dette prosjektets maskinsortering med Cook-Bolinder av 25 prøver. Det er i denne forbindelsen valgt å se på ligningen for samtlige resultater sammenslått. (111) bygger på den svenske undersøkelsen av styrke/stivhet/maskinsortering [9] som ble gjennomført ved hjelp av en

Computermatic. Metoden for å bestemme elastisitetsmodulene bak denne ligningen avviker noe fra hva som skjer i en virkelig sorteringsprosess. Elastisitetsmodulen ble bestemt i maskinen mens prøvene sto stille, med andre ord en situasjon ganske nær opptil den som ligning (79) bygger på. (138) bygger på resultatene fra dette prosjektets maskinsortering med Computermatic av 15 prøver. Det er i denne forbindelsen valgt å se på ligningen for samtlige resultater sammenslått. (147) bygger på resultatene fra NTI's limtreprosjekt [4] som ble utført ved hjelp av en Computermatic på ca. 400 prøvestykker.

I figur 27 er de 5 ligningene satt opp i forhold til hverandre. For illustrere hvordan forskjellen i valg av ligning vil slå ut i praksis, er kravet til middelværdi for de kommende fasthetsklassene i henhold til CEN for klasse C18, C24, C30 og C40 inntegnet.



Figur 27. Sammenheng mellom MOE_{maskin} og MOE_{reell} (MOE_{hk}). *Serie 1* tilsvare (79), *serie 2* tilsvare (110), *serie 3* tilsvare (111), *serie 4* tilsvare (138) og *serie 5* tilsvare (147). *Serie 6*, *7*, *8* og *9* tilsvare henholdsvis C18, C24, C30 og C40 slik det er angitt på figuren.



Figur 28. Forholdet MOE_{maskin}/MOE_{reell} for de respektive 5 ligningene. Kurvene er angitt med ligningsnummer. Kravverdiene for elastisitetsmodulen i de 4 fasthetsklassene en har sammenlignet med er også inntegnet.

Som går klart frem av figur 27 og figur 28, skiller ligning (111) seg ut fra de resterende 4 ligningene ved at den krever langt lavere maskinmålt elastisitetsmodul for å oppnå de aktuelle fasthetsklassene. Det er denne ligningen som benyttes i Norge og Sverige til bestemmelse av grenseverdier for de enkelte fasthetsklassene.

Hva kan denne tildels store forskjellen skyldes? Det vil være umulig å gi et helt entydig svar på dette spørsmålet, men en vil i det følgende forsøke å belyse enkelte momenter som kan spille inn.

Da forsøkene som (111) bygger på ble utført, ble materialene først sortert gjennom maskinen på tradisjonell måte. De enkelte målepunktene ble registrert og en lokaliserte derved beliggenheten av det svakeste punktet (størst utbøyning). Deretter ble prøven plassert i maskinen slik at dette punktet kom rett under påføringspunktet for sorteringskraften. Kraften ble satt på og deformasjonen ble målt mens prøven sto stille inne i maskinen. På bakgrunn av påført kraft og registrert deformasjon ble MOE_{maskin} beregnet. MOE_{hk} ($=MOE_{reell}$) ble bestemt ved at det samme målepunktet som ble benyttet til bestemmelse av MOE_{maskin} ble plassert midt mellom 2 punktlaster. Deformasjonen ble målt over en avstand av 914,4 mm, sentrisk om det aktuelle målepunktet. Påført last og registrert deformasjon ble deretter beregnet. Forsøkene ble utført på dimensjonene 38 mm x 150 mm, 50 mm x 100 mm, 50 mm x 150 mm og 50 mm x 200 mm.

Dersom en sammenligner med hva som ble gjennomført i dette prosjektet, er det spesielt 2 punkter en vil trekke frem som kan medvirke til forskjellige resultater.

1). Når dette prosjektets ligninger (79), (110) og (138) er bestemt, er det *ikke* tatt utgangspunkt i prøvenes svakeste punkt (minimumsverdier). Ligningene bygger på samtlige punkter fra hver prøve hvor det eksisterte en korresponderende høykantmålt elastisitetsmodul. Dette ble valgt da en ved å sammenligne høykant- og lavkantmålte elastisitetsmoduler (laboratoriemålt) fant ut at plassering av MOE_{lk-min} ikke nødvendigvis befant seg på samme sted som MOE_{hk-min} . Det ble påvist forskjellig plassering for 33 % av prøvene. For å fange opp denne forskjellen, ønsket en å etablere et mere generelt forhold mellom MOE_{lk} og MOE_{hk} . Den valgte løsningen ble altså å kombinere samtlige målepunkter for prøvene.

2). Ligning (110) og (138) bygger på målinger foretatt mens plankene var i bevegelse gjennom sorteringsmaskinene. Eventuelle dynamiske effekter er derfor innbakt i resultatene. Ligning (79) som kom frem etter statisk belastning i laboratoriet, er den ligningen som ligger nærmest opp til (111) og dermed også avviker mest fra de rene "maskin-ligningene" når det gjelder stigningskoeffisient.

Det er gjennomført flere prosjekter (eksempelvis kan en nevne [12]) hvor trevirke er maskinsortert med innstillinger bestemt på grunnlag av (111), og hvor det i ettertid gjennom laboratorietester har vist seg at innstillingen gir god treffprosent på fasthetsklassene. At ligning (111) viser seg å stemme *under praktiske forhold*, gjør det selvfølgelig meget vanskelig å komme med innvendinger som trekker riktigheten i tvil. Spesielt når innvendingene langt på vei baserer seg på laboratorieforsøk og teoretiske betraktninger.

Imidlertid er det et forhold en bør nevne i denne sammenheng. Det er kjent, blant annet fra [4], at de aller fleste sorteringsmaskiner av de typer dette prosjektet har tatt for seg, har problemer med svingninger/vibrasjoner i materialene under sorteringsprosessen. En undersøkelse av resultatene fra den ukorrigerte maskinsorteringen av 5602 lameller under [4], viste at 65 % av samtlige lameller hadde maksimal-utbøyning i målepunkt 3 eller 4. Etter at resultatene var korrigert, steg andelen i fasthetsklasse C37-14E fra ca. 5 % til hele 48 %. Erfaringene fra [4] kan neppe antas å være representative for de maskinene som i dag står rundt omkring på sagbrukene, men de illustrerer problemstillingen på en god måte. Dersom nevnte maskinsortering av limtre lameller ikke hadde blitt korrigert, ville det store antallet med C37-lameller vært klassifisert innenfor de lavere klassene (hovedsaklig C30 og C24).

Ved gjennomgang av måleresultatene gjort under dette prosjektet, ble det for begge maskintyper registrert mange minimums-punkter innenfor de første målepunktene, samt svingningsmønster på kurven for elastisitetsmodulen innenfor det samme måleområdet (se figur 12). Dette til tross for at sorteringen gjort under dette prosjektet skjedde med relativt lav hastighet (65 m/minutt). Under industrielle forhold må en regne med hastigheter opp mot 100 m/minutt. Vibrasjons- og svingningsproblematikken forventes å øke med hastigheten da plankenes bevegelsesenergi er større ved høyere hastighet.

Med andre ord vil vibrasjons- og svingningsproblemet nedklassifisere deler av trelasten til lavere klasser. I og med at maskinene kun tar hensyn til svakeste punkt, vil en aldri få tilsvarende problem med oppklassing til høyere klasser. Avhengig av hvor nøyaktig den enkelte maskin fungerer, vil en dermed kunne forvente at de lavere klassene inneholder større eller mindre andeler av materialer fra høyere fasthetsklasser. Ved en eventuell laboratorietest av et slikt utvalg vil dette kunne medføre at resultatene heves, kanhende så mye at en kommer innenfor ønsket fasthets- og stivhetsintervall.

En vil ikke her påstå at dette er den eneste eller viktigste årsaken til at en erfaringsmessig har oppfylt kravene til de enkelte fasthetsklassene når det er blitt foretatt styrkemessig etterkontroll. Likevel vil en hevde å ha grunnlag nok til å påstå at det er en medvirkende effekt.

I utgangspunktet kan en stille spørsmål om det har noen hensikt å forandre innstillingsrutinene når den eksisterende rutinen vitterlig fungerer godt nok. Svaret kan nok diskuteres, men i denne rapporten vil en hevde at det bør kunne være mye å hente ved å gjennomføre enkelte forandringer. Resultatet av at en større eller mindre andel uriktig nedklassifiseres, er at andelen i de høyere klassene blir liten. Hittil har det vært lav etterspørsel etter materialer i de høyeste fasthetsklassene (f.eks T40). Behovet for å sortere ut dette har dermed vært liten. Imidlertid går vi nye tider i møte ved den internasjonale standardiseringen (CEN). I dag produseres det i Norden limtre bygget opp av lameller i sorteringsklassene LT20 og LT30. Disse sorteres visuelt. En ferdig bjelke bygget opp av LT30 i ytterste lamellene på hver side og LT20 i midtlamellene, kalles L40 og har en karakteristisk bøyefasthet i underkant av 40 N/mm^2 . Slik det i dag ser ut (mars 93) i henhold til de kommende CEN-standardene, vil en måtte benytte et homogent oppbygget tverrsnitt av lameller i fasthetsklasse C40 for å nå opp til en karakteristisk bøyefasthet på 36 N/mm^2 . Klasse C40 krever maskinsortering. Dersom limtreindustrien vil fortsette å bygge opp sine bjelker med C30 i ytterlamell, kan de i beste fall få en karakteristisk bøyefasthet for ferdig produkt på 30 N/mm^2 . Et produkt tilnærmet det de i dag produserer, med C30 i ytterlamellene og C18 i de midterste, vil gi en karakteristisk bøyepening på 28 N/mm^2 .

En må med andre ord forvente et økende etterspørsel etter materialer i høyere fasthetsklasser. Dersom dette ikke kan fremskaffes, må det kompenseres gjennom å øke dimensjonene på limtretverrsnittene. Konkurranseevnen til limtre som konstruksjonsmateriale i store konstruksjoner vil dermed svekkes i forhold til konkurrerende materialer.

Det er i denne rapporten tidligere trukket frem hvordan en kan tenke seg å kombinere kontinuerlig densitetsmåling samt kontroll av minimumspunkter på bakgrunn av teoretisk/forventet min-verdi. Videre kjenner en til at det i Sverige arbeides med å kombinere optisk kvistregistrering (kantkvist) med den tradisjonelle maskinsorteringen. Alt dette er momenter som en i fremtiden bør kunne benytte seg av for å optimalisere maskinsorteringen. Dersom feilkildene elimineres antar en videre at innstillingsrutinene for maskinene vil måtte

skjerpes, men med en optimal sorteringsprosess bør dette *ikke* gå på bekostning av utfallet i de enkelte klassene.

På bakgrunn av erfaringene som ble gjort under arbeidet med [4], vil en anta at tyngdepunktet i fordelingen av utsorterte fathetsklasser forskyves oppover mot høyere klasser. Materialene som inngikk i [4] var visuelt sortert som LT20 og LT30. Etter korreksjonene av de maskinregistrerte verdiene (fjernet effekten av enkeltstående ekstrempunkter) var utført, satt en igjen med en klassefordeling på 48 % i C37-14E, 50 % i C30-12E og bare 2 % i klasser lavere enn C30-12E. Det må her poengteres sterkt at de korresponderende maskininnstillingsverdiene for å ta ut disse klassene tilsvarer ligning (147) og faktisk innebærer en relativt stor skjerpelse i forhold til det som i dag er praktisert ute i industrien.

4. Forholdet mellom sortering av hel og halv planke.

Forsøkene som ble gjennomført under dette prosjektet tyder på at prøvenes lengde spiller inn på sorteringsresultatet.

Verdiene bestemt fra sortering av hele planker ble sammenlignet med verdiene fra sortering som halve planker. Verdiene som lå innenfor den hele prøvens første halvdel ble sammenlignet med korresponderende "halv prøve", og verdiene som lå innenfor den hele prøvens andre halvdel ble sammenlignet med korresponderende "halv prøve".

Fra resultatene av sortering med Cook-Bolinder ble det funnet at for 12 av 15 undersøkte prøver (80 %) ble det registrert lavere minsteverdi for elastisitetsmodulen for hel prøve. Ved 2 av 15 undersøkte prøver (13 %) var minsteverdien for halv prøve lavest. For 1 prøve var ble det registrert identisk minsteverdi.

Tilsvarende resultater fra sortering med Computermatic viste at det for 8 av 15 undersøkte prøver (53 %) ble registrert lavere minsteverdi for elastisitetsmodulen for hel prøve. Ved 6 av 15 undersøkte prøver (40 %) var minsteverdien for halv prøve lavest. For 1 prøve var ble det registrert identisk minsteverdi.

Det understrekes her at når det er snakk om *minste verdi for hel prøve*, menes det den minste verdi innenfor det området som tilsvarer korresponderende halv prøve. Med andre ord er det resultater fra nøyaktig den samme materialbiten som sammenlignes. Under optimale forhold skulle en dermed forvente identiske resultater.

Resultatene fra dette prosjektet tyder på at forskjellen mellom resultatene fra hel og halv prøve var minst hos Computermatic. For første halvdel ble det satt opp følgende sammenheng for første halvdel sortert med Cook-Bolinder og Computermatic (begge ligningene gjelder for tykkelse lik 48 mm):

$$MOE_{h,a,CB} = 0,79 \cdot MOE_{H,a,CB} + 2570 \quad (r = 0,86) \quad (118)$$

$$MOE_{h,a,CM} = 0,92 \cdot MOE_{H,a,CM} + 718 \quad (r = 0,90) \quad (145)$$

Anta at en ved sortering av *hel* prøve med Cook-Bolinder registrerer en minste-verdi gitt lik $MOE_{H,a,CB} = 8500 \text{ N/mm}^2$ innenfor prøvens første halvdel. Prøven deles i 2 like lange deler, og den delen som utgjorde første halvdel av den hele prøven sorteres på nytt. På bakgrunn av ligning (118) vil en kunne forvente at laveste registrerte minste-verdi øker til $MOE_{h,a,CB} = 9285 \text{ N/mm}^2$, dvs. en økning for samme prøvebit på nesten 10 %. Tilsvarende økning for Computermatic og ligning (145) ville bli på 0,4 %.

Ved sammenligning av resultatene fra bakre halvdel, viste det seg en langt bedre overensstemmelse mellom verdiene fra sortering i form av *hel* og halv prøvelengde.

Dersom en skal trekke noen konklusjon ut fra de resultatene en fant under denne delen av prosjektet, må det være at en lang planke vil være mer utsatt for vibrasjoner/svingninger enn en kortere planke. Problemene forekommer vesentlig i første halvdel av plankens lengde. Når ca. halve planken er passert gjennom sorteringsmaskinen, er svingningene dempet ned og en får sannsynligvis langt mer pålitelige måleverdier. For en kort planke vil det være mindre masse som svinger/vibrerer, dvs. mindre energi i planken. Dette gjør at vibrasjons- og svingningsproblemet er langt mindre.

Dersom en tenker seg at en lang prøve med lav elastisitetsmodul får et impulsslag fra lastpåføringen (skjer tilnærmet momentant), vil en forvente at enden slår ut sideveis. Desto lavere elastisitetsmodul, desto større utslag. Desto større lengde på fri ende, desto større utslag. Fra figur 14 kan en se hvordan økningen i elastisitetsmodul mellom prøver med *hel* og halv lengde stiger med avtagende elastisitetsmodul. Desidert størst utslag gir dette for sortering av 48 mm (størst masse).

De undersøkelsene som her er foretatt må kun sees på som en spire til videre arbeid. En nærmere kartlegging av lengdeeffekten må gjennomføres!

En metode for å bestemme lengdeeffekten nærmere, kan være å velge ut et visst antall prøver med lik tverrsnittsdimensjon og stor lengde. Disse bør maskinsorteres f.eks. 5 ganger hver. Deretter kapper man av 200 mm av den bakre enden. Prøvene sorteres på nytt 5 ganger. Nye 200 mm kappes av i samme ende...osv. Dette holder man på med inntil prøvelengden er så liten at det ikke lar seg gjøre å gjennomføre flere kjøring i sorteringsmaskinen. Resultatene av en slik eksersis bør ende opp med et forhold gitt som funksjon av lengden.

Tilsvarende forsøk bør utføres på et representativt antall forskjellige tverrsnittsdimensjoner.

KONKLUSJON.

Forsøkene som er utført i dette oppdraget bygger på undersøkelser av 30 prøvestykker. Prøveantallet må sies å være lavt, men til gjengjeld har en samlet store mengder data fra hver enkelt prøve. Det vil være umulig å trekke sikre konklusjoner på bakgrunn av de forsøk og beregninger som her er utført. Imidlertid tror en at en del av den informasjonen som er dokumentert i denne rapporten vil kunne være med på å bidra til at en i fremtiden får styrkesorteringsmaskiner som oppfyller kravene til både høyt utbytte i de høyeste klassene, og en nøyaktig og korrekt sortering. I det følgende vil en trekke frem de momenter en anser som viktige i rapporten.

1. Kvist innvirker generelt overraskende lite på *stivheten* under de spenningsnivåer en sorteringsmaskin opererer (ca. 14 N/mm²). Dette gjelder både for høykantmålt og lavkantmålt elastisitetsmodul. Årsaken kan ligge i at densiteten i kvistsoner ofte er høyere og at en dermed har lokalt høyere elastisitetsmodul.
2. Høyere densitet gir større økning for høykantmålt elastisitetsmodul enn for lavkantmålt elastisitetsmodul.
3. Beliggenheten av laveste registrerte elastisitetsmodul målt på lavkant var forskjellig fra beliggenheten av laveste registrerte elastisitetsmodul målt på høykant for 33 % av prøvene. Dette bør være et tankekors med hensyn til de sorteringsmaskiner som utelukkende sorterer på bakgrunn av minste verdi målt på lavkant.
4. Det ble funnet et tilnærmet konstant forhold mellom en prøves midlere elastisitetsmodul og minimumsverdi, målt på lavkant. Det samme forholdet gikk igjen i resultatene fra laboratoriemålingene og fra begge typer sorteringsmaskiner som inngikk i forsøkene. En sammenligning med resultatene fra maskinsortering av drøyt 5000 limtre lameller viste også samme forhold.
5. Forholdet mellom elastisitetsmoduler målt på høykant og korresponderende lavkantverdier fra henholdsvis Cook-Bolinder og Computermatic, viste seg å være tilnærmet identisk. Ligningene for nevnte forhold avviker en del fra den ligningen som i dag benyttes som basis for maskininnstilling i Norge og Sverige. Dette antas delvis å komme av at en i dette prosjektet har kombinert samtlige maskinmålte verdier (for hver prøve) med sine korresponderende høykantverdier. Ligningen som benyttes som basis for maskininnstilling bygger på en kombinasjon av maskinmålt minimumsverdi med korresponderende høykantverdi. Bakgrunnen for at en i dette prosjektet valgte en annen metode, er at en påviste at laveste høykant- og lavkantelastisitetsmodul hadde forskjellig beliggenhet for 33 % av prøvene. En ønsket derfor å etablere et mere generelt forhold mellom de 2 størrelsene.
6. Størrelsen av måleverdiene registrert av sorteringsmaskinene er avhengige av plankenes lengde. Dette gjelder spesielt for lengre planks første halvdel. Ved

ny sortering av samme planke, men med halv lengde, økte elastisitetsmodulen. For Computermatic registrerte en kun små forskjeller. For Cook-Bolinder tyder resultatene på at en kan risikere økninger på opptil 10 % - 20 % på det samme materialet når lengden halveres. 48 mm tykkelse ga større økning enn 36 mm. Prøver med lav elastisitetsmodul ga større økning enn prøver med høyere elastisitetsmodul.

7. De kommende CEN-standardene kommer til å medføre behov for utsortering av høyere fasthetsklasser enn hva som er vanlig i dag. Dette gjelder spesielt til limtreindustrien. Skal dette bli mulig, må en sannsynligvis modifisere de maskintypene en i dag har. Dette kan tenkes gjort gjennom å bygge ut maskinenes "datahjerner", samt koble til måleinstrumenter som kan gjøre tilleggsregistreringer av andre egenskaper. På denne måten kan en muligens eliminere en del regelrette feilmålinger fra maskinenes side. Vibrasjoner og svingninger antas å medføre at en relativ stor prosentandel av materialene nedklassifiseres.

Litteraturhenvisninger.

- [1] prEN 338 (1991) Structural timber - Strength classes
- [2] Norsk Standard NS 3080 (2. utgave 1988) Kvalitetskrav til trelast for konstruktive formål.
- [3] INSTA 142 (1991) Nordiske regler for visuell sortering av trelast for konstruksjonsformål.
- [4] The performance of glued laminated beams manufactured from machine stress graded Norwegian spruce (NTI-meddelelse nr. 77, 1992)
- [5] ISO 8375 (1985) Solid timber in structural sizes - Determination of some physical and mechanical properties.
- [6] Gran og sitka innplantet på Vestlandet (NTI-meddelelse nr. 69, 1985)
- [7] Gran fra Vestlandet. Styrke og sortering (NTI-meddelelse nr. 74, 1988)
- [8] Timber stress-grading research programme at Laval University, Canada (foredrag holdt av Marcel Samson ved NTI, 1992-06-04. Referat fra fordraget kan skaffes ved henvendelse til NTI)
- [9] Maskinhållfasthetssortering - Sambandet mellan hållfasthet vid böyning på högkant och böjstyvhet för svenskt furu- och granvirke. Principer för maskinprogrammering (STFI-meddelande serie A nr 543, 1981)
- [10] Maskinell hållfasthetssortering av virke med Computermatic och Micromatic (SP-rapp 1986:26)
- [11] prEN 408 Timber structures - Test methods - Structural timber and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties.
- [12] Stress Grading of Swedish and German Timber (SP-rapp. 1992:23)