

DST

2/02



**Bæredygtig og flersidig
træproduktion
i hede- og klitplantager, 2. del**

Dansk Skovbrugs Tidsskrift

87. årgang, hæfte 2. Udgivet af Dansk Skovforening
November 2002

Udvikling i stormstabilitet i mellemaldrende rødgrantræer efter stærk fritstilling

“Wind stability in semi-mature Norway spruce trees after extensive release in a shelterwood”

Af Christian Nørgård Nielsen, Bo Glent-Madsen,
Morten Gaarde og Thomas Nord-Larsen

1. Sammenfatning	42	5.3.1. Udviklingen i det ”kritiske forankringsmoment”	54
1.1. Summary of “Wind stability in semi-mature Norway spruce trees after extensive release in a shelterwood” ...	42	5.3.2. Udviklingen i det maxi- male forankringsmoment.....	55
2. Indledning	43	5.3.3. Udviklingen i kronemomentet gennem skærmens levetid	56
2.1. Skovdyrkningsmæssig baggrund	43	5.4. Udviklingen i stormfasthed i den 5 årige periode	56
2.2. Formål og hypoteser.....	45	5.5. Underplantningens betydning for skærmens stabilitet	56
3. Materiale	45	5.6. Kausaliteten bag skærm- træernes stabilisering	57
3.1. Forsøgslokalitet	45	5.6.1. Skærmstillingens indflydelse på træernes højdevækst	59
3.2. Jordbundsforhold	46	5.6.2. Kronebiomassens udvikling i skærmtræerne.....	60
3.3. Dyrkningshistorie	46	5.6.3. Grundfladetilvækst i stamme og grovrødder.....	61
3.4. Forsøgsanlægget	48	6. Diskussion	64
3.5. Udvælgelseskriterier til forsøgs- træerne i 1., 2. og 3. kampagne	49	6.1. En kritik af trækmålingsmetoden.....	64
4. Metode.....	49	6.2. Et forsøg på at inddrage vindhastigheden i tolkningen.....	64
4.1. Forsøgsopstillingen	49	6.3. Diskussion af skærmtræernes stormstabilitet	67
4.2. Bearbejdning af data	51	6.4. Den stabilitetsmæssige udvikling gennem skærmens 5 årige levetid.....	68
4.2.1. Beregning af forankringsmomentet.....	52		
4.2.2. Beregning af kronemomentet	53		
5. Resultater.....	53		
5.1. Skader i skærmen i forsøgets 5 årige løbetid.....	53		
5.2. Forankringsløsning.....	53		
5.3. Udvikling i forankring og kronemoment i skærmens 5 årige levetid	54		

6.5. Mekanismerne bag skærmtræernes stabilisering	69
6.6. Generalisering af de opnåede resultater	69
7. Konklusion	70
8. Taksigelse	71
9. Litteraturliste	71

1. Sammenfatning

Med henblik på at undersøge stormstabiliteten i fritstillede rødgraner blev et nyt skærmforsøg anlagt på Klosterheden i marts 1997.

Der blev gennemført forsøg med måling af forankring i marts 1997 (samtidigt med skærmstillingen), i november 1997 (efter skærmens første vækstsæson) og i oktober 2001 (efter skærmens 5. vækstsæson). Forsøgstræernes krone- og stamme-biomasse blev undersøgt ved alle 3 kampagner, medens rodskiver til årringsmålinger kun blev udtaget i efteråret 2001. I vinteren 2001/2002 undersøgtes biomasse-forhold og årringsudvikling også i 10 reference træer fra den ikke-skærmstillede del af bevoksningen. Resultaterne viste, at skærmtræerne omtrent fordoblede deres stormfasthed i løbet af skærmens første 5 leveår. Stabiliseringen tiltog nogenlunde jævnt i perioden – dog var der en tendens til svagere stabilisering gennem skærmens første leveår end gennem de fire efterfølgende år.

Samtidigt observeredes de fleste skader blandt skærmtræerne i løbet af det første år. Der er her givetvist tale om en naturlig selektion af individer med dårlig rodsymmetri, dårlig rodageudvikling og ringe rod/top-forhold.

Stabiliseringen skyldes, at skærmtræerne i voldsomt omfang omfordelte biomasse tilvæksten efter skærmstillingen.

Den gennemsnitlige årlige tilvækst i skærmstillingsperioden var 11% i kronen, 20% i stammen og 26-62 % i grovrødderne.

Der er ingen tvivl om, at skærmstillingen meget alvorligt har nedsat træernes stormstabilitet, idet den "sociale" stabilitet totalt elimineres ved en skærmstilling. Selv efter den stærke adaptive stabilisering gennem skærmens første 5 år, har skærmtræerne endnu ikke udviklet en stabilitet, som kan sammenlignes med udgangsbevoksningens.

De fritstillede rødgrantræer antages at ville fortsætte med at stabilisere sig med stor styrke i de følgende år. Stabilitet som solitærtræer opnås dog formentlig først 15-25 år efter fristilling.

1.1. Summary of "Wind stability in semi-mature Norway spruce trees after extensive release in a shelterwood"

Different kind of "continuous cover" regeneration is increasingly used for improved sustainability in forestry. Establishment of shelterwoods is a frequently used method of regenerating forest stands with frost sensible species. The objective of this project was to investigate the development of wind stability in newly released Norway spruce trees in a shelterwood. A shelterwood was established in a 14,8 metre tall Norway spruce stand at Klosterheden in Denmark. Three campaigns of wind stability investigation were carried out. Tree-pulling experiments were carried out for quantification of moment of anchorage during March 1997, November 1997 and October 2001. Between 27 and 41 trees were pulled down at each campaign.

Stem form, tree height and vertical distribution of the crown mass was

assessed for all test trees in order to estimate the “crown-moment” (crown weight multiplied with the height of crown mass above ground – see figure 2). During autumn and winter 2001 stem and root disks were collected in 10 shelterwood trees and in 10 reference trees (from the residual part of the original stand).

During the five year life-span of the shelterwood, the crown-moment only increased with 8% per year (figure 6 and table 6), whereas the critical moment of anchorage increased with almost 40% in average per year (figure 4) and the maximum moment of anchorage increased averagely with 24% per year (figure 5). Hence, the wind stability of the shelterwood trees improved with roughly 100 percent during the five year period (figure 7 and 8). In spite of this considerable improvement in wind stability, shelterwood trees could still not be considered as stable as the original closed Norway spruce stand.

Investigations in winter 2001/2002 of the development of stem height growth, crown increment, stem and thick root increment revealed, that the trees responded to the release and sudden wind exposure by allocating a much higher proportion of biomass increment to roots on behalf of the crown region.

The development in height growth is presented in figure 9, crown increment in figure 10 and stem and thick root CSA-increment in figure 11, 12 and 13. This change in allocation pattern is considered primarily to be a biomechanical response to the increased wind exposure, whereas the general increase in biomass increment is a consequence of the strongly reduced intra-specific competition. Hence, the mechanism responsible for the improvement of wind stability in

suddenly released trees is likely to be generally active, and it is likely that the results from this project can be generalised to a high degree.

2. Indledning

2.1. Skovdyrkningsmæssig baggrund

Den hidtidige dyrkningstradition med rødgran i Danmark – karakteriseret af ensaldrende og homogene monokulturer – har vist sig at medføre dårlig stabilitet i både fysiologisk og fysisk henseende (Nielsen 2001b). Traditionelt dyrket rødgran er frem for alt meget sårbar overfor stormskader.

Der er flere meget effektive metoder til stabilisering i den traditionelle nåletræsdrift, som for nyligt beskrevet af Nielsen (2001b). Men der er måske flere visioner i at forsøge at konvertere de homogene monokulturer af nåletræ til mere naturnære strukturer, som er kendetegnet ved høj ”struktur-diversitet”, og som i højere grad kan passe sig selv gennem naturens egne processer (”natur-automatikken”).

Idet vi går ud fra, at mange ejere og forvaltere ofte gerne vil bevare en vis nåletræsandel i sådanne naturnært drevne skove, har Nielsen & Larsen (2001) gjort rede for kravene til opbygning af sådanne naturnære blandingsskove – hvis disse altså også skal leve op til forventningerne om en højere stormstabilitet.

Nielsen & Larsen (ibid.) formulerer et tredobbelt krav til heterogenitet for at kunne opnå høj stabilitet i en naturnær blandingsskov:

- a) Genetisk heterogenitet (artsdiversitet).
- b) Rumlig heterogenitet i det vertikale plan (alders- og højde-diversitet).
- c) Rumlig heterogenitet i det horisontale plan (grupperede strukturer).

Skærmforyngelsen har i mange år været betragtet som det mest velegnede dyrkningsmæssige instrument til at konvertere de homogene nåletræsbevoksninger til naturnære driftsformer (Neckelmann 1995 og Suadicani 2002). Men desværre er skærmforyngelsen kendetegnet ved,

Homogenitet – heterogenitet

I indledningen diskuteres forskellige begreber som kort skal forklares:

En homogen bevoksning er ensartet over større områder, fx hvad angår træart og træstørrelse. En heterogen bevoksning er modsat uensartet eller varieret over større områder.

Den traditionelle højskovsdrift giver ofte en homogen bevoksning. Det gælder *vertikalt* – altså i lodret plan – idet alle træer på et givet sted er af samme størrelse og samme træart. Det gælder også *horisontalt* – altså i vandret plan – idet der over større arealer anvendes samme træart og træer af samme alder. En homogen bevoksning fremkommer ved plantning, men ofte også ved skærmforyngelse hvor hele arealet forynges naturligt på én gang.

De naturnære dyrkningssystemer sigter mod en heterogen bevoksning. Det gælder vertikalt, idet der på et lille areal kommer flere træarter i flere aldre, og det gælder horisontalt, idet bevoksningen ofte vil bestå af grupper som vil være forskellige fra hinanden hvad angår træart og træstørrelser. I naturnær drift er målet at foryngelsen sker naturligt, og at den sker løbende over hele arealet.

Red.

at den medfører en høj rumlig homogenitet i foryngelsen. Det gælder især hvis foryngelsen etableres gennem plantning. Set i lyset af de ovenfor stillede krav til både vertikal og horisontal heterogenitet for realisering af en ”virksom” naturnær struktur, som også i praksis sikrer en høj stabilitet, forekommer skærmforyngelse over store flader ikke særligt velegnet til konvertering til naturnære strukturer i løbet af én generation. Naturforyngelse under skærm (naturligt frøfald) vil nok i reglen medføre en noget større vertikal og horisontal variation, hvilket giver en noget bedre udgangssituation for konvertering til en naturnær struktur.

Som mere velegnede alternativer til en plantningskultur under skærm kan nævnes:

- a) Skærmforyngelse med plantning på stor afstand eller i grupper med supplerende naturlig ”succession”.
- b) Skærmforyngelse med naturforyngelse (naturlig succession) med efterfølgende supplerende indplantning i de bare pletter.
- c) Multiple skærmstillinger af små arealer.
- d) Systematiske ”gruppevise foryngelser” i form af grupper, kulisser, blokke etc.

Det mest optimale værktøj til konvertering til naturnære strukturer er givetvis den gruppevise foryngelse i lysbrønde (plantning, såning eller naturforyngelse). Foryngelsen kan sprede sig fra lysbrøndene f.eks. i takt med foryngelsens succes og/eller effekten af en måldiameterhugst i restbevoksningen.

Uanset om der vælges traditionel skærmforyngelse eller en af de andre foreslåede konverteringsmetoder, er det meget vigtigt at stabilisere foryngelses-systemet rumligt gennem stabiliseringsbælter.

Stabiliseringsbælter kan på kort sigt (dvs. i løbet af 5-8 år) skabes gennem udlægning af f.eks. hver fjerde kulisse til tyndingsfri drift. Ved mere langsigtet planlægning kunne stabiliseringsbælterne etableres gennem D-A hugst eller læbæltehugst eller oven i købet plantning på stor planteafstand (f.eks. 3 x 3 meter) i hver fjerde kulisse (Nielsen 2001).

De fleste forstfolk er med god grund overordentlig skeptiske overfor risikofyldte foryngelsesmetoder i nåletræsbevoksninger. Indlægning af stabiliseringsbælter i foryngelsessystemerne tillader imidlertid at eksperimenterere med helt nye foryngelsessystemer (såsom gruppevis foryngelse), idet stormfald i den gamle bevoksning begrænses rumligt af de indre stabiliseringsbælter.

Når de store fladefald kan forhindres gennem anvendelse af stabiliseringsbælter, er risikoen ved destabiliserende foryngelser meget betydeligt forringet. Hvis der er et potentiale for naturlig foryngelse kan flere på hinanden følgende stormfald endda være banebryder for den tidsmæssige og rumlige variation, som er nødvendig for at etablere en naturnær struktur.

2.2 Formål og hypoteser

Uanset hvilken konverteringsmetode der bringes i anvendelse, skal der ske en "lysstilling" eller "fritstilling" af et større antal træer i den aldrende bevoksning. Vi har imidlertid en ret begrænset viden om stormstabiliteten for træer, hvis sociale position pludselig ændres fra en beskyttet tilværelse med naboer på alle sider til en nærmest solitærlignende position.

Formålet med dette projekt var at undersøge udviklingen i fritstillede rødgra-

ners stormstabilitet i en periode på fem år efter fritstillingen. Træerne blev stillet ud på stor afstand, således at alle træer så vidt muligt fik en tilnærmet solitær-status. I projektets sidste år blev dette udvidet med undersøgelser, som havde til formål at afdække årsagerne til træernes stabilitetsudvikling gennem den femårige periode.

Følgende hypoteser blev anvendt ved forsøgsplanlægningen og ved analyse af resultaterne:

- 1) Stormstabiliteten af skærmtræerne er stærkt nedsat umiddelbart efter skærmstilling.
- 2) Stormstabiliteten forbedres stærkt efter skærmens 1. vækstsæson (Nackelmann, 1995).
- 3) Stormstabiliteten bedres yderligere i de følgende år – om end med aftagende styrke med stigende skærmalder.
- 4) Årsagen til stabiliseringen er en forholdsmæssig større tilvækst i rødderne end i stammen – altså en omfordeling af tilvækst efter skærmstillingen.
- 5) Underplantning af skærmtræerne kan "binde" skærmtræernes rødder og således medvirke til at øge forankringen og stormstabiliteten af skærmtræerne (prof. H.A. Henriksens teori).

3. Materiale

3.1. Forsøgslokalitet

Projektet gik ud på at undersøge forankringen hos skærmtræer på en sandjordslokalitet i Vestjylland. Undersøgelsen blev gennemført på Klosterhedens Statsskovdistrikt, afdeling 498 på skovparten Fruerhøj, der ligger ca. 10 kilometer sydvest for Struer.

Den gennemsnitlige årlige nedbør er 888 mm, og i vækstperioden fra maj til september er der gennemsnitligt 363 mm nedbør. Den gennem-

snitlige årlige temperatur for området er 7,5°C, og i vækstperioden er den gennemsnitlige temperatur 13,6°C. Den fremherskende vindretning er vestlig.

3.2 Jordbundsforhold

I tilknytning til projektet blev der gravet fire jordbundshuller. Profilbeskrivelserne viste alle en ensartet podsolerung af en diluvial sandjord fra Weichsel istiden. Jf. tabel 1.

Jordbundshullerne indeholdt rødder ned til 70-100 cm's dybde, hvilket givetvis skyldes forekomsten af "mergel-aflejringer" i 60-80 cm's dybde.

3.3 Dyrkningshistorie

Afdeling 498, der er udgangspunkt for skærmstillingsforsøget, var indtil år 1900 slette med en karakteristisk hedeflora. Arealet blev herefter tilplantet med bjergfyr efter dybdepløjning. Bjergfyren er sidenhen blevet fældet, og i 1952

blev afdelingen tilplantet med 4 årige rødgranplanter.

I 1954 blev der plantet lærk (*Larix sp.*), men lærken er efterfølgende fjernet i forbindelse med tyndingerne. Det oprindelige planteantal i 1952 var 4600 planter pr. ha; planteafstanden på arealet var 1,35 m x 1,6 m.

Der er siden etableringen af afdelingen blevet foretaget 3 tyndinger, og det har fra distriktets side ikke været muligt at opspore, hvornår de første 2 tyndinger blev foretaget og med hvilken intensitet. Det oplyses dog, at tyndingerne er foretaget med medium intensitet. Der blev sidste gang tyndet i afdelingen i 1991, og denne var af samme intensitet som de to foregående. Af øvrige kulturtiltag kan nævnes, at bevoksningen 5 gange er blevet gødsket med forskellige NPK-gødninger, første gang i 1979, og sidste gang i 1994.

Ved forsøgets anlæg i foråret 1997 blev der foretaget en taksation af bevoksningen. Rødgranen var da 47 år med en middelhøjde på 14,8 meter og med en middeldiameter på 14,4 cm. Bevoksning-

Tabel 1. Jordbundsdata fra blok 3, der er en typisk jordprofil fra forsøgsafdelingen. (The soil profile).

Horisont	Dybde cm	Tekstur	Sten +/-	Humus +/-	Rødder +/-	Andet
O	0-12	-	-	+	+	
Ah	12-20	Silt	-	+	+	
E	20-24	Sand	-	(+)	+	
Bh1	24-28	Silt	-	+	+	
Bh2	28-53	Silty sand	+	+	+	
Bh3	53-101	Coarse sand	+	(+)	(+)	Mergel- klumper
C	101-	Sand	-	-	-	



Foto 1. Et billede af bevoksningen før skærmsstilling i det sydøstlige hjørne af blok 2.



Foto 2. Samme sted som billede 1, men efter skærmsstilling.

gen befandt sig i produktionsklasse 12, og vedmassen var 209 m³/ha.

3.4. Forsøgsanlægget

Inden forsøget startede i foråret 1997, blev en del af den ovenfor beskrevne forsøgsafdeling opdelt i to halvdele, hvori skærmstillingen skulle foretages. Disse to halvdele blev placeret således, at de til alle sider var omgivet af en nabobevoksning, og de to halvdele blev adskilt af en utyndet kulisse. Disse to halvdele blev hver inddelt i to blokke, således at der i alt var fire blokke i forsøgsafdelingen. Kulisserne mellem de nord-syd gående stikspor blev defineret som parceller, hvilket resulterede i, at der totalt var 20 parceller.

For at teste hypotese 5 om en underplantnings gavnlige effekt på skærmtræernes stabilitet blev 3/5 af skærmforsøget underplantet. Tyve procent af kulisserne blev underplantet med bøg, andre 20 % med Douglasgran, og 20% med Grandis.

Forsøget blev planlagt således, at der i forbindelse med den meget kraftige skærmstillingshugst, skulle foretages en nedtrækning af 27 forsøgstræer for at undersøge deres forankring. Dette skete i

marts 1997, og denne nedtrækning betegnes efterfølgende som *1. kampagne*.

På disse træer blev der registreret en række parametre for at belyse de enkelte træers forankring. De blivende træer dannede en skærm, som må betegnes som meget åben, da grundfladen blev reduceret til 23,7 % af det der var på arealet inden skærmstillingen. I absolutte tal: Et stamtal på 1085 træer/ha og grundfladeareal på 47,4 m²/ha blev reduceret til 240 træer/ha, hhv. 11,2 m²/ha. Fritstillingen af skærmtræerne var betydeligt stærkere end normalt ved udvikling af en foryngelsesskærm, men dette var tilsigtet for at sikre størst mulig vind-eksponering af og tilpasning i forsøgstræerne. Se foto 1 og 2.

Efter vækstsæsonen 1997 blev der i november samme år og marts 1998 foretaget endnu en serie nedtrækninger med 18 forsøgstræer, betegnet *kampagne 2*. Formålet var at undersøge, om der var sket en positiv eller negativ udvikling i træernes forankring i løbet af den første vækstsæson efter skærmstillingen.

Efter vækstsæsonen 2001 gennemførtes *3. kampagne* hvor 41 tilfældigt udvalgte træers stabilitet blev undersøgt. Dette forløb gav den omtrentlige stamtalsaf-

Tabel 2. *Stamtalsafviklingen i forsøgsafdelingen. (The stem number reduction scheme for the shelterwood trials: Time, absolute stem number, stem number per hectare).*

Tidspunkt	Måned; år	Stamtal i alt	Stamtal (stk/ha)
Før skærmstilling	Marts 1997	1728	1085
Efter skærmstilling	April 1997	374	240
Efter 1. kampagne	April 1997	339	215
Efter 2. kampagne	Oktober 1997 og marts 1998	298	189
Efter 3. kampagne	Oktober 2001	242	154

vikling i forsøgsafdelingen, der er gengivet i tabel 2.

3.5. Udvalgelseskræfter til forsøgsstræerne i 1., 2. og 3. kampagne

Forsøgstræerne skulle opfylde en række kriterier for at indgå i forsøgsmaterialet, og disse kriterier afhang af, om de skulle indgå i 1., 2. eller 3. kampagne.

Ved 1. kampagne skete udvælgelsen ved en metode som betegnes "stratificeret tilfældig sampling". Dette indebar, at udvælgelsen skete indenfor fire dimensionsklasser, hvilket sikrede en høj repræsentation af store træer (hvor spredningen er størst).

Af de forsøgstræer, der blev udtaget til 2. kampagne, efter vækstsæsonen 1997, skulle så vidt muligt halvdelen bestå af forsøgstræer, som havde lidt forankringsskade i løbet af den første vækstsæson efter skærmstillingen, for at studere effekten af sådanne skader.

Ved 3. kampagne, efter vækstsæsonen 2001, blev træerne udvalgt efter samme princip som i 1. kampagne.

4. Metode

4.1. Forsøgsoptstillingen

Forankringen blev undersøgt med en metode, der også er anvendt i tidligere forsøg af tilsvarende karakter (Coutts, 1983; Nielsen, 1990b). Metoden går ud på, at forsøgstræet ved hjælp af et manuelt spil bliver trukket ned; ved denne nedtrækning simuleres forankringsløsningsprocessen, hvorved træets forankringsstyrke kan vurderes.

Der blev løbende under nedtrækning målt udviklingen af forankringsmomentet. Samtidig hermed blev følgende parametre registreret: stammeamplitu-

den, rodkehævningen, hævningsen af en horisontal rod i træets side og rodspændinger målt v.h.a. en jordmikrofon. Under gennemgangen af de forskellige parametre neden for vil der forekomme nogle tal i parenteser, disse tal refererer til tallene i figur 1, der er en skitse af forsøgsoptstillingen.

Inden selve nedtrækningen blev påbegyndt, blev kronen på samtlige forsøgstræer kappet. Dette blev gjort for at fjerne indflydelsen fra krone- og stammevægtens på forankringsmomentet, som ifølge Coutts (1986) får stigende betydning for stigende stammehældning. Det fremkomne forankringsmoment vil således udelukkende bestå af bidrag fra rod-systemets forankring.

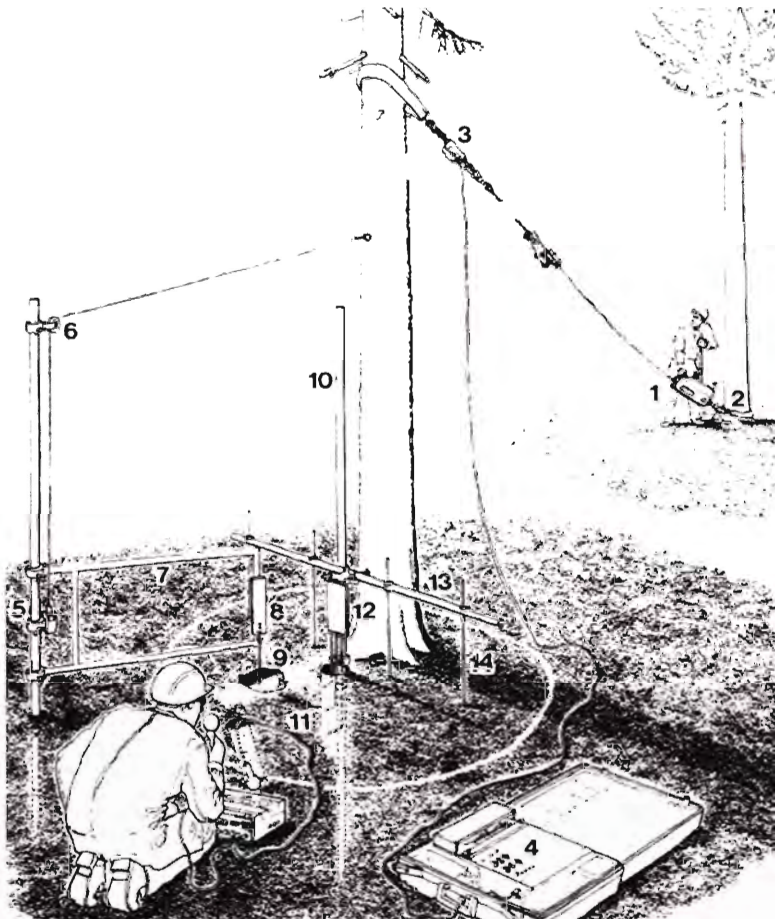
Forankringsmomentet blev målt ved, at der til et "træktræ" (2) blev monteret et manuelt betjent spil (1) og et dynamometer (3). Træktræet blev valgt ud fra det kriterium, at forsøgstræet trækkes ned i en retning, der svarer til den fremherskende vindretning, for at simulere en naturlig storm på lokaliteten. Såfremt der er sket en morfologisk tilpasning til den eksterne stressfaktor (vind), viser nedtrækningen dette.

Stammeamplituden (5 & 6) er et mål for forsøgstræets hældning under nedtrækningen.

Rodhævningen er et mål for, hvor meget de horisontale trækrødder i "vindsiden" hæver sig (8) under nedtrækning af træet. Til denne måling blev en kraftig horisontal "trækrod" (9) valgt.

Målingerne (11,12) fra rodkehævningen viser, hvor meget rodkagen hæver sig i forskellige dybder, men kontrolstængerne (14) viser, om rodkagemåleren er optimalt placeret.

Rod- og rodkehævning blev senere standardiseret, så de afspejlede bevæ-



Figur 1. Den anvendte forsøgsopstilling. Kraftudviklingen registreres på lineskriveren (4). (The experimental setup for assessment of the moment of anchorage). Efter Nielsen (1990b).

gelses i 1 meters afstand fra rodsystemets drejningsakse.

Det har i tidligere forsøg vist sig at være muligt at registrere rodsprængninger ved hjælp af en nedgravet mikrofon (til venstre for 11) (Coutts, 1986; Nielsen, 1990). I nærværende forsøg blev rodsprængninger-

ne derfor registreret på tilsvarende måde. Derudover registreredes følgende for de enkelte forsøgstræer:

1. Brysthøjdediameteren blev målt ved korsvis klupning (mm).
2. Kompasretningen for træretningen (grader).

- Rodkagedybden (cm) (dog ikke i 3. kampagne).
- Den maksimale roddebyde (cm) (dog ikke i 3. kampagne).
- Stammeformtallet.
- Kronmassen (friskvægt) målt i 3-meter sektioner fra jordoverfladen (kg).

Stammeformtallet for de enkelte forsøgstræer blev bestemt ved korsvis klupning. Kronmassen blev opgjort i 3-meter sektioner (0-3 m, 3-6 m, 6-9 m osv.). I opgørelsen indgik udelukkende friskvægten af grene og kviste, der havde grønne nåle. Denne registrering blev foretaget, fordi kronmomentet beregnes på baggrund af kronmassen som en integration af kronmassen over træhøjden (Figur 2).

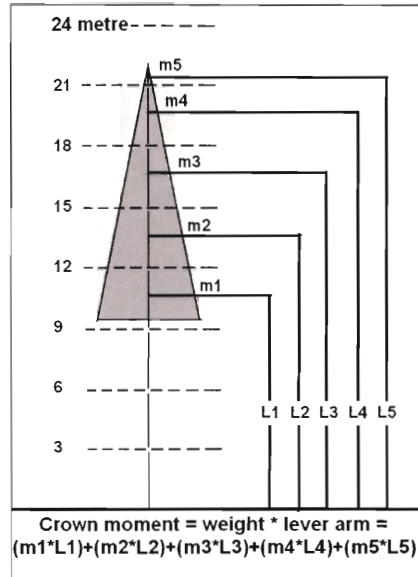
4.2. Bearbejdning af data

Datasættet skulle beskrive nedtrækningsforløbet for at danne et overblik over, hvad der sker under forankringsløsnings processen. Derfor beregnes momenter og rod- og stammebevægelser ved følgende hændelser:

- Første rodsprængning.
- 2 mm rodkagehævning.
- Maximalt forankringsmoment.

Ved hvert stadie er der en registrering af følgende parametre: forankringsmomentet, stammeamplitude, rodhævning samt rodkagehævningen. Det er således muligt at sammenligne de enkelte parametre i forskellige stadier, og på baggrund heraf danne sig et billede af forankringsløsnings processen. På figur 3 er gengivet en hypotetisk trækmålingskurve, med de enkelte stadier i forankringsløsningsprocessen indtegnet på kurven.

Datasættet starter med stadiet *første*

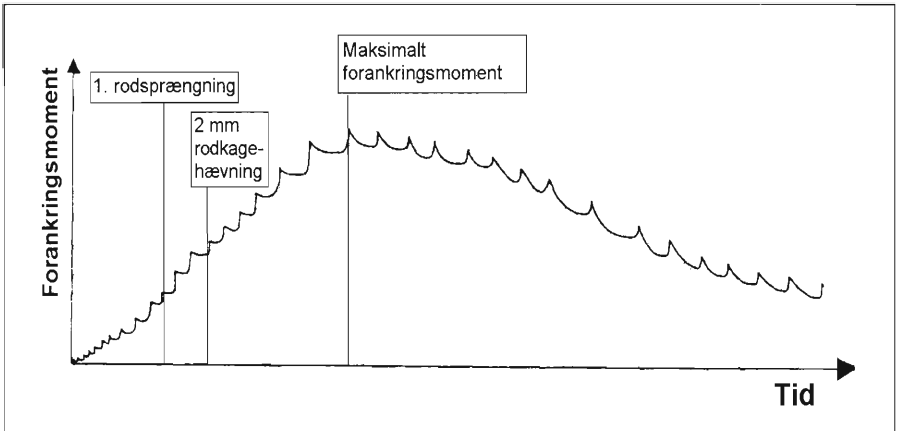


Figur 2. Beregning af krone-momentet (masse x vægtstangens længde). (Calculation of the "crown-moment").

rodsprængning. Dette er valgt, fordi første rodsprængning er sammenfaldende med overskridningen af den kritiske elastiske grænse hos et træ, hvor forankringsløsning endnu ikke er sat igang.

Det næste stadie er ved *2 mm rodkagehævning.* Dette stadie er medtaget, fordi det også er vigtigt at definere en "kritisk" belastning for forankringssystemet i et træ med fremskredet forankringsløsning. Selv om forankringssystemet er beskadiget i tidligere storme, vil der være en "kritisk" belastningsgrænse, indenfor hvilken alle belastninger ikke fører til yderligere skader.

Hændelsen "*2 mm rodkagehævning*" er



Figur 3. En hypotetisk trækmålingskurve. De tre stadier i forankringsløsningsprocessen er indtegnede på kurven.

(A sketch showing the development of moment of anchorage and three events in the course of the uprooting process: a) first assessed fine root breakage, b) two mm root plate elevation, c) maximum moment of anchorage).

valgt, fordi rodkehævet ved bevægelser, som overskrider denne grænse, vil begynde at røkke op og ned, hvorved jorden successivt falder fra rødderne. Rodkehævet vil i en sådan proces systematisk blive formindsket, og de blottede rødder vil blive udsat for ødelæggelse. Forankringsmomentet ved "2 mm rodkehævning" er derfor det moment, som træet kan yde uden at lide fornyet skade på forankringssystemet. Endvidere vil målingen af, om og hvor meget hændelsen "2 mm rodkehævning" kommer tidsmæssigt før hændelsen "første rodsprængning" være udtryk for graden af tidligere forankringsbeskadigelse. Tredje stadium er maksimalt forankringsmoment. Dette stadium er medtaget for at belyse det maksimale resulterende stormmoment, som det pågældende forsøgstræ kan neutralisere i en ekstrem orkan,

hvor en forudgående successiv forankringsløsning evt. ikke finder sted.

Begrebet "maksimalt forankringsmoment" er dog ikke særlig praksisnært.

Dette ligger i to forhold:

a) Momentet er målt eksperimentelt med en statisk metode. I virkeligheden er belastningerne dynamiske, hvilket gør at røddernes trækstyrke reelt er betydeligt højere.

b) For det andet sker stormfald i praksis som en følge af små akkumulerende forankringsbeskadigelser, som blot behøver at overskride det til enhver tid gældende "kritiske forankringsmoment".

4.2.1. Beregning af forankringsmomentet

Forankringskraften er målt ved hjælp af en kraftmåler, der er tilkoblet en wire, som er fastgjort til forsøgstræet. Højden,

hvor wiren er fastgjort, varierer træerne imellem. Derfor kan de enkelte forsøgs-træers forankringskræfter ikke uden korrektion sammenlignes, idet vægtstangsprincippet har stor betydning for størrelsen af det pågældende moment. Vægtstangsprincippet indebærer, at jo længere oppe på stammen wiren er fastgjort, jo mindre bliver kraften.

I nærværende projekt opgøres momentet derfor ved forsøgstræets basis. Grunden hertil er, at det for det første bliver muligt at sammenligne værdier opnået i nærværende projekt med værdier opnået i andre projekter af tilsvarende karakter. For det andet bliver det også muligt at sammenligne træerne i projektet, hvilket muliggør statistiske analyser både indenfor og mellem de tre kampagner. Til beregning af forankringsmomentet ved forsøgstræets stammebasis anvendes følgende formel:

$$\text{Forankringsmoment} = a * F, \text{ hvor}$$

$$a = \text{vægtstangens længde (m)}$$

$$F = \text{kraften (N)}$$

4.2.2. Beregning af kronemomentet

Kronemomentet beregnes ud fra kronevægten i de forskellige sektioner. For kronemomentet har vægtstangsprincippet stor betydning, idet med stigende

højde hæves tyngdepunktet, hvorved både vægtstangsarmen og momenterne bliver større.

For at kunne sammenligne træerne opgøres kræfterne derfor ved stammebasis, hvilket sker ved at de enkelte træer opdeles i 3-meter sektioner (0-3 m, 3-6 m osv.), hvorefter vægten i hver sektion ganges med højden til sektionens midte (se figur 2).

5. Resultater

5.1. Skader på skærmen i forsøgets femårige løbetid

Bortset fra fire knækkede træer, som stod samlet i forsøgets nordvestlige hjørne, skete der kun mindre skader i skærmen. Klosterheden blev generelt forskånet for alvorlige stormskader ved stormen i december 1999, og der faldt kun få træer i forsøget ved den lejlighed. En samlet opgørelse af de løbende skader er endnu ikke foretaget.

5.2. Forankringsløsning

Der er altid nogle træer, som er forankringsskadede i ældre rødgranbevoksninger. Det kan ikke umiddelbart ses hvilke træer, der er tale om, men efter en skærmstilling vil det typisk være sådanne, der lettest vælter i storm.

Tabel 3. Opgørelse af forankringsskadede træer i kampagnerne.

Kampagne tidspunkt	Forår 1997	Efterår 1997	Efterår 2001
Antal forankringsskadede træer (stk.)	13	13	2
Antal i målinger i kampagne (stk.)	25	18	41
Andel af forankringsskadede (%)	52	72	5

For forsøgsarealet fås i tabel 3 en indikation af antallet af labile individer i skærmen. Det ses således, at der er 52%, som var forankringsskadet i 1. kampagne. Dog skal det iagttages at bevoksningen blev skærmstillet i en periode med flere mindre storme, hvorfor de 52% i højere grad er et udtryk for begyndende forankringsløsning umiddelbart efter skærmstillingen.

Et forankringsskadet træ er her defineret som et træ, hvor første rodsprængning kommer efter 2 mm rodagehævning.

5.3. Udvikling i forankring og krønmoment i skærmens femårige levetid

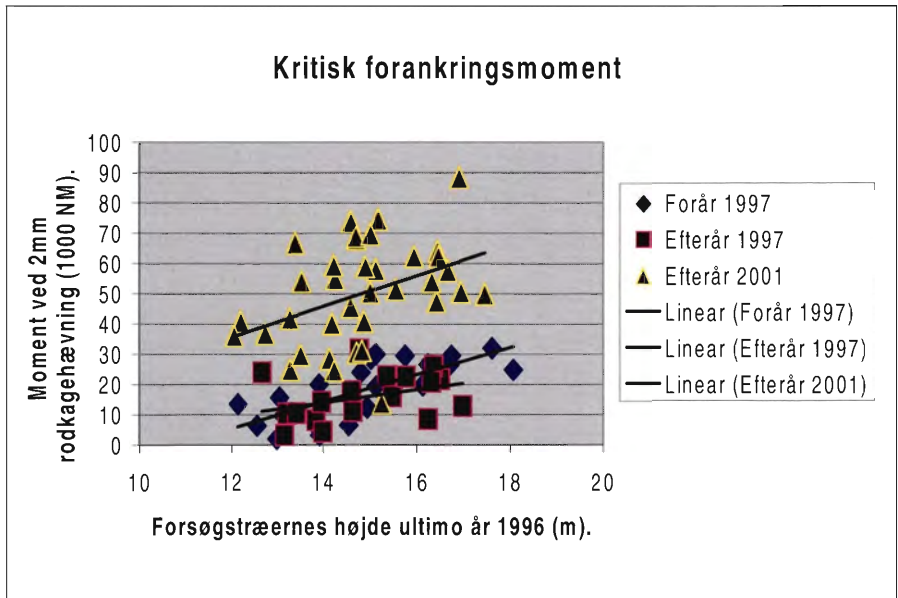
5.3.1. Udviklingen i det "kritiske forankringsmoment"

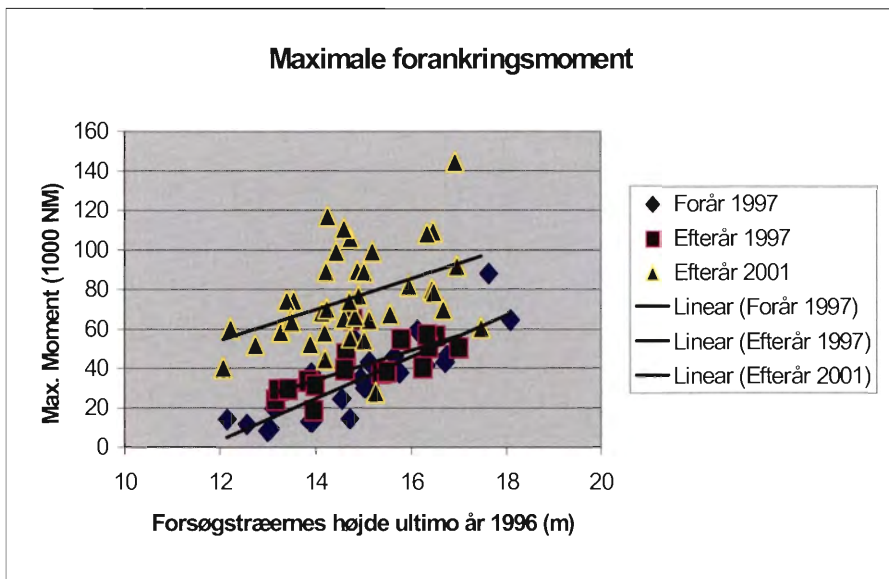
Det er relevant at undersøge, hvor stort et forankringsmoment rodsystemet kan yde i stormvejr, uden at forankringssystemet bliver beskadiget eller mere beskadiget end det var i forvejen.

Denne elastiske grænse for belastningen af træet er udtrykt i det "kritiske forankringsmoment", som netop er det moment, træet kan tåle, uden at der opstår

Figur 4. Forankrings-momentet ved 2 mm rodagehævning som funktion af højden i 1996. Se stikprøvestørrelserne i tabel 3.

(Moment of anchorage at 2 mm rootplate elevation as a function of the tree's height in year 1996).





Figur 5. Det maximale forankringsmoment som funktion af højden i 1996. Se stikprøve-størrelserne i tabel 3.

(Max. moment of anchorage in the tree pulling study as a function of the tests tree's height at 1996).

rodsprængninger eller rodkageløsning. Figur 4 viser udviklingen i de målte "kritiske forankringsmomenter" gennem skærmens femårige levetid. Bemærk at alle træer er plottet som en funktion af deres højde i efteråret 1996 – hermed kan den tidsmæssige udvikling umiddelbart aflæses.

Den "kritiske forankringsstyrke" er næsten tredoblet i løbet af skærmens 5 vækstsæsoner – fra foråret 1997 til efteråret 2001:

Foråret 1997:	18262 Nm
Efteråret 1997:	15873 Nm
Efteråret 2001:	50030 Nm

Det fremgår, at den kritiske forankringsstyrke er lidt mindre i efteråret 1997 end i foråret 1997. Det skyldes udelukkende stikprøveudvælgelsen i efteråret 1997, idet vi her specifikt udvalgte så mange forankringsbeskadigede træer som muligt. Det ses ligeledes, at jo større træerne er, desto større er deres forankringsstyrke.

5.3.2. Udviklingen i det maximale forankringsmoment.

På et tidspunkt i trækmålings-eksperimentet topper kraftkurven (figur 3), hvorefter forankringsstyrken aftager. Det maksimalt opnåede forankringsmoment giver mere "konsistente" værdier

end det ”kritiske” forankringsmoment, fordi flere rødder er spændt på én gang. Imidlertid kan det maximale moment – p.g.a. metodemæssige fejlkilder (se Nielsen 1990c) ikke tolkes i relation til praksis. Det maximale moment giver imidlertid en indikation af den samlede forankringsstyrke.

Middelværdien for det maximale forankringsmoment er steget som følger (jf. også figur 5)

Foråret 1997:	34179 Nm
Efteråret 1997:	41404 Nm
Efteråret 2001:	75400 Nm

Disse store stigninger kan ikke forklares ved, at træerne ”bare” er blevet større. Tallene antyder, at forankringen er væsentligt styrket gennem en tilpasning til den forøgede vind-eksponering.

5.3.3. *Udviklingen i kronemomentet gennem skærmens levetid*

Ovenfor er udviklingen i træernes forankring analyseret. Et udtryk for træernes ”sejl” beregnes ved ”krone-momentet”, som er kronevægten ganget med dennes højde over jorden. Hvis der regnes med en identisk vindpåvirkning af hele kronen, vil kronemomentet være snævert korreleret med ”storm-momentet” på træet.

Kronemomentets middelværdi er steget som følger (jf. også figur 6)

Foråret 1997:	449 Nm
Efteråret 1997:	506 Nm
Efteråret 2001:	627 Nm

Det fremgår, at kronemomentet har været jævnt stigende, hvilket betyder, at skærmtræerne har kvitteret for den øgede plads, som skærmstillingen har givet. Kronemomentet er således steget med

13% og 39% for henholdsvis efteråret 1997 og efteråret 2001 i forhold til foråret 1997.

Sagt på en anden måde: Det potentielle stormmoment i stormvejr er steget gennemsnitligt med 39% i løbet af skærmens femårige levetid. Figur 6 viser dog også, at det primært er de mindre træer, som har udvidet kronen.

Træerne har øget træhøjden en smule (se figur 9), men frem for alt har træerne øget kronestørrelsen (se figur 10).

5.4. *Udviklingen i stormfasthed i den femårige periode*

Der er i de foregående analyser lagt vægt på udviklingen i forankringsmomenterne og i kronemomentet isoleret set. Det er således vist, at forankringsmomenterne er steget forholdsvis mere end kronemomentet.

En vurdering af udviklingen i skærmtræernes stormstabilitet opnås ved at sammenligne størrelsen på ”sejlet” med størrelsen af ”ankeret”. Sagt på en anden måde: Kronemomentet stilles overfor det kritiske forankringsmoment og overfor det maximale forankringsmoment, hvilket giver et indtryk af træets relative stormstabilitet. Se figur 7 og 8.

Figur 7 viser, at selv om kronemomentet i gennemsnit er steget, så er det ”kritiske forankringsmoment” i løbet af de fem år steget forholdsvis meget mere. Forholdet mellem det kritiske forankringsmoment og kronemomentet er mere end fordoblet i perioden.

Figur 8 viser samme tendens for forholdet mellem det maximale forankringsmoment og kronemomentet.

5.5. *Underplantningens betydning for skærmens stabilitet*

Forsøgstræerne i kampagne 3 blev jævnt



Foto 3. Topskud fra et skærmtræ, som viser højdevæksten det sidste år før skærmstilling (det lange skud til venstre), og det første år efter skærmstilling (det korte skud i højre side af billedet).

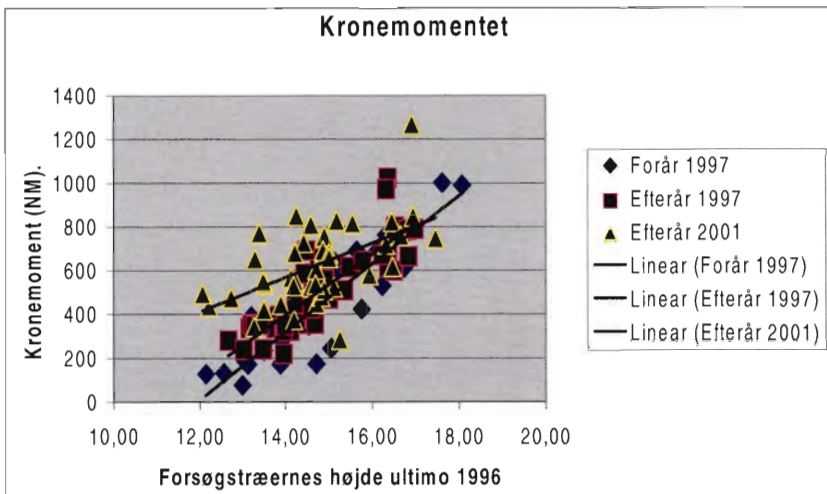
fordelt på parceller, således at 3/5 af forsøgstræerne blev udvalgt i de underplantede parceller. Vi gennemførte en analyse af træernes forankringsmomenter som funktion af, om der var underplantet eller ej, samt som funktion af den enkelte underplantningstræart.

Bøgene havde en gennemsnitlig højde på ca. 1 meter og Douglas træerne en højde på mindst 2 meter - Grandis var ikke særlig store fordi det var små planter ved udplantnings tidspunktet. Alligevel fandt vi ingen effekt af underplantningen på forankringsstyrken.

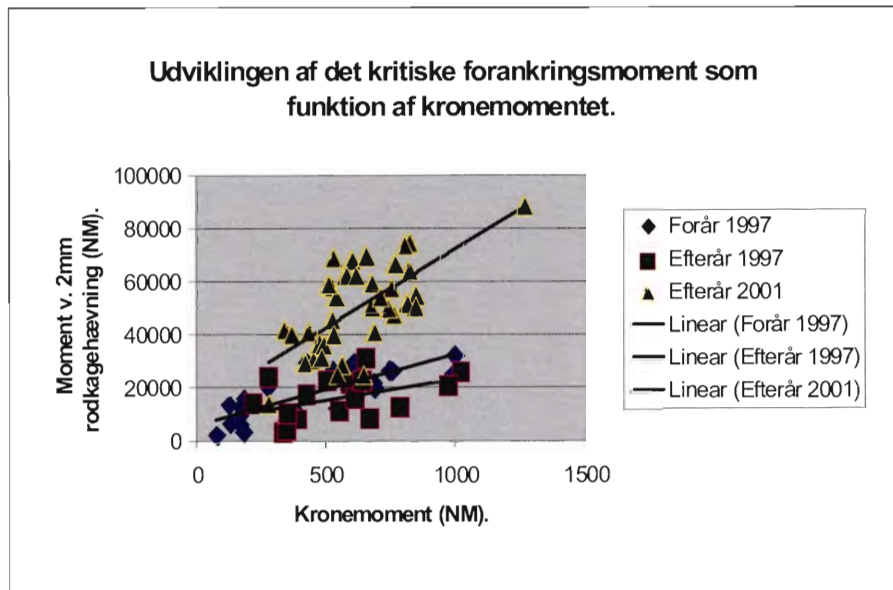
5.6. Kausaliteten bag skærmtræernes stabilisering

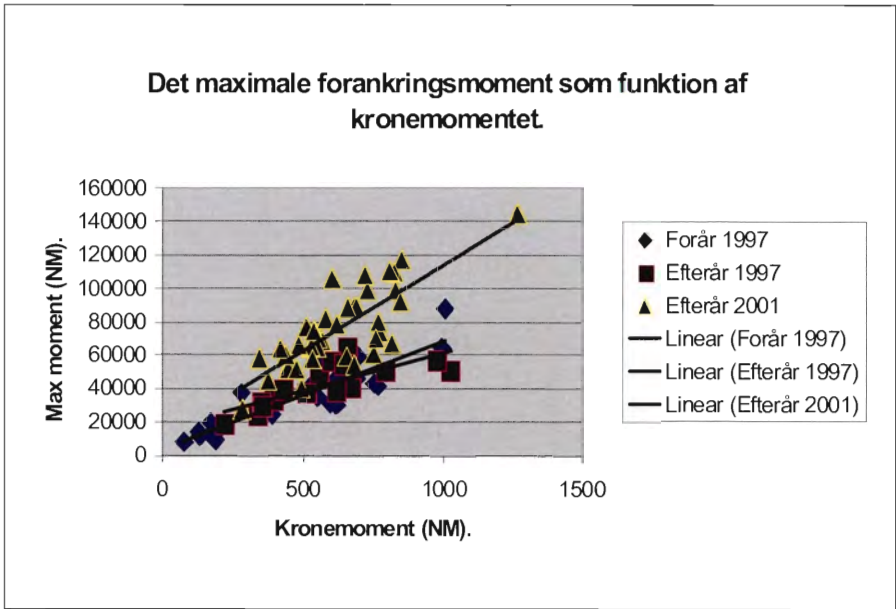
I henhold til hypotese 4 antages det at der er en ændret tilvækstfordeling i årene efter skærmstillingen som følge af en fysiologisk og biomekanisk tilpasningsproces.

Vi har undersøgt karakteren og omfanget af en sådan formodet tilpasning gennem målinger af topskudsvæksten, kronbiomassen, årringsbredder i stamme og rødder samt gennem bestemmelse af smårodsbiomassens ("trækrods-biomassen") størrelse ved starten af projektet og fem år efter skærmstillingen.



Figur 6. Kronemomentet som funktion af højden i 1996. Se stikprøvestørrelserne i tabel 3. (The crown-moment of test trees as a function of the test tree's height at 1996).





Figur 8. Det maximale forankringsmoment som funktion af kronemomentet. (Max. moment of anchorage as a function of crown-moment in three campaigns of tree-pulling experiments).

5.6.1. Skærmstillingens indflydelse på træernes højdevækst

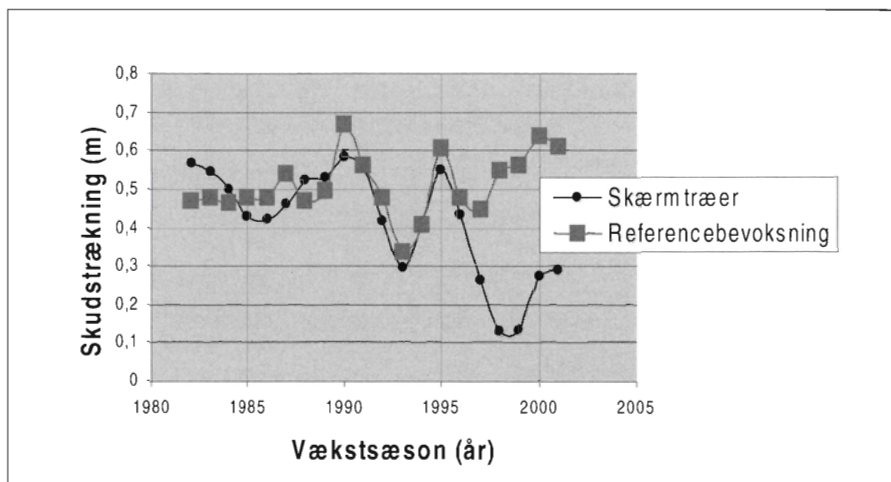
De årlige topskudslængder blev på alle forsøgstræer i skærmen målt fra toppen og så langt ned ad stammen som muligt. Samme opmåling blev i vinteren 2001/2002 foretaget på 10 referencetræer fra den del af bevoksningen, som ikke blev

skærmstillet. De gennemsnitlige årsskudslængder i de to bevoksningsdele er vist i figur 9 (side 60).

Der ses en tendens til formindsket top-skudsvækst i cirka to til tre år efter en tynding, som blev gennemført i vinteren 1990/91. Men fremfor alt fremgår det af figuren, at skærmstillingen i marts 1997

Figur 7. Det kritiske forankringsmoment (v. 2 mm rodkagehævning) som funktion af kronemomentet.

(The critical moment of anchorage as a function of the crown moment in three campaigns of tree pulling).



Figur 9. Gennemsnitlig strækning af topskuddet for forsøgstræerne i skærmen siden 1982, sammenholdt med en referencebevoksning. Bemærk at middelskudstrækningen for vækstsæsonen 1997, 1998 og 1999 for skærmtræerne er betydeligt lavere end gennemsnittet af de foregående år. For vækstsæsonen 2000 og 2001 er middelskudstrækningen stadig under det tidligere gennemsnit, men er tilsyneladende stigende. (Yearly height growth in released [skærmtræer] and control trees).

medførte en drastisk reduktion i skærmtræernes topskudsvækst sammenlignet med referencetræerne (Se foto 3).

Denne betydelige reduktion i højdevækst holdt sig gennem hele skærmens hidtidige femårige levetid – om end det antydes at topskudsvæksten langsomt tiltager i årene 2000 og 2001.

5.6.2. Kronebiomassens udvikling i skærmtræerne

I sluttede bevoksninger sker der - undtagen måske i alderdommen - en ekspansion af trækronerne efter en tynding. Når kronetaget igen er sluttet, modsvares kronetilvæksten i toppen af træet mere eller mindre af en tilsvarende reduktion i bunden af kronen.

Det er uklart, hvad der sker med kronen hos rødgran efter en pludselig fritstilling. Responsen vil antageligt være betinget af både lokalitet (vandbalance) og tidligere bevoksningsbehandling (kroneprocent).

Det ses af figur 10, at den levende krone i de skærmstillede træer samlet har udvidet sig med godt 54% fra foråret 1997 til efteråret 2001, hvorimod reference træerne kun har forøget kronemassen med 34% i samme periode.

Det fremgår endvidere, at hos skærmtræerne er udvidelsen af kronen nogenlunde ensartet i hele kronens længde. Hos reference-træerne ses derimod en udvidelse i toppen, samtidig med at de nederste grene bliver skygget bort.

5.6.3. Grundfladetilvækst i stamme og grovrødder

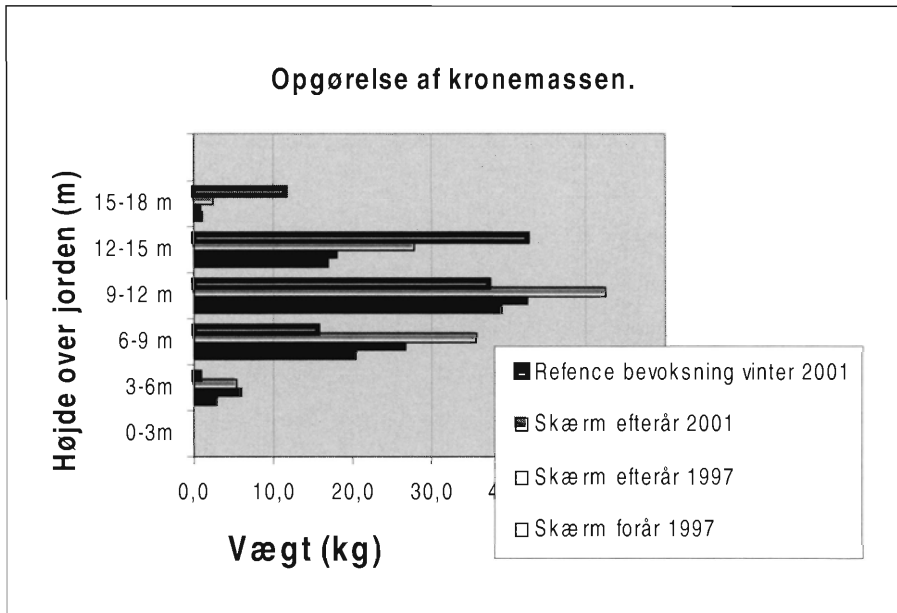
Detaljerede tilvækstmålinger på tværsnits-skiver fra stammen og fra de horisontale grovrødder blev gennemført på et skærmtræ i skærmen i vinteren 2001/2002.

Fire forskellige steder i stammen (i 0,25 m og 1,3 m fra jordoverfladen, samt ved kronestart og –midte) blev der udtaget skiver til analyser af årringe og grundflade. Tilsvarende blev rodskiver udtaget fra de fire største hovedrødder i en afstand på 30, 60 og 100 cm afstand fra

stubbens midte. Et par af rødderne for-grenede sig med stigende afstand fra stubben, hvorfor der blev taget skiver fra alle rod-grene.

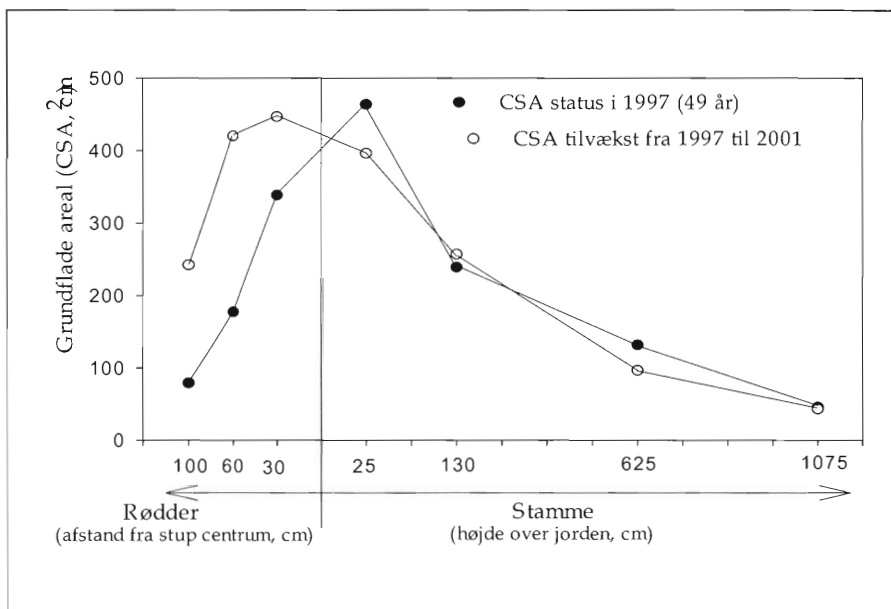
Figur 11 viser grundflader (tværsnits-arealer) forskellige steder i stamme og grovrødderne i foråret 1997 samt den absolutte grundfladetilvækst gennem skærmens 5 årige levetid.

De sorte cirkler viser - ikke uventet - at stammegrundfladen i 1997 stiger mod jorden, og at grovrøddernes grundflade aftager med stigende afstand fra træet. Det er imidlertid interessant at vedmasse-



Figur 10. Friskvægten af den levende krone (nåle + grene) fordelt på de enkelte tremertersektioner. Figuren viser dels data fra referencetræer i den ikke skærmstillede nabo-bevoksning i vinteren 2001/2002, dels materiale fra de tre målekampagner.

(Freshweight of the living crown (needles + branches) in different sections above ground from three experimental campaigns in the shelterwood as well as from control trees in the undisturbed stand at 2001).



Figur 11. De sorte cirkler viser grundfladearealet i foråret 1997, og de åbne cirkler viser den absolutte grundfladetilvækst gennem skærmens 5 årige levetid (CSA=grundflade). Stammens og grovrøddernes samlede grundflade er målt i forskellige afstande fra jordoverfladen / centrum af stubben.

(Absolute values of cross sectional area (CSA) in stem and roots in spring 1997 as well as the increase (o) in CSA from 1997 to 2001. Distances from stump centre are given in centimetre).

tilvæksten efter skærmstillingen ændrer sig markant (de åbne cirkler). Det viser sig ved, at stammen stort set får fordoblet sin grundflade hele vejen ned, hvorimod grovrøddernes grundflade bliver 2-3-doblet i forsøgsperioden. Se foto 4.

Figur 12, side 64, viser den relative grundflade-tilvækst i stamme og rødder. Det fremgår, at den relative tilvækst er særlig stor i de mere perifere dele af grovrødderne, langt væk fra stubben.

Disse analyser viser entydigt, at ved-massetilvæksten forlægges nedad i træet efter en stærk fritstilling.

Der blev gennemført en separat analyse af røddernes tilvækstforhold i 100 cm afstand fra stubcentrum som funktion af disse rødders oprindelige størrelse ved skærmens etablering. Denne analyse viser meget tydeligt, at de tyndeste rødder oplever den største relative tilvækst (figur 13, side 65).



Foto 4. En rodslice fra et skærmtræ, fem vækstsæsoner efter skærmstillingen. Slicen er udtaget fra en horisontal støtterod ganske tæt på rodpløbet på stammen. Det er altså 30 cm fra stubbens centrum.

6. Diskussion

6.1. En kritik af trækmålingsmetoden

Forankringsanalysen er baseret på en statisk trækmåling. I storm er belastningerne dynamiske som følge af træsvingninger og vindens turbulente struktur.

Nielsen (1990c) har diskuteret metodens anvendelighed og konkluderet, at den kan anvendes til forholdsmæssige sammenligninger mellem forskellige stikprøver, men hverken til beregning af nøjagtige forankringsværdier eller til beregning af kritiske vindhastigheder.

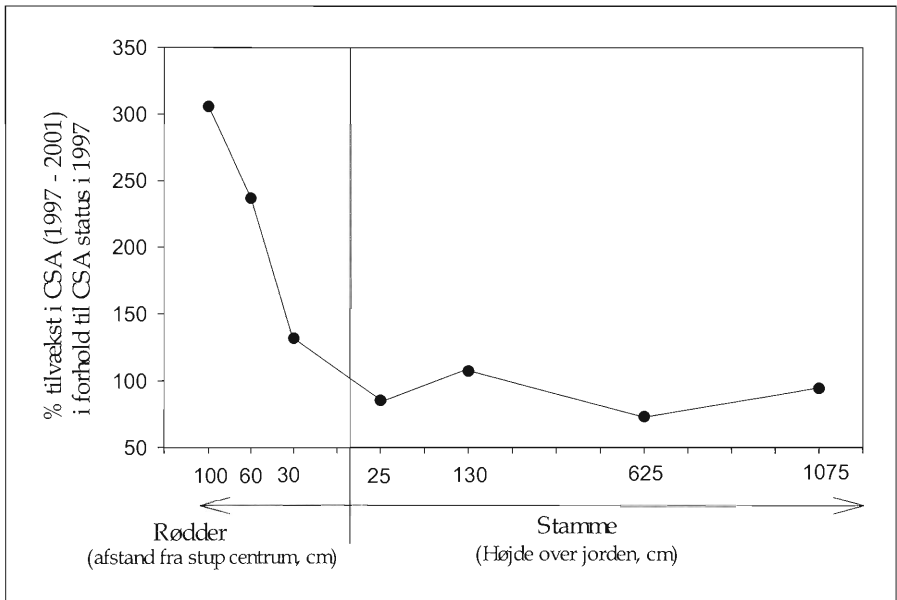
6.2. Et forsøg på at inddrage vindhastigheden i tolkningen

Når kronemomentet er anvendt i oven-

stående analyser, er årsagen dels den ovenstående kritik af stabilitets-måle-metoden, dels at vi ikke har viden om vindprofilen i bevoksningen – hverken før eller efter skærmstillingen.

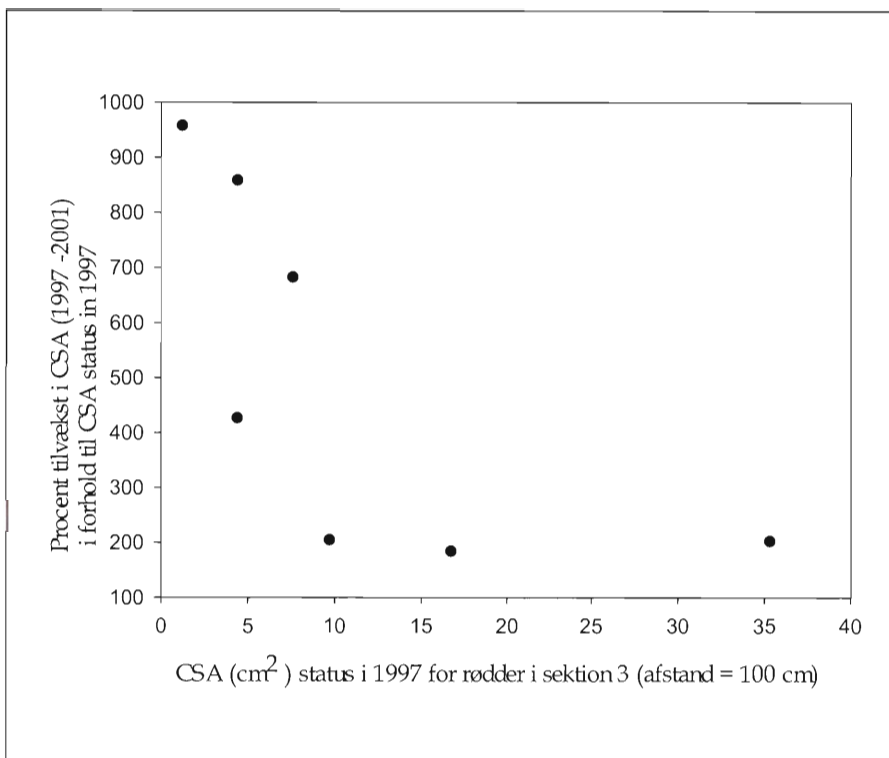
Der er ikke tvivl om, at luftmasserne trænger dybere ned i bevoksningen efter skærmstillingen, og at vindprofilen derfor bliver ændret. Det bliver derfor temmelig spekulativt at inddrage vindhastigheden i beregning af det ”ægte storm-moment”, som er en funktion af både træhøjde, kronemasse (disse to faktorer udgør kronemomentet) og vindhastigheden.

I en diskussion af resultaterne kunne det dog – af pædagogiske grunde – være



Figur 12. Den relative grundflade-tilvækst i stamme og rødder, målt i forskellige afstande fra jordoverfladen / stubben. CSA=grundflader.

(The relative increment in stem and structural roots during the period of shelterwood. CSA – Cross Sektion Area. Distances from stump centre are given in centimetre).



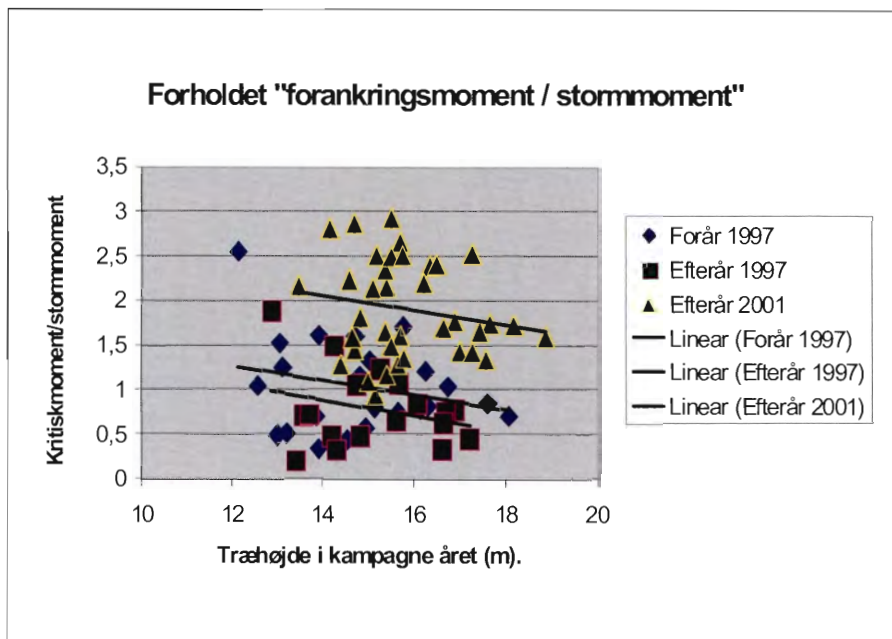
Figur 13. Røddernes relative tilvækst i 100 cm afstand fra stubcentrum som funktion af røddernes oprindelige størrelse ved skærmens etablering. CSA=grundflade.
 (The relative increment in the structural roots at 100 cm distance from the stump centre as a function of original CSA of the root).

interessant at fundere en smule over en "kritisk vindhastighed". Vi har derfor forsøgt os med en grov og teoretisk vurdering af vindprofilen ved en stormstyrke på 20 m/sek. Vi antager derfor en vindhastighed på 20 m/sek ved toppen

af træerne og en lineært aftagende vindstyrke til jordoverfladen, hvor hastigheden antages at være 7 m/sek i storm.

Hos Nielsen (1990a) findes formler for omregning af vindhastighed og kronemasse til vindens kraft på kronen. På basis af disse forudsætninger har vi "estimeret" et stormmoment for forsøgstræerne i alle tre kampagner forudsat en konstant 1) vindhastighed svarende til stormstyrke.

1) Allerede antagelsen om konstant vindhastighed er aldeles urealistisk, fordi vinden oftest kommer i turbulente "pust".



Figur 14. Forholdet kritisk moment / stormmoment som funktion af træhøjde. Forholdet er estimeret under forudsætning af en konstant vindhastighed på 20 m/sec ved trætoppen og en lineært aftagende vindprofil mod jorden, hvor en vindhastighed på 7 m/sec antages. Analysen er meget usikker fordi forankringsstyrken er betydeligt højere under dynamiske belastninger.

(The anchorage/storm-moment-ratio as a function of tree height. Anchorage is the critical moment of anchorage (2 mm root ball elevation). Storm-moment is calculated on the basis of linearly decreasing and constant wind speed from 20 m/sec. at the tree top to 7 m/sec at soil surface. The analysis is most un-reliable, because the wind conditions are different during storm).

Tabel 4. Forholdet kritisk moment / stormmoment som funktion af stormmoment. (Values of the analysis of figure 14).

	Kampagne 1	Kampagne 2	Kampagne 3
Middelværdi (ave)	1,03	0,78	1,90
Standardafvigelse (std)	0,50	0,43	0,55
Max.værdi (max)	2,55	1,89	2,93
Min.værdi (min)	0,33	0,21	0,94

Dette beregnede stormmoment sættes i forhold til det kritiske forankringsmoment. Hvis stormmomentet overstiger det kritiske forankringsmoment, vil der ske skader på forankringssystemet. Sagt på en anden måde: Hvis forholdet "kritiske forankringsmoment/stormmoment" er over værdien 1.0 sker der ingen skader. Hvis værdien er under 1.0, sker der skader på rodsystemet.

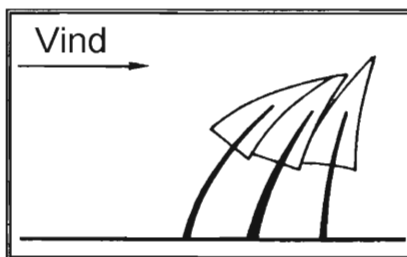
Som det fremgår både af figur 14 og tabel 4, er middelværdien for 1. kampagne tæt på 1,0. Det vil sige, at cirka halvdelen af træerne fra 1. kampagne ifølge denne analyse var i fare for at blive forankringsskadet ved stormstyrke på 20 m/sek.

For 2. kampagne (1 vækstsæson efter skærmstillingen) bekræftes den tidligere nævnte tendens til at flere træer i stikprøven har oplevet en forankringsløsning - middelværdien er nu kun på 0,8.

For 3. kampagne fremgår det, at stort set alle træerne har en værdi over 1 (middelværdien er nu 1,9). Det antyder at ingen af træerne skulle blive beskadiget ved stormbelastning – kun fem vækstsæsoner efter skærmstillingen.

Det er dog vigtigt at påpege at niveauerne for de her antydede "kritiske vindhastigheder" ikke kan overføres umiddelbart til praksis – se metodekritikken ovenfor. Analysen giver dog en dybere forståelse for stabiliseringen af træerne gennem forsøgsperioden.

Der er i figur 14 en tendens til en negativ hældning på regressionslinierne, således at jo højere træerne er, desto mindre er stormstabiliteten. Dog finder vi antagelserne i denne analyse for vidtløftige til at fæste lid til den viste hældning.



Figur 15. Skitse der viser bevoksningens støttefunktioner under vindbelastning.

6.3. Diskussion af skærmtræernes stormstabilitet

Analyserne i figur 7 og 8 viser jo meget tydeligt, at der sker omtrent en fordobling af skærmtræernes stormstabilitet i den femårige periode efter skærmstillingen. Denne konklusion er tilladelig, fordi bevoksningsstrukturen er stort set uændret gennem forsøgsperioden – stormens struktur og vindprofilen har altså ikke ændret sig i perioden.

En meget jævn årringsudvikling i stamme og rødder med konstant tykke årringe antyder, at denne stabiliseringsudvikling vil fortsætte i adskillige år endnu. Der må derfor forventes en fortsat stigning i træernes stormstabilitet gennem de kommende 10-30 år. Træerne skal gennemgå en meget lang udvikling i deres omstilling fra at være et beskyttet bevoksningstræ til at være et fritstående solitærtræ. Denne omstillingsproces tager meget længere tid end 5 år (Nielsen 1990c, 2001b).

Det er straks meget vanskeligere at vurdere skærmtræernes stormstabilitet i forhold til bevoksningstræerne i den resterende, ikke skærmstillede del af bevoksningen. Det er faktisk denne diskussion, som i særdeleshed belyser stormfaldsrisikoen ved anvendelsen af

”Dauerwald” foryngelsessystemer. Følgende kvalitative analyse beror på førsteforfatterens erfaring fra tidligere projekter (Nielsen 1990a, 1990b, 1990c, 2001, Nielsen & Larsen 2001).

Ved fritstilling af et bevoksningstræ ændres umiddelbart intet ved træet i sig selv. Imidlertid fjernes bevoksningskollektivets ”støttefunktioner”. Den sociale funktion i kronetaget elimineres totalt.

Nabotræerne yder i høj grad læ i den sluttede bevoksning. Dette kan forklares på en anden måde: En given turbulent vindmasse bliver i en sluttet bevoksning bremset af 2-3 træer, hvorimod et fritstillet træ bliver fuldt exponeret for en sådan ”vindpakke”.

Den sociale støttefunktion indebærer også, at kronerne i en sluttet bevoksning yder fysisk støtte til hinanden, når kroner svinger og når imod hinanden. Se figur 15. Dette medfører, at træernes svingningsamplituder bliver drastisk formindsket, hvilket igen meget alvorligt reducerer stormmomentet på rodsystemet. Den voldsomme øgning i træernes svingningsamplituder efter hugst er dokumenteret hos Nielsen (1995).

Ved fritstillingen sker der altså en eliminering af de ”sociale” stabiliseringsmekanismer. Afhængig af, hvor lukket kronetaget er umiddelbart før skærmstillingen, forringes det fritstillede træes stormstabilitet altså mere eller mindre. Skærmtræets stormstabilitet afhænger i høj grad af, hvor stor ”enkeltræ-stabilitet” træerne har udviklet i bevoksningens tidligere levetid. Jo stærkere forud-

gående hugststyrke, desto større enkelttræ-stabilitet (alt andet lige). Jo større kroneprocent, desto større enkelttræ-stabilitet. Der henvises til Nielsen (2001) for uddybende redegørelse af mekanismerne bag enkelttræ-stabiliteten.

Nielsen (2001) diskuterer også, hvordan almindelige hugster nedsætter stormstabiliteten i en bevoksning til omkring halvdelen, og hvordan bevoksningen langsomt stabiliserer sig igen i takt med, at kronetaget vokser sammen igen.

En total fritstilling i en skærm er et meget stærkt indgreb. Et groft skøn lyder på, at stormstabiliteten i en nyanlagt skærm er reduceret til omkring en fjerdedel af den tidligere bevoksningens stabilitet. På trods af en fordobling af skærmtræernes stormstabilitet i løbet af fem år, tvivler forfatterne således meget på, at skærmen har nået udgangsbevoksningens stabilitetsniveau 2).

6.4. Den stabilitetsmæssige udvikling gennem skærmens 5 årlige levetid

Både forsøget her og tidligere erfaringer viser, at en del træer vælter i skærmens første 1-2 år. Alt tyder på, at dette kan føres tilbage til en mere eller mindre ”naturlig” individvariation i stormstabilitet i alle populationer, som er etableret ved plantning af barrodsplanter.

Dels findes der i gamle rødgranbevoksninger næsten altid et betydeligt antal træer med roddeformationer fra plantningen (Nielsen 1990b), dels er der en betydelig individvariation i rod/top-forhold (Nielsen 1992, Nielsen & Hansen 2000). Meget tyder på, at der sker en ”udlusning” af ustabile individer i skærmens første 1-2 år.

Analyserne viser klart, at forankringen stiger meget betydeligt for hver vækstsæson efter skærmstillingen. Det

2) I efteråret 2001 blev den ikke skærmstillede del af bevoksningen dog tyndet stærkt, hvorved denne blev stærkt labiliseret. Det er således muligt at skærm og moderbevoksning nu er sammenlignelig i stormstabilitet.

maximale forankringsmoment stiger gennemsnitligt med 8244 Nm per vækstsæson.

Den første vækstsæson efter skærmstillingen medførte en forankringsforbedring på 8224 Nm, hvilket antyder, at den årlige forbedring i forankring har været ensartet og lineært stigende gennem de fem år. Dette bekræftes af en overordentlig ensartet udvikling i stammens og røddernes årringsbredder gennem forsøgets levetid. En noget lignende udvikling ses for kronemomentet med en gennemsnitlig årlig tilvækst i kronemoment på 35,5 Nm, hvor dog stigningen i den første vækstsæson var på 57,2 Nm.

Dette tyder på, at stabiliseringen efter skærmstillingen er knap så stærk i skærmens første år og svagt stigende i årene derefter. Dette bekræftes af figur 8, som antyder et uændret forhold mellem det maximale forankringsmoment og kronemomentet i skærmens første år, hvorefter dette forhold undergår en drastisk ændring i løbet af skærmens 2. til 5. leveår.

6.5. Mekanismerne bag skærmtræernes stabilisering

Analyserne af tilvækst i topskud, diameter og rødder viser samstemmende, at biomassefordelingen efter fritstillingen blev drastisk ændret. Topskudsvæksten blev reduceret med 65-80%, kronetilvæksten var kun gennemsnitligt 11% pr år, og tilvæksten i stammegrundflade var gennemsnitligt omkring 20% pr. år. Derimod nåede den gennemsnitlige årlige grundfladetilvækst i grovrødderne op på 26-62% - stigende med tiltagende afstand fra stubben.

Der er således ingen tvivl om, at tilvæksten i træerne blev meget alvorligt flyttet nedad i træet efter skærmstillingen. Dette

er dels en følge af formindsket rodkonkurrence om vand og næring, men også i høj grad en følge af træernes biomekaniske tilpasning til den stærkt forøgede vindexponering af de fritstillede træer (Nielsen 1990c, 2001). Disse årsager til stabiliseringen vil være alment gyldige – uanset hvor i landet en sådan skærmstilling gennemføres i nåletræ.

Disse resultater medfører, at dette projekts resultater i højere grad kan generaliseres til rødgran og nåletræ andre steder i Danmark.

6.6. Generalisering af de opnåede resultater

Generelt må man være varsom med at generalisere fra ét forsøg i kun én bevoksning.

Denne bevoksning er i øvrigt kendetegnet ved følgende særlige forhold:

- Lokaliteten var præget af meget dybgrundede rodsystemer, idet de tykke sænkerrødder gik ned i en dybde af 1,0 - 1,2 meter. Dette skyldes overvejende tilstedeværelsen af mergel i ca. 80 cm dybde. En så stor rodtybde er usædvanlig for rødgran – ikke bare i Danmark men også i Europa.

- Endvidere var den gennemførte skærmstilling meget voldsom med en reduktion af stamtallet til under en fjerdedel. Neckelmann (1995) anbefaler en reduktion til omkring halvdelen og flere efterfølgende tyndinger i skærmen efter kulturretabeling. I dette projekt blev der fra starten etableret en meget åben skærm, hvilket givetvist har medført, at de undersøgte træer har opnået en særlig voldsom stabilisering p.g.a. den voldsomme vindexponering.

Alt tyder på, at fordoblingen i stormstabilitet på 5 år er en delvis følge af den

særlig voldsomme fritstilling af træerne. Hvis en skærmstilling gennemføres mere forsigtigt og begrænses til en halvering af stamtallet, vil skærmtræernes stormstabilisering forløbe langsommere, og det ville antageligt tage 7-9 år at opnå samme stabilisering, som her er opnået på 5 år. Valg af skærmstillingsintensitet er således en afvejning af risiko for stormfald i skærmen mod opnåelse af en hurtig og stærk tilpasning.

I forsøgsbevoksningen er roddybden stor, hvilket muliggjorde den meget stærke fritstilling af skærmtræerne. Ved en ringere dybde på sækerrødderne bør man være mere tilbageholdende med skærmstilling eller vælge en forsigtig skærmstillingsintensitet. Nielsen (2001b) har givet en udførlig vejledning i risikovurdering ved etablering af skærm i nåletræ – en vurdering som gøres afhængig af roddybden og af tidligere bevoksningsbehandling.

Det forhold, at mekanismerne bag stabiliseringen er generelle tilpasninger (til mindsket konkurrence og forøget vindexponering), gør imidlertid – under hensyntagen til de ovennævnte forhold – at resultaterne kan overføres på fritstilling af rødgran under andre forhold i Danmark.

7. Konklusion

De fire hypoteser diskuteres enkeltvis:

1) *Stormstabiliteten af skærmtræerne er stærkt nedsat umiddelbart efter skærmstilling.* Herom hersker ingen tvivl, idet det sociale støttesystem blev fuldstændigt elimineret ved skærmstillingen. Omfanget af labiliseringen er diskuteret ovenfor.

2) *Stormstabiliteten udbedres stærkt*

efter skærmens 1. vækstsæson. Dette udsagn afspejler en almen holdning blandt mange praktikere og forskere. Udsagnet formuleres også hyppigt på en anden måde: *"Hvis skærmen overlever det første år, så skal den nok klare sig"*.

Vore resultater kan imidlertid ikke bekræfte, at der sker en særlig stærk stabilisering i løbet af skærmens første vækstsæson – tværtimod viser vore data en tendens til noget ringere stabilisering efter skærmens første år end efter de følgende fire vækstsæsoner. Derimod blev der i vores forsøg iagttaget en særlig høj frekvens af hældende og stormbeskadede skærmtræer efter skærmens første vækstperiode p.g.a. en storm i foråret 1997 under og efter skærmstillingen.

De ovenfor citerede erfaringer fra praksis hænger derfor snarere sammen med den kendsgerning, at der i enhver rødgran bevoksning findes mellem 10 og 20% træer med stærkt asymmetriske rodsystemer (Nielsen 1990b), som hurtigt vil vælte i stærk vind efter fritstilling. Man vil derfor næsten altid opleve, at en vis mængde træer vil vælte i skærmens første leveår. Man kan sige, at skærmen skal "luses ud" for sådanne forankringssyge individer.

Efter denne "udlusning" vil de resterende træer generelt være mere stormstabile. Der er derfor tale om, at vinden foretager en selektion – snarere end at skærmtræerne har en særlig stor stabilisering gennem de første par år.

3) *Stormstabiliteten bedres yderligere i de følgende år – om end med aftagende styrke med stigende skærmalder.* Vores resultater må afkræfte denne hypotese. Tværtimod er der en antydning af en svagt tiltagende stabiliseringshastighed med tiden i vores forsøg.

4) *Årsagen til stabiliseringen er en forholdsmæssig større tilvækst i rødderne end i stammen og kronen – altså en omfordeling af tilvækst efter skærmstillingen.* Denne hypotese viste sig i rigt mål at blive bekræftet. Se diskussionen ovenfor.

5) *Forøget forankringsstyrke gennem underplantning?* Denne hypotese måtte aldeles forkastes, idet forankringsmålingerne var upåvirkede af underplantningsarterne.

Sammenfattende viser undersøgelsen, at skærmtræers stormstabilitet bliver meget voldsomt forringet umiddelbart efter skærmstillingen. Det er forfatterens opfattelse, at skærmstilling i mange situationer er et overordentlig risikabelt tiltag. Risikoen kan nedsættes ved at skærmostille rødgran ved en højde på 12-15 meters højde, men der kan selvfølgelig være økonomiske tab forbundet hermed. Forfatterne vil stærkt anbefale at der ved eventuelle skærmstillinger altid indlægges stabiliseringsbælter med passende mellemrum til at standse et eventuelt fladefald i skærmen (se Nielsen 2001). Endnu bedre er en konvertering til en naturnær struktur gennem gruppevise foryngelser eller små afgrænsede skærmstillingsflader (Nielsen & Larsen 2001), som dog ej heller bør iværksættes uden indlægning af stabiliseringsbælter. Endvidere bør rødgranernes dybgrundedhed indgå i overvejelser om fritstilling af rødgraner (Se Nielsen 2001b). Fritstillede rødgraner stabiliserer sig stærkt over en længere årrække. Der går dog mindst 10 år, inden skærmtræerne har genopbygget en stormstabilitet, som tilnærmelsesvist kan sammenlignes med træer i en sluttet bevoksning.

8. Taksigelse

Projektet er et delprojekt indenfor rammeprojektet "Bæredygtig og flersidig træproduktion i klit- og hedeskovbruget". Projektet blev finansieret af Jordbrugsdirektoratet gennem forskningsprogrammet "Jordbrugeren som arealforvalter".

En tillægsbevilling i 2001 fra Jordbrugsdirektoratet muliggjorde den meget værdifulde kausal-analyse omkring træernes tilpasnings-mekanismer, og denne tillægsbevilling har i særlig grad medvirket til at gøre resultaterne mere alment gyldige. En varm tak skal lyde til Jordbrugsdirektoratet for projektets fleksible finansiering. Udvidede analyser af rod- og stammeskiver er endnu ikke afsluttede, men disse resultater vil blive publiceret snarest.

Dr. agro Niels Heding takkes for smidig og kvalificeret koordinering af dette rammeprojekt samt for konstruktiv medvirken ved nedkortning af artiklen. Ivar Dencker, Torben Ulvendahl og Annalise Metz har bidraget til projektets vellykkede afslutning. Georg Paludan-Müller har været behjælpelig med stammeskive-analyser.

Klosterhedens Statsskovdistrikt har været en vidunderlig vært for vore forsøgsarbejder, og en varm tak skal lyde til skovfoged Niels Pedersen, skovrider Thomas Borup Svendsen, tidligere skovrider Handberg samt det øvrige personale på Klosterheden, som med usædvanlig stor gæstfrihed har støttet os med den praktiske gennemførelse.

9. Litteraturliste

- Coutts, M.P. (1983): Root architecture and tree stability. *Plant and Soil*, vol. 71, pp. 171-188.
- Coutts, M.P. (1986): Components of Tree Sta-

- bility in Sitka Spruce on Peaty Gley Soil. Forestry, vol. 59, hæfte 2, pp. 173-197.
- Neckelmann, J. (1982): Stabiliseringsforanstaltninger i rødgran - og novemberstormen 1981. Dansk Skovforenings Tidsskrift, vol. 67, pp. 77-86.
- Neckelmann, J. (1995): To foryngelsesforsøg på midtjysk hedeflade. Skovbrugsserien nr. 16-1995. Forskningscenteret for Skov og Landskab, Hørsholm. 212 pp., ill.
- Nielsen, C.C.N. (1990a): "Eine theoretische Grundlage zur Sturmfestigkeitsforschung auf Einzelbauebene", in: C.C.N.Nielsen: Einflüsse von Pflanzenabstand und Stammzahlhaltung auf Wurzelform, Wurzelbiomasse, Verankerung sowie auf die Biomassenverteilung im Hinblick auf die Sturmfestigkeit der Fichte, Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, 100, J.D. Sauerländer's, Frankfurt am Main. Page 7-96,
- Nielsen, C.C.N. (1990b): "Methodische und ökologische Untersuchungen zur Sturmfestigkeit der Fichte", in: same monograph as publication 2, page 97-194
- Nielsen, C.C.N. (1990c): "Methodische, ökologische und waldbauliche Beiträge zur Sturmfestigkeit der Fichte", in: same monograph as publication 2, page 195-259.
- Nielsen, C.C.N. (1992): Will traditional conifer tree breeding for stem biomass productivity reduce wind stability? Genetic variation in allocation of biomass to root classes and stem. *Silvae genetica* 1992
- Nielsen, C.C.N. (2001): Vejledning i styrkelse af stormfasthed og sundhed i nåletræsbevoksninger. Dansk Skovforenings Tidsskrift, vol. 4 (2001), Dansk Skovforening, Frederiksberg, pp. 216-263.
- Nielsen, C.C.N. & Larsen, J.B. (2001): Stormstabilitet og naturnær skovdrift – med fokus på bevoksninger med høj nåletræsandel. Dansk Skovforenings Tidsskrift, vol. 4 (2001), Dansk Skovforening, Frederiksberg, pp. 264-278.
- Suadicani K. (2002): From Plantation towards Close-to-Nature Forestry – Operational Studies of Shelterwood Regeneration and Selection Management in Norway Spruce, Skov & Landskab, Danish Centre for Forest, Landscape and Planning, Hørsholm.

Indhold

*Christian Nørgård Nielsen, Bo Glent-Madsen,
Morten Gaarde og Thomas Nord-Larsen:*
Udvikling i stormstabilitet i mellemaldrende rødgrantræer efter
stærk fritstilling ("Wind stability in semi-mature Norway spruce trees after
extensive release in a shelterwood")41

Forsiden: Fra skærmforsøget på Klosterheden afd. 494 (blok 1 fra sydvest).

Dansk Skovbrugs Tidsskrift

ISSN 0905-295X. Udgives af Dansk Skovforening, Amalievej 20, 1875 Frederiksberg C. Telefon 33 24 42 66, telefax 33 24 02 42. Postgiro 9 00 19 64. e-post info@skovforeningen.dk. Hjemmeside www.skovforeningen.dk

Redaktion: Søren Fodgaard (ansvarshavende)

Redaktionsudvalg: Skovrider Leif Madsen (formand), forstfuldmægtig Pernille Karlog, lektor Jens Dragsted, skovfoged Martin Petersen, skovbrugslærer Tyge Kjær, direktør Niels Elers Koch.

Tryk: Litotryk, Svendborg.