

A photograph of a forest. In the foreground, there are several young evergreen trees, likely spruce or fir, with vibrant green needles. Some of these trees have red identification tags tied to their trunks. In the background, a dense stand of taller, thinner trees with light-colored bark, possibly birch or aspen, is visible. The overall scene is a lush, green forest environment.

# Mixed stands growth and yield in Sweden

Eric Agestam  
SLU Alnarp



# Forest research since late 1800

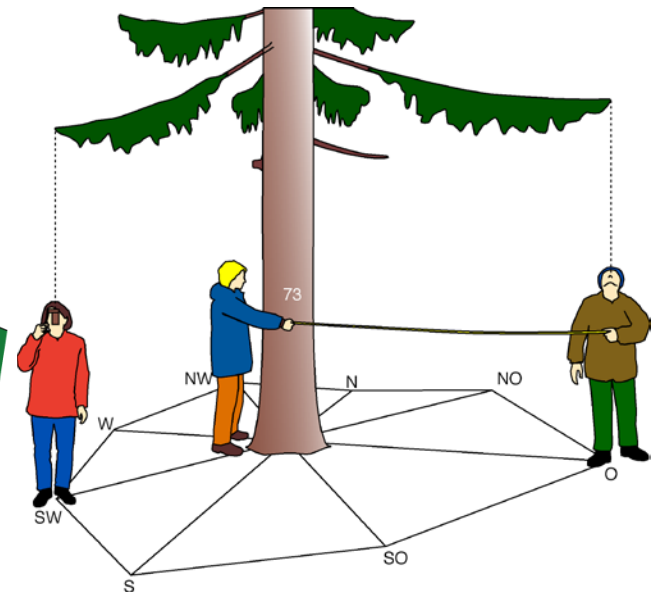
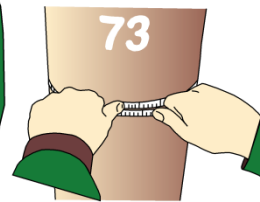
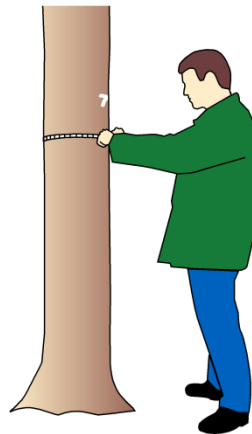
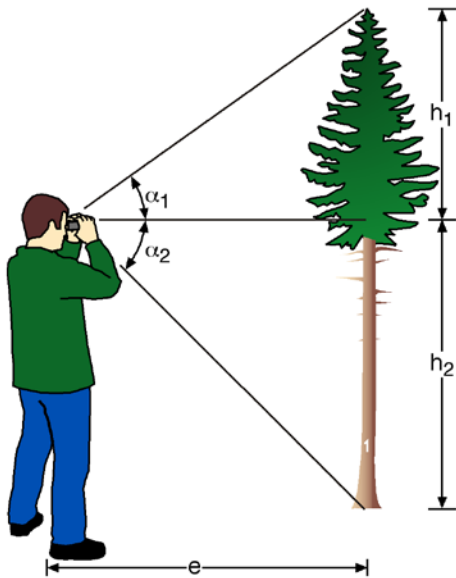


# Classical measurement of tree and stand structure

## Calculating volume and volume growth

### A full rotation

Few species; mainly pine spruce birch



# Experiments or simulations?

- Bengt Jonsson, 1962
- Growth functions for individual trees

Totalproduktion  
Total yield

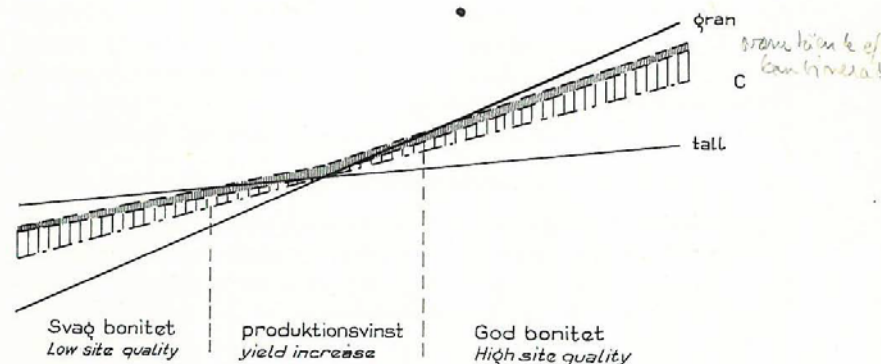
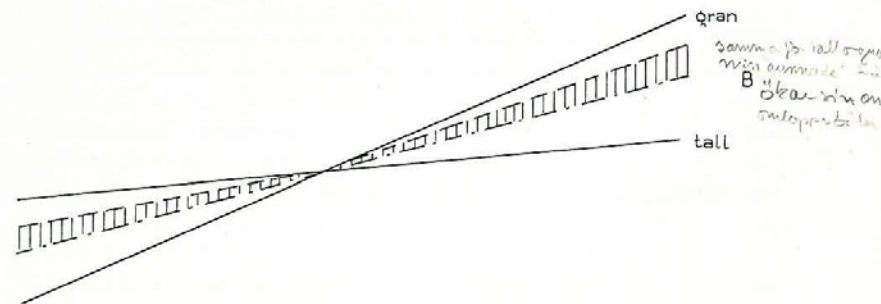
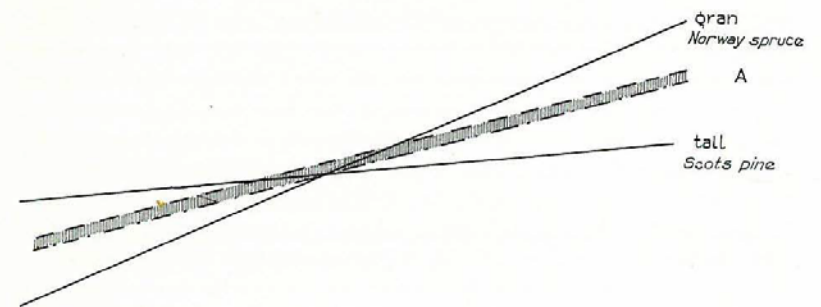


Fig. 1. Schematisk bild visande totalproduktionen i rena och stamvis blandade bestånd på olika boniteter.  
Principle outline showing the total yield of pure and individually mixed stands for various site qualities.



A photograph of a forest landscape. The foreground is filled with a dense layer of fallen branches, twigs, and moss. Several tall, slender pine trees stand prominently, their trunks dark and textured. The background shows a continuation of the forest, with more trees and a hint of a blue sky visible through the canopy. The overall scene suggests a natural, undisturbed forest environment.

Field experiments mixed stands pine and  
spruce



# Bengt Jonsson experiments

2 sites

10 blocks

pine - spruce – mixture pine/spruce

Arjeplog

Lat 65 N 500 m a s l

SI= T16, G14

Planted 1975

Främlingshem

Lat 60 70 m a s l

SI = T27, G24

Sown 1956/57

Establishing the experiment  
1961





# Främlingshem after 41 years

## Volume production

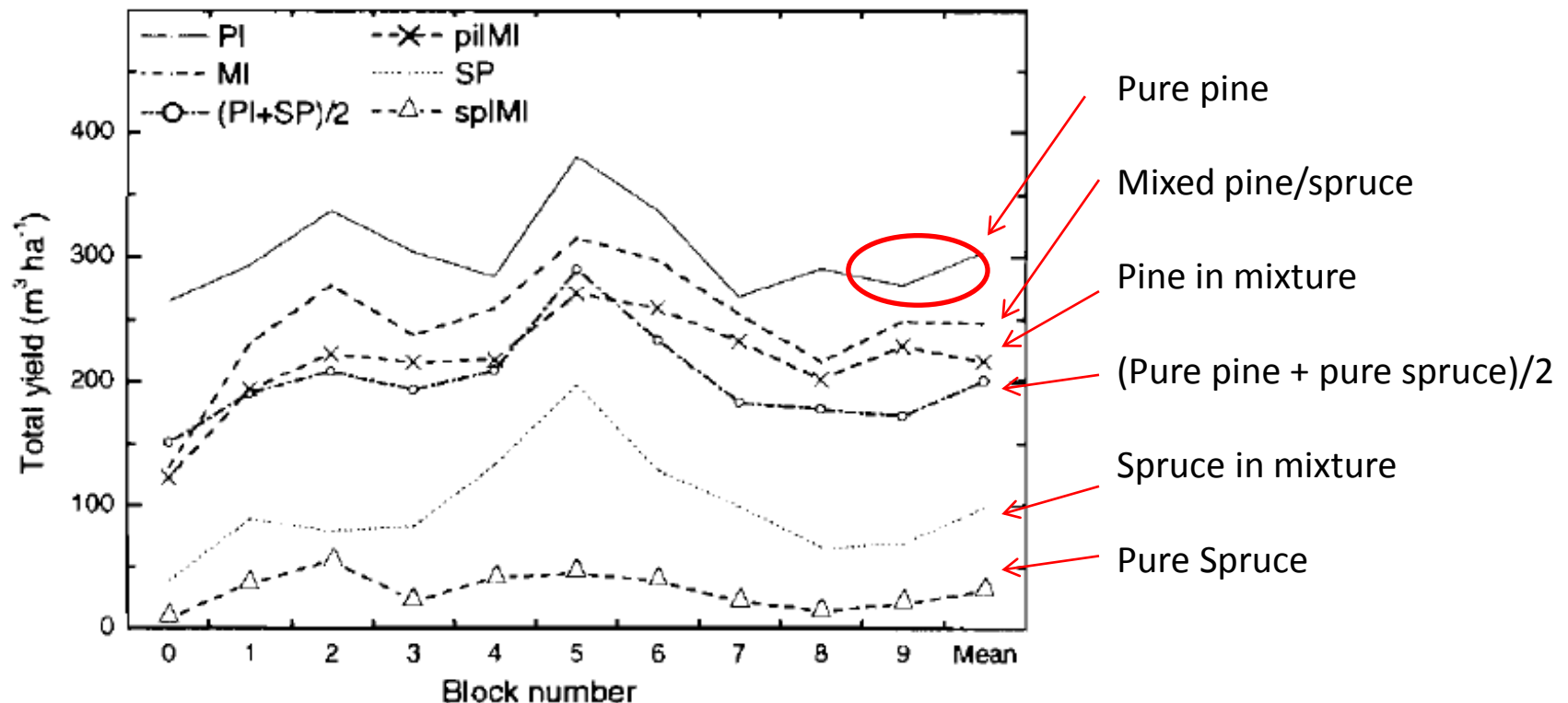


Fig. 4. Block means of total volume yields up to and including 1999 (see Table 5).

## Arjeplog age 41

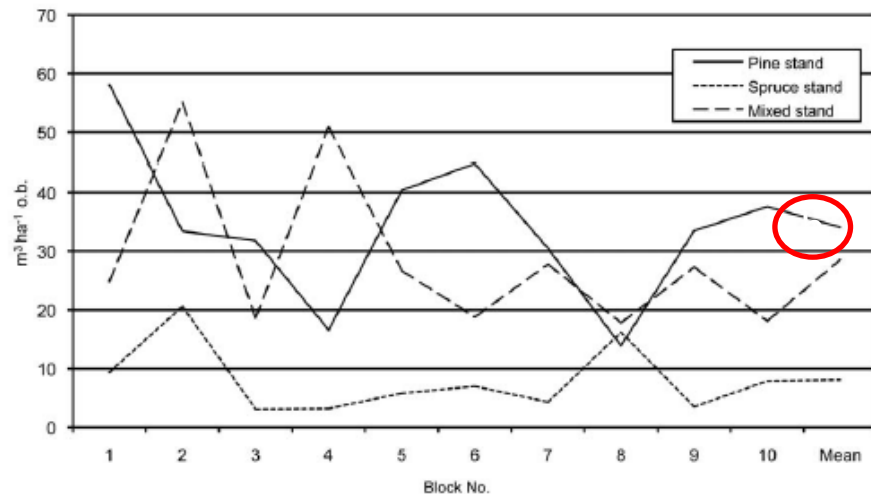


Fig. 11a. Total stand volume in 2006.

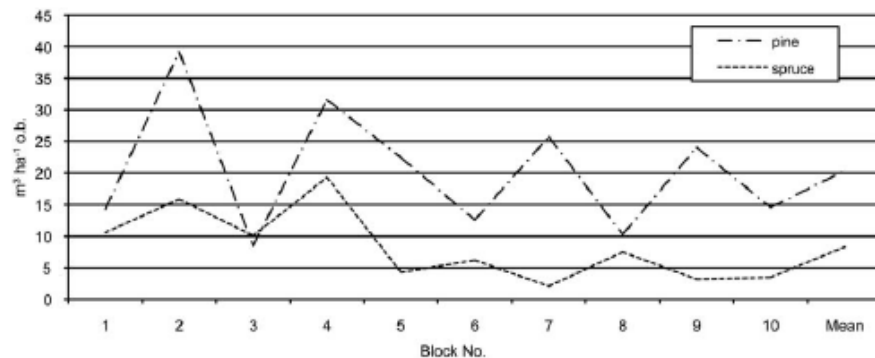


Fig. 11b. Stand volume of pine and spruce, respectively, in the Mixed stand in 2006.

## Främlingshem age 41

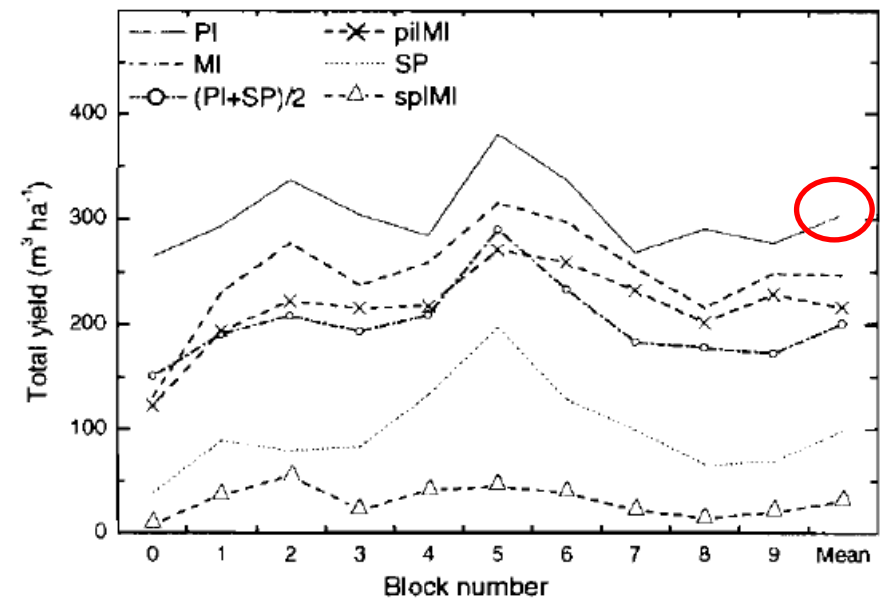


Fig. 4. Block means of total volume yields up to and including 1999 (see Table 5).



Fiskeby AB planting mixtures later  
create pine - spruce – mixture  
pine/spruce

4 experiments

Not complete

Pine – mixture pine/spruce

Pine – mixture pine/spruce

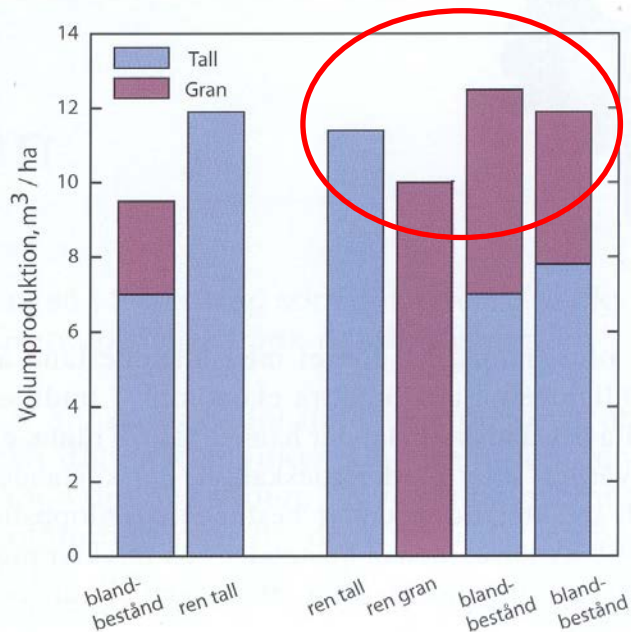
Spruce –mixture pine /spruce

Pine – mixture pine/spruce



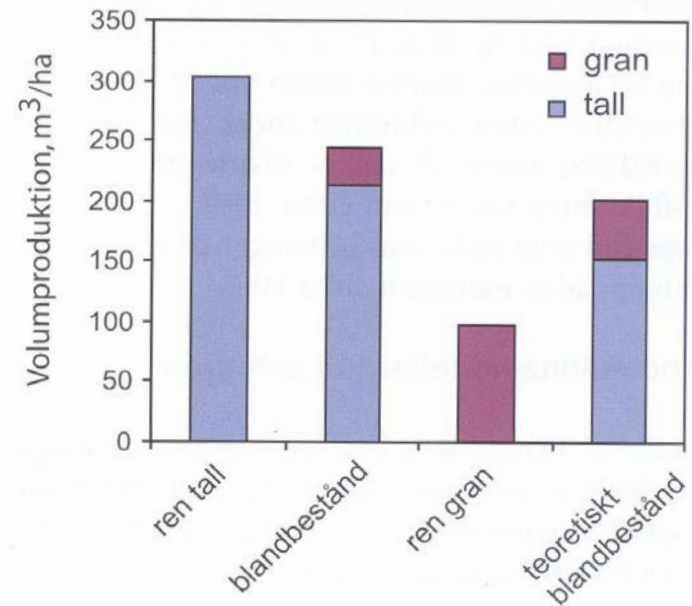
# Mixed stands pine and spruce volume growth and total production

PAI 18 years



**Figur 6.** Volymtillväxt under 18 år i två experiment med tall och gran i rena och blandade bestånd. Försöken ligger i Östergötland och var 18 resp 24 år när experimenten startade. Beståndens olika trädslagssammansättning skapades genom röjning eller gallring. Varje stapel representerar en parcell om ca 0,1 ha.

Total production

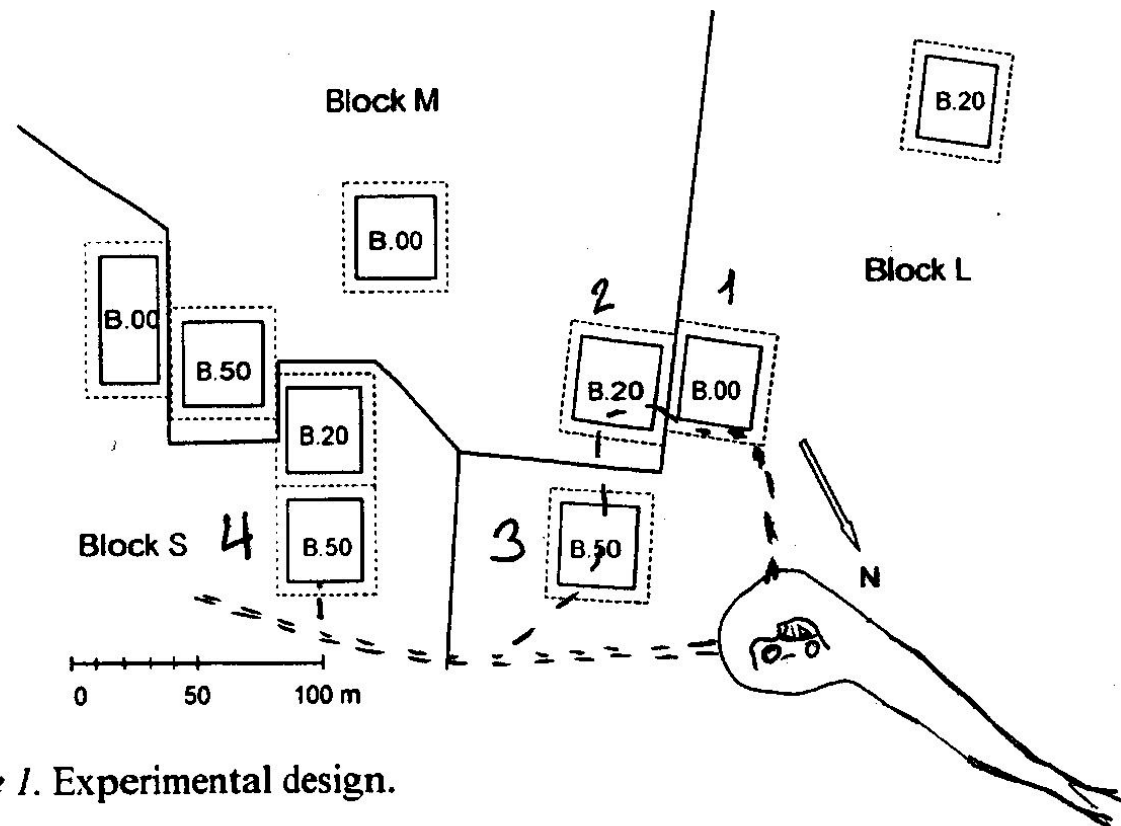




# Mixtures with birch



MIXTURE  
BIRCH AND  
SPRUCE  
ASA SMÅLAND



*Figure 1.* Experimental design.

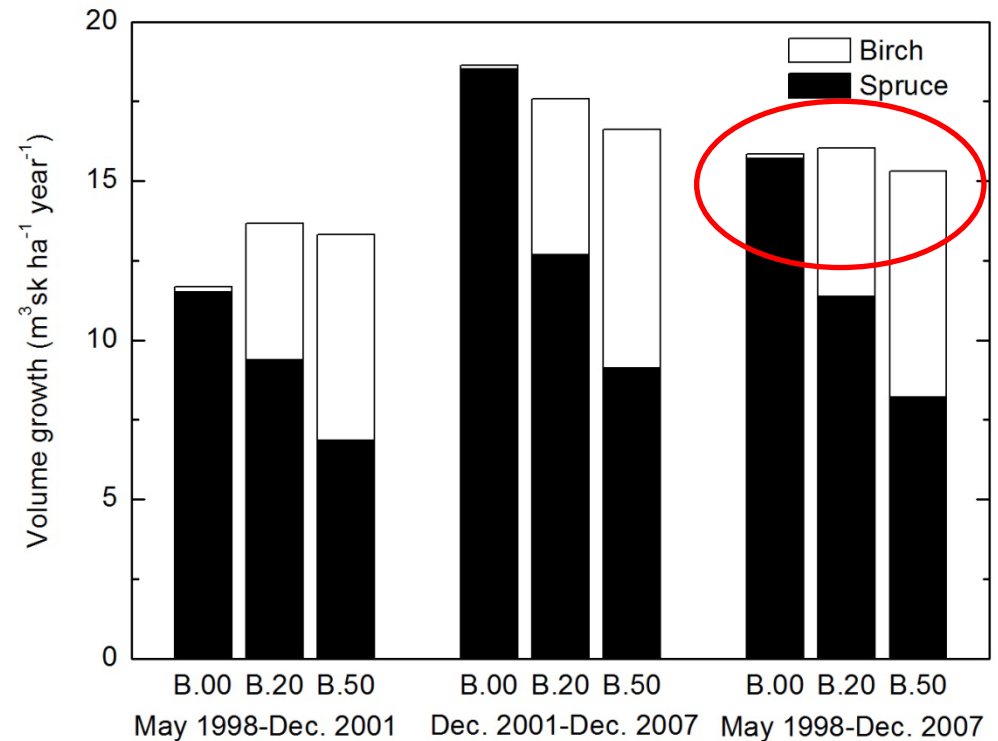
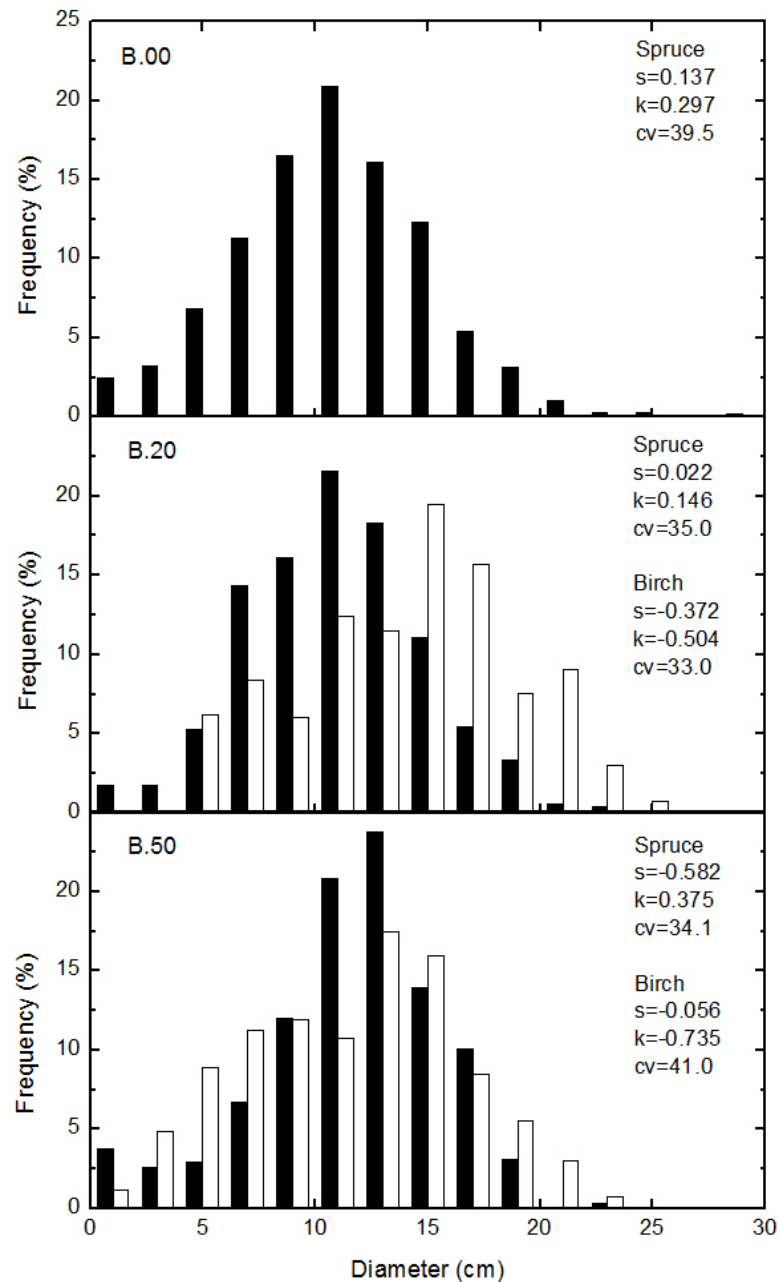


Some results from "Brudahall" experiment  
with mixture of spruce and birch

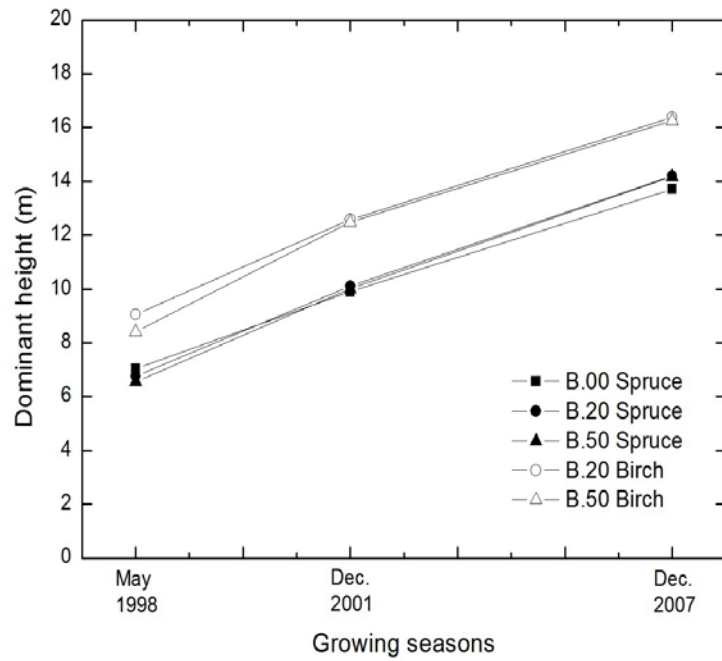
Diameter distribution, (left) AND volume  
growth, (below)

SPRUCE – black

BIRCH – white (or unfilled)



# Management of mixed spruce birch stands





# Shelters

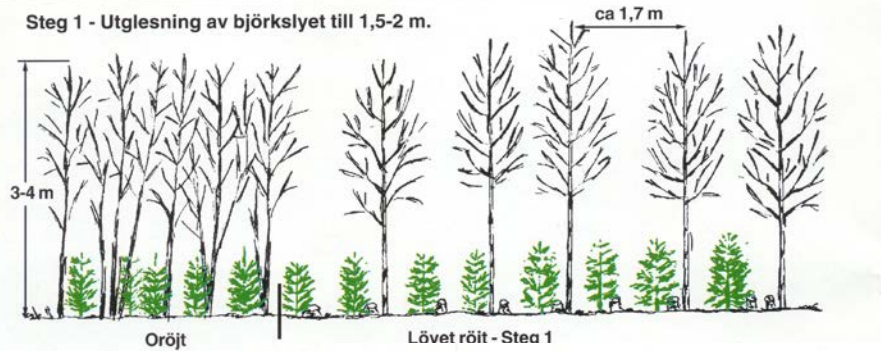




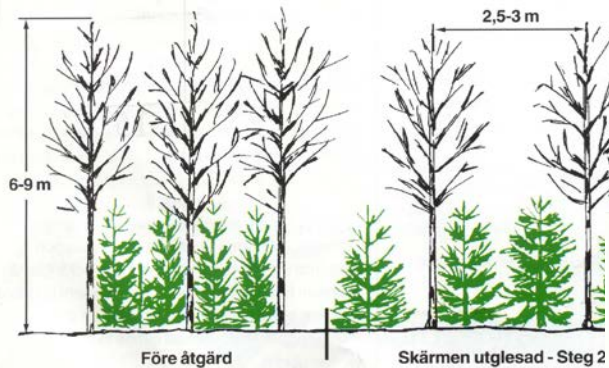
# Birch shelter + spruce "Kronobergsmetoden"

## Management in 3 steps

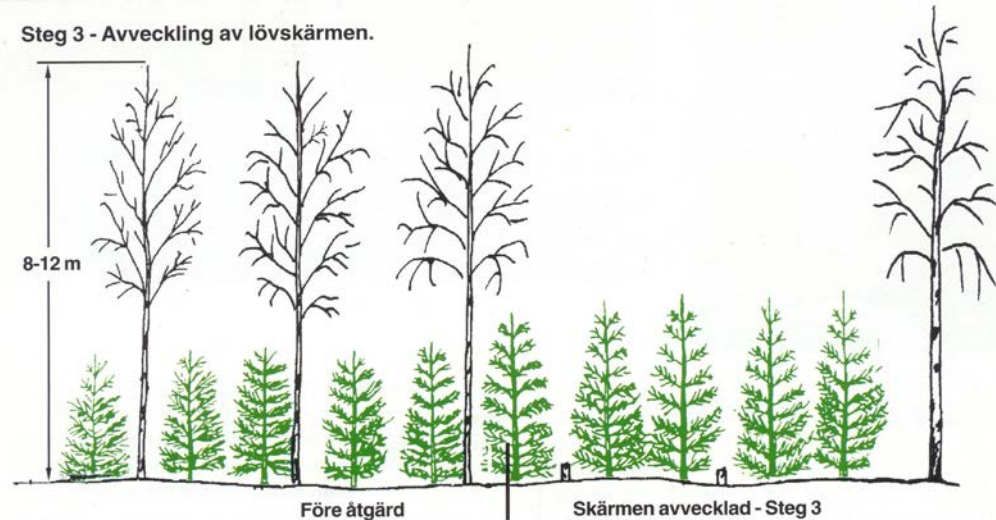
Steg 1 - Utglesning av björkslyet till 1,5-2 m.



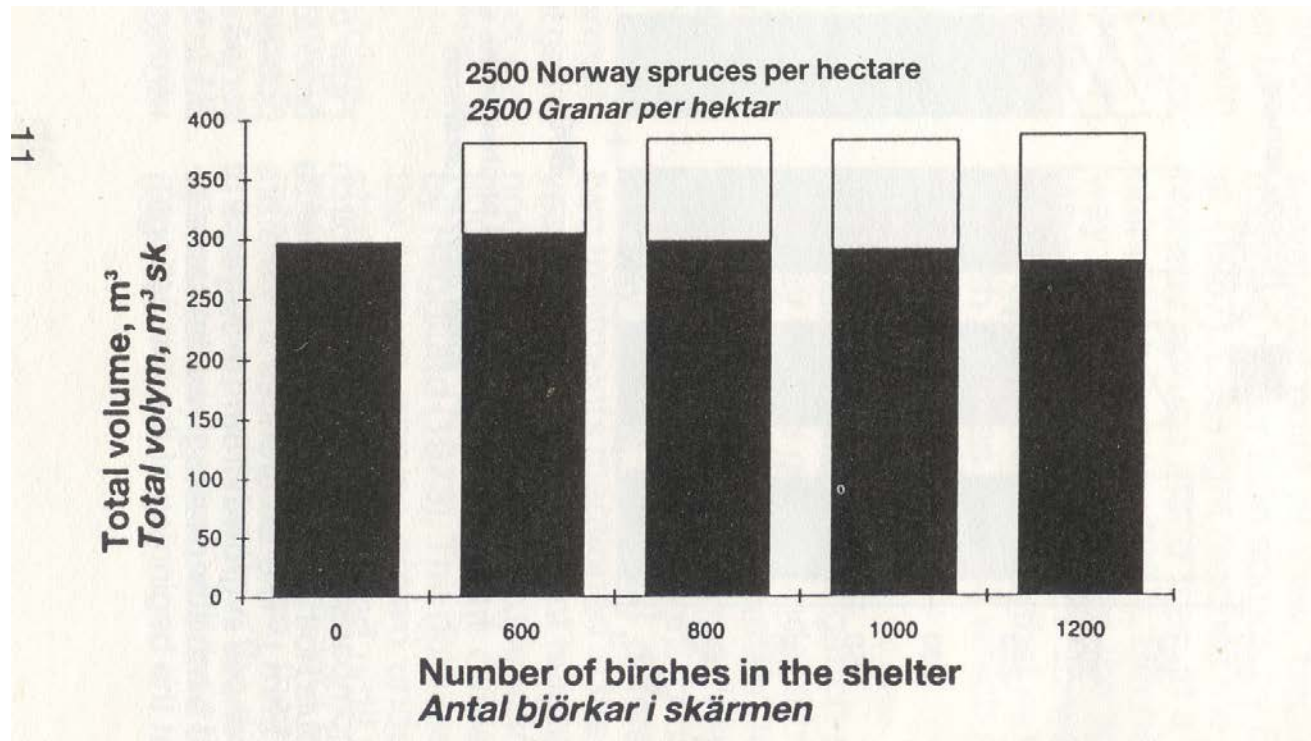
Steg 2 - Utglesning av lövskärmen till 2,5-3 m.



Steg 3 - Avveckling av lövskärmen.



# Volume yield birch shelter+spruce (Tham 1988)



Approx. 50 extra m<sup>3</sup>/ha (birch) correspond to 5 á 10 % higher volume yield over a rotation compared to spruce

# Simulations growth and yield





# Principles of growth simulator

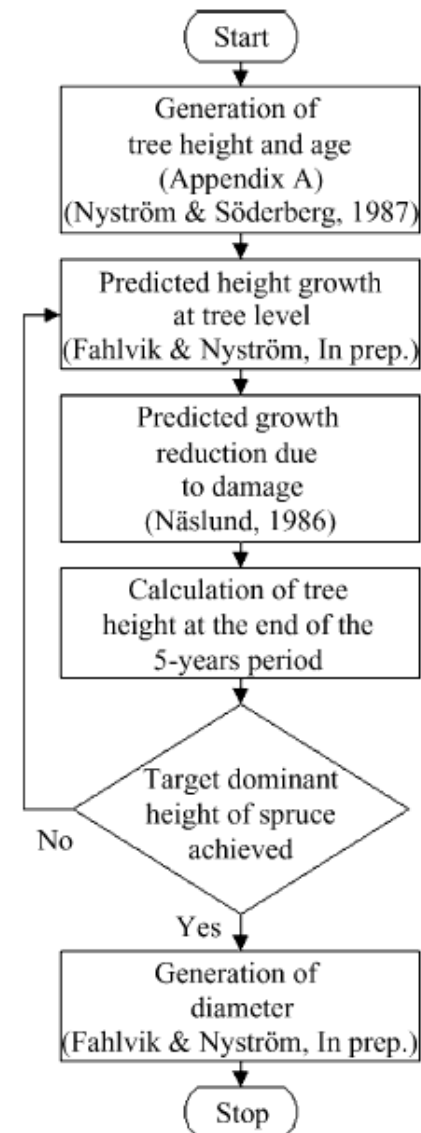


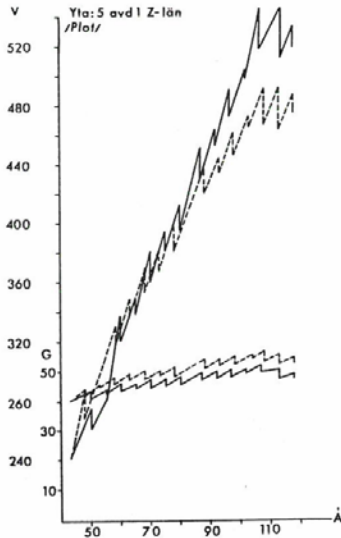
Fig. 1. Principles of the growth simulator.

# Growth and yield simulators

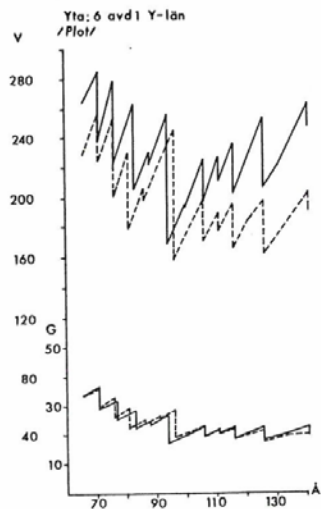
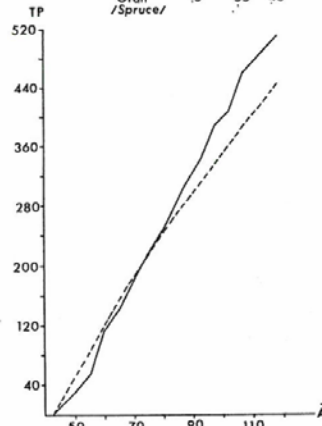
- NFI data
- “Great Yield Investigation”
- Individual trees    Stand level
- Ekö 1985    NFI data, stand level;  
pine, spruce, birch, mixed stands, oak, beech
- Agestam 1985    GYI data, stand level;  
mixed stands, pine spruce birch,

# Do growth and yield simulators give reliable results?

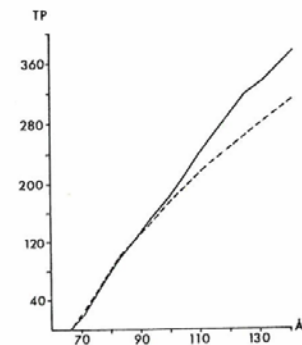
136



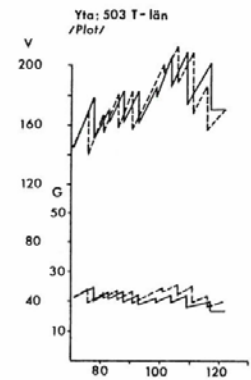
Sl<sub>T</sub>: 209 LAT: 63° ALT: 300 BEH: Sjö  
Utgångsläge: G S Å  
/Initial stand/ Tall 40.1 6139 43  
/Pine/ Gran .3 55 43  
/Spruce/



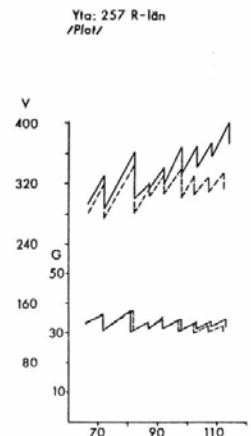
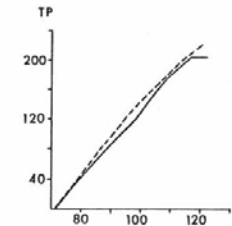
Sl<sub>T</sub>: 223 LAT: 62° ALT: 280 BEH: Slög  
Utgångsläge: G S Å  
/Initial stand/ Tall 33.9 3161 50  
/Pine/ Gran 33.1 1450 67  
/Spruce/



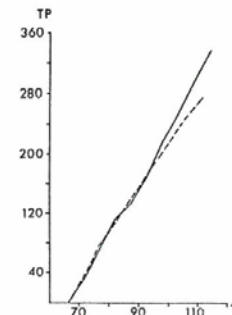
137



Sl<sub>G</sub>: 192 LAT: 59° ALT: 190 BEH: Slög  
Utgångsläge: G S Å  
/Initial stand/ Gran 21.0 2128 71  
/Spruce/



Sl<sub>G</sub>: 240 LAT: 58° ALT: 220 BEH: Sv lög  
Utgångsläge: G S Å  
/Initial stand/ Gran 33.1 1450 67  
/Spruce/





# Mixed stands - pure stands SI= T16, T20 Ekö 1985

Område nord  
Northern Sweden

	Blandn.förh. Relative composition	Relativ Årlig medeltillväxt Relative mean annual growth					Årlig medel- tillväxt (m <sup>3</sup> sk/ha) Mean annual growth (m <sup>3</sup> /ha)	Relativ Årlig medeltillväxt Relative mean annual growth					Årlig medel- tillväxt (m <sup>3</sup> sk/ha) Mean annual growth (m <sup>3</sup> /ha)
SI: H100 <sub>tall</sub> (16 m) Site index pine								SI: H100 <sub>tall</sub> 20 (m) Site index pine					
Gran - tall Spruce - pine	1:0	42	69	87	94	99	3.1	50	69	79	85	88	3.9
	3:1	57	81	92	97	99	3.1	66	86	94	99	102	4.4
	1:1	85	94	98	100	101	3.1	87	95	98	100	102	4.6
	1:3	94	98	100	101	101	3.2	96	99	100	101	101	4.6
	0:1	100	100	100	100	100	3.2	100	100	100	100	100	4.7
Totalålder (år) Total age (years)		60	80	100	120	140		50	70	90	110	130	
Björk - tall Birch - pine	1:0	52	70	76	78	80	2.5	53	64	66	67	68	3.9
	3:1	69	90	99	103	104	3.2	73	88	94	95	96	4.4
	1:1	84	99	104	105	106	3.3	88	96	98	100	99	4.6
	1:3	94	101	104	105	106	3.3	96	99	100	100	100	4.7
	0:1	100	100	100	100	100	3.2	100	100	100	100	100	4.7
Totalålder (år) Total age (years)		50	70	90	110	130		40	60	80	100	120	
Björk - gran Birch - spruce	1:0	148	108	89	84	81	2.5	120	94	84	80	78	3.1
	3:1	116	98	86	83	82	2.5	111	98	93	90	89	3.5
	1:1	109	97	90	89	89	2.8	108	101	100	99	98	3.8
	1:3	102	95	91	90	90	2.8	100	97	98	98	97	3.8
	0:1	100	100	100	100	100	3.1	100	100	100	100	100	3.9
Totalålder (år) Total age (years)		60	80	100	120	140		50	70	90	110	130	

# Mixed stands - pure stands SI= T24, T28

SI: H100<sub>tall</sub> 24 (m)  
Site index pine

	1:0	43	58	65	70	74	5.2
Gran - tall	3:1	68	76	74	82	85	6.0
Spruce - pine	1:1	80	87	90	91	93	6.9
	1:3	92	95	95	96	97	7.2
	0:1	100	100	100	100	100	7.6

Totalålder (år)  
Total age (years)

40 60 80 100 120

SI: H100<sub>tall</sub> 28 (m)  
Site index pine

	42	71	81	85	89	8.0
	56	86	92	94	97	9.0
	80	91	94	95	96	9.2
	92	96	98	98	99	9.7
	100	100	100	100	100	10.0

30 50 70 90 110

	1:0	63	60	63	64	64	4.9
Björk - tall	3:1	73	78	82	82	83	6.1
Birch - pine	1:1	83	88	90	90	91	6.8
	1:3	89	94	95	96	96	7.2
	0:1	100	100	100	100	100	7.6

Totalålder (år)  
Total age (years)

30 50 70 90 110

	85	76	79	81	81	7.8
	76	90	93	94	95	9.0
	74	95	98	100	101	9.5
	87	94	97	99	99	9.7
	100	100	100	100	100	10.0

20 40 60 80 100

	1:0	137	106	94	92	87	4.9
Björk - gran	3:1	139	113	104	99	94	5.1
Birch - spruce	1:1	124	111	105	102	97	5.2
	1:3	116	108	104	101	99	5.2
	0:1	100	100	100	100	100	5.2

Totalålder (år)  
Total age (years)

40 60 80 100 120

	182	110	98	94	91	7.8
	111	99	97	96	95	7.8
	134	102	98	96	94	7.7
	161	106	98	96	92	7.7
	100	100	100	100	100	8.0

30 50 70 90 110

# Mixed stands - pure stands SI= T16, T20 south Sweden

Område syd  
Southern Sweden

	Blandn.förh. <i>Relative composition</i>	Relativ årlig medeltillväxt <i>Relative mean annual growth</i>					Årlig medel- tillväxt (m <sup>3</sup> sk/ha) <i>Mean annual growth (m<sup>3</sup>/ha)</i>	Relativ årlig medeltillväxt <i>Relative mean annual growth</i>					Årlig medel- tillväxt (m <sup>3</sup> sk/ha) <i>Mean annual growth (m<sup>3</sup>/ha)</i>
SI: H100 <sub>tall</sub> (16 m) <i>Site index pine</i>							SI: H100 <sub>tall</sub> 20 (m) <i>Site index pine</i>						
Tall - gran <i>Pine - spruce</i>	1:0	136	120	98	88	82	3.9	130	93	81	76	73	4.9
	3:1	123	111	92	84	80	3.7	122	90	79	76	75	4.7
	1:1	115	107	92	86	83	3.8	114	98	87	89	82	5.1
	1:3	102	106	101	98	97	4.3	101	102	96	95	99	5.9
	0:1	100	100	100	100	100	4.4	100	100	100	100	100	6.2
Totalålder (år) <i>Total age (years)</i>		50	70	90	110	130		40	60	80	100	120	
Björk - tall <i>Birch - pine</i>	1:0	47	43	45	47	51	1.9	46	49	48	50	52	2.4
	3:1	64	70	83	89	93	3.4	68	87	93	95	97	4.5
	1:1	80	81	86	89	90	3.5	84	96	98	99	102	4.6
	1:3	91	91	93	93	94	3.7	94	95	96	97	98	4.6
	0:1	100	100	100	100	100	3.9	100	100	100	100	100	4.9
Totalålder (år) <i>Total age (years)</i>		50	70	90	110	130		40	60	80	100	120	
Björk - gran <i>Birch - spruce</i>	1:0	63	51	44	42	42	1.9	60	46	39	38	38	2.4
	3:1	69	66	64	65	65	2.9	68	64	63	62	62	3.8
	1:1	74	82	84	84	83	3.7	78	81	83	81	80	5.0
	1:3	88	96	91	90	89	4.0	88	91	90	89	88	5.5
	0:1	100	100	100	100	100	4.4	100	100	100	100	100	6.2
Totalålder (år) <i>Total age (years)</i>		50	70	90	110	130		40	60	80	100	120	



# Mixed stands - pure stands SI= T24, T28 south Sweden

SI: H100<sub>tall</sub> 24 (m)

Site index pine

	1:0	144	102	92	85	81	7.3
Tall - gran	3:1	134	99	91	88	85	7.2
Pine - spruce	1:1	123	99	92	90	88	7.3
	1:3	105	102	100	99	99	8.0
	0:1	100	100	100	100	100	8.1

Totalålder (år)

Total age (years)

30 50 70 90 110

	1:0	57	60	60	62	63	4.3
Björk - tall	3:1	64	78	81	83	85	5.7
Birch - pine	1:1	80	87	88	89	91	6.4
	1:3	87	92	92	94	95	6.7
	0:1	100	100	100	100	100	7.3

Totalålder (år)

Total age (years)

30 50 70 90 110

	1:0	83	61	55	53	51	4.3
Björk - gran	3:1	80	70	71	70	70	5.6
Birch - spruce	1:1	86	82	83	82	82	6.5
	1:3	88	92	92	92	92	7.4
	0:1	100	100	100	100	100	8.1

Totalålder (år)

Total age (years)

30 50 70 90 110

SI: H100<sub>tall</sub> 28 (m)

Site index pine

	114	87	77	72	68	9.2
	108	87	74	76	73	9.2
	106	91	85	82	81	9.8
	101	99	98	97	97	11.1
	100	100	100	100	100	11.4

30 50 70 90 110

	70	76	76	76	76	7.0
	79	91	95	97	100	8.2
	87	95	98	101	105	8.8
	91	95	98	101	105	8.8
	100	100	100	100	100	9.2

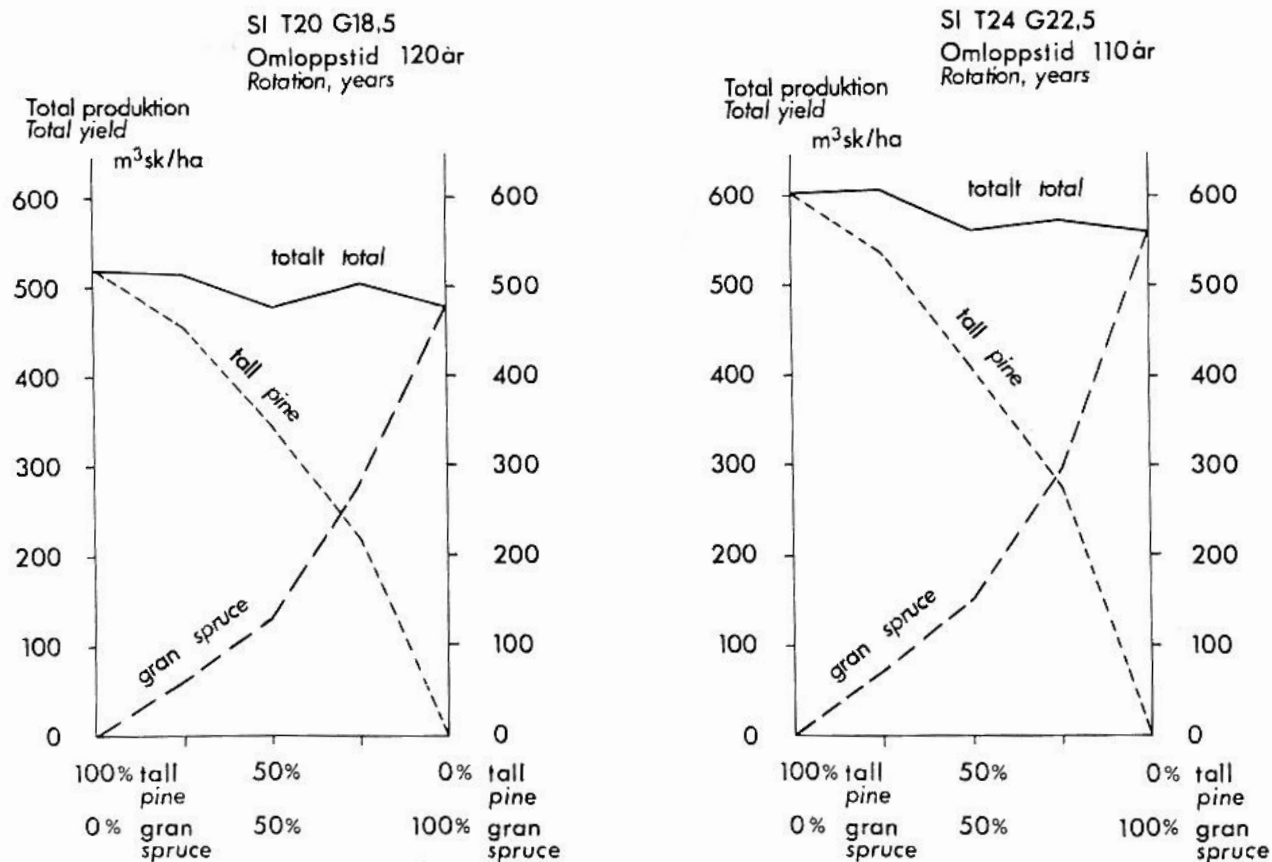
30 50 70 90 110

	70	76	70	76	76	7.0
	79	91	95	97	100	8.1
	87	95	98	101	105	9.0
	91	95	98	101	104	10.6
	100	100	100	100	100	11.4

30 50 70 90 110

# Spruce - pine pure and mixed north Sweden

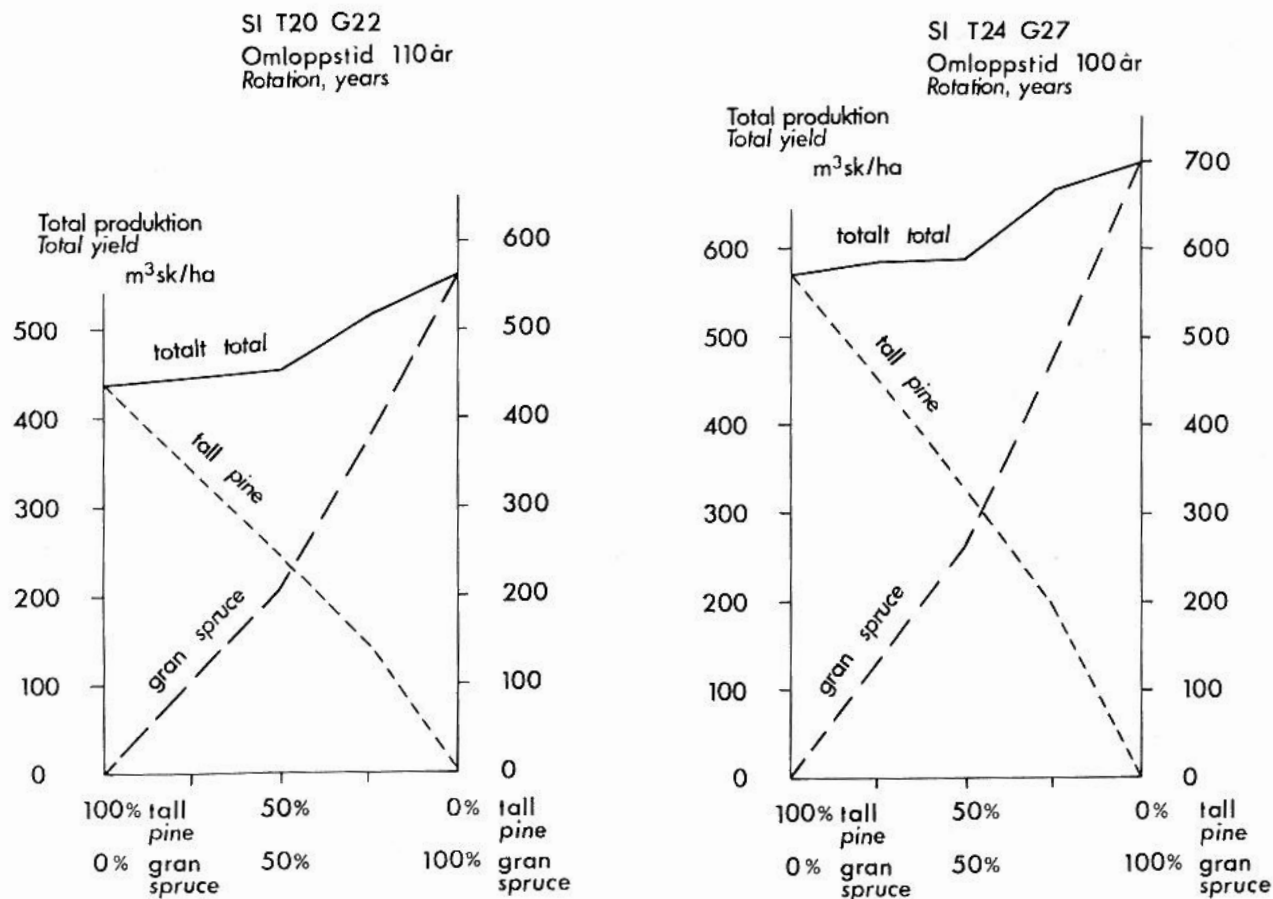
Agestam 1985



Figur 24. Produktion av tall och gran enligt produktionsmodellen. Barrbestånd i norra Sverige med varierande trädslagsblandning i utgångsläget. Trädslagsblandningen avser procent av stamantal per ha.  
Yield of pine and spruce according to the growth simulator. Coniferous stands in northern Sweden, varying mixture percent of stems of pine and spruce in initial stands.

# Spruce pine pure and mixed south Sweden

Agestam 1985



Figur 25. Produktion av tall och gran enligt produktionsmodellen. Barrbestånd i södra Sverige med varierande trädslagsblandning av tall och gran i utgångsläget. Trädslagsblandningen avser stamantal per ha.  
Yield of pine and spruce according to the growth simulator. Coniferous stands in southern Sweden, varying mixture percent of pine and spruce in initial stands.



# Mixed stands wit birch vs pure stands

(Mielikäinen, 1981, 1985, Agestam 1985)

Trädslagssammansättning	Total produktion (m3sk/ha)	Omloppstid, år	Medeltillväxt, (m3sk/ha, år)	Relativ tillväxt
Tall	615	80	7,7	100
Tall - vårtbjörk (björken kvar)	612	80	7,7	100
Tall - vårtbjörk (björken gallras ut)	625	80	7,8	102
Vårtbjörk	493	80	6,2	80
Gran	527	85	6,2	100
75% gran - 25% björk	547	85	6,4	104
50% gran - 50% björk	550	85	6,5	104
25% gran - 75% björk	549	85	6,5	104

Ståndortsindex	Behandling av björk	100% barrträd	75% barrträd 25% björk	50% barrträd 50 % björk
T20 - B17	Björk kvar	100	99	98
	Björk gallras ut	100	98	94
T24 - B19	Björk kvar	100	102	102
	Björk gallras ut	100	100	98
G22 - B19	Björk kvar	100	97	92
	Björk gallras ut	100	98	97
G27 - B21	Björk kvar	100	96	88
	Björk gallras ut	100	99	96



# Shelters





Individual trees,  
simulation  
different mixtures  
birch and spruce  
Fahlvik et al 2005,

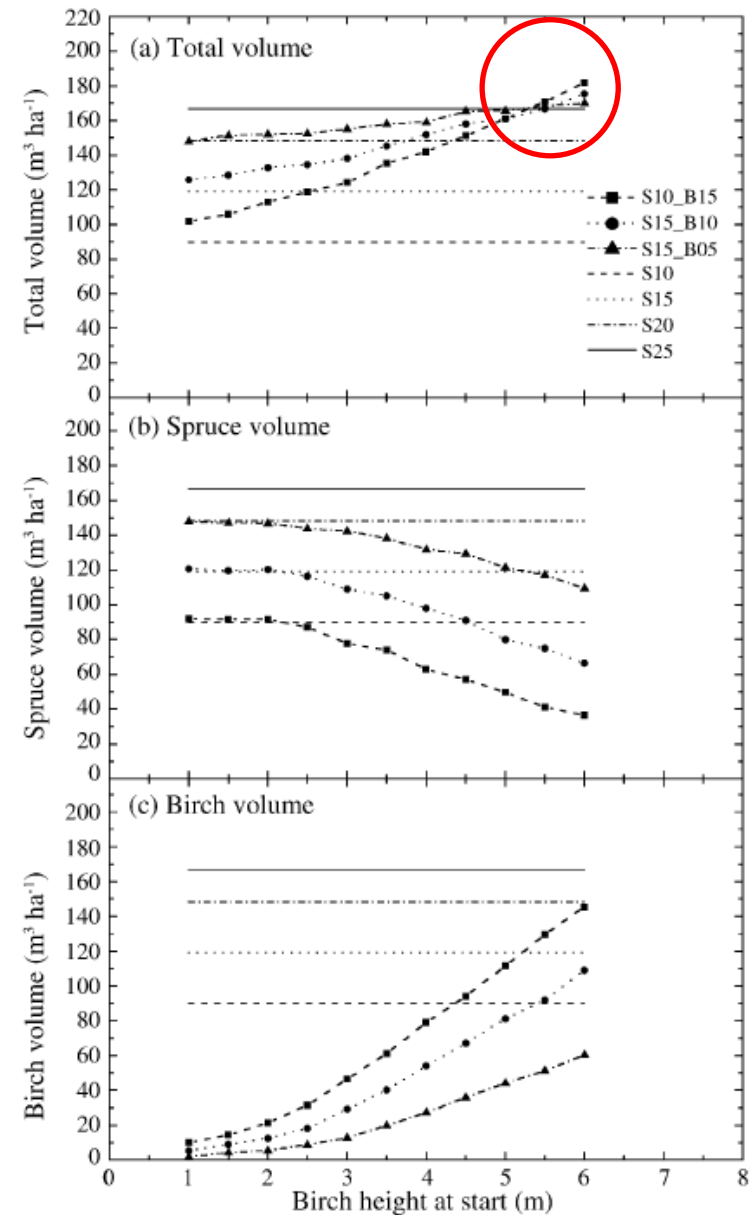


Fig. 9. Relationships between (a) total volume, (b) spruce volume and (c) birch volume after 15 years simulation and average height of birch at the start of the simulation. The volume in pure spruce stands is represented by the horizontal lines. Abbreviations as in Table 4.



# Long-term experiments with pure and mixed forest side by side



- Lappland (tall-gran)
- Umeå (gran under björk)
- Gävle (tall-gran)
- Finspång (tall-gran)
- 8 sites in Götaland (gran under björk)
- Brudahall (gran-björk)
- Tönnersjöheden (gran-björk)
- Snogeholm landskap laboriet (ren bok, ek och gran skog i jämförelse med olika blandningar)

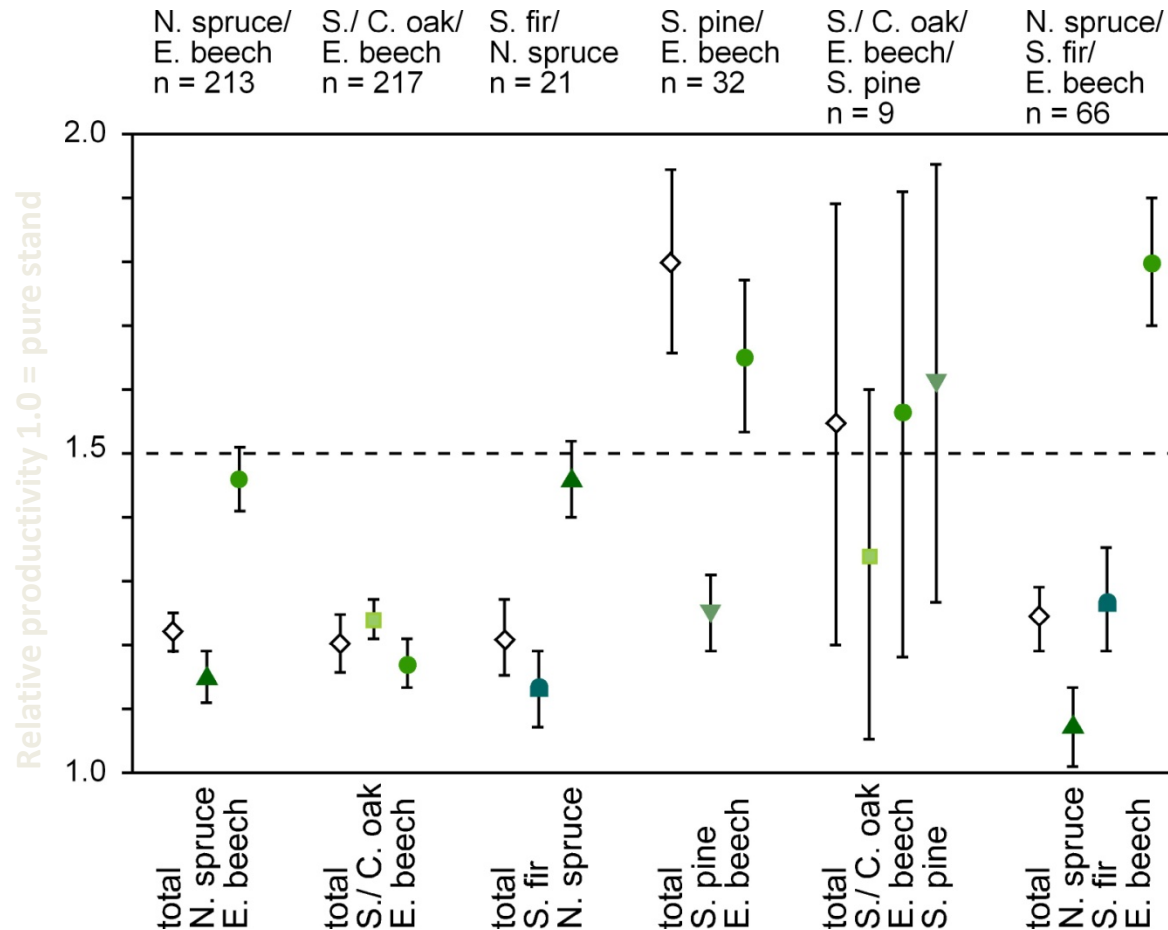
# Meta-analyze permanent plots (experiments) with mixed stands in Europe

- Swedish co-ordinator Lars Drössler
- Many plots with mixed stands in Europe
- Few experiments with pure and mixed stands side by side
- Today 60 exp. ~30 complete (“triplets”)
- Ongoing “networking”





# Overyielding of mixed stands compared with pure stands of spruce, pine, fir beech, and, oak



b



# Why mixed stands? Some good reasons often discussed in forestry

- Less damages
  - Frost damages
  - Root rot
  - Wind damages
- Lower risk ("not all eggs in one basket")
- Better economics
  - Possibilities for earlier income
  - Sometimes lower regeneration cost
  - Sometimes lower intensity in silviculture
  - Possibilities for better quality
- ... and nature values, recreation and ...
- But today we don't think mixed stands increase volume production



# Why not mixed stands?

## Some problems and drawbacks

- (Sometimes - often) expensive regeneration (sometimes not!)
- Expensive and complicated silviculture/management/planning
- Lack of knowledge and experience

## 2. Beståndets sammansättning av olika trädslag.

Om beståndet utgöres av endast ett trädslag, kallas det *rent*, men om två till flera trädslag ingå däri, kallas det *blandat*. Träd, som förekomma enstaka här och var i bestånd av andra trädslag, kallas *insprängda*. Uppträda de olika trädslagen jämnt blandade om varandra, benämnes beståndet *stamvis blandat*. Äro åter de särskilda trädslagen förenade i smärre grupper, kallas beståndet *gruppvis blandat*. En *tvååldrig blandningsform* uppkommer om ett—flera trädslag bilda överbeståndet, ett—flera andra trädslag underbeståndet. I de olikåldriga bestånden kunna blandningsförhållandena vara de mest växlande.

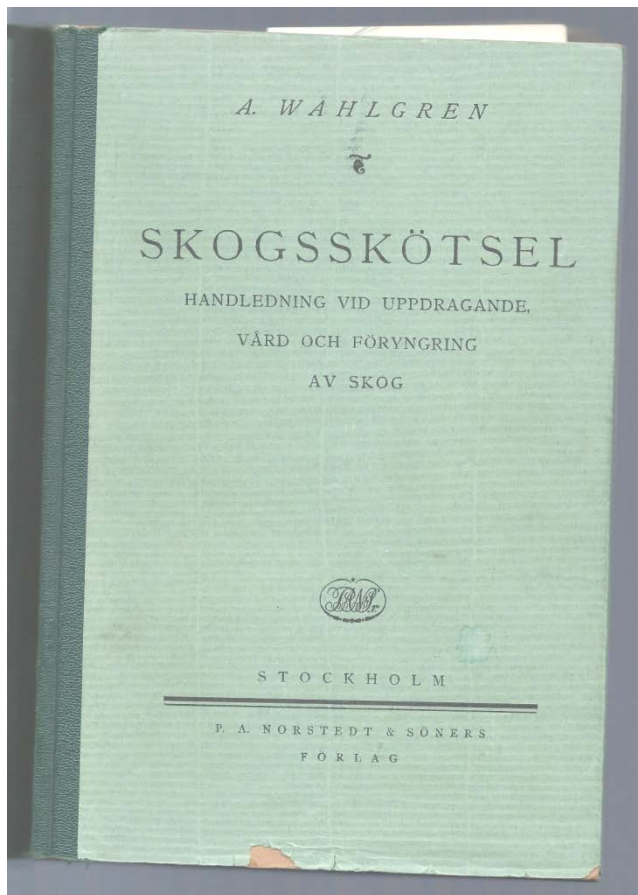
Den mängd, vari det ena eller andra trädslaget uppträder i förhållande till andra inom blandbeståndet, betecknas vanligen med tiondelar av *beståndsgrundytan* eller *beståndsvirkesmassan* som enhet. Ett blandbestånd kan således vara sammansatt av exempelvis 0,7 tall, 0,3 gran eller 0,3 tall, 0,5 gran och 0,2 björk o. s. v.

I vilken utsträckning blandbestånd förekomma i naturskogen beror till väsentlig del av klimat- och ståndortsförhållandena.<sup>1</sup> I *varmare vegetationszoner* överväga blandbestånden och det största antalet trädslag äro däri företrädde. Blandningsförhållandet är även det intimaste, i det att den stamvisa blandningen mest förekommer. Ju kallare klimatet är, desto mer avtaga såväl trädslagens antal som blandbeståndens. Ju *bättre jordmånen* är, desto större äro förutsättningarna för uppkomsten av blandbestånd, och desto flera trädslag uppträda däri. På de bättre ståndorterna få nämligen flera trädslag sina anspråk tillfredsställda, och olikheterna i de särskilda trädslagens ljusbehov utjämnas. Ju mer en kemisk eller fysikalisk faktor i jorden är övervägande, t. ex. brist på ett visst näringsämne, ringa eller alltför stor fuktighet o. s. v., desto färre trädslag uppträda i blandbestånden, och desto mera övervägande bliva de rena. Såsom exempel på dessa förhållanden kunna anföras å ena sidan våra norrländska sandhedar, där endast tallen förmår växa och således bildar rena bestånd, å andra sidan de sydsvenska lövängarna, där en mängd trädarter förekomma blandade med varandra.

De skuggfördragande trädslagen äro mera benägna att bilda rena bestånd än ljusbehövande och detta mera ju tyngre deras frön äro. Åtskilliga yttre påverkningar såsom skogseldar, insektsangrepp m. m. kunna bidraga att framkalla rena bestånd även å ståndorter, där förutsättningarna för blandbestånd äro förhållandevis goda.

Beståndens blandningsförhållanden äro icke beständiga utan underkastade en småningom skeende förändring, dels på grund av de särskilda trädslagens olika utvecklingsbetingelser, dels på grund av de omdaningar, som de övre jordlagren och markbetäckningen kunna undergå. Förr eller senare blir det ena trädslaget vanligen härskande över de andra, under det att nya trädslag med för de omkapade förhållandena lämpade egenskaper kunna invandra. För bibehållande under en längre tid av ett visst blandningsförhållande fordras från skogsvårdarens sida ett vaksamt öga och ett omdömesgillt ingripande med yxan.

<sup>1</sup> MAYR, Waldbau auf naturgesetzl. Grundlage, sid. 219.



träslag blott överbeståndet, och i andra trädslag underbeståndet. De äldre åldriga bestånden kunna blandningsförhållandena vara de mest växlande.

Den mängd, vari det ena eller andra trädslaget uppträder i förhållande till andra inom blandbeståndet, betecknas vanligen med tiondelar av *beståndsgrundytan* eller *beståndsvirkesmassan* som enhet. Ett blandbestånd kan således vara sammansatt av exempelvis 0,7 tall, 0,3 gran eller 0,3 tall, 0,5 gran och 0,2 björk o. s. v.

I vilken utsträckning blandbestånd förekomma i naturskogen beror till väsentlig del av klimat- och ståndortsförhållandena.<sup>1</sup> I *varmare vegetationszoner* överväga blandbestånden och det största antalet trädslag äro däri företrädde. Blandningsförhållandet är även det intimaste, i det att den stamvisa blandningen mest förekommer. Ju kallare klimatet är, desto mer avtaga såväl trädslagens antal som blandbeståndens. Ju *bättre jordmånen* är, desto större äro förutsättningarna för uppkomsten av blandbestånd, och desto flera trädslag uppträda däri. På de bättre ståndorterna få nämligen flera trädslag sina anspråk tillfredsställda, och olikheterna i de särskilda trädslagens ljusbehov utjämnas. Ju mer en kemisk eller fysikalisk faktor i jorden är övervägande, t. ex. brist på ett visst näringsämne, ringa eller alltför stor fuktighet o. s. v., desto färre trädslag uppträda i blandbestånden, och desto mera övervägande bliva de rena. Såsom exempel på dessa förhållanden

kunna anföras å ena sidan våra växa och således bildar rena bestånd där en mängd träddarter förekomma.

De skuggfördragande trädslagen äro än ljusbehövande och detta med påverkningar såsom skogseldar, kalla rena bestånd äro förhanden.

Beståndens blandningsförhållanden kunna småningom skeende förändring, utvecklingsbetingelser, dels på grund av markbetäckningen kunna under en längre tid av ett visst bestånd sida ett vaksamt öga och ett om

<sup>1</sup> MAYR, Waldbau auf naturgesetzl.

• Dr Google say : (with some help) ☺

To what extent *mixed stands* occur in natural forests due to essential part of climate and site conditions. ....

The better the soil, the greater the prospects for the emergence of mixed stands and the several species occur therein. On the better *sites* may namely several species their claims to satisfied.



# Management of spruce and birch

Birch are not  
lacking in  
young forest

