

Modellering av naturlig avgång i Heureka

För närvarande är modellen för beräkning av naturlig avgång i Heureka tämligen primitiv. För normalskogen tillämpas s.k. Bengtsson-avgång (AGB), men inte enligt Göte Bengtssons ursprungliga funktioner från 1978 (se Elfving 2010: Growth modelling in the Heureka system, sid. 65) utan med enkla medeltal för årlig avgångsprocent av grundytan vid tillväxtperiodens början för olika landsdelar och trädslag enligt tab. 1. Dessa värden infördes sannolikt i Hugin på 1990-talet och har direktimporterats till Heureka.

Tabell 1. Tillämpade data i Heureka för beräkning av naturlig avgång (AGB). Siffrorna avser årlig avgång i procent av grundytan vid tillväxtperiodens början

Landsdel	Trädslag			
	tall	gran	björk	övrigt löv
Norra Sverige	0,14	0,025-akl	0,78	0,35
Södra Sverige	0,38	0,36	0,46	0,46

För täta bestånd med grundyta över självgallringsgränsen, beräknad enligt Söderberg (1986), tillämpas Söderbergs avgångsfunktion för täta bestånd (AUS). För bestånd med grundytor nära gränsen tillämpas en uppmjukad övergång mellan AGB och AUS. I figur 1 jämförs självgallringsgränsen enligt Söderberg med grundyteutvecklingen för ogallrade parceller i GG-försöken, samt enligt en därpå grundad funktion. Nivån på kurvorna ökar enligt funktionen med utgångsbeståndets täthet och med latituden. Det är uppenbart att G_{max} ökar med SIH och går mot asymptoter kring 30 m²/ha för SIH=20, 50 för SIH=28 och 70 för SIH=36. Jämförelse av grundyteutvecklingen enligt kurvorna och beräknad grundytetillväxt i olika perioder anger årliga avgångsnivåer på 0,8-1,0 % vid självgallringsgränsen, i överensstämmelse med Söderbergs avgångsfunktion.

358

B. Elfving / Forest Ecology and Management 260 (2010) 353-360

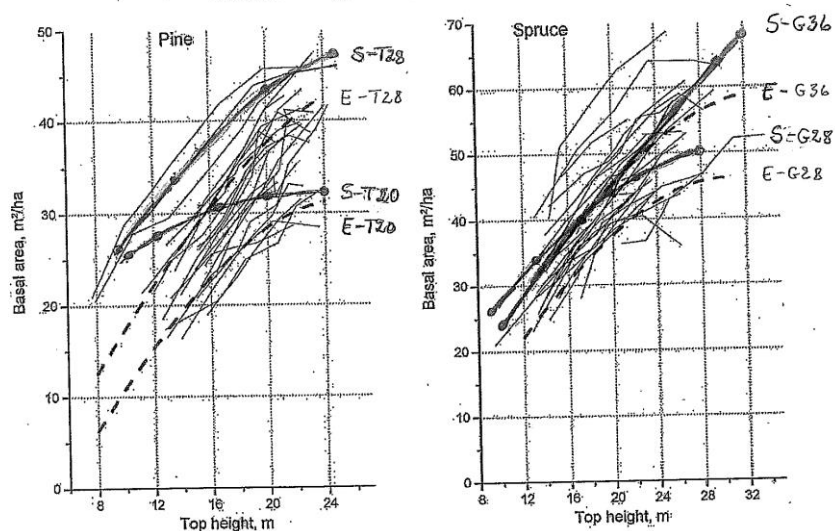


Fig. 4. Development of standing basal area with increasing top height in non-thinned stands. Note the different scales for the species. Dashed curves illustrate funktion f_2 with $N1=2500$, $LAT=58$ and $SIH=20$ and 28 for pine, 28 and 36 for spruce.

Figur 1. Grundyteutveckling på ogallrade parceller i GG-försöken samt enligt Söderbergs (S) och Elfving (E) funktioner.

Fridman & Ståhl (2001) beräknade funktioner i tre steg för att skatta den naturliga avgången. I steg 1 skattades sannolikheten för avgång på en yta, i steg 2 den genomsnittliga avgångsprocenten av grundytan på ytor med avgång och i steg 3 sannolikheten för enskilda trädsgångar som funktion av bla diameter och trädslag. Modellen avsåg att beakta inverkan av den spatiala ojämnheten för avgången i prognoserna och bör tillämpas stokastiskt för att komma till sin rätt. I Heureka tillämpas inte slumpvariation så modellen i sin helhet är inte användbar. Av okänd anledning verkar den också ge mycket låga avgångar. Kombination av de två första funktionerna borde ge avgångsprocenter enligt tabell 1 men det gör de inte, jfr tabell 2. För att nå upp till nivåerna enligt tabell 1 måste avgångarna enligt Fridman & Ståhl multipliceras med en faktor på 3-4. För fördelning av avgången på träd inom bestånd används steg 3 enligt Fridman & Ståhl, och detta verkar fungera väl.

Tabell 2. Beräknad avgång enligt Fridman & Ståhl 2001 vid olika variabelkombinationer. Fall 1 avser ett referensalternativ, i övriga fall ändras värdet på en variabel i taget (markerad med fetstil) för att studera effekter

Fall	alt	age	G	N	dbh	dec.prop	10-dec	fukt	thbef	I. p(mort)	II.mort-prop	årl avg-%
1	300	50	25	1000	17,84	0	0	0	0	0,168	0,0298	0,1005
2	300	50	25	1000	17,84	1	1	0	0	0,232	0,0340	0,1579
3	300	30	25	1000	17,84	0	0	0	0	0,168	0,0293	0,0986
4	300	80	25	1000	17,84	0	0	0	0	0,168	0,0313	0,1054
5	300	50	25	1000	17,84	0	0	0	1	0,168	0,0343	0,1156
6	300	50	25	1000	17,84	0	0	1	0	0,187	0,0332	0,1244
7	100	50	25	1000	17,84	0	0	0	0	0,151	0,0298	0,0902
8	500	50	25	1000	17,84	0	0	0	0	0,208	0,0298	0,1241
9	300	50	40	1000	22,57	0	0	0	0	0,224	0,0296	0,1322
10	300	50	10	1000	11,28	0	0	0	0	0,093	0,0406	0,0756
11	300	50	25	500	25,23	0	0	0	0	0,107	0,0557	0,1188
12	300	50	25	2000	12,62	0	0	0	0	0,209	0,0198	0,0828
13	300	100	40	1000	22,57	0	0	0	0	0,224	0,0324	0,1448
14	300	200	40	1000	22,57	0	0	0	0	0,224	0,0466	0,2082
15	300	30	15	1500	11,28	0	0	0	0	0,134	0,0279	0,0746
16	300	50	25	1000	17,84	0	0	0	0	0,168	0,0298	0,1005
17	300	80	35	600	27,25	0	0	0	0	0,137	0,0511	0,1403

Elfving (2010) beräknade följande avgångsfunktion baserad på data från GG-försöken:

$$AMG = -0,4093 + 0,02189 \cdot SIH + 0,005373 \cdot DENS^2 + 0,3817 \cdot H \cdot TPG^3 + 0,01252 \cdot H \cdot THF$$

AMG står här för årlig avgångsprocent av grundytan vid tillväxtperiodens början, SIH är ståndortsindex enligt höjdbonitering (m), DENS = $N \cdot H^2 / 100000$ där N är stamantal per ha och H är övre höjd (m), TPG är andel utgallrad grundyta och THF är en dummyvariabel för ogallrade och höggallrade parceller. Beräknad avgång vid olika variabelkombinationer visas i tabell 3.

Funktionen avser trädslagsrena och likåldriga bestånd av tall och gran. Avgångsnivån enligt denna funktion stämmer med den som registrerats vid rikstaxen och i motsvarande studier i Finland. För att generalisera funktionen kan avgångsnivån höjas linjärt i proportion till lövträdsandelen av grundytan till en 50 % högre nivå i rena lövträdsbestånd, i enlighet med

utfallet av Fridman & Ståhl, jfr tab 2 fall 1 och 2. Denna lösning måste dock också betecknas som en nödlösning. Enklast vore trädvisa funktioner som baseras på ett representativt material, såsom de norska funktionerna av Eid & Tuhus (2001). Fridman & Ståhls tredje steg har en sådan utformning men baseras bara på data från ytor med avgång, ca 15 % av totala antalet ytor.

Tabell 3. Beräknad avgång enligt Elfving 2010 för olika variabelvärden. Värden i fetstil ändrade från föregående fall.

Fall	si	h	N	gallr	ogallr	nh2	avg%	Beståndstyp
1	24	13	2500	0	1	4,23	0,375	tidigt röjt, lämnas ogallrat
2	24	17	1750	0	1	5,06	0,466	"
3	24	24	886	0	1	5,10	0,556	"
4	24	24	600	0	1	3,46	0,481	engångsgallrat, sedan orört
5	24	24	886	0	0	5,10	0,256	tätt utgångsläge, välgallrat
6	24	24	500	0,35	0	2,88	0,553	sent gallrat
7	24	24	300	0,6	0	1,73	2,111	skärmställt
8	24	13	2500	0	0	4,23	0,212	sent röjt, dvs inte ogallrat
9	24	13	1400	0	0	2,37	0,146	starkare röjt, "
10	28	13	1400	0	0	2,37	0,234	" , högre si
11	20	13	1400	0	0	2,37	0,059	" , lägre si
12	24	15	1400	0	0	3,15	0,169	som 9, nästa 5-årsperiod
13	28	26,5	727	0	1	5,11	0,675	som fall 4, högre si
14	32	25	1800	0	1	11,25	1,284	tät ogallrad gran på bördig mark

För att nå en bättre lösning har data från första mätperioden på de permanenta NFI-ytorna använts till nya avgångsfunktioner. Dessa data användes till att beräkna grundytetillväxtfunktioner för 15 år sedan och återfanns i väl rensade och dokumenterade datafiler i arkivet. Totalt omfattar materialet 239 333 träd på ca 16 000 provytor varav 3 875 träd (1,6 %) noterades som döda under den 5-åriga observationsperioden. Av småträd (d<10 cm) fanns 4353 återinventerade träd varav bara 41 träd noterats som döda (0,94 %). Dessa småträd har bedömts vara mindre representativa och uteslutits ur bearbetningen. Vidare har ytor som gallrats under perioden uteslutits. Kvar finns 174 625 träd på 14 494 ytor med fördelning enligt tabell 4.

Tabell 4. NFI-data från permanenta NFI-ytor 1983/88 – 1987/92 för avgångsanalyser

Trädslag	Antal träd	Därav döda	Avg.-% på 5 år
Tall	58534	1018	1,74
Gran	76244	1273	1,67
Björk	28210	778	2,76
Asp	2618	66	2,52
Bok	1580	16	1,01
Ek	2341	34	1,45
Övr. ädla	435	4	0,92
Övr. triviala	4663	318	6,82
Totalt	174625	3507	2,01

Avgångsfunktionerna är beräknade med logistisk regression, tabell 5. I funktionerna för tall, gran och björk har bara variabler med minst tvåstjärnig signifikans medtagits ($p < 0,01$). I funktionerna för övrigt löv har restriktionen varit enstjärnig signifikans ($p < 0,05$).

Tabell 5a. Funktioner för naturlig avgång baserade på NFI-data 1983/88 – 1987/92.
 $\text{pavg5} = \text{sannolikheten för avgång på 5 år} = 1/(1+\exp(y))$, där funktionerna ger y-värdet

Variabel	Trädslag											
	Tall		Gran		Björk		Ädel-löv		Trivial-löv		Asp	
	koeff.	p	koeff.	p	koeff.	p	koeff.	p	koeff.	p	koeff.	p
Intercept	5.4652		5.4954		3,0519		-0.5810		0.2550		5.2462	
balgdp1	-0.9399	<0.0001	-0.5258	<0.0001	-0.6463	<0.0001	-0.5083	<0.0001	-0.3375	<0.0001	-0.3946	0.0126
d			-0.0192	0.0008								
grandel	-0.7489	<0.0001	-0.5457	<0.0001								
blöt	-1.3738	<0.0001	-1.4683	<0.0001	-0.7747	<0.0001			-0.7113	0.0084		
fuktighet	-0.2746	<0.0001										
torv	-0.2105	<0.0001										
ört	-0.3212	<0.0001	-0.5039	<0.0001								
kant	0.3338	<0.0001	-0.2360	0.0002								
gallrad	0.4015	<0.0001	0.2985	<0.0001	0,3974	<0,0001						
nygallrad			-0.2800	0.0002								
ålder/100			-0.6640	<0.0001	-0.7160	<0.0001					-1.1700	0.0106
SIS			0.0276	0.0003								
hojdoh/100					-0.1780	<0.0001					-0.275	0.0055
G/SIS					0.3966	<0.0001						
Lat-50					0.3280	0.0005						
(lat-50) ²					-0,0151	0,0001						
tsumma/100							0.3800	0.0137	0.2250	<0.0001		

Variabeldefinitioner

bal = ”basal area of larger trees” dvs grundyta i m²/ha för träd som är grövre än aktuellt träd

balgdp1 = bal/(d+1)

d = trädets brösthöjdsdiameter, cm

grandel = andelen gran av grundytan (0-1)

blöt = provytan ligger på blöt mark (fuktigh=4 i tax 83-92, =5 från tax 93+)

fuktighet = kod för fuktigh enligt tax 83-92 (1=torr, 2=frisk, 3=fuktig, 4=blöt)

torv = kod enligt tax, 0=fastmark, 1 torv på < halva ytan 2 på mer, 3 på hela

ört = veg. typskod 1-8 enligt tax (örter, bredbladiga gräs, utan fältskikt)

kant = provytan gränsar mot lägre bestånd eller öppen mark

gallrad = ytan har gallrats mellan 3 och 20 år före tillväxtperiodens början

nygallrad = ytan har gallrats 0-2 år före tillväxtperiodens början

ålder = grundytavägd total beståndsålder, medeltal av tax-variablerna bestald och gryvald

SIS = ståndortsindex för bonitetsvisande trädslag enligt ståndortsbonitering, m

hojdoh = höjd över havet i meter

lat = breddgrad, grader norr

G = total grundyta vid tillväxtperiodens början, m²ha

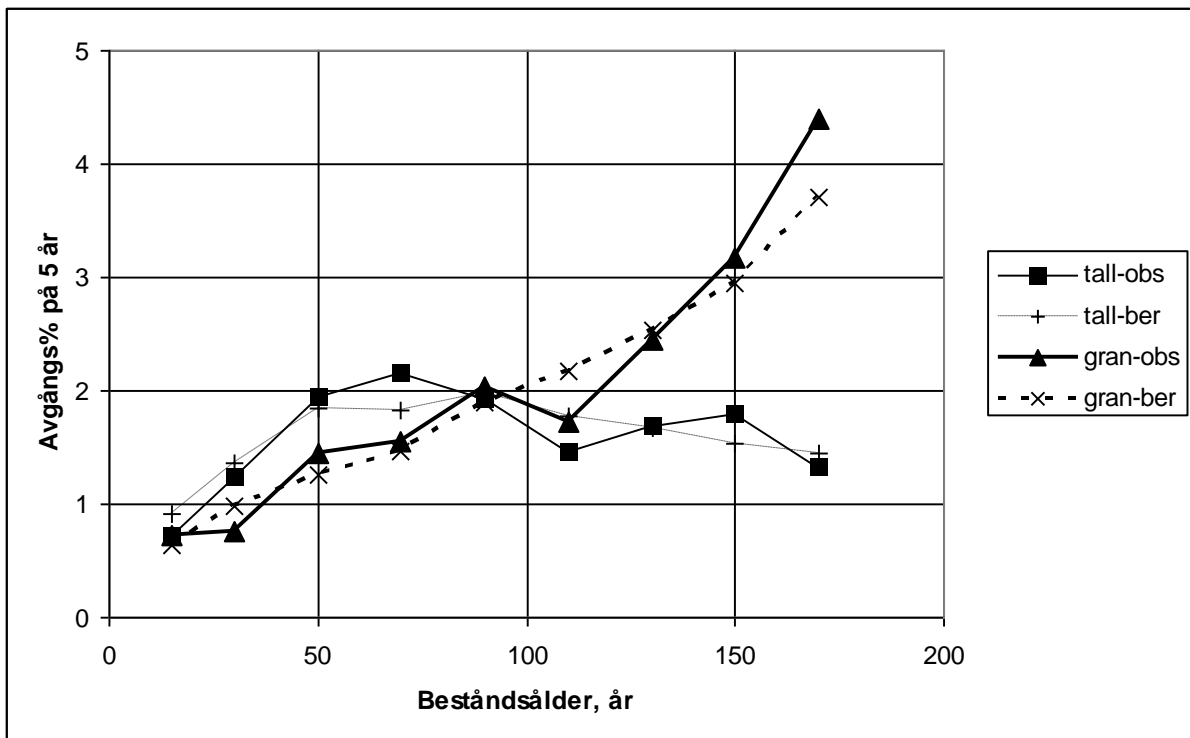
Tsumma = temperatursumma enligt tax-variabeln tsumma, dag-grader per år > 5 °C

Variabeln baldgp1 (se tabell 5a) fångar trängselns inverkan på avgångsmönstret och är den starkaste variabeln för alla trädslag. Beståndsåldern är en stark variabel i gran- och björkfunktionerna men inte i tallfunktionen, jfr figur 2. Hög markfuktighet medför hög avgång för alla trädslagen utom asp och ädla lövträd. För tall och gran är också avgången större på örtdominerade/ bördiga marker än på övriga marker. Tall och björk uppvisar lägre avgång i beståndskanter mot öppen mark medan gran uppvisar förhöjd avgång i sådana kanter. Funktionerna med variabeln kant är inte användbara i Heureka. Därför redovisas också funktioner utan denna variabel i tabell 5b.

Tabell 5b. Avgångsfunktioner utan variabeln kant. I övrigt, se tab. 5a

Variabel	Trädslag					
	Tall		Gran		Björk	
	koeff.	p	koeff.	p	koeff.	p
Intercept	5.5057		5.4892		3,0519	
baldgp1	-0.9254	<0.0001	-0.5312	<0.0001	-0.6463	<0.0001
d			-0.0201	0.0004		
grandel	-0.7544	<0.0001	-0.5338	<0.0001		
blöt	-1.3815	<0.0001	-1.4598	<0.0001	-0.7747	<0.0001
fuktighet	-0.267	<0.0001				
torv	-0.2021	<0.0001				
ört	-0.3159	<0.0001	-0.4963	<0.0001		
gallrad	0.4068	<0.0001	0.2925	<0.0001	0.3974	<0.0001
nygallrad			-0.2911	0.0001		
ålder/100			-0.657	<0.0001	-0.7160	<0.0001
SIS			0.0256	0.0007		
hojdoh/100					-0.1780	<0.0001
G/SIS					0.3966	<0.0001
(lat-50)					0,3280	0.0005
(lat-50) ²					-0,0151	0,0001

Det finns en viss risk för övervärdering av signifikanserna i detta sammanhang. När flera träd dött av samma anledning på en yta så är inte observationerna oberoende. T ex är variabeln blöt starkt signifikant för alla huvudträdslagen och man kan misstänka att det här kan röra sig om översvämning, t ex pga bäverdamm, så att alla träden dött på några få ytor. En närmare granskning visar att 177 träd dött på 46 blöta ytor. Totala antalet blöta ytor är 149 så andelen ytor med avgång är 31 % i denna grupp jämfört med 16 % i övriga delar av materialet. Denna analys på ytnivå visar att risken för avgång är extra stor på blöt mark. Samtidigt bekräftas misstanken om extra stor avgång på några få ytor. På två ytor hade 23 respektive 19 träd dött medan övriga döda träd hade en mer utspridd fördelning.



Figur 2. Avgångens samband med beståndsåldern för tall och gran. Observerade och med funktionerna beräknade värden visas. Variabeln ålder ingår inte i tallfunktionen men i granfunktionen är denna variabel signifikant.

I tabell 6 jämförs beräknad avgång enligt olika funktioner för tre olika typbestånd på ”normalmark”, ett tätt och ett glest bestånd med normalfördelade diametrar och ett glest bestånd med omvänd j-fördelning av diameterarna (många små och få stora träd). För varje trädslag antas beståndet vara trädslagsrent. För gran anger Fridman & Ståhl (F&S) högre avgång i glesa än i täta beståndet vilket förefaller orimligt. Eid & Tuhus (E&T) anger högre avgång än Elfving enligt tabell 5 (E-13), särskilt uttalat i typfall 3. Även för tall ger E&T högre avgång än E-13 för fall 3. För tätt tallbestånd anger E-13 högre avgång än E&T. För björk ger E&T betydligt högre avgångar än E-13 medan beståndsformen har liten inverkan på avgångsnivån enligt båda funktionerna. Den norska funktionen för övrigt löv omfattar både ädla och triviala lövträd och anger lägre avgångsnivå än E-13 för triviala lövträd, där det främst är al, sälg och rönn som ingår. E-13 för ädla lövträd anger betydligt lägre avgångsnivåer.

Tabell 6. Beräknad årlig avgång för typ-bestånd enligt olika funktioner. Ansatta fördelningar visas nedtill i tabellen, med n-förd menas approximativ normalfördelning

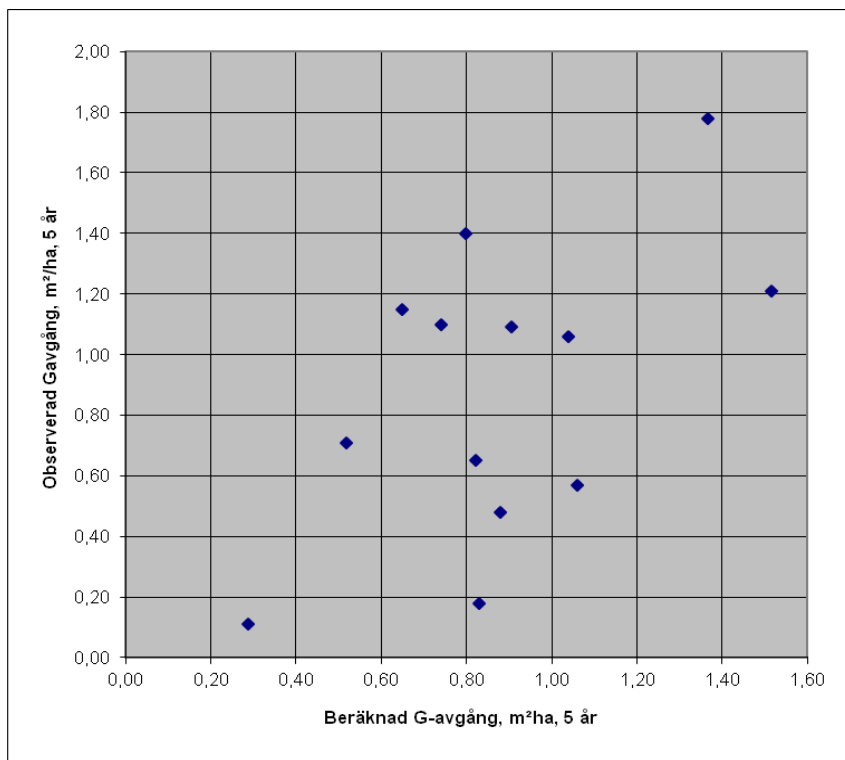
Typbestånd	Granfunktioner						Tallfunktioner					
	E&T		F&S		E-13		E&T		F&S		E-13	
	n%	g%	n%	g%	n%	g%	n%	g%	n%	g%	n%	g%
Tät, n-förd	0,61	0,42	0,44	0,32	0,64	0,34	0,85	0,38	1,25	0,69	1,49	0,48
Gles, n-förd	0,40	0,31	0,94	0,79	0,29	0,24	0,38	0,21	1,30	0,81	0,40	0,22
Gles, omv-j-förd	0,64	0,37	0,71	0,49	0,29	0,22	1,07	0,37	0,92	0,42	0,48	0,23

	Björkfunktioner						Övrigt löv-funktioner					
	E&T		F&S		E-13		E&T		F&S		E-13	
	n%	g%	n%	g%	n%	g%	n%	g%	n%	g%	n%	g%
Tät, n-förd	0,87	0,84	0,75	0,42	0,99	0,46	1,61	1,18	2,4	2,2	2,70	2,04
Gles, n-förd	0,87	0,84	1,72	1,16	0,55	0,42	1,21	0,97	2,4	2,2	1,99	1,74
Gles, omv-j-förd	1,07	0,91	1,48	0,72	0,73	0,42	2,13	1,21	3,7	2,6	2,23	1,77

	St/ha i olika d-klasser							Ädel-löv-funktioner					
								S:a		F&S		E-13	
	5	10	15	20	25	30		G	n%	g%	n%	g%	
Tät, n-förd	50	150	300	500	300	100	1400	44	0,48	0,19	0,60	0,31	
Gles, n-förd	25	75	150	250	150	50	700	22	0,47	0,28	0,29	0,22	
Gles, omv-j-förd	640	320	160	80	40	20	1260	12,5	0,55	0,39	0,34	0,23	

De nya avgångsfunktionerna har testats med data från de sk urskogsytor. De omfattar 13 c-ytor med radien 20 m utlagda 1987 i reservat i norra Sverige. Alla träd och plantor på dessa ytor (totalt 2776 st) har koordinatlagts och återinventerats efter 16 år. Avgången bland träd med dbh>5 cm beräknas i medeltal till 0,88 m² per hektar och 5 år vilket helt överensstämmer med den uppmätta. Variationen i avgång mellan provytor är dock stor, figur 3. Korrelationen mellan beräknad och uppmätt avgång är bara r²=0,31. För ytorna nr 1 Hällberget och nr 3 Kirjesålandet beräknas 5-årsavgången till 0,8 m²/ha i båda fallen medan den uppmätta (omräknad från 16 till 5 års avgång) var 0,2 på yta 1 och 1,4 på yta 3. Ytorna är båda granytor i kärva lägen med beståndsåldrar på ca 200 år. På yta 1 var stamantal-grundyta-volym 1200-22-139 och på yta 3 1500-19-104. Tillväxten under observationsperioden har varit 1,4 m³sk/ha, år på båda ytorna.

Avgångsfunktionerna gäller i princip bara för träd med dbh>10 cm. I beräkningen begränsades värdet på variabeln balgdp1 till max 2,5, varvid rimliga avgångsnivåer erhöles även för mindre träd, tabell 7. Med denna anpassning gav funktionerna en mycket god prognos för avgångens fördelning på dimensionsklasser och trädslag.



Figur 3. Beräknad och observerad avgång på urskogsyterna

Tabell 7. Fördelning av observerad och beräknad avgång på urskogsyterna

Trädslag	Diameterklasser						tot	>5	>10
	0-5	5-10	-20	-30	-40	40+			
Observerade avgångar									
tall	33	9	2	2	1	1	48	15	6
gran	109	44	31	18	5	2	209	100	56
björk	95	42	41	8			186	91	49
övr-löv	28	12	15	1			56	28	16
Tot	265	107	89	29	6	3	499	234	127
Beräknade avgångar									
tall	19,6	9,6	4,9	1,1	0,8	0,5	36,5	16,9	7,2
gran	103,6	50,7	30,6	12,7	5,7	2,9	206,1	102,6	51,9
björk	107,4	35,7	42,1	9,9	2,5	0,0	197,7	90,2	54,5
övr-löv	31,5	6,1	15,9	1,8	0,0	0,0	55,3	23,8	17,7
Tot	262,2	102,1	93,5	25,5	8,9	3,4	495,6	233,4	131,3

Ett försök har också gjorts att jämföra beräknad och observerad avgång i första tillväxtperioden på de ogallrade parcellerna i GG-försöken. För tall räknades med frisk ristyp och en tämligen normalfördelad diameterfördelning. Den beräknade avgångsprocenten blev 0,42 jämfört med den observerade 0,41. För gran räknades med örttyp och SIS=30 m, ålder 30 år och en diameterfördelning med omvänd j-form. Här blev den beräknade avgången 0,34 medan den observerade var 0,78. Orsaken till den kraftiga underskattningen har inte gått att

fastställa. Här krävs en grundligare granskning. Tills vidare får vi konstatera att de nya avgångsfunktionerna underskattar avgången i täta granskogar på bördiga marker.

Den ökade risken för avgång de första åren efter mycket starka gallringar kommer inte fram i de nya avgångsfunktionerna. Variabeln nygallrad var signifikant för gran men inte för tall. Effekten är tydligare i GG-försöken där avgångsprocenten första tillväxtperioden efter engångsgallring (60-70 % uttag) var mer än dubblerad jämfört med ogallrat bestånd för både tall och gran, se Elfving 2010 tab 4-5. I avgångsfunktionen modellerades effekten som funktion av $H \cdot TPG^3$, dvs övre höjden gånger gallringsandelen av grundytan upphöjd till 3. Efter moget övervägande föreslår jag följande tillägg i variabellistorna för tall och granfunktionerna: $-0,36 \cdot \text{nygallrad} \cdot dg \cdot TPG^3 \cdot q$, där dg (cm) står för grundytamedelstammens diameter i det kvarvarande beståndet. Om möjligt bör dg bytas ut mot hgv (m). Variabeln q står för gallringskvoten, avgångsrisker är större för gängliga träd efter höggallring än för de stabilare träden efter låggallring, jf t ex Tjernell 2007.

Referenser

Elfving, B. 2010. Natural mortality in thinning and fertilisation experiments with pine and spruce in Sweden. For. Ecol Manage. 260:353-360.

Eid, T. & Tuhus, E. 2001. Models for individual tree mortality in Norway. For. Ecol. Manage. 154; 69-84.

Fridman, J. & Ståhl, G. 2001. A three-step approach for modelling tree mortality in Swedish forests. Scand. J. For. Res. 16: 455-466.

Söderberg, U. 1986. Funktioner för skogliga produktionsprognoser. SLU, avd. för skogsuppskattning och skogsindelning. Rapport 14.

Tjernell, T. 2007. Vindfällning, tillväxt och plantuppslag i en 13-årig granskärm i Medelpad. SLU, inst för skogens ekologi och skötsel. Examensarbete 2007:7.