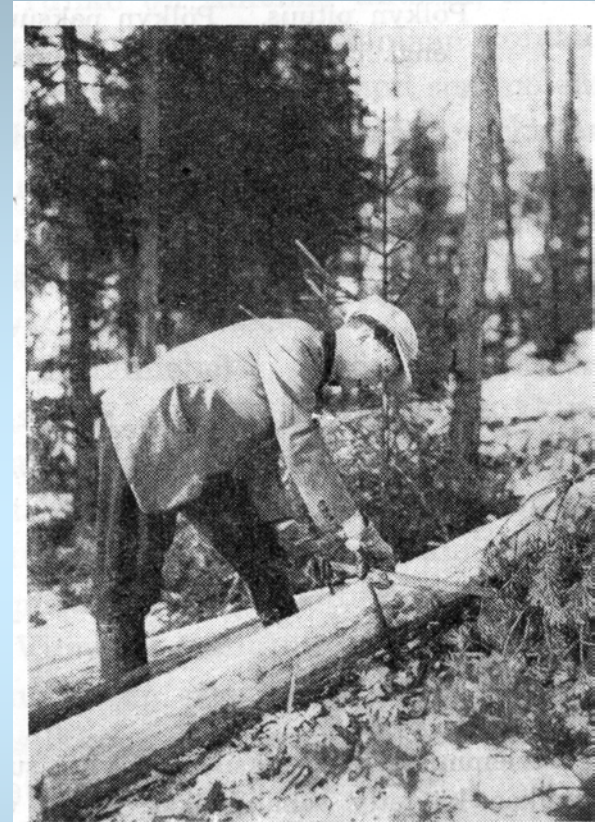


# Katkonnanohjaus evoluutiolaskennan keinoin

Askel kohti  
optimaalista  
tavaralajijakoa



Kuva 80. Runko jaetaan tukeiksi huolellisen mittauksen perusteella.

*Veli-Pekka Kivinen*  
*HY, Metsävarojen käytön laitos*

# Katkonnanohjauksen problematiikkaa

- **Miten arvo-/tavoitematriisit tulisi asettaa?**
  - Samat matriisit jokaiseen leimikkoon  
vai leimikkokohtaisesti säädetyt matriisit?
  - Miten säätää/optimoida tavoitejakaumia?
- **Miten tavoitejakauman ja toteutuneen tukkijakauman välistä yhteensopivuutta (goodness-of-fit) tulisi mitata?**
- **Tavaralajien optimaalinen allokointi?**

# Evoluutiolaskenta

- Heikot sortuu elon tiellä...

- **Evoluutiostrategiat**

Rechenberg, Schwefel 1963→

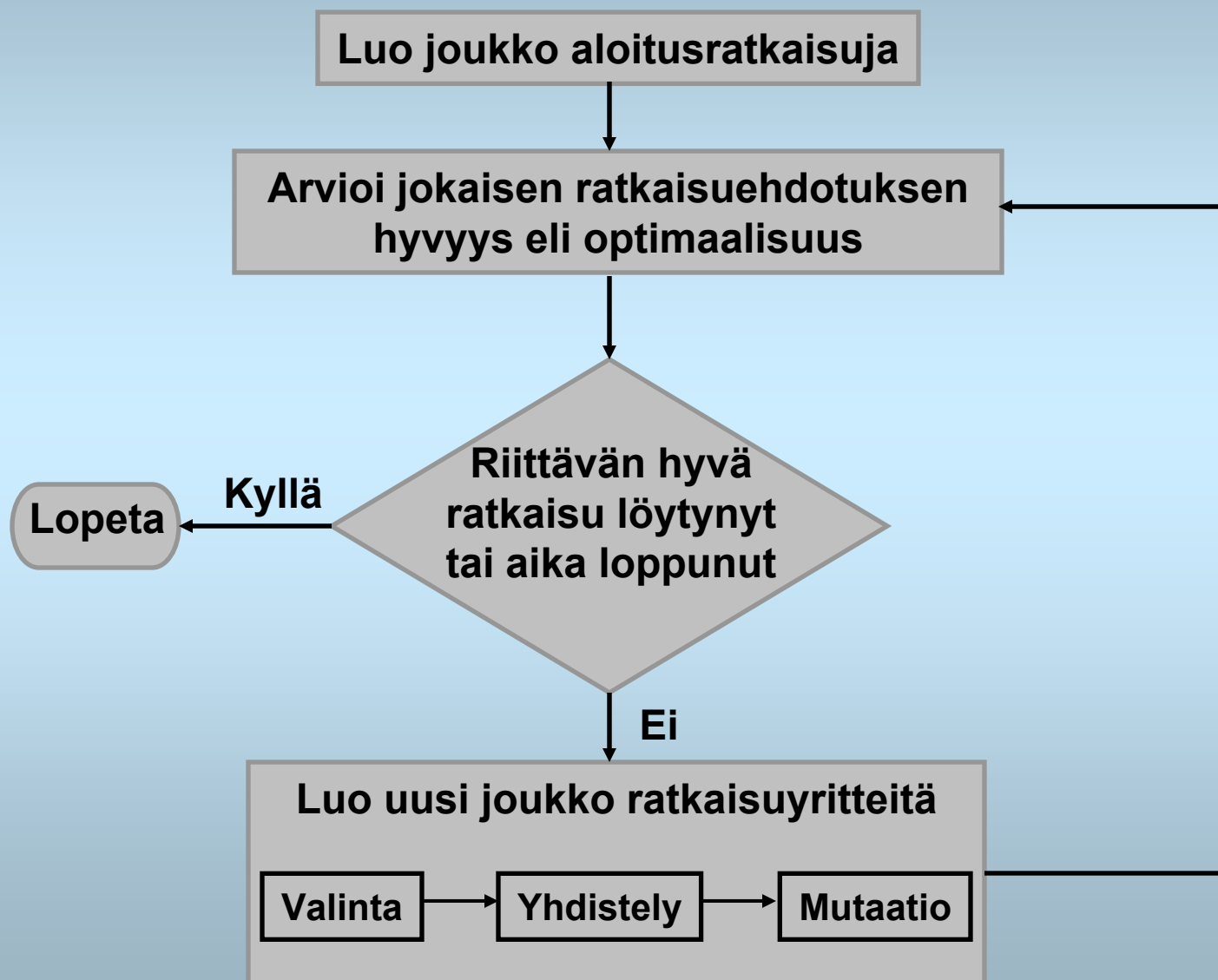
- **Evoluutio-ohjelmointi**

Fogel, Owens, Walsh 1965→

- **Geneettiset algoritmit (GA)**

Holland 1960→

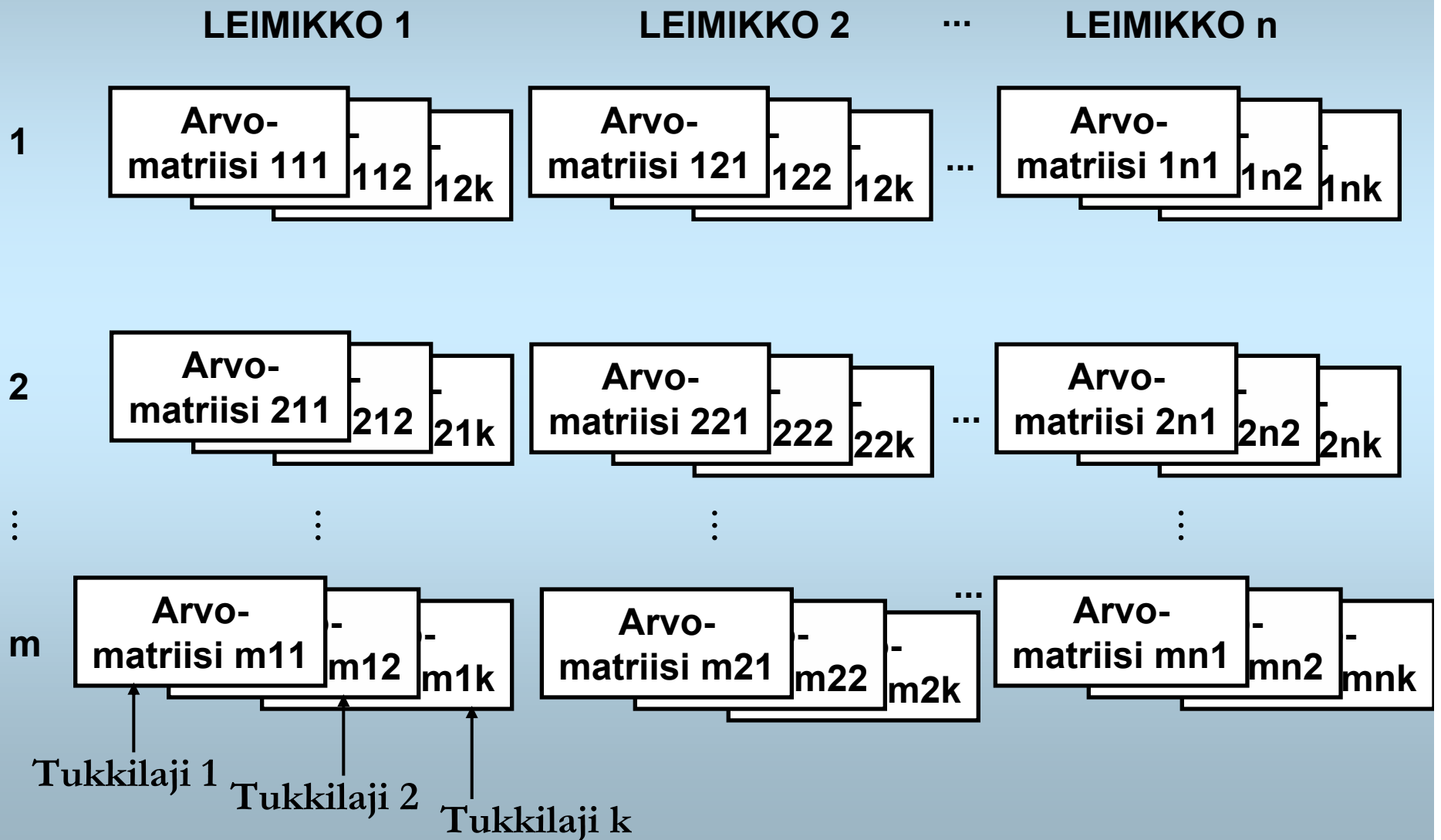
# Geneettinen algoritmi (GA)

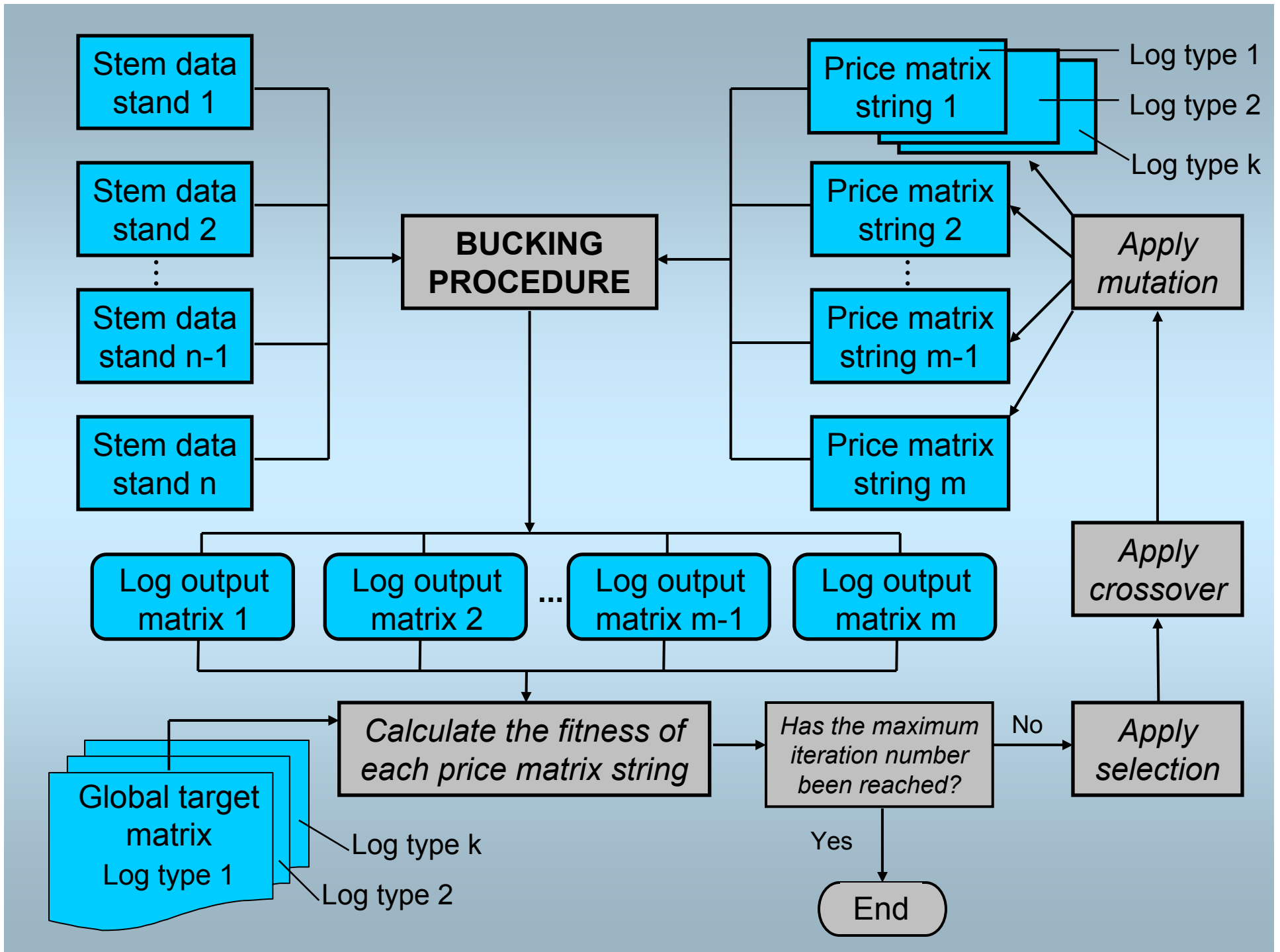


# Geneettinen algoritmi (GA) arvo- ja/tai tavoitematriisien optimointiin

- **Yksitavoiteoptimointia**
  - Tavoitteena maksimoida toteutuneen tukkijakauman ja tavoitejakauman välinen yhteensopivuus etsimällä optimaalisia matriisikombinaatioita
- **Kokonaisoptimointia (forest level)**
  - Usean leimikon rinnakkainen käsittely
  - Usean tukkitavaralajin rinnakkainen käsittely
    - tavaralajiallokointi mukana
- **Rajoittamaton optimointia**
  - Ei määrä tms. rajoitteita

# Ratkaisuyritteiden koodaus





# Geneettinen optimointialgoritmi

- **Lähtötiedot**

1. Leimikoiden runkotiedot

- Runkokäyrät STM-formaatissa
- Valmius lukea laaturajat (mänty); ei vielä mukana optimoinnissa
- Optimointitesteissä sekä todelliset (moto) että estimoidut (ennakkomittaus) puustotiedot

2. Tavaralajeittaiset tavoitejakaumat

- Tavoite yli koko matriisin tai
- Läpimittaluokittainen pituustavoite



# Geneettinen optimointialgoritmi

- **Lähtöpopulaation ratkaisuyritteet**
  - Generoidaan satunnaisesti annetulta lukualueelta
- **Ratkaisuyritteiden hyvyden mittaaminen**
  - Tavoitejakaumien ja toteutuneiden tukkijakaumien vertailu summatasolla:

**Tukki 1:** Tav.jak.  $\leftrightarrow$  Tot.Kok.Jak.  $\rightarrow$  Hyv.arvo 1  
**Tukki 2:** Tav.jak.  $\leftrightarrow$  Tot.Kok.Jak.  $\rightarrow$  Hyv.arvo 2  
**Tukki k:** Tav.jak.  $\leftrightarrow$  Tot.Kok.Jak.  $\rightarrow$  Hyv.arvo k

} Kokonais-  
hyvyys-  
arvo

# Katkontatuloksen hyvyyden mittaaminen

- Jakauma-aste

Tavoitejakauma (%)

Lpm (mm)	Tukin pituus (cm)			
	400	430	460	490
160	2	2	3	3
200	3	5	5	5
250	3	6	10	10
300	3	10	15	15

Toteutunut jakauma (%)

Lpm (mm)	Tukin pituus (cm)			
	400	430	460	490
160	25	0	0	0
200	0	25	0	0
250	0	0	25	0
300	0	0	0	25

$$\begin{aligned} \text{Jakauma-aste} &= \min(0.02, 0.25) + \min(0.05, 0.25) + \\ &\quad \min(0.1, 0.25) + \min(0.15, 0.25) = 0.32 \text{ (32\%)} \end{aligned}$$

# Katkontatuloksen hyvyyden mittaaminen

- Khi-toiseen ( $\chi^2$ ) testistatistiikka

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (o_{ij} - e_{ij})^2 / e_{ij}$$

$o_{ij}$  = Havaittu frekvenssi (tukkien lkm) tukkiluokassa (i,j)

$e_{ij}$  = Odotettu (tavoite) frekvenssi tukkiluokassa (i,j).

- Hyvä yhteensopivuus:  $\chi^2 \rightarrow 0$
  - Huono yhteensopivuus:  $\chi^2 \rightarrow \infty$
- } Tulkinta?

↓  
Skaalaus välille [0,1] kontingenssikertoilla (C):

$$1 - C = 1 - [\chi^2 / (\chi^2 + N)]^{1/2}$$

# Katkontatuloksen hyvyyden mittaaminen

- Khi-toiseen ( $\chi^2$ ) testistatistiikka

Tavoitejakauma (%)

Lpm (mm)	Tukin pituus (cm)			
	400	430	460	490
160	2	2	3	3
200	3	5	5	5
250	3	6	10	10
300	3	10	15	15

Toteutunut jakauma (kpl)

Lpm (mm)	Tukin pituus (cm)			
	400	430	460	490
160	25	0	0	0
200	0	25	0	0
250	0	0	25	0
300	0	0	0	25

$$\chi^2 = (25-2)^2/2 + (0-2)^2/2 + \dots + (0-15)^2/15 + (25-15)^2/15 = 441.667$$

$$\text{Kontingenssikerroin (C)} = [441.667/(441.667+100)]^{0.5} = 0.903$$

$$\rightarrow 1 - C = 0.097$$

# Katkontatuloksen hyvyyden mittaaminen

- **Indeksiteoria: Laspeyresin volyyymi-indeksi**
  - Aggregoitu, painotettu määränmuutoksen mittari
  - painoina perus- tai vertailuajankohdan hinnat

$$Q_L = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} \times o_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} \times e_{ij}}$$

- Hyvä yhteensopivuus:  $Q_L \rightarrow 1 (\geq 1)$

- Huono yhteensopivuus:  $Q_L \rightarrow 0$

$o_{ij}$  = Havaittu frekvenssi (tukkien lkm) tukkiluokassa (i,j)

$e_{ij}$  = Odotettu (tavoite) frekvenssi tukkiluokalle (i,j)

$p_{ij}$  = Tukin (suht.) (jalostus)arvo tukkiluokassa (i, j)

# Katkontatuloksen hyvyyden mittaaminen

- Laspeyresin volyymi-indeksi

Toteutunut jakauma ( $o_{ij}$ )

Lpm (mm)	Tukin pituus (cm)			
	400	430	460	490
160	25	0	0	0
200	0	25	0	0
250	0	0	25	0
300	0	0	0	25

Jalostusarvomatriisi ( $P_{ij}$ )

Lpm (mm)	Tukin pituus (cm)			
	400	430	460	490
160	100	103	105	108
200	124	128	130	134
250	156	161	164	168
300	160	165	168	173

$$\sum \sum p_{ij} \times o_{ij} = 100 \times 25 + 128 \times 25 + 164 \times 25 + 173 \times 25 = 14\,125$$

$$\sum \sum p_{ij} \times e_{ij} = 15\,376 \quad \rightarrow \mathbf{Q_L = 0.919}$$

# Geneettinen optimointialgoritmi

- **Ratkaisuyritteiden hyvyyden mittaus**
  - Khi-toiseen statistiikka
- **Seuraavan yritesukupolven muodostaminen**
  1. Valinta: Elitismi
    - Hyvyydsarvoltaan parhaimmat jatkoon
  2. Risteytys: Uniform crossover
    - Matriisien satunnainen rekombinaatio leimikoittain ja tavaralajeittain
  3. Mutaatio: Korvaus satunnaisluvulla
    - Kunkin matriisin jokaisella solulla mahdollisuus mutatoitua

# Geneettinen optimointialgoritmi

- Uniform crossover

Vanhempi  
1

lpm/pit	370	400	430	460
160	204	155	279	137
180	260	101	263	112
200	219	188	252	297
220	179	133	172	180

Crossover  
maski

Jälkeläinen

lpm/pit	370	400	430	460
160	204	155	136	137
180	222	101	265	199
200	276	188	252	297
220	179	155	199	180

lpm/pit	370	400	430	460
160	1	1	0	1
180	0	1	0	0
200	0	1	1	1
220	1	0	0	1

Vanhempi  
2

lpm/pit	370	400	430	460
160	198	211	136	178
180	222	299	265	199
200	276	243	167	289
220	254	155	199	201



# Tavoitejakauman optimointi GA:lla

- **Miten säätää/optimoida tavoitejakaumia?**
  - Tavallisesti epäsuorasti arvomatriisien kautta:  
GA:lla toteutuneet pölkytykset tavoitteiksi
- **Tavoitejakauma on prioriteettalista**
  - Tulkitaan tukkiluokkien prioriteetit hintoina
  - Ohjataan pölkytystä pelkällä tavoitejakaumalla
  - ns. greedy algorithm (ahne algoritmi):  
Eniten puutetta → suurin prioriteetti

# Tavoitejakauman optimointi GA:lla

- Pölkytysalgoritmi:

1. Valitse katkontavaihtoehto, joka maksimoi rungon arvon (arvoapteeraus)

2. Päivitä prioriteetti(tavoite)matriisi vertaamalla toteutunutta kumulatiivista tukkijakaumaa

tavoitejakaumaan:

$$p(\text{priority}) = m \cdot \frac{(1 + \sum n)}{(1 + \sum m)} - n$$

missä

$m$  = Tukkien tavoitemäärä tukkiluokassa  $(i, j)$

$n$  = Tukkien todellinen kumulatiivinen lukumäärä tukkiluokassa  $(i, j)$

3. Palaa kohtaan 1

# Kantoja riittää kaskessa...

- **Rajoitevapaa optimointi ei vastaa todellisuutta**
    - Tavaralajeilla määrätavoitteita/-rajoitteita
    - Pieniä tavaralajieriä kallista keräillä ja kuljettaa
  - **Yksitavoiteoptimointi vain osaoptimointia**
    - Katkontatulos vain yksi kriteeri muiden joukossa
    - Esim. kuljetusetäisyys keskeinen tekijä tavaralajivalinnassa
- **Rajoitettu monitavoitteinen optimointiongelma**
- **Miten saada luotettavaa ennakkotietoa?**
    - Totaalimittaus ilmakuvilta?