

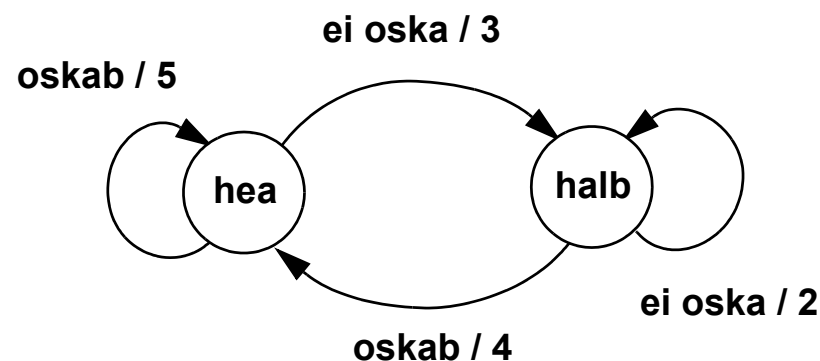
# Automaatide süntees

- ***Automaadi olekudiagrammi / tabeli genereerimine (süntees)***
  - *tabeli süntees plokk-skeemist (plokk-diagrammist)*
  - *plokk-skeemi genereerimine kõrgtaseme keeltest*
    - *riistvara kirjelduskeel (hardware description language)*
    - *vt. automaadi näiteid VHDL-i loengumaterjalides*
- **Automaadi süntees olekudiagrammist / tabelist**
  - eesmärk – automaadi efektiivne realisatsioon
    - suurus, kiirus, energiatarve, testitavus jne.
  - sisendite / väljundite kodeerimine
  - olekute kodeerimine
  - siirde- ja väljundfunktsiooni süntees ja minimeerimine
    - sõltub valitud mäluelementide tüübist (tüüpidest)



## Tabel → skeem – Mealy automaat

| <i>sisend</i> | <i>olek</i> | <i>väljund</i> | <i>uus olek</i> |
|---------------|-------------|----------------|-----------------|
| tudeng        | õppejõud    | hinne          | õppejõud        |
| oskab         | hea tuju    | 5              | hea tuju        |
| ei oska       | hea tuju    | 3              | halb tuju       |
| ei oska       | halb tuju   | 2              | halb tuju       |
| oskab         | halb tuju   | 4              | hea tuju        |



- Sisendite kodeerimine: oskab – “1”, ei oska – “0”
- Väljundite kodeerimine: 5 – “11”, 4 – “10”, 3 – “01”, 2 – “00”
- Olekute kodeerimine: hea tuju – “1”, halb tuju – “0”



## Kodeeritud tabel

| <i>sisend</i> |       | <i>olek</i> |       | <i>väljund</i> |       | <i>uus olek</i> |           |
|---------------|-------|-------------|-------|----------------|-------|-----------------|-----------|
| tudeng        | $i_t$ | õppejõud    | $s_t$ | hinne          | $o_t$ | õppejõud        | $s_{t+1}$ |
| oskab         | 1     | hea tuju    | 1     | 5              | 11    | hea tuju        | 1         |
| ei oska       | 0     | hea tuju    | 1     | 3              | 01    | halb tuju       | 0         |
| ei oska       | 0     | halb tuju   | 0     | 2              | 00    | halb tuju       | 0         |
| oskab         | 1     | halb tuju   | 0     | 4              | 10    | hea tuju        | 1         |

- Ainult koodid vajalikud
- Siirded sorteeritud (lähte)olekute järgi

| $i_t$ | $s_t$ | $s_{t+1}$ | $o_t$ |
|-------|-------|-----------|-------|
| 0     | 0     | 0         | 00    |
| 1     |       | 1         | 10    |
| 0     | 1     | 0         | 01    |
| 1     |       | 1         | 11    |

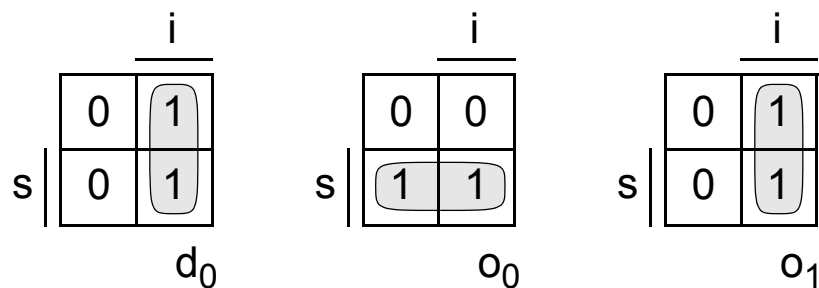
## Funktsioonide süntees

- Kodeeritud tabel
- Mäluelemendi tabel
  - vana olek & uus olek → sisendkombinatsioon(id)
  - D-trigger

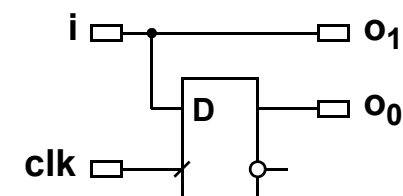
| $i_t$ | $s_t$ | $s_{t+1}$ | $o_t$ |
|-------|-------|-----------|-------|
| 0     | 0     | 0         | 00    |
| 1     |       | 1         | 10    |
| 0     | 1     | 0         | 01    |
| 1     |       | 1         | 11    |

| $Q_t$ | $Q_{t+1}$ | D |
|-------|-----------|---|
| 0     | 0         | 0 |
| 0     | 1         | 1 |
| 1     | 0         | 0 |
| 1     | 1         | 1 |

- Funktsioonide minimeerimine



$d_0 = i$   
 $o_0 = s$   
 $o_1 = i$



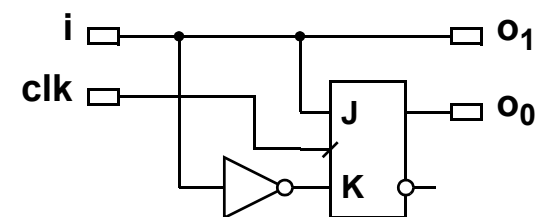
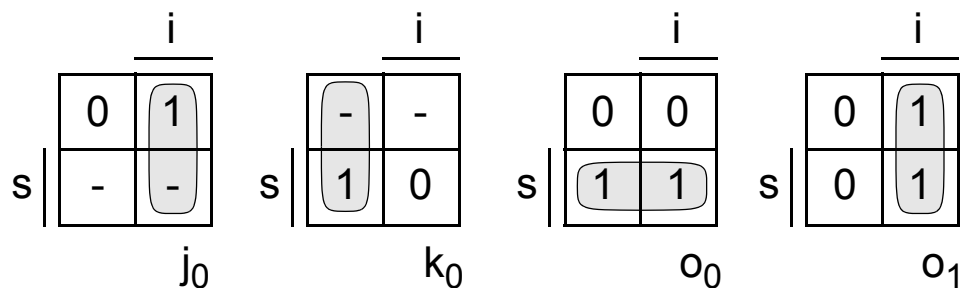
## Funktsioonide süntees (variant)

- Kodeeritud tabel
- Mäluelemendi tabel
  - vana olek & uus olek → sisendkombinatsioon(id)
  - JK-trigger

| $i_t$ | $s_t$ | $s_{t+1}$ | $o_t$ |
|-------|-------|-----------|-------|
| 0     | 0     | 0         | 00    |
| 1     |       | 1         | 10    |
| 0     | 1     | 0         | 01    |
| 1     |       | 1         | 11    |

| $Q_t$ | $Q_{t+1}$ | J | K |
|-------|-----------|---|---|
| 0     | 0         | 0 | - |
| 0     | 1         | 1 | - |
| 1     | 0         | - | 1 |
| 1     | 1         | - | 0 |

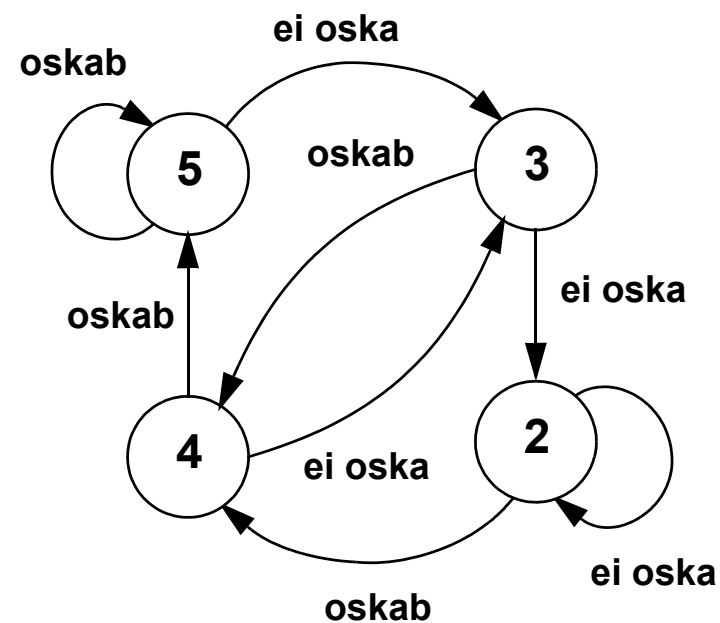
- Funktsioonide minimeerimine



## Moore automaadi süntees

- Põhimõtteliselt sama
  - olekuid rohkem
  - väljundfunktsioon lihtsam

| <i>sisend</i> | <i>olek</i>   | <i>väljund</i> | <i>uus olek</i> |
|---------------|---------------|----------------|-----------------|
| ei oksa       | halb tuju & 2 | 2              | halb tuju & 2   |
| oskab         |               |                | hea tuju & 4    |
| ei oksa       | halb tuju & 3 | 3              | halb tuju & 2   |
| oskab         |               |                | hea tuju & 4    |
| ei oksa       | hea tuju & 4  | 4              | halb tuju & 3   |
| oskab         |               |                | hea tuju & 5    |
| ei oksa       | hea tuju & 5  | 5              | halb tuju & 3   |
| oskab         |               |                | hea tuju & 5    |



# Moore automaadi süntees (järg)

## Kodeerimine

- sisend ja väljundkoodid samad
- olekud – halb tuju & 2 – “00”, halb tuju & 3 – “01”, hea tuju & 4 – “10”, hea tuju & 5 – “11”

| $i_t$ | $s_t$ | $s_{t+1}$ | $o_t$ |
|-------|-------|-----------|-------|
| 0     | 00    | 00        | 00    |
| 1     |       | 10        |       |
| 0     | 01    | 00        | 01    |
| 1     |       | 10        |       |
| 0     | 10    | 01        | 10    |
| 1     |       | 11        |       |
| 0     | 11    | 01        | 11    |
| 1     |       | 11        |       |

| $Q_t$ | $Q_{t+1}$ | D |
|-------|-----------|---|
| 0     | 0         | 0 |
| 0     | 1         | 1 |
| 1     | 0         | 0 |
| 1     | 1         | 1 |

## Funktsioonide minimeerimine

|     |       |   |       |   |
|-----|-------|---|-------|---|
|     | $s_0$ |   | $s_1$ |   |
|     | 0     | 0 | 1     | 1 |
| $i$ | 0     | 0 | 1     | 1 |
|     | $d_0$ |   |       |   |

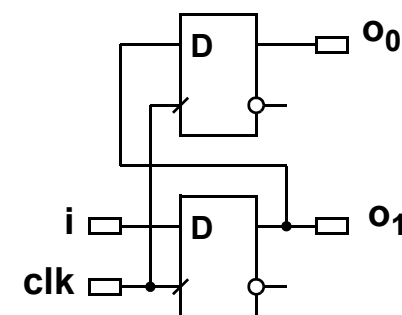
|     |       |   |       |   |
|-----|-------|---|-------|---|
|     | $s_0$ |   | $s_1$ |   |
|     | 0     | 0 | 0     | 0 |
| $i$ | 1     | 1 | 1     | 1 |
|     | $d_1$ |   |       |   |

$$d_0 = s_1$$

$$d_1 = i$$

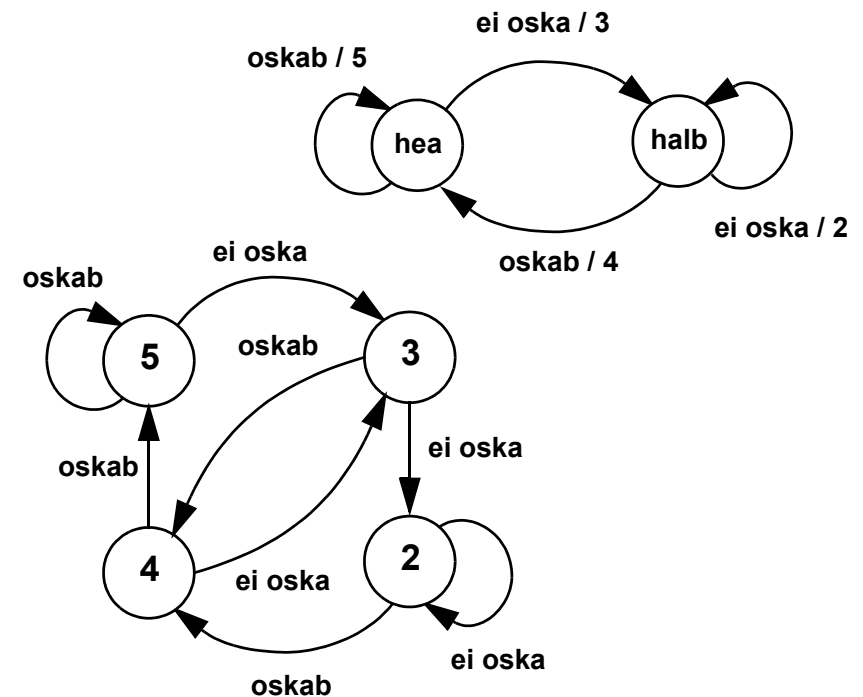
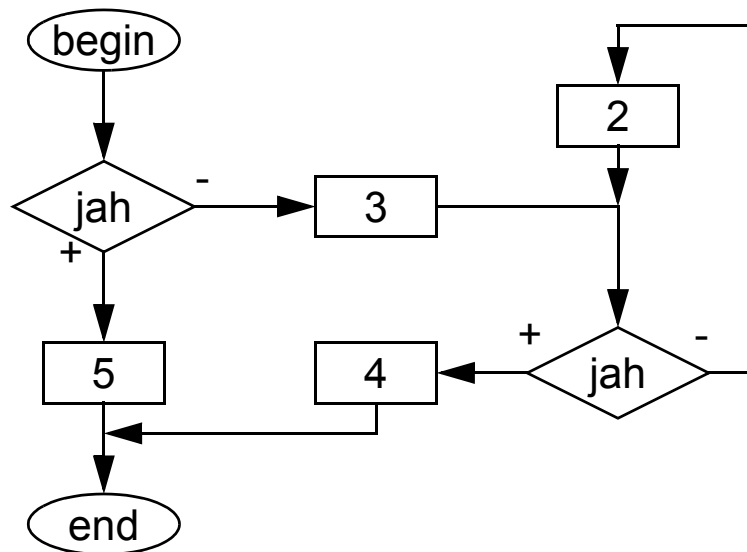
$$o_0 = s_0$$

$$o_1 = s_1$$



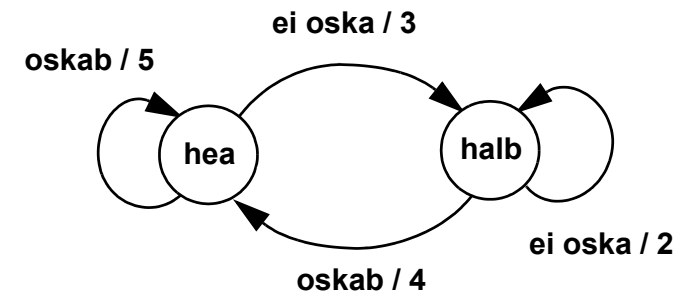
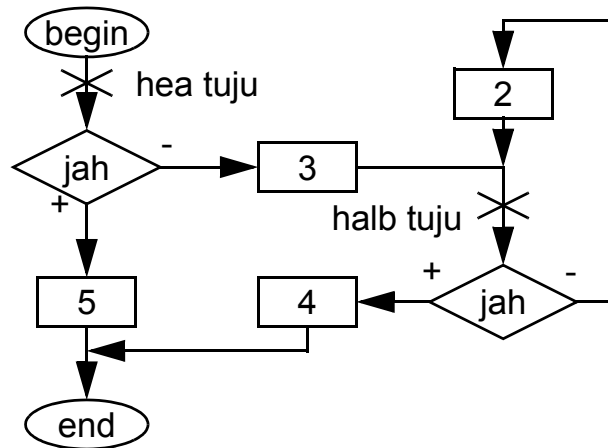
## Tabeli / olekudiagrammi süntees plokkskeemist

- Algoritmi graaf-skeem (GSA)
- Behavioral FSM

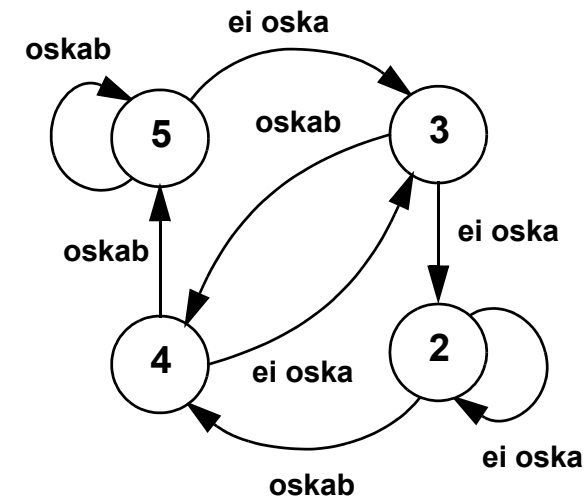




## Tabeli / olekudiagrammi süntees plokkskeemist – reeglid



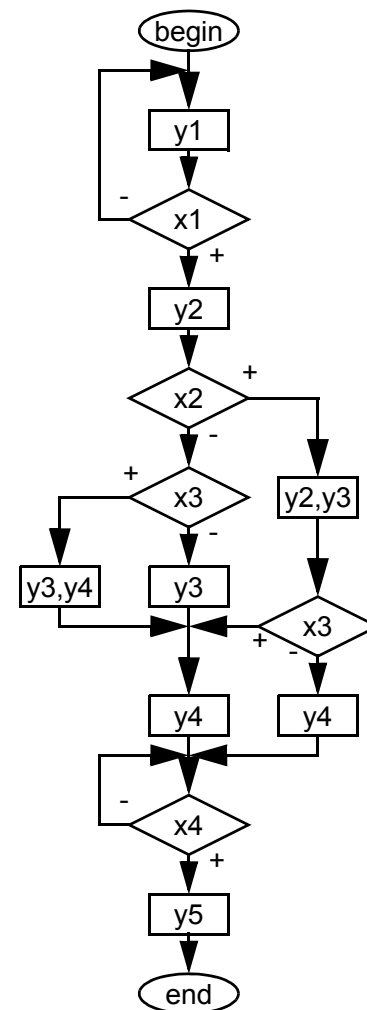
- **Mealy automaat**
  - kahe väljundploki vahel peab olema olek
  - tsükel peab sisaldama olekut
- **Moore automaat**
  - väljundplokk on olek
  - tsükel peab sisaldama olekut



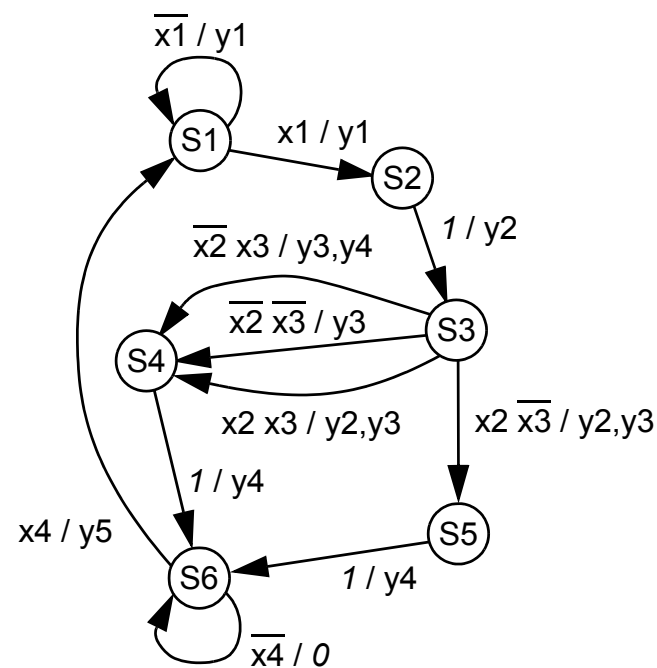
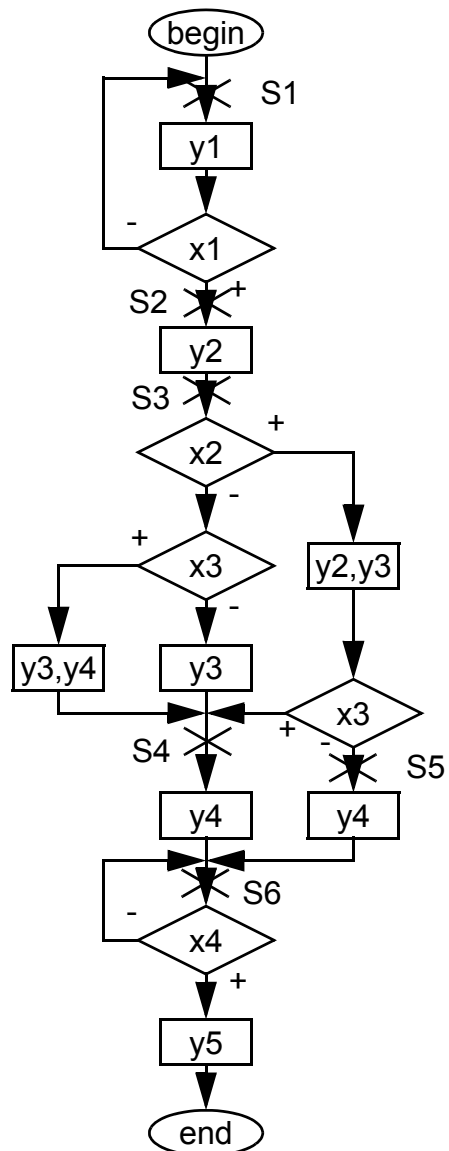
## Plokskeemi genereerimine

- Automaatne genereerimine kõrgtaseme kirjeldusest
  - programmeerimiskeel või riistvara kirjelduskeel

```
process fsm (x1,x2,x3,x4,y1,y2,y3,y4,y5)
  bit in x1,x2,x3,x4;  bit out y1,y2,y3,y4,y5;
{
  while (!x1)  out (y1);
  out (y2);
  if (x2) {
    out (y2,y3);
    if (!x3) { out (y4); goto L1; }
  }
  else { if (x3) out (y3,y4);  else  out (y3); }
  out (y4);
L1: while (!x4);
  out (y5);
}
```

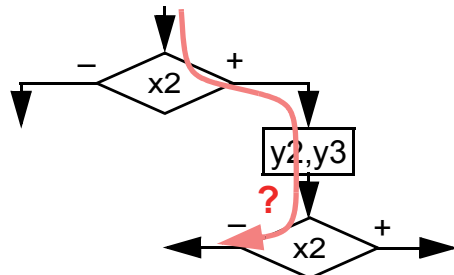


# Mealy automaat

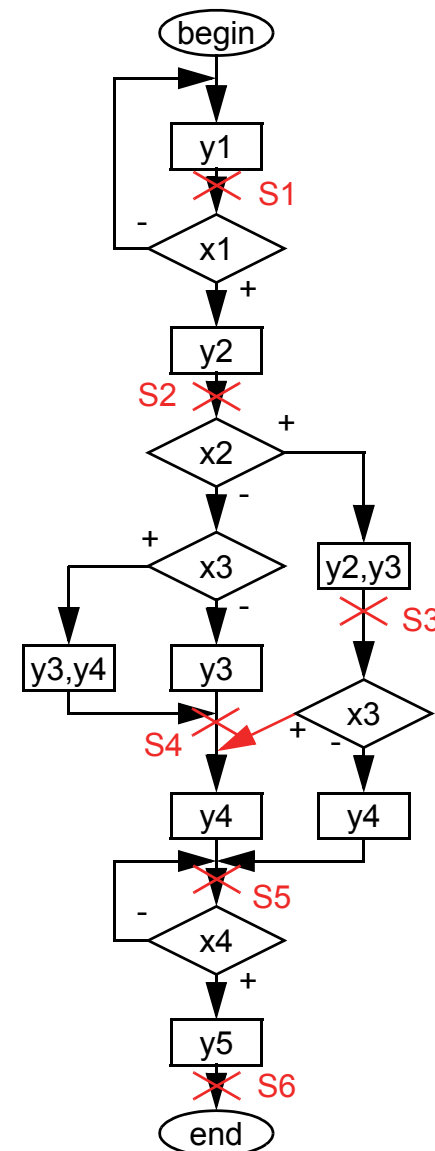
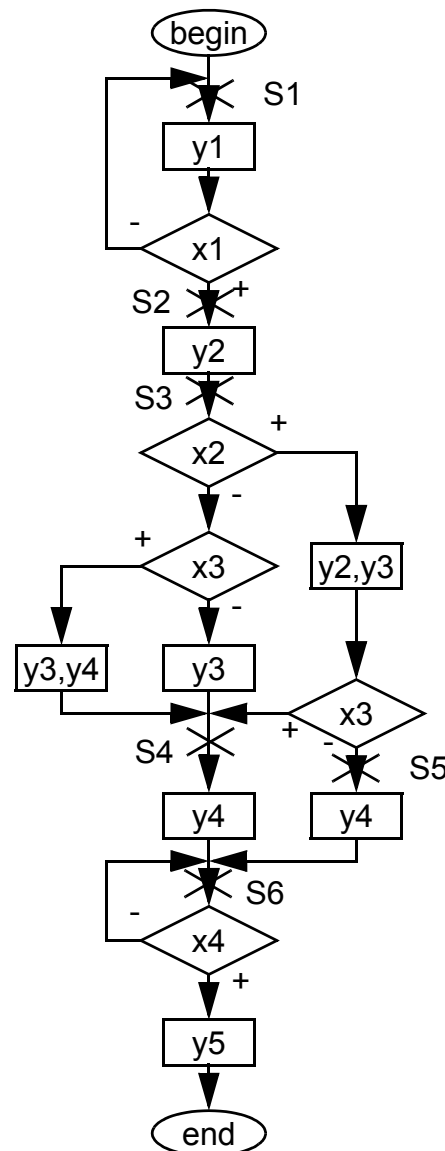


## Olekute asukohad?

- **Probleem** – mis saab siis, kui enne ja pärast väljundplokki on sama sisendsignaali?
- osa teid jääb katmata!!!



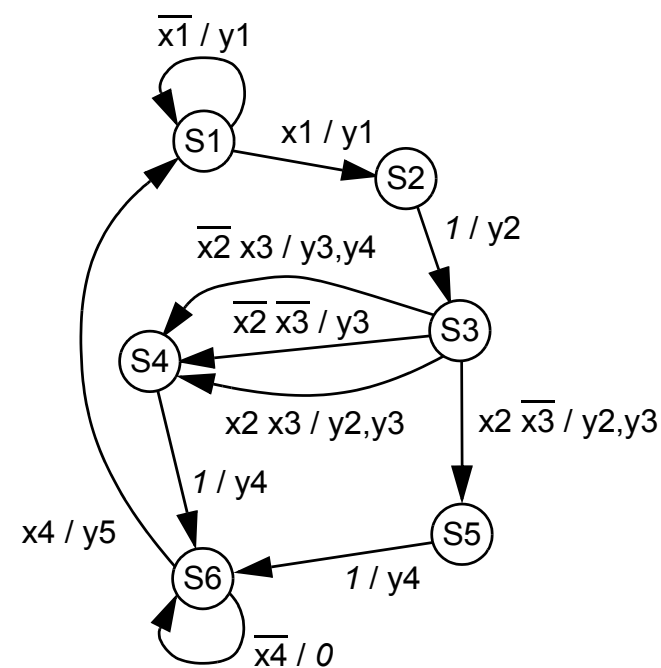
- **Lahendus** – olek väljundplokki järel (ehk enne esimest tingimust)
- Antud juhul on mõlemad variandid õiged
- Olekute arv jääb samaks
- vt. ka “ümbersuunamist”



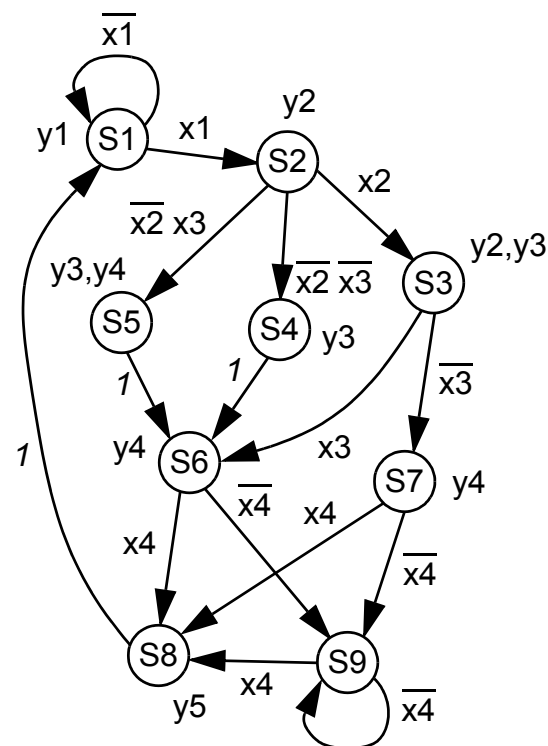
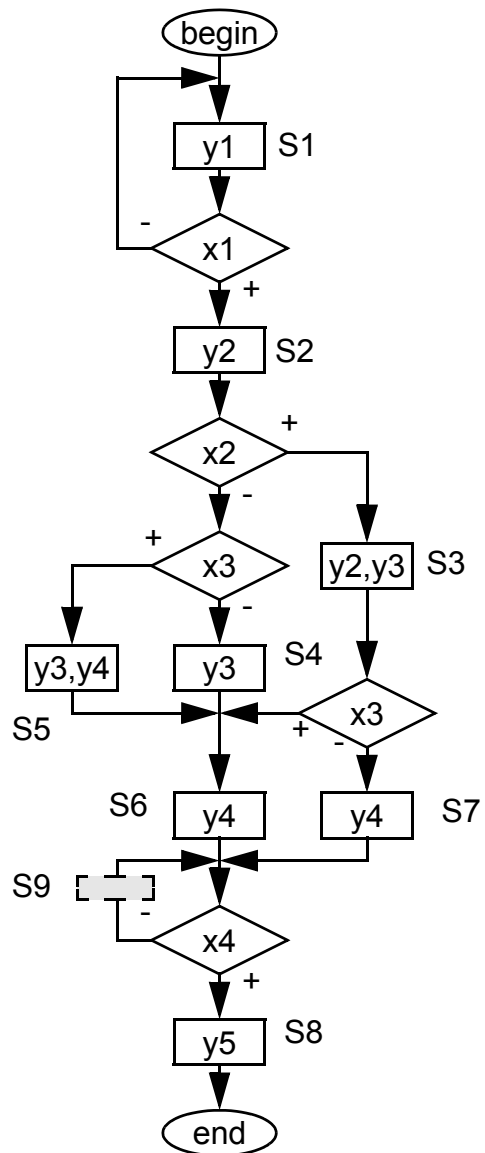
## Mealy automaat – tabel

| $i^t$                           | $s^t$ | $s^{t+1}$ | $o^t$  |
|---------------------------------|-------|-----------|--------|
| $\overline{x1}$                 | S1    | S1        | y1     |
| x1                              |       | S2        | y1     |
| 1                               | S2    | S3        | y2     |
| $\overline{x2} \ \overline{x3}$ | S3    | S4        | y3     |
| $\overline{x2} \ x3$            |       | S4        | y3, y4 |
| $x2 \ \overline{x3}$            |       | S5        | y2, y3 |
| $x2 \ x3$                       |       | S4        | y2, y3 |
| 1                               | S4    | S6        | y4     |
| 1                               | S5    | S6        | y4     |
| $\overline{x4}$                 | S6    | S1        | y5     |
| x4                              |       | S6        | 0      |

| $i^t$ | $s^t$ | $s^{t+1}$ | $o^t$ |
|-------|-------|-----------|-------|
| 0---  | S1    | S1        | 10000 |
| 1---  |       | S2        | 10000 |
| ----  | S2    | S3        | 01000 |
| -00-  | S3    | S4        | 00100 |
| -01-  |       | S4        | 00110 |
| -10-  |       | S5        | 01100 |
| -11-  |       | S4        | 01100 |
| ----  | S4    | S6        | 00010 |
| ----  | S5    | S6        | 00010 |
| ---1  | S6    | S1        | 00001 |
| ---0  |       | S6        | 00000 |



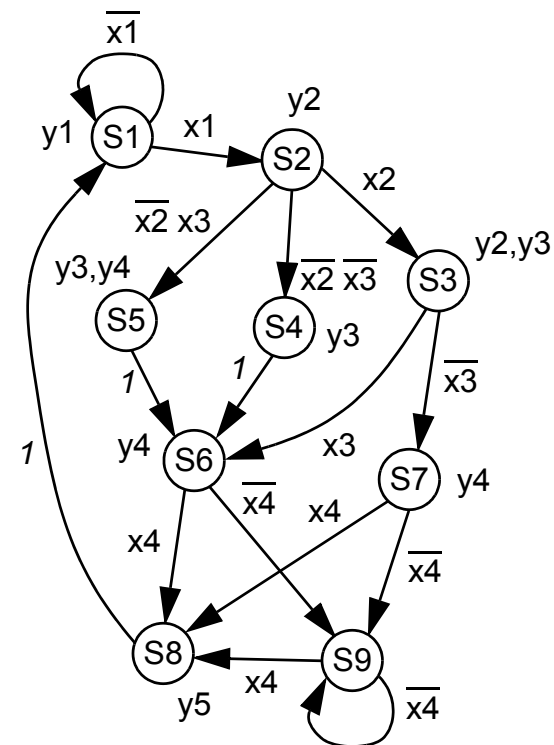
# Moore automaat



## Moore automaat – tabel

| $i^t$                           | $s^t$ | $s^{t+1}$ | $o^t$  |
|---------------------------------|-------|-----------|--------|
| $\overline{x1}$                 | S1    | S1        | y1     |
| x1                              |       | S2        |        |
| $\overline{x2} \ \overline{x3}$ | S2    | S4        | y2     |
| $\overline{x2} \ x3$            |       | S5        |        |
| x2                              |       | S3        |        |
| $\overline{x3}$                 | S3    | S7        | y2, y3 |
| x3                              |       | S6        |        |
| 1                               | S4    | S6        | y3     |
| 1                               | S5    | S6        | y3, y4 |
| x4                              | S6    | S8        | y4     |
| $\overline{x4}$                 |       | S9        |        |
| x4                              | S7    | S8        | y4     |
| $\overline{x4}$                 |       | S9        |        |
| 1                               | S8    | S1        | y5     |
| x4                              | S9    | S8        | 0      |
| $\overline{x4}$                 |       | S9        |        |

| $i^t$ | $s^t$ | $s^{t+1}$ | $o^t$ |
|-------|-------|-----------|-------|
| 0---  | S1    | S1        | 10000 |
| 1---  |       | S2        |       |
| -00-  | S2    | S4        | 01000 |
| -01-  |       | S5        |       |
| -1--  |       | S3        |       |
| --0-  | S3    | S7        | 01100 |
| --1-  |       | S6        |       |
| ----  | S4    | S6        | 00100 |
| ----  | S5    | S6        | 00110 |
| ---1  | S6    | S8        | 00010 |
| ---0  |       | S9        |       |
| ---1  | S7    | S8        | 00010 |
| ---0  |       | S9        |       |
| ----  | S8    | S1        | 00001 |
| ---1  | S9    | S8        | 00000 |
| ---0  |       | S9        |       |





## Olekute kodeerimine

- **Leida olekutele sellised koodid, et siirde- ja väljundfunktsioonid oleksid minimaalsed**
  - osaliselt määratud funktsioonid aitavad sellele kaasa
- **Heuristilised reeglid**
  - **Kõik mäluelemendid**
    - olekud, mis samade sisendtingimuste korral viivad samasse olekusse, peaksid olema naaberkoodidega – võimaldab kaks konjunktsiooni kokku kleepida
  - **D-trigerid – mida rohkem siirdeid mingisse olekusse, seda vähem peaks selle kood sisaldama 1**
    - iga siire vastab ühele konjunktsioonile
    - olek, millesse toimub kõige rohkem siirdeid, peaks olema ainult 0-dest koosneva koodiga
  - **SR-, JK- & T-trigerid – siirdele vastava jooksva ja järgnev oleku koodid peaksid võimalikult kokku langema**
    - ideaaljuhul naaberkoodid
    - sarnane sobivusgraafi servakatte leidmise ülesandega

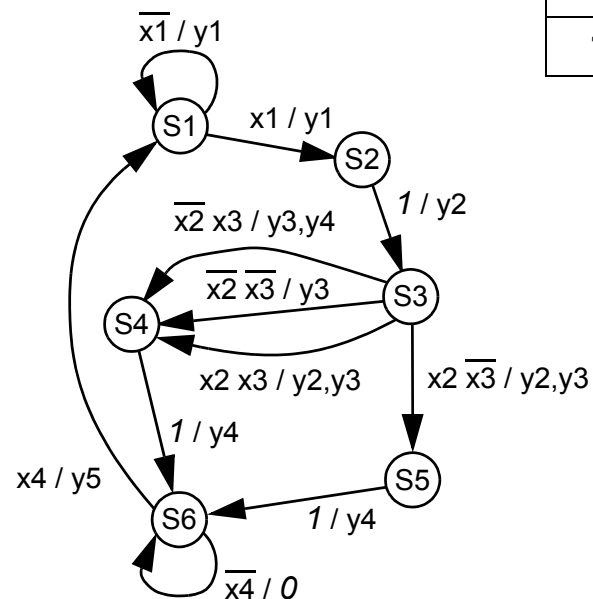


# Mealy automaat – olekute kodeerimine

| $i^t$ | $s^t$ |     | $s^{t+1}$ |     | $o^t$ |
|-------|-------|-----|-----------|-----|-------|
| 0---  | S1    | 000 | S1        | 000 | 10000 |
| 1---  |       |     | S2        | 001 | 10000 |
| ----  | S2    | 001 | S3        | 111 | 01000 |
| -00-  | S3    | 111 | S4        | 101 | 00100 |
| -01-  |       |     | S4        | 101 | 00110 |
| -10-  |       |     | S5        | 110 | 01100 |
| -11-  |       |     | S4        | 101 | 01100 |
| ----  | S4    | 101 | S6        | 100 | 00010 |
| ----  | S5    | 110 | S6        | 100 | 00010 |
| ---1  | S6    | 100 | S1        | 000 | 00001 |
| ---0  |       |     | S6        | 100 | 00000 |

- Naabrid: S1-S2, ~~S2-S3~~, S3-S4, S3-S5, S4-S6, S5-S6, S6-S1

| $Q_t$ | $Q_{t+1}$ | J | K |
|-------|-----------|---|---|
| 0     | 0         | 0 | - |
| 0     | 1         | 1 | - |
| 1     | 0         | - | 1 |
| 1     | 1         | - | 0 |





## Mealy automaat – funktsioonide süntees

| $i^t$ | $s^t$ |     | $s^{t+1}$ |     | $JK^{t+1}$ | $o^t$ |
|-------|-------|-----|-----------|-----|------------|-------|
| 0---  | S1    | 000 | S1        | 000 | 0- 0- 0-   | 10000 |
| 1---  |       |     | S2        | 001 | 0- 0- 1-   | 10000 |
| ----  | S2    | 001 | S3        | 111 | 1- 1- -0   | 01000 |
| -00-  | S3    | 111 | S4        | 101 | -0 -1 -0   | 00100 |
| -01-  |       |     | S4        | 101 | -0 -1 -0   | 00110 |
| -10-  |       |     | S5        | 110 | -0 -0 -1   | 01100 |
| -11-  |       |     | S4        | 101 | -0 -1 -0   | 01100 |
| ----  | S4    | 101 | S6        | 100 | -0 0- -1   | 00010 |
| ----  | S5    | 110 | S6        | 100 | -0 -1 0-   | 00010 |
| ---1  | S6    | 100 | S1        | 000 | -1 0- 0-   | 00001 |
| ---0  |       |     | S6        | 100 | -0 0- 0-   | 00000 |

| $Q_t$ | $Q_{t+1}$ | J | K |
|-------|-----------|---|---|
| 0     | 0         | 0 | - |
| 0     | 1         | 1 | - |
| 1     | 0         | - | 1 |
| 1     | 1         | - | 0 |

$JK^{t+1}$  - JK  
trigerite  
sisendid

Kasutamata  
olekukoodid:  
010, 011

## Mealy automaat – funktsioonide minimeerimine

funktsioonid

```

xxxx qq | jkjkjk yyyyyy
1234 123 | 112233 12345
-----+-----
0--- 000 | 0-0-0- 10000
1--- 000 | 0-0-1- 10000
---- 001 | 1-1--0 01000
-00- 111 | -0-1-0 00100
-01- 111 | -0-1-0 00110
-10- 111 | -0-0-1 01100
-11- 111 | -0-1-0 01100
---- 101 | -00--1 00010
---- 110 | -0-10- 00010
---1 100 | -10-0- 00001
---0 100 | -00-0- 00000
---- 010 | -----
---- 011 | -----

```

espresso sisend

```

.i 7
.o 11
0---000 0-0-0-10000
1---000 0-0-1-10000
---001 1-1--001000
-00-111 -0-1-000100
-01-111 -0-1-000110
-10-111 -0-0-101100
-11-111 -0-1-001100
----101 -00--100010
----110 -0-10-00010
---1100 -10-0-00001
---0100 -00-0-00000
----010 -----
----011 -----
.e

```

espresso väljund

```

.i 7
.o 11
---1100 01000000001
-01--1- 00000000010
1---0-- 00001000000
-10--11 00000101100
-11--11 00010001100
----101 00000100010
----0-0 00000010000
-0---11 00010000100
----0-1 10100001000
----10 00010000010
.e

```

## Mealy automaat – skeem

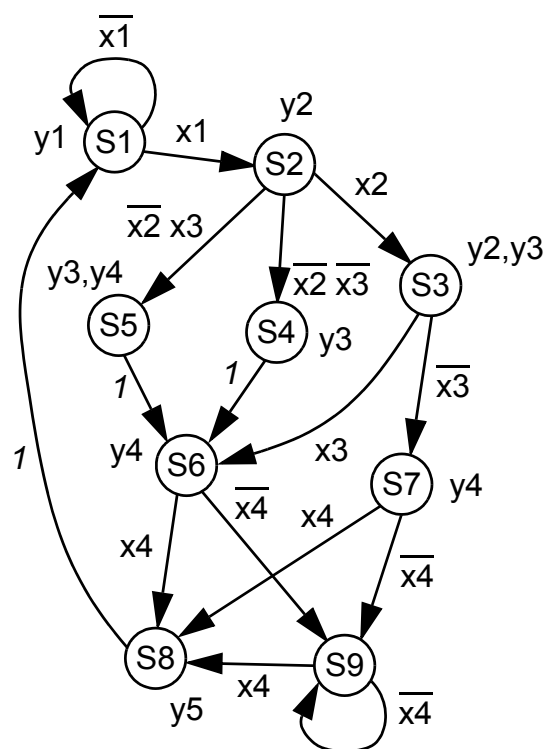
espresso väljund

```
.i 7
.o 11
---1100 01000000001
-01--1- 00000000010
1---0-- 00001000000
-10--11 00000101100
-11--11 00010001100
----101 00000100010
----0-0 00000010000
-0---11 00010000100
----0-1 10100001000
-----10 00010000010
.e
```

- $j1 = j2 = \overline{q1} q3$
- $k1 = y5 = x4 q1 \overline{q2} \overline{q3}$
- $k2 = x2 x3 q2 q3 + \overline{x2} q2 q3 + q2 \overline{q3}$
- $j3 = x1 \overline{q1}$
- $k3 = x2 \overline{x3} q2 q3 + q1 \overline{q2} q3$
- $y1 = \overline{q1} \overline{q3}$
- $y2 = x2 \overline{x3} q2 q3 + x2 x3 q2 q3 + \overline{q1} q3$
- $y3 = x2 \overline{x3} q2 q3 + x2 x3 q2 q3 + \overline{x2} q2 q3$
- $y4 = \overline{x2} x3 q2 + q1 \overline{q2} q3 + q2 \overline{q3}$

## Moore automaat – olekute kodeerimine

| $i^t$ | $s^t$ |      | $s^{t+1}$ |      | $o^t$ |
|-------|-------|------|-----------|------|-------|
| 0---  | S1    | 0000 | S1        | 0000 | 10000 |
| 1---  |       |      | S2        | 0011 |       |
| -00-  | S2    | 0011 | S4        | 1100 | 01000 |
| -01-  |       |      | S5        | 0101 |       |
| -1--  |       |      | S3        | 0110 |       |
| --0-  | S3    | 0110 | S7        | 1000 | 01100 |
| --1-  |       |      | S6        | 0001 |       |
| ----  | S4    | 1100 | S6        | 0001 | 00100 |
| ----  | S5    | 0101 | S6        | 0001 | 00110 |
| ---1  | S6    | 0001 | S8        | 0010 | 00010 |
| ---0  |       |      | S9        | 0100 |       |
| ---1  | S7    | 1000 | S8        | 0010 | 00010 |
| ---0  |       |      | S9        | 0100 |       |
| ----  | S8    | 0010 | S1        | 0000 | 00001 |
| ---1  | S9    | 0100 | S8        | 0010 | 00000 |
| ---0  |       |      | S9        | 0100 |       |



| $Q_t$ | $Q_{t+1}$ | D |
|-------|-----------|---|
| 0     | 0         | 0 |
| 0     | 1         | 1 |
| 1     | 0         | 0 |
| 1     | 1         | 1 |

Siirete arv:  
S1 - 2, S2 - 1,  
S3 - 1, S4 - 1,  
S5 - 1, S6 - 3,  
S7 - 1, S8 - 3,  
S9 - 3



## Moore automaat – funktsioonide süntees

| $i^t$ | $s^t$ |      | $s^{t+1}$ |      | $D^{t+1}$ | $o^t$ |
|-------|-------|------|-----------|------|-----------|-------|
| 0---  | S1    | 0000 | S1        | 0000 | 0000      | 10000 |
| 1---  |       |      | S2        | 0011 | 0011      |       |
| -00-  | S2    | 0011 | S4        | 1100 | 1100      | 01000 |
| -01-  |       |      | S5        | 0101 | 0101      |       |
| -1--  |       |      | S3        | 0110 | 0110      |       |
| --0-  | S3    | 0110 | S7        | 1000 | 1000      | 01100 |
| --1-  |       |      | S6        | 0001 | 0001      |       |
| ----  | S4    | 1100 | S6        | 0001 | 0001      | 00100 |
| ----  | S5    | 0101 | S6        | 0001 | 0001      | 00110 |
| ---1  | S6    | 0001 | S8        | 0010 | 0010      | 00010 |
| ---0  |       |      | S9        | 0100 | 0100      |       |
| ---1  | S7    | 1000 | S8        | 0010 | 0010      | 00010 |
| ---0  |       |      | S9        | 0100 | 0100      |       |
| ----  | S8    | 0010 | S1        | 0000 | 0000      | 00001 |
| ---1  | S9    | 0100 | S8        | 0010 | 0010      | 00000 |
| ---0  |       |      | S9        | 0100 | 0100      |       |

| $Q_t$ | $Q_{t+1}$ | D |
|-------|-----------|---|
| 0     | 0         | 0 |
| 0     | 1         | 1 |
| 1     | 0         | 0 |
| 1     | 1         | 1 |

$D^{t+1}$  - D-trigerite sisendid

Kasutamata olekukoodid:  
0111, 1001, 1010,  
1011, 1101, 1110,  
1111



| xxxx        | qqqq | dddd | siirde-<br>funktsioon  |                         | .i 8<br>.o 4  | siirde-<br>funktsioon  |
|-------------|------|------|------------------------|-------------------------|---------------|------------------------|
| 1234        | 1234 | 1234 |                        |                         |               |                        |
| -----+----- |      |      |                        | <i>espresso sisend:</i> |               |                        |
| 0--- 0000   |      | 0000 |                        |                         | 0---0000 0000 |                        |
| 1--- 0000   |      | 0011 |                        |                         | 1---0000 0011 |                        |
| -00- 0011   |      | 1100 | väljund-<br>funktsioon |                         | -00-0011 1100 |                        |
| -01- 0011   |      | 0101 |                        |                         | -01-0011 0101 | väljund-<br>funktsioon |
| -1-- 0011   |      | 0110 | qqqq   yyyy            |                         | -1--0011 0110 |                        |
| --0- 0110   |      | 1000 | 1234   12345           |                         | --0-0110 1000 | .i 4                   |
| --1- 0110   |      | 0001 | -----+-----            |                         | --1-0110 0001 | .o 5                   |
| ---- 1100   |      | 0001 | 0000   10000           |                         | ----1100 0001 | 0000 10000             |
| ---- 0101   |      | 0001 | 0011   01000           |                         | ----0101 0001 | 0011 01000             |
| ---1 0001   |      | 0010 | 0110   01100           |                         | ---10001 0010 | 0110 01100             |
| ---0 0001   |      | 0100 | 1100   00100           |                         | ---00001 0100 | 1100 00100             |
| ---1 1000   |      | 0010 | 0101   00110           |                         | ---11000 0010 | 0101 00110             |
| ---0 1000   |      | 0100 | 0001   00010           |                         | ---01000 0100 | 0001 00010             |
| ---- 0010   |      | 0000 | 1000   00010           |                         | ----0010 0000 | 1000 00010             |
| ---1 0100   |      | 0010 | 0010   00001           |                         | ---10100 0010 | 0010 00001             |
| ---0 0100   |      | 0100 | 0100   00000           |                         | ---00100 0100 | 0100 00000             |
| ---- 0111   |      | ---- | 0111   -----           |                         | ----0111 ---- | 0111 -----             |
| ---- 1001   |      | ---- | 1001   -----           |                         | ----1001 ---- | 1001 -----             |
| ---- 1010   |      | ---- | 1010   -----           |                         | ----1010 ---- | 1010 -----             |
| ---- 1011   |      | ---- | 1011   -----           |                         | ----1011 ---- | 1011 -----             |
| ---- 1101   |      | ---- | 1101   -----           |                         | ----1101 ---- | 1101 -----             |
| ---- 1110   |      | ---- | 1110   -----           |                         | ----1110 ---- | 1110 -----             |
| ---- 1111   |      | ---- | 1111   -----           |                         | ----1111 ---- | 1111 -----             |
|             |      |      |                        |                         | .e            | .e                     |



## Moore automaat – funktsioonide minimeerimine

```

.i 8
.o 4
0---0000 0000
1---0000 0011
-00-0011 1100
-01-0011 0101
-1--0011 0110
--0-0110 1000
--1-0110 0001
----1100 0001
----0101 0001
---10001 0010
---00001 0100
---11000 0010
---01000 0100
----0010 0000
---10100 0010
---00100 0100
----0111 ----
----1001 ----
----1010 ----
----1011 ----
----1101 ----
----1110 ----
----1111 ----
.e

```

siirde-  
funktsioon

*espresso sisend*

väljund-  
funktsioon

```

.i 4
.o 5
0000 10000
0011 01000
0110 01100
1100 00100
0101 00110
0001 00010
1000 00010
0010 00001
0100 00000
0111 -----
1001 -----
1010 -----
1011 -----
1101 -----
1110 -----
1111 -----
.e

```

*espresso väljund*

```

.i 8
.o 4
-00---11 1100
-01---11 0101
---110-- 0010
--0--11- 1000
---010-- 0100
--1--11- 0001
---10100 0010
---00100 0100
-1----11 0110
----11-- 0001
1---0000 0011
---1-001 0010
---0-0-1 0100
----1-1 0001
.e

```

siirde-  
funktsioon

väljund-  
funktsioon

```

.i 4
.o 5
0000 10000
-010 00001
--01 00010
10-- 00010
--11 01000
11-- 00100
-1-1 00100
-11- 01100
.e

```



## Moore automaat – skeem

```
.i 8
.o 4
-00---11 1100
-01---11 0101
---110-- 0010
--0--11- 1000
---010-- 0100
--1--11- 0001
---10100 0010
---00100 0100
-1----11 0110
----11-- 0001
1---0000 0011
---1-001 0010
---0-0-1 0100
-----1-1 0001
.e
```

siirde-  
funktsioon

$$\begin{aligned}
 d1 &= \overline{x2} \overline{x3} q3 q4 + \overline{x3} q2 q3 \\
 d2 &= \overline{x2} \overline{x3} q3 q4 + \overline{x2} x3 q3 q4 + \\
 &\quad + x4 q1 \overline{q2} + \overline{x4} \overline{q1} q2 \overline{q3} \overline{q4} + \\
 &\quad + x2 q3 q4 + \overline{x4} \overline{q2} q4 \\
 d3 &= x4 q1 \overline{q2} + x4 \overline{q1} q2 \overline{q3} \overline{q4} + \\
 &\quad + x2 q3 q4 + x1 \overline{q1} \overline{q2} \overline{q3} \overline{q4} + \\
 &\quad + x4 \overline{q2} \overline{q3} q4 \\
 d4 &= \overline{x2} x3 q3 q4 + x3 q2 q3 + \\
 &\quad + q1 q2 + x1 \overline{q1} \overline{q2} \overline{q3} \overline{q4} + \\
 &\quad + q2 q4
 \end{aligned}$$

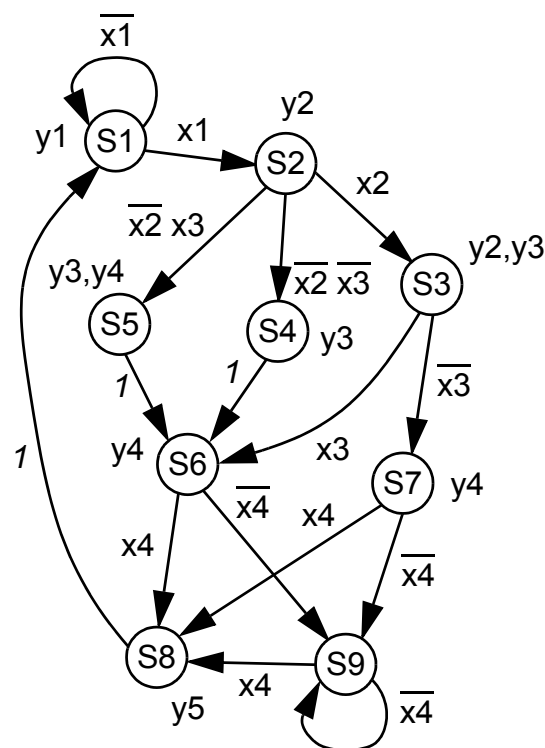
```
.i 4
.o 5
0000 10000
-010 00001
--01 00010
10-- 00010
--11 01000
11-- 00100
-1-1 00100
-11- 01100
.e
```

väljund-  
funktsioon

$$\begin{aligned}
 y1 &= \overline{q1} \overline{q2} \overline{q3} \overline{q4} \\
 y2 &= q3 q4 + q2 q3 \\
 y3 &= \overline{q1} q2 + q2 \overline{q4} + q2 q3 \\
 y4 &= \overline{q3} q4 + q1 \overline{q2} \\
 y5 &= q2 q3 q4
 \end{aligned}$$

## Moore automaat – olekute kodeerimine #2

| $i^t$ | $s^t$ |      | $s^{t+1}$ |      | $o^t$ |
|-------|-------|------|-----------|------|-------|
| 0---  | S1    | 0000 | S1        | 0000 | 10000 |
| 1---  |       |      | S2        | 0001 |       |
| -00-  | S2    | 0001 | S4        | 0101 | 01000 |
| -01-  |       |      | S5        | 0011 |       |
| -1--  |       |      | S3        | 1001 |       |
| --0-  | S3    | 1001 | S7        | 1010 | 01100 |
| --1-  |       |      | S6        | 0110 |       |
| ----  | S4    | 0101 | S6        | 0110 | 00100 |
| ----  | S5    | 0011 | S6        | 0110 | 00110 |
| ---1  | S6    | 0110 | S8        | 1100 | 00010 |
| ---0  |       |      | S9        | 1110 |       |
| ---1  | S7    | 1010 | S8        | 1100 | 00010 |
| ---0  |       |      | S9        | 1110 |       |
| ----  | S8    | 1100 | S1        | 0000 | 00001 |
| ---1  | S9    | 1110 | S8        | 1100 | 00000 |
| ---0  |       |      | S9        | 1110 |       |



| $Q_t$ | $Q_{t+1}$ | J | K |
|-------|-----------|---|---|
| 0     | 0         | 0 | - |
| 0     | 1         | 1 | - |
| 1     | 0         | - | 1 |
| 1     | 1         | - | 0 |

Võimalikult vähe muutuvad koodid:

S1 - 0000, S2 - 0001,  
S3 - 1001, S4 - 0101,  
S5 - 0011, S6 - 0110,  
S7 - 1010, S8 - 1100,  
S9 - 1110



## Moore automaat – funktsioonide süntees #2

| $i^t$ | $s^t$ |      | $s^{t+1}$ |      | $JK^{t+1}$ | $o^t$ |
|-------|-------|------|-----------|------|------------|-------|
| 0---  | S1    | 0000 | S1        | 0000 | 0-0-0-0-   | 10000 |
| 1---  |       |      | S2        | 0001 | 0-0-0-1-   |       |
| -00-  | S2    | 0001 | S4        | 0101 | 0-1-0--0   | 01000 |
| -01-  |       |      | S5        | 0011 | 0-0-1--0   |       |
| -1--  |       |      | S3        | 1001 | 1-0-0--0   |       |
| --0-  | S3    | 1001 | S7        | 1010 | -00-1--1   | 01100 |
| --1-  |       |      | S6        | 0110 | -11-1--1   |       |
| ----  | S4    | 0101 | S6        | 0110 | 0--01--1   | 00100 |
| ----  | S5    | 0011 | S6        | 0110 | 0-1--0-1   | 00110 |
| ---1  | S6    | 0110 | S8        | 1100 | 1--0-00-   | 00010 |
| ---0  |       |      | S9        | 1110 | 1--0-10-   |       |
| ---1  | S7    | 1010 | S8        | 1100 | -01--00-   | 00010 |
| ---0  |       |      | S9        | 1110 | -01--10-   |       |
| ----  | S8    | 1100 | S1        | 0000 | -1-10-0-   | 00001 |
| ---1  | S9    | 1110 | S8        | 1100 | -0-0-00-   | 00000 |
| ---0  |       |      | S9        | 1110 | -0-0-10-   |       |

| $Q_t$ | $Q_{t+1}$ | J | K |
|-------|-----------|---|---|
| 0     | 0         | 0 | - |
| 0     | 1         | 1 | - |
| 1     | 0         | - | 1 |
| 1     | 1         | - | 0 |

$JK^{t+1}$  - JK-trigerite  
sisendid

Kasutamata  
olekukoodid:  
0010, 0100, 0111,  
1000, 1011, 1101,  
1111



## Moore automaat – funktsioonide minimeerimine #2

```

.i 8
.o 8
0---0000 0-0-0-0-
1---0000 0-0-0-1-
-00-0001 0-1-0--0
-01-0001 0-0-1--0
-1--0001 1-0-0--0
--0-1001 -00-1--1
--1-1001 -11-1--1
----0101 0--01--1
----0011 0-1--0-1
---00110 1--0-00-
---10110 1--0-10-
---01010 -01--00-
---11010 -01--10-
----1100 -1-10-0-
---01110 -0-0-00-
---11110 -0-0-10-
----0010 -----
----0100 -----
----0111 -----
----1000 -----
----1011 -----
----1101 -----
----1111 -----
.e

```

siirde-  
funktsioon

*espresso sisend*

väljund-  
funktsioon

```

.i 4
.o 5
0000 10000
0001 01000
1001 01100
0101 00100
0011 00110
0110 00010
1010 01010
1100 00001
1110 00000
0010 -----
0100 -----
0111 -----
1000 -----
1011 -----
1101 -----
1111 -----
.e

```

*espresso väljund*

siirde-funktsioon

```

.i 8
.o 8
-00-0--1 00100000
-1---001 10000000
1----00- 00000010
-01----1 00001000
--1-1--1 01100000
---1---0 00000100
-----10 10000000
-----00 01010000
-----1-1 00001001
----1--1 00001001
-----1- 00100001
.e

```

väljund-  
funktsioon

```

.i 4
.o 5
0-00 10000
-100 00001
-001 01000
-010 01010
0-1- 00010
1--1 00100
-1-1 00100
--11 00100
.e

```

## Moore automaat – skeem #2

|                   |                                                                   |                                                                              |  |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--|
| siirde-funktsioon |                                                                   | väljund-funktsioon                                                           |  |
| .i 8              |                                                                   | .i 4                                                                         |  |
| .o 8              |                                                                   | .o 5                                                                         |  |
| -00-0--1 00100000 | j1 = $x_2 \overline{q_2} \overline{q_3} q_4 + q_3 \overline{q_4}$ | 0-00 10000                                                                   |  |
| -1---001 10000000 | k1 = $x_3 q_1 q_4 + \overline{q_3} \overline{q_4}$                | -100 00001                                                                   |  |
| 1----00- 00000010 | j2 = $\overline{x_2} \overline{x_3} q_1 q_4 + x_3 q_1 q_4 + q_3$  | -001 01000                                                                   |  |
| -01----1 00001000 | k2 = $\overline{q_3} \overline{q_4}$                              | -010 01010                                                                   |  |
| --1-1--1 01100000 | j3 = $\overline{x_2} x_3 q_4 + q_2 q_4 + q_1 q_4$                 | 0-1- 00010                                                                   |  |
| ---1---0 00000100 | k3 = $x_4 \overline{q_4}$                                         | 1--1 00100                                                                   |  |
| -----10 10000000  | j4 = $x_1 \overline{q_2} \overline{q_3}$                          | -1-1 00100                                                                   |  |
| -----00 01010000  | k4 = $q_2 q_4 + q_1 q_4 + q_3$                                    | --11 00100                                                                   |  |
| -----1-1 00001001 |                                                                   | .e                                                                           |  |
| ----1--1 00001001 |                                                                   | y1 = $\overline{q_1} \overline{q_3} \overline{q_4}$                          |  |
| -----1- 00100001  |                                                                   | y2 = $\overline{q_2} \overline{q_3} q_4 + \overline{q_2} q_3 \overline{q_4}$ |  |
| .e                |                                                                   | y3 = $q_1 q_4 + q_2 \overline{q_4} + q_3 q_4$                                |  |
|                   |                                                                   | y4 = $q_2 q_3 \overline{q_4} + \overline{q_1} q_3$                           |  |
|                   |                                                                   | y5 = $q_2 q_3 q_4$                                                           |  |



# Automaatide algebraline struktuuriteooria

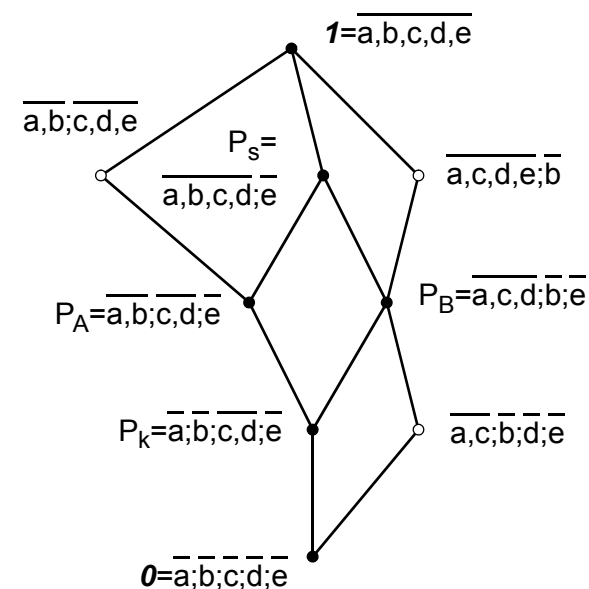
- Olekute kodeerimine – siirde- ja väljundfunktsiooni lihtsustamine
- Automaadi minimeerimine – olekute arvu vähendamine
- Automaatide dekompositsioon ja kompositsioon
  - automaadi tükeldamine kaheks või enamaks automaadiks
  - kahe või enama automaadi ühendamine
- Tükeldused
  - binaarsuhte jagamine ekvivalentsiklassideks
  - olekute hulk (ka sisendite ja väljundite hulgad kasutusel)
  - Vastavuse  $\varphi$  erijuhtu, lähte- ja sihthulk langevad kokku -  $D(\varphi) = R(\varphi) = A$
  - Tähistus –  $R \subseteq A \times A$
  - Ekvivalentsisuhe  $R$  on refleksiivne, sümmeetriline ja transitiivne
  - Elemendi  $a \in A$  ekvivalentsiklass ekvivalentsisuhtes  $R$  –  $K(a) = \{ b \mid \langle a, b \rangle \in R \}$
- Tükelduste kasutamine
  - eraldab olekute grupid, mis teistest ei sõltu (asendusomadustega tükeldused)

## Tükeldus

- Ekvivalentsisuhe genereerib түкelduse (partition)  $P$  hulgal  $A$   
 Түкeldus  $P$  koosneb ekvivalentsiklassidest  $K_i$ ,  $i=1,...,n$   
 $P = \{ K_1, K_2, ..., K_n \}$ , kus  $K_i \neq \emptyset$ ,  $i=1,...,n$ ;  
 $K_i \cap K_j = \emptyset$ ,  $i,j=1,...,n$ ,  $i \neq j$ ;  
 $\bigcup K_i = A$
- 0-түкeldus (nullтүкeldus) koosneb 1-elemendilistest ekvivalentsi klassidest
- 1-түкelduses (ühiktүкelduses) on ainult üks ekvivalentsiklass
- $B_P(a)$  – түкelduse  $P$  ekvivalentsiklass (plokk)  $K_i$ , millesse kuulub  $a$ 
  - $K_i = B_P(a) \Rightarrow a \in K_i$
- $a_1 \equiv a_2 (P)$  – elemendid  $a_1$  ja  $a_2$  kuuluvad samasse түкelduse  $P$  plokki  $K_i$  siis ja ainult siis, kui  $B_P(a_1) = B_P(a_2)$

## Tükeldus – operatsioonid

- Hulk:  $A=\{a,b,c,d,e\}$ , түкeldused:  $P_A=\{ \overline{a,b}; \overline{c,d}; \overline{e} \}$  ja  $P_B=\{ \overline{a,c,d}; \overline{b}; \overline{e} \}$ 
  - $P_A=\{ \{a,b\}, \{c,d\}, \{e\} \}$  ja  $P_B=\{ \{a,c,d\}, \{b\}, \{e\} \}$
- Korrutis:  $P_1 \cdot P_2 : (a_1 \equiv a_2 (P_1 \cdot P_2)) \Leftrightarrow (a_1 \equiv a_2 (P_1) \& a_1 \equiv a_2 (P_2))$ 
  - $P_k = P_A \cdot P_B = \{ \overline{a,b}; \overline{c,d}; \overline{e} \} \cdot \{ \overline{a,c,d}; \overline{b}; \overline{e} \} = \{ \overline{a}; \overline{b}; \overline{c,d}; \overline{e} \}$
- Summa:  $P_1 + P_2 : (a_1 \equiv a_2 (P_1 + P_2)) \Leftrightarrow (a_1 \equiv a_2 (P_1) \vee a_1 \equiv a_2 (P_2))$ 
  - $P_s = P_A + P_B = \{ \overline{a,b}; \overline{c,d}; \overline{e} \} + \{ \overline{a,c,d}; \overline{b}; \overline{e} \} = \{ \overline{a,b,c,d}; \overline{e} \}$
- Võrdlus:
  - $P_1 \leq P_2 \Leftrightarrow P_1 \cdot P_2 = P_1 \Leftrightarrow [ \forall K_i \in P_1 ( \exists K_j \in P_2 [K_i \subseteq K_j] ) ]$
  - $P_A \leq P_s - \{ \overline{a,b}; \overline{c,d}; \overline{e} \} \cdot \{ \overline{a,b,c,d}; \overline{e} \} = \{ \overline{a,b}; \overline{c,d}; \overline{e} \}$
  - $P_A$  ja  $P_B$  ei ole võrreldavad
- Tүкelduste võre
  - Tehted  $\sim$  asukoht võrel
  - Võrreldavus  $\sim$  asukoht võrel
- Null-tүкeldus (0) – iga element on omaette plokis
- Ühik-tүкeldus (1) – kõik elemendid on samas plokis





## Tükelduste kasutamine kodeerimisel

- Tükeldustel baseeruv lähenemine
  - automaadi olekute hulga түкeldamine selliselt, et түкelduste plokid omaksid võimalikult väikest “vastastikust sõltuvust”
- Leitakse automaadi asendusomadusega (S.P.) түкeldused
  - väljundeid ei vaadelda
  - iga түкeldus vastab sõltumatule osale
  - teostatakse paralleelne dekompositsioon
- Näide
  - S.P. түкeldused -  $P_1 = \overline{1,2,3} \overline{4,5,6}$ ,  $P_2 = \overline{1,6} \overline{2,5} \overline{3,4}$
  - Dekompositsiooniks vajalik, et  $P_1 \cdot P_2 = P_0$ 
    - vajadusel geneeritakse täiendavaid түкeldusi
  - Iga түкeldus (kui automaat) kodeeritakse eraldi:
    - $P_1 \rightarrow 1-\{1,2,3\} \ 0-\{4,5,6\}$  &  $P_2 \rightarrow 10-\{1,6\} \ 01-\{2,5\} \ 00-\{3,4\}$
    - Olekute koodid:  $1 \rightarrow 110$ ,  $2 \rightarrow 101$ ,  $3 \rightarrow 100$ ,  $4 \rightarrow 000$ ,  $5 \rightarrow 001$ ,  $6 \rightarrow 010$

| x | s <sub>t</sub> | s <sub>t+1</sub> | y |
|---|----------------|------------------|---|
| 0 | 1              | 4                | 0 |
| 1 |                | 3                |   |
| 0 | 2              | 6                | 0 |
| 1 |                | 3                |   |
| 0 | 3              | 5                | 0 |
| 1 |                | 2                |   |
| 0 | 4              | 2                | 1 |
| 1 |                | 5                |   |
| 0 | 5              | 1                | 0 |
| 1 |                | 4                |   |
| 0 | 6              | 3                | 0 |
| 1 |                | 4                |   |

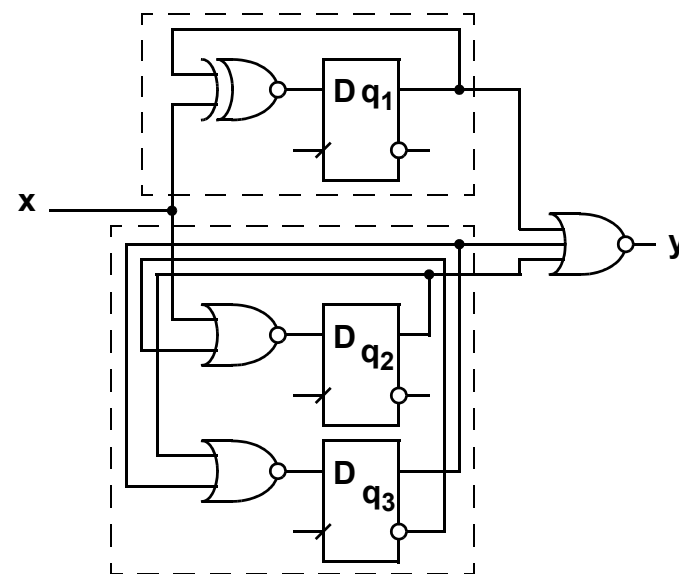


# Kodeerimine – võrdlus

| Automaat        | Kodeering #1     | Kodeering #2                    | Kodeering #3                                     |
|-----------------|------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>x s s+ y</b> | <b>“loendur”</b> | <b>D-trigeri<br/>heuristika</b> | <b><u>1,2,3,4,5,6</u><br/><u>1,6,2,5,3,4</u></b> |
| 0 1 4 0         |                  |                                 |                                                  |
| 1 1 3 0         |                  |                                 |                                                  |
| 0 2 6 0         | 1:000 2:001      | 1: 1 2: 2                       | 1:110 2:101                                      |
| 1 2 3 0         | 3:010 4:011      | 3: 3 4: 3                       | 3:100 4:000                                      |
| 0 3 5 0         | 5:100 6:101      | 5: 2 6: 1                       | 5:001 6:010                                      |
| 1 3 2 0         |                  |                                 |                                                  |
| 0 4 2 1         | <b>faas</b> 1011 | <b>ülesanne</b>                 | <b>faas</b> 1111                                 |
| 1 4 5 1         | 0001 1100        | 0110 0010                       | -000 0001                                        |
| 0 5 1 0         | 000- 0010        | 1110 0000                       | 00-1- 0010                                       |
| 1 5 4 0         | 01-0 0100        | 0010 1010                       | 110- 0010                                        |
| 0 6 3 0         | 11-- 0010        | 1010 0000                       | 11-- 1000                                        |
| 1 6 4 0         | 1-10 0110        | 0000 1000                       | 0--1 0100                                        |
|                 | 0-10 1100        | 1000 0100                       | --00 0010                                        |
|                 | 1-11 1101        | 0001 0101                       |                                                  |
|                 | 0-11 0111        | 1001 1001                       |                                                  |
|                 |                  | 0100 1100                       |                                                  |
|                 |                  | 1100 0010                       |                                                  |
|                 |                  | 0101 0000                       |                                                  |
|                 |                  | 1101 0010                       |                                                  |
|                 |                  | -011 ----                       |                                                  |
|                 |                  | -111 ----                       |                                                  |
|                 |                  |                                 | $y = \bar{q}_1 \bar{q}_2 \bar{q}_3$              |
|                 |                  |                                 | $d_1 = \bar{x} \bar{q}_1 + x q_1$                |
|                 |                  |                                 | $d_2 = \bar{x} q_3$                              |
|                 |                  |                                 | $d_3 = \bar{q}_2 \bar{q}_3$                      |

## Tükeldused, kodeering #3 ja realisatsioon

- Olekute koodid: 1→110, 2→101, 3→100, 4→000, 5→001, 6→010
- Tükeldused:  $P_1 = \{1,2,3; 4,5,6\}$ ,  $P_2 = \{1,6; 2,3,4,5\}$ ,  $P_3 = \{2,5; 1,3,4,6\}$ 
  - kaheplokilised түкeldused: 1 - parempoolne plokk, 0 - vasakpoolne plokk
- $P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 = \{1;2;3;4;5;6\} = 0$  &  $P_1 + P_2 + P_3 = \{1,2,3,4,5,6\} = 1$
- Automaatide võrk - kaks paralleelselt töötavat automaati
  - $d_1 = q_1x + \bar{q}_1\bar{x} = \text{xnor}(q_1, x)$
  - $d_2 = \bar{q}_3\bar{x} = \text{nor}(q_3, x)$
  - $d_3 = \bar{q}_2\bar{q}_3 = \text{nor}(q_2, q_3)$
  - $y = q_1q_2q_3 = \text{nor}(q_1, q_2, q_3)$
- Tүкeldused:
  - 1. automaat:  $P_A = \{1,2,3; 4,5,6\} (=P_1)$
  - 2. automaat:  $P_B = \{1,6; 2,5; 3,4\} (=P_2 \cdot P_3)$



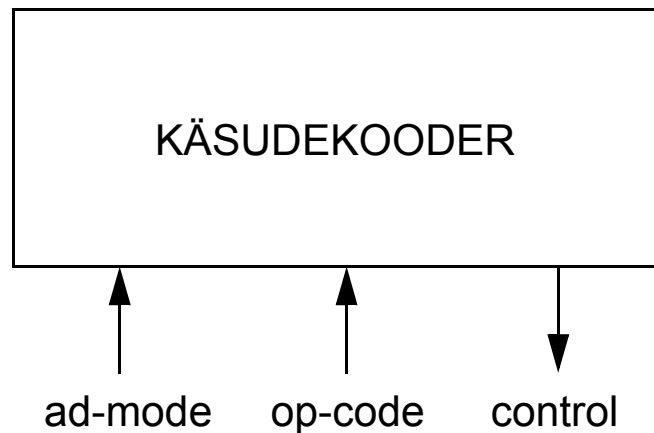
## Asendusomadus (S.P.)

- Automaadi  $M=(S,I,O,\delta,\lambda)$  olekute hulga tükeldusel  $P$  on *asendusomadus* (substitution property, S.P.) siis ja ainult siis, kui  $s \equiv t(P)$  järeldub, et ka  $\delta(s,i) \equiv \delta(t,i)(P) \quad \forall i \in I$
- kui lähteolekud kuuluvad ühte tükelduse plokki, siis ka järgmised olekud peavad kuuluma ühte plokki (ei pruugi kokku langeda lähteolekute plokiiga) kõikide sisendkombinatsioonide korral
- tükeldus  $P$  - kasutusel ka tähistus  $\pi$
- Asendusomadustega tükeldused:
  - $P_A = \{\overline{1,2,3}; \overline{4,5,6}\}$
  - $P_B = \{\overline{1,6}; \overline{2,5}; \overline{3,4}\}$
- 0-tükeldus ja 1-tükeldus on S.P. tükeldused

| x | $s_t$ | $s_{t+1}$ | y |
|---|-------|-----------|---|
| 0 | 1     | 4         | 0 |
| 1 |       | 3         |   |
| 0 | 2     | 6         | 0 |
| 1 |       | 3         |   |
| 0 | 3     | 5         | 0 |
| 1 |       | 2         |   |
| 0 | 4     | 2         | 1 |
| 1 |       | 5         |   |
| 0 | 5     | 1         | 0 |
| 1 |       | 4         |   |
| 0 | 6     | 3         | 0 |
| 1 |       | 4         |   |

# Sümboolne minimeerimine ja kodeerimine

- Sümboolite tabelite minimeerimine
- Kahend- ja MV-loogika funktsioonide minimeerimise edasiarendus
  - Rakendused – kodeerimine
    - operatsioonikoodid, automaadi olekud, jne.
  - Lahendatavad probleemid
    - sisendite, väljundite & kombineeritud kodeerimine
- Näide



| ad-mode | op-code | control |
|---------|---------|---------|
| INDEX   | AND     | CNTA    |
| INDEX   | OR      | CNTA    |
| INDEX   | JMP     | CNTA    |
| INDEX   | ADD     | CNTA    |
| DIR     | AND     | CNTB    |
| DIR     | OR      | CNTB    |
| DIR     | JMP     | CNTC    |
| DIR     | ADD     | CNTC    |
| IND     | AND     | CNTB    |
| IND     | OR      | CNTD    |
| IND     | JMP     | CNTD    |
| IND     | ADD     | CNTC    |

## Näide – sisendite kodeerimine

| ad-mode | op-code | control |
|---------|---------|---------|
| INDEX   | AND     | CNTA    |
| INDEX   | OR      | CNTA    |
| INDEX   | JMP     | CNTA    |
| INDEX   | ADD     | CNTA    |
| DIR     | AND     | CNTB    |
| DIR     | OR      | CNTB    |
| DIR     | JMP     | CNTC    |
| DIR     | ADD     | CNTC    |
| IND     | AND     | CNTB    |
| IND     | OR      | CNTD    |
| IND     | JMP     | CNTD    |
| IND     | ADD     | CNTC    |

| 1-hot / MV |      |      |
|------------|------|------|
| 100        | 1000 | 1000 |
| 100        | 0100 | 1000 |
| 100        | 0010 | 1000 |
| 100        | 0001 | 1000 |
| 010        | 1000 | 0100 |
| 010        | 0100 | 0100 |
| 010        | 0010 | 0010 |
| 010        | 0001 | 0010 |
| 001        | 1000 | 0100 |
| 001        | 0100 | 0001 |
| 001        | 0010 | 0001 |
| 001        | 0001 | 0010 |

| 1-hot / MV |      |      |
|------------|------|------|
| 100        | 1111 | 1000 |
| 010        | 1100 | 0100 |
| 001        | 1000 | 0100 |
| 010        | 0011 | 0010 |
| 001        | 0001 | 0010 |
| 001        | 0110 | 0001 |

| ad-md. | op-code           | ctrl |
|--------|-------------------|------|
| INDEX  | AND, OR, JMP, ADD | CNTA |
| DIR    | AND, OR           | CNTB |
| IND    | AND               | CNTB |
| DIR    | JMP, ADD          | CNTC |
| IND    | ADD               | CNTC |
| IND    | OR, JMP           | CNTD |



## Sisendite kodeerimine – lahendamine

- Minimaalse sümbolkatte teisendamine minimaalseks binaarkatteks
- Sümbolimplikantide vastavus kahendimplikantidega
- Liitimplikandid
  - vastavad sümbolid tuleb kodeerida selliselt, et vastav superkuup ei sisalda teisi sümboleid
- Sümbolid asendada kattes koodidega

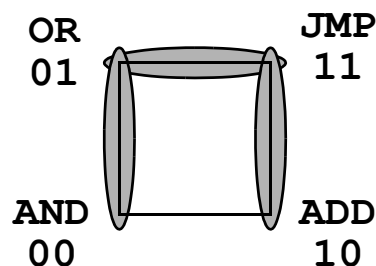
### Liitliteraalid

AND , OR , JMP , ADD

AND , OR

JMP , ADD

OR , JMP



|     |    |
|-----|----|
| AND | 00 |
| OR  | 01 |
| JMP | 11 |
| ADD | 10 |

|       |    |
|-------|----|
| INDEX | 00 |
| DIR   | 01 |
| IND   | 11 |

### Kodeeritud kate

| ad. | op. | ctrl |
|-----|-----|------|
| 00  | --  | 1000 |
| 01  | 0-  | 0100 |
| 11  | 00  | 0100 |
| 01  | 1-  | 0010 |
| 11  | 10  | 0010 |
| 11  | -1  | 0001 |

# Mealy või Moore?

- **Mealy**
  - vähem olekuid → vähem mäluelemente
  - keerulisemad väljundfunktsioonid
  - puhverdamata väljundid → asünkroonse tagasiside oht
- **Moore**
  - rohkem olekuid → rohkem mäluelemente
  - lihtsamad väljundfunktsioonid
  - “puhverdatud” väljundid

