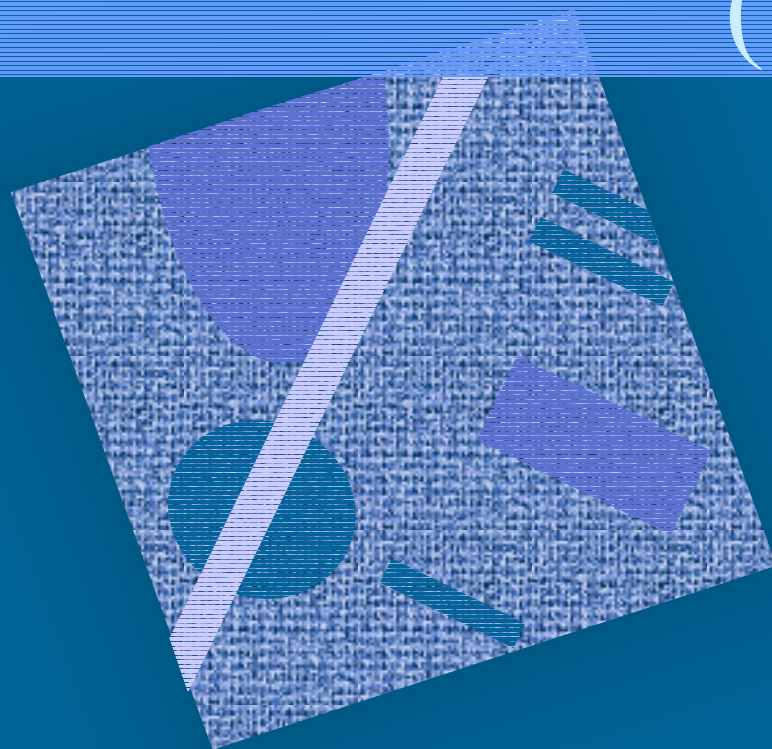


Luento 3

Konekielinen ohjelmointi (TTK-91, KOKSI)



Muuttujat

Tietorakenteet

Kontrolli

Optimointi

Tarkistukset

Tiedon sijainti suoritusaikana ⁽³⁾

- Muistissa (=keskusmuistissa)

- iso

Esim. 256 MB, tai 64 milj. 32 bitin sanaa

- hidas

Esim. 10 ns

- Rekisterissä

- pieni

Esim. 256 B, tai 64 kpl 32 bitin sanaa

- nopea

Esim. 1 ns

TTK-91: 8 kpl + PC + ...

- Probleemi: milloin muuttujan X arvo pidetään muistissa ja milloin rekisterissä?

- missä päin muistia? miten siihen viitataan?

Tieto ja sen osoite ⁽³⁾

```
X DC 12
....
LOAD R1, =X
LOAD R2, X
```

symbolin X arvo

muuttujan X arvo

```
int x =12;
```

muisti

230
12345
12556
128765
12222
12
12998

- Muuttujan X osoite on 230
- Muuttujan X arvo on 12
- Symbolin X arvo on 230 X=230:
 - symbolit ovat yleensä olemassa vain käännoaikana!
 - Virheilmoituksia varten symbolitaulua pidetään joskus yllä myös suoritusajana

muuttujan X osoite on symbolin X arvo

Tieto ja sen osoite (6)

```
Xptr DC 0
X    DC 12
LOAD R1, =X    ; R1 ← 230
STORE R1, Xptr ←
LOAD R2, X     ; R2 ← 12
LOAD R3, @Xptr ; R3 ← 12
```

muisti

230
12345
12556
128765
12222
12
12998

Xptr=225:

X=230:

- Muuttujan X osoite on 230
- Muuttujan X arvo on 12
- Osoitinmuuttujan (pointterin) Xptr osoite on 225
- Osoitinmuuttujan Xptr arvo on 230
- Osoitinmuuttujan Xptr osoittaman kokonaisluvun arvo on 12

C-kieli: Y = *ptrX

Osoitinmuuttujat ⁽⁵⁾

- Muuttujia samalla tavoin kuin kokonaislukuarvoiset muuttujatkin
- Arvo on jonkun tiedon osoite muistissa
 - globaalin yksi- tai monisanaisen tiedon osoite
 - muuttuja, taulukko, tietue, olio
 - keosta (heap, joskus ”kasa”) dynaamisesti (suoritusaikana) varatun tiedon osoite
 - Pascalin tai Javan ”new” operaatio palauttaa varatun muistialueen osoitteen (tai virhekoodin, jos operaatiota ei voi toteuttaa)
 - aliohjelman tai metodin osoite
 - osoite ohjelmakoodiin

Globaali, kaikkialla näkyvä data (2)

- Globaalit muuttujat ja muut globaalit tietorakenteet sijaitsevat ttk-91 koneen muistissa ohjelmakoodin jälkeen

– muuttujat

```
int X = 25;  
short Y;  
float Ft;
```

```
char Ch;  
char Str[] = "Pekka";  
boolean fBig;
```

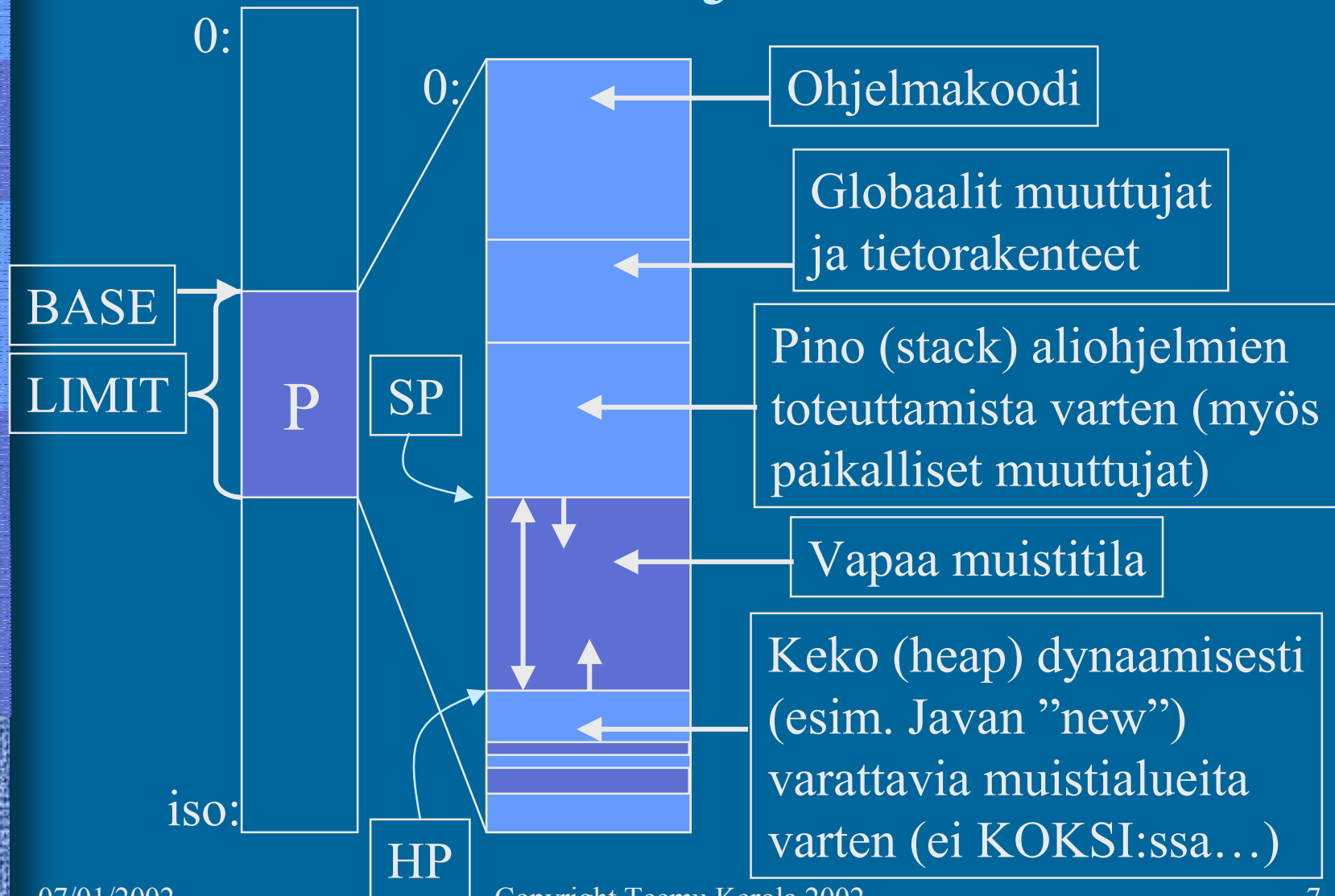
– tilan varaus

X	DC	25 ; alkuarvo = 25
Y	DC	0
fBig	DC	1 ; 1=true, 0=false

– viittaaminen

LOAD	R1, X
STORE	R2, Y

Muistitilan käyttö yhdelle ttk-91 ohjelmalle P ⁽⁶⁾



Muistissa oleva data ⁽³⁾

- Globaali data `int X; function Print();`
 - varataan ohjelman latauksen yhteydessä
 - kaikkialla viitattavissa nimen (osoitteen) avulla
- Dynaaminen data `Mach m = new Mach();`
 - varataan tarvittaessa keosta suorituksen aikana
 - vapautetaan kun ei enää tarvita `(ei Koksissa)`
 - viittaus varauksen jälkeen osoitteen avulla
- Aliohjelmien paikallinen data `parametrit, paik. muuttuja`
 - varataan pinosta kutsuhetkellä
 - vapautetaan rutiinista paluun yhteydessä
 - viittaus aliohjelman sisällä osoitteen avulla

Tiedon sijainti suoritusaikana (4)

- Rekisteri
 - nopein, kääntäjä varaa/vapauttaa
- Välimuisti
 - nopea, laitteisto hoitaa automaattisesti
- Muisti
 - ohjelma varaa/vapauttaa
 - aliohjelmien paik. muuttujat, parametrit
 - käyttöjärj. varaa/vapauttaa (pyydettäessä?)
 - globaali data ohjelman latauksen yhteydessä
 - dynaaminen data keosta suorituksen aikana
- Levy, levypalvelin (verkon takana)
 - liian hidasta, ei voi käyttää

Ohjelmoinnin peruskäsitteet (4)

- Aritmeettinen lauseke
 - miten tehdä laskutoimitukset?
- Yksinkertaiset tietorakenteet
 - yksiulotteiset taulukot, tietueet
- Kontrolli – mistä seuraava käsky?
 - valinta: if-then-else, case
 - toisto: for-silmukka, while-silmukka
 - aliohjelmat, virhetilanteet
- Monimutkaiset tietorakenteet
 - listat, moniulotteiset taulukot

Aritmeettinen lauseke (3)

tilan varaus

A	DC	0
B	DC	0
C	DC	0

```
int a, b, c;
```

```
...
```

```
b = 34;
```

```
a = b + 5 * c;
```

koodi

```
LOAD R1, =34  
STORE R1, B
```

```
....
```

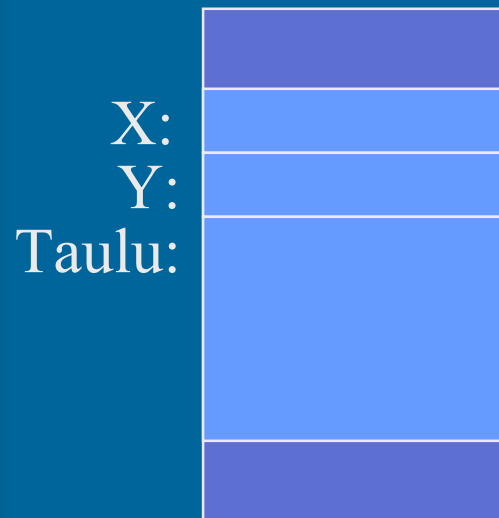
```
LOAD R1, B  
LOAD R2, C  
MUL R2, =5  
ADD R1, R2  
STORE R1, A
```

tai:

```
LOAD R1, =5  
MUL R1, C  
ADD R1, B  
STORE R1, A
```

Globaalin taulukon tilan varaus ja käyttö (3)

```
int X, Y;  
int Taulu[30];  
...  
X = 5;  
Y = Taulu[X];
```



X	DC	0
Y	DC	0
Taulu	DS	30

```
...  
LOAD R1, =5  
STORE R1, X  
LOAD R1, X  
LOAD R2, Taulu(R1)  
STORE R2, Y
```

Optimoiva kääntäjä osaisi jättää pois jälkimmäisen "LOAD R1,X" käskyn

Globaalien tietueiden tilan varaus ja käyttö (3)

```
int X;  
struct Tauno {  
    int Pituus;  
    int Paino;  
}  
...  
X = Tauno.Paino
```

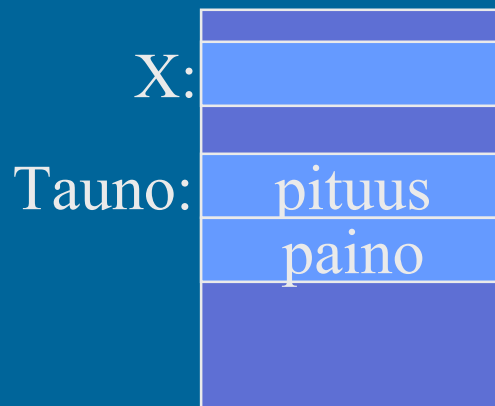
Kentän "Paino"
suhteellinen osoite
tietueen Tauno sisällä

X	DC	0
Tauno	DS	2
Pituus	EQU	0
Paino	EQU	1

...

```
LOAD R1,=Tauno  
LOAD R2, Paino(R1)  
STORE R2, X
```

Tietueen
osoite
on sen
ensimmäisen
sanan osoite



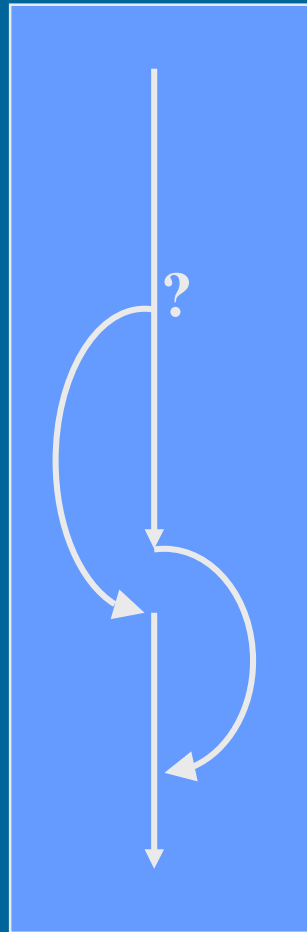
Kontrolli - valinta konekielellä (3)

- Ehdoton hyppy
 - JUMP, CALL ja EXIT, SVC ja IRET
- Hyppy perustuen laiterekisterin arvoon (vrt. 0)
 - JZER, JPOS, ...
- Hyppy perustuen aikaisemmin asetetun tilarekisterin arvoon
 - COMP
 - JEQU, JGRE, ...
 - Ongelma vai etu: ttk-91:ssä kaikki ALU käskyt asettavat tilarekisterin
 - ADD, SUB, MUL, DIV, NOT, AND, OR, XOR, SHL, SHR

```
COMP R2, LIMIT
JEQU LOOP
```

If-then-else -valinta (2)

```
if (a<b)
  x = 5;
else
  x = y;
```



```
LOAD R1, A
COMP R1, B
JNLES Else
```

```
LOAD R1, =5
STORE R1, X
```

```
JUMP Done
```

```
Else LOAD R1, Y
STORE R1, X
```

```
Done NOP
```

```
LOAD R2, Y
LOAD R1, A
COMP R1, B
JNLES Else
```

```
LOAD R2, =5
ELSE STORE R2, X
```

vai olisiko tämä parempi:

Case lauseke (2)

```
Switch (lkm) {  
  case 4: x = 11;  
          break;  
  
  case 0: break;  
  
  default: x = 0;  
           break;  
}
```

Onko case-tapausten järjestyksellä väliä?

Swi LOAD R1, Lkm

Vrt4 COMP R1, =4
 JNEQ Vrt0
 LOAD R2, =11
 STORE R2, X
 JUMP Cont

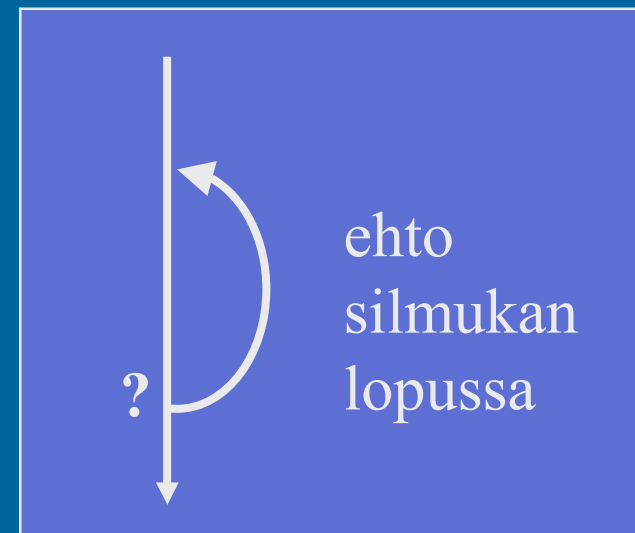
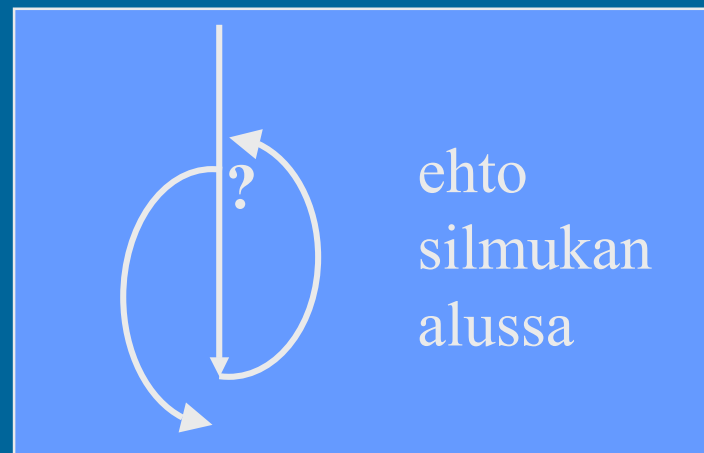
Vrt0 COMP R1, =0
 JNEQ Def
 JUMP Cont

Def LOAD R2, =0
 STORE R2, X

Cont NOP

Toistolausekkeet (2)

- For-step-until -silmukka
- Do-until -silmukka
- Do-while -silmukka
- While-do -silmukka
- ...



For lauseke ⁽³⁾

```
for (int i=20; i < 50; ++i)  
    T[i] = 0;
```

Olisiko parempi
pitää i:n arvo
rekisterissä?
Miksi? Milloin?

Mikä on i:n arvo lopussa?
Onko sitä olemassa?

```
I      DC      0
```

```
...  
LOAD R1, =20  
STORE R1, I
```

```
Loop  LOAD R2, =0  
      LOAD R1, I  
      STORE R2, T(R1)
```

```
LOAD R1, I  
ADD   R1, =1  
STORE R1, I
```

```
LOAD R3, I  
COMP R3, =50  
JLES  Loop
```

While-do -lauseke (2)

```
X = 14325;  
Xlog = 1;  
Y = 10;  
while (Y < X) {  
    Xlog++;  
    Y = 10*Y  
}
```

Mitä kannattaa pitää muistissa?

Mitä kannattaa pitää rekisterissä ja milloin?

```
LOAD R1, =14325  
STORE R1, X  
LOAD R1, =1 ; R1=Xlog  
LOAD R2, =10 ; R2=Y  
While COMP R2, X  
JNLES Done  
ADD R1, =1  
MUL R2, =10  
JUMP While  
Done STORE R1, Xlog ; talleta tulos  
STORE R2, Y
```

Koodin generointi ⁽⁹⁾

- Kääntäjän viimeinen vaihe
 - voi olla 50% käänösajasta
- Tavallisen koodin generointi
 - alustukset, lausekkeet, kontrollirakenteet
- Optimoidun koodin generointi
 - käänös kestää kauemmin
 - suoritus tapahtuu nopeammin
 - milloin globaalin/paikallisen muuttujan X arvo kannattaa pitää rekisterissä ja milloin ei?
 - Missä rekisterissä X :n arvo kannattaa pitää?

Optimoitu For lauseke (3)

```
for (int i=20; i < 50; ++i)  
    T[i] = 0;
```

```
Loop LOAD R1, =20 ; i  
      LOAD R2, =0 ; 0  
      STORE R2, T(R1)  
      ADD R1, =1  
      COMP R1, =50  
      JLES Loop
```

Mitä eroja? Onko tämä OK?

122 vs. 272 suoritettua käskyä!
muuttujan i arvo lopussa?
152 vs. 452 muistiviitettä!

alkuperäinen koodi

```
I      DC      0  
      ...  
      LOAD R1, =20  
      STORE R1, I  
  
Loop   LOAD R2, =0  
      LOAD R1, I  
      STORE R2, T(R1)  
  
      LOAD R1, I  
      ADD R1, =1  
      STORE R1, I  
  
      LOAD R3, I  
      COMP R3, =50  
      JLES Loop
```

Virhetilanteisiin varautuminen (3)

- Suoritin tarkistaa käskyn suoritusaikana

- ”automaattinen”
- integer overflow,
divide by zero, ...

```
ADD  R1, R2 ; overflow??  
DIV  R4, =0 ; divide-by-zero
```

- Generoidut konekäskyt tarkistavat ja
explisiittisesti aiheuttavat keskeytyksen tai
käyttöjärjestelmän palvelupyynnön tarvittaessa

- ”manuaalinen”
- index out of bounds, bad method,
bad operand, ihan mitä vain haluat testata!

```
IndexOK  COMP  R1, Tsize      ; indeksin rajatarkistus  
          JLES  IndexOK  
          SVC  SP, =BadIndex ; käyttöjärj. huolehtii  
          ADD  R2, Taulu(R1) ; R1 = 12 345 000 ??
```

Taulukon indeksitarkistus⁽¹⁾

```
for (int i=20; i < 50; ++i)
    T[i] = 0;
```

```
I      DC      0

T      DS      50 ; data
Tsize  DC      50 ; koko
...
```

Voisiko loopin kontrollia ja indeksin tarkistusta yhdistää?
Optimoiva kääntäjä osaa!

```
Loop(1)
LOAD R1, =20
STORE R1, I
LOAD R2, =0
LOAD R1, I
```

```
ok1
JNNEG R1, ok1
SVC   SP,=BadIndex
COMP R1, Tsize
JLES  ok2
SVC   SP, =BadIndex
```

```
ok2
STORE R2, T(R1)
-----
LOAD R1, I
ADD  R1, =1
STORE R1, I ; 50 OK!
LOAD R3, I
COMP R3, =50
JLES Loop
```

Taulukon alaindeksi ei ala nollasta (ei animoitu)

```
for (int i=20; i < 50; ++i)  
    T[i] = 0;
```

```
I      DC    0  
  
T      DS 30 ; 30 alkiota  
Tlow   DC 20 ; alaraja  
Thigh  DC 50 ; yläraja+1  
...
```



indeksitarkistukset...

Taulukon alaindeksi ei ala nolasta ⁽³⁾

```
for (int i=20; i < 50; ++i)  
    T[i] = 0;
```

```
I      DC    0  
  
T      DS   30 ; 30 alkiota  
Tlow   DC   20 ; alaraja  
Thigh  DC   50 ; yläraja+1  
...
```

indeksitarkistukset...

```
LOAD R1, =20  
STORE R1, I  
  
Loop  LOAD R2, =0  
      LOAD R1, I  
      SUB  R1, Tlow  
      STORE R2, T(R1)  
  
      LOAD R4, I  
      ADD  R4, =1  
      STORE R4, I  
  
      LOAD R3, I  
      COMP R3, =50  
      JLES Loop
```

Moni-ulotteiset taulukot ⁽³⁾

- Ohjelmointikieli voi tukea suoraan moni-ulotteisia taulukoita

```
X = Tbl[i, j];
```

```
Y = Arr[k][6][y+2];
```

- Toteutus konekielitasolla aina (useimmissa arkkitehtuureissa) yksiulotteinen taulukko
 - vain yksi indeksirekisteri konekäskyssä
- Moniosainen toteutus
 - laske alkion osoite yksi-ulotteisessa taulukossa
 - käytä indeksoitua osoitusmoodia tiedon viittaukseen

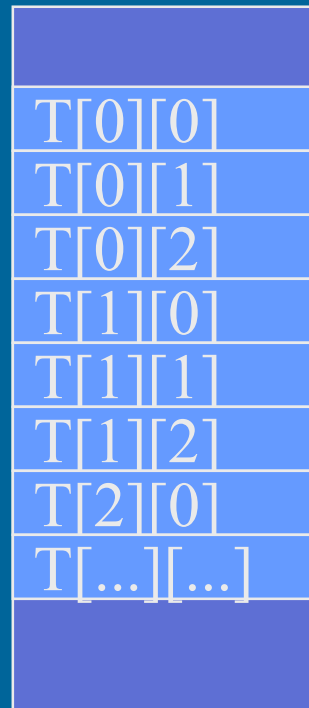
2-ulotteiset taulukot (6)

```
int[][] T = new int[4][3];
...
Y = T[i][j];
```

T:

0,0	0,1	0,2
1,0	1,1	1,2
2,0	2,1	2,2
3,0	3,1	3,2

looginen



fyysinen

```
T      DS      12
Trows DC      4
Tcols DC      3
...
LOAD  R1, I
```

Esimerkki
I=1, J=2 ?

R1

```
MUL   R1, Tcols
ADD   R1, J
```

R1

```
LOAD  R2, T(R1)
STORE R2, Y
```

Tarkistukset.... ?

Moni-ulotteiset taulukot (4)

- Talletus riveittäin
 - C, Pascal, Java?
- Talletus sarakkeittain
 - Fortran
- 3- tai useampi ulotteiset
 - samalla tavalla!

T:

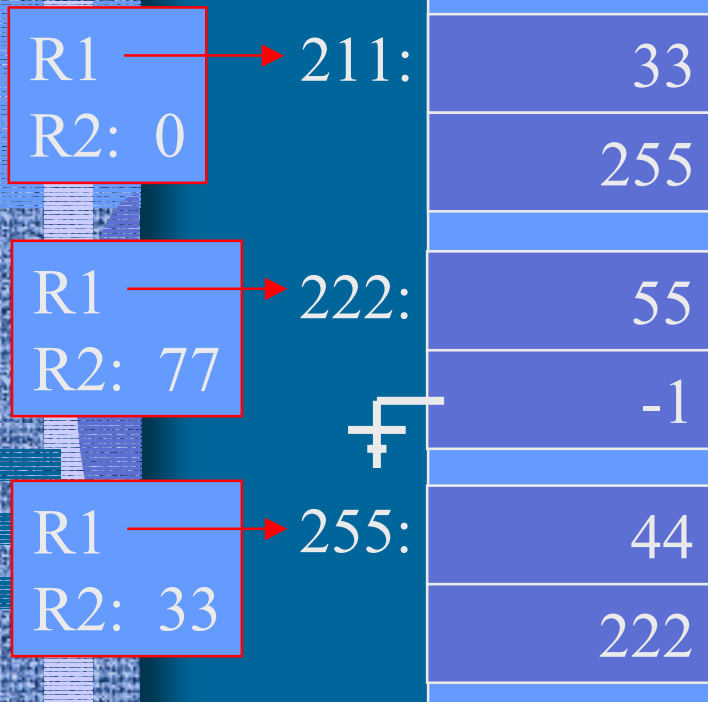
T[0][0]
T[1][0]
T[2][0]
T[3][0]
T[0][1]
T[1][1]
T[2][1]
T[...][...]

R1: -1
R2: 132

Linkitetty lista (8)



First=200:



list_sum.k91

```
Data EQU 0 ; suht. osoite
Next EQU 1
Sum DC 0
Main LOAD R1, First ; ptrRec
      JNEG R1, Done
      LOAD R2,=0 ; sum
Loop  ADD R2, Data(R1)
      LOAD R1, Next(R1)
      JNNEG R1, Loop
Done  STORE R2, Sum
      SVC SP, =HALT
```

Virhe, bugi! Missä?

Monimutkaiset tietorakenteet

- 2-ulotteinen taulukko T, jonka jokainen alkio on tietue, jossa neljä kenttää:
 - pituus
 - ikä
 - viime vuoden palkka kunakin kuukautena
 - viime vuoden töissäolopäivien lukumäärä kunakin kuukautena
- Talletustapa?
- Viitteet? `X = T[yliopNum][opNum].palkka[kk];`
- Tarkistukset?

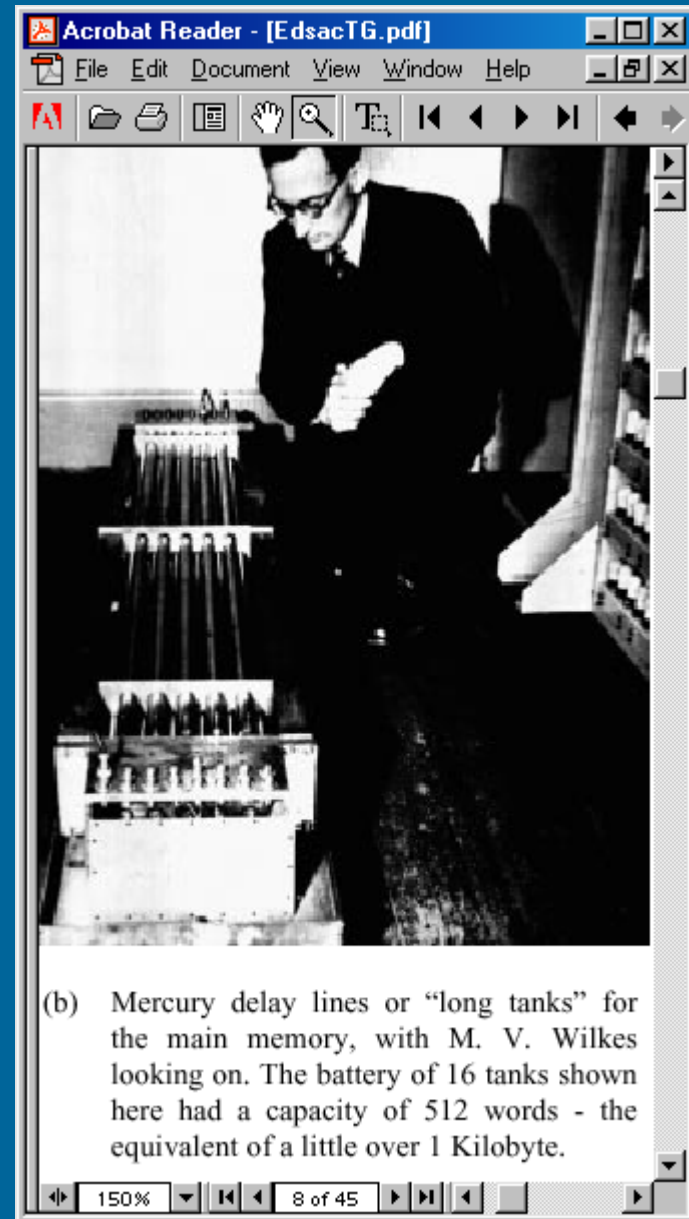
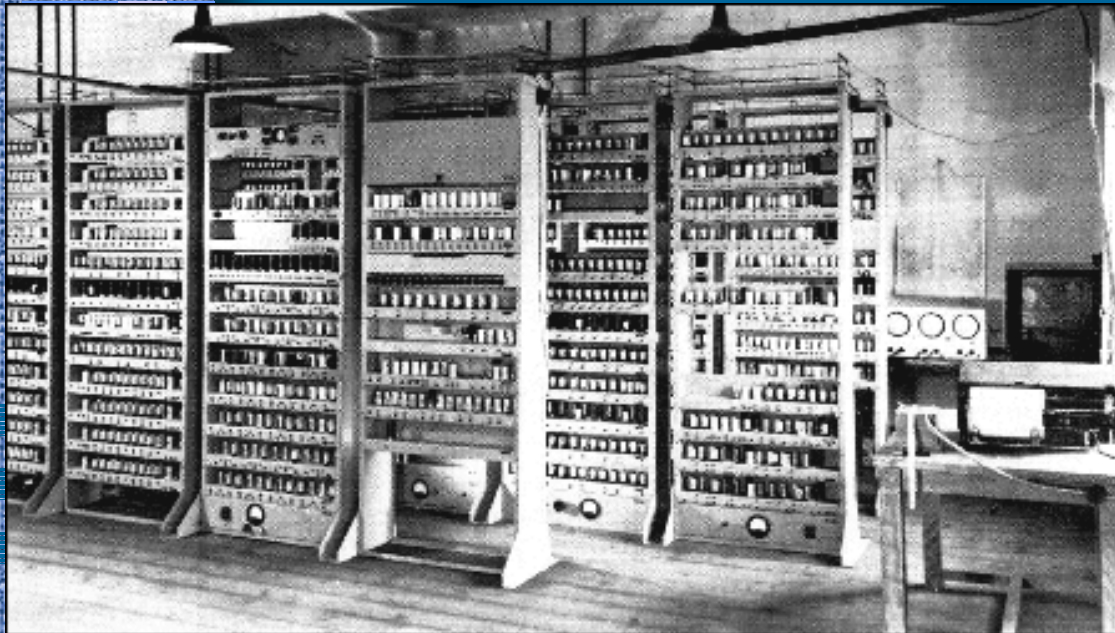
EDSAC

(Electronic Delay Storage Automatic Computer)

- Ensimmäinen toimiva ”todellinen” tietokone
 - ohjelma ja data samassa muistissa
 - Maurice Wilkes,
Cambridge University
 - 1949
 - 256 sanan muisti
 - elohopeasäiliöteknologia
 - 35-bitin sanat



EDSAC



Laitteisto

Muisti

EDSAC Simulator

Symbolinen konekieli

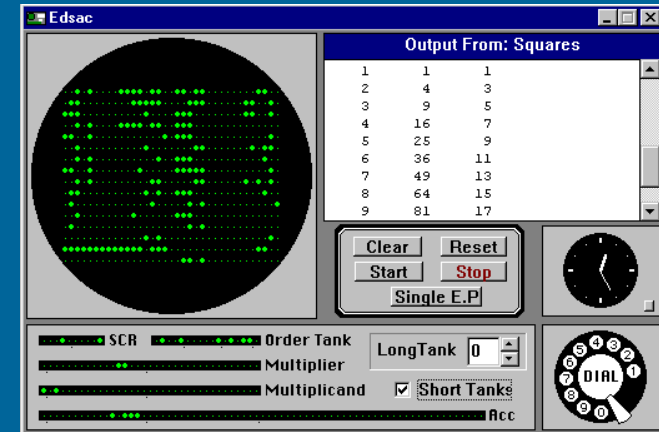
```

PRINT SQUARES

31 T 123 S ] As required
              initial in
enter → 32 E 84 S ] Jump to 84

33 || P S ] Used to kee
              of subtrac
34 || P S ] Power of 10
              subtracted

35 || P10000 S ]
36 || P 1000 S ] For use in
37 || P 100 S ] binary con
38 || P 10 S ]
39 || P 1 S ]
40 || Q S ]
41 || π S ] Figures
42 || A 40 S ]
    
```



<http://www.dcs.warwick.ac.uk/~edsac/>

Konekieli

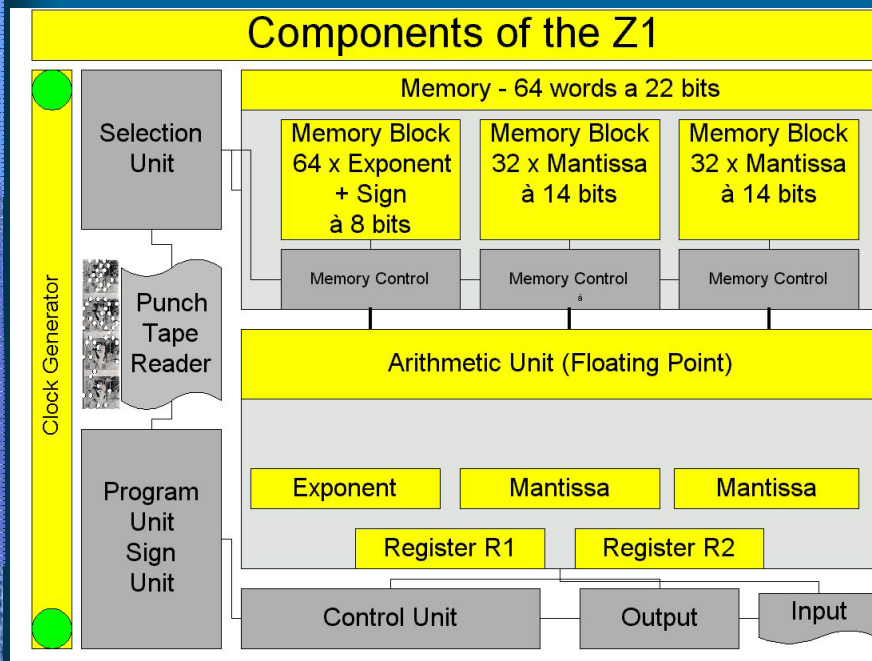
```

[Squares]
T123SE84SPSPSP10000SP1000SP100SP10SP1S
QS#SA40S!S&S@S043S033SPSA46S
T65ST129SA35ST34SE61ST48SA47ST65SA33SA40S
T33SA48SS34SE55SA34SPST48ST33SA52SA4S
U52SS42SG51SA117ST52SPSPSPSPSPS
E110SE118SP100SE95S041ST129S044S045SA76SA4S
U76ST48SA83ST75SE49S043S043SH76SV76SL64S
L32SU77SS78ST79SA77SU78ST48SA80ST75SE49S
043S043SA79ST48SA81ST75SE49SA35SA76SS82S
G85S041SZS
    
```

-- Luennon 3 loppu --

Konrad Zuse: Z1 (1938)

- mekaaninen ”laskin”, kellotaajuus 1 Hz
- kertolasku 5 s
- datamuisti 64W à 24b
- ohjelma reikänauhalta (filmiltä)



http://irb.cs.tu-berlin.de/~zuse/Konrad_Zuse/en/Rechner_Z1.html