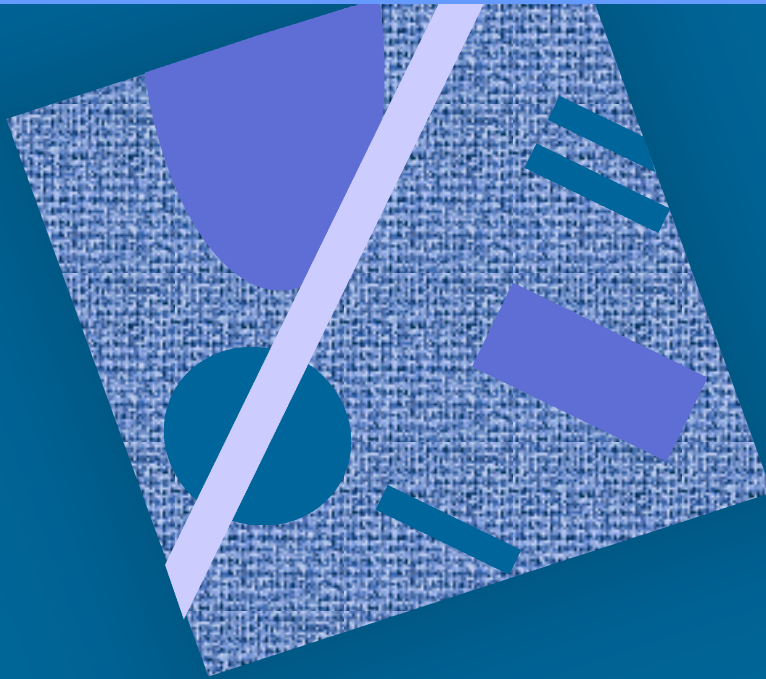


Luento 3

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
 - symbolit ovat yleensä olemassa vain käännösaikana!
 - Virheilmoituksia varten symbolitaulua pidetään joskus yllä myös suoritusaikana

X=230:

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;
```

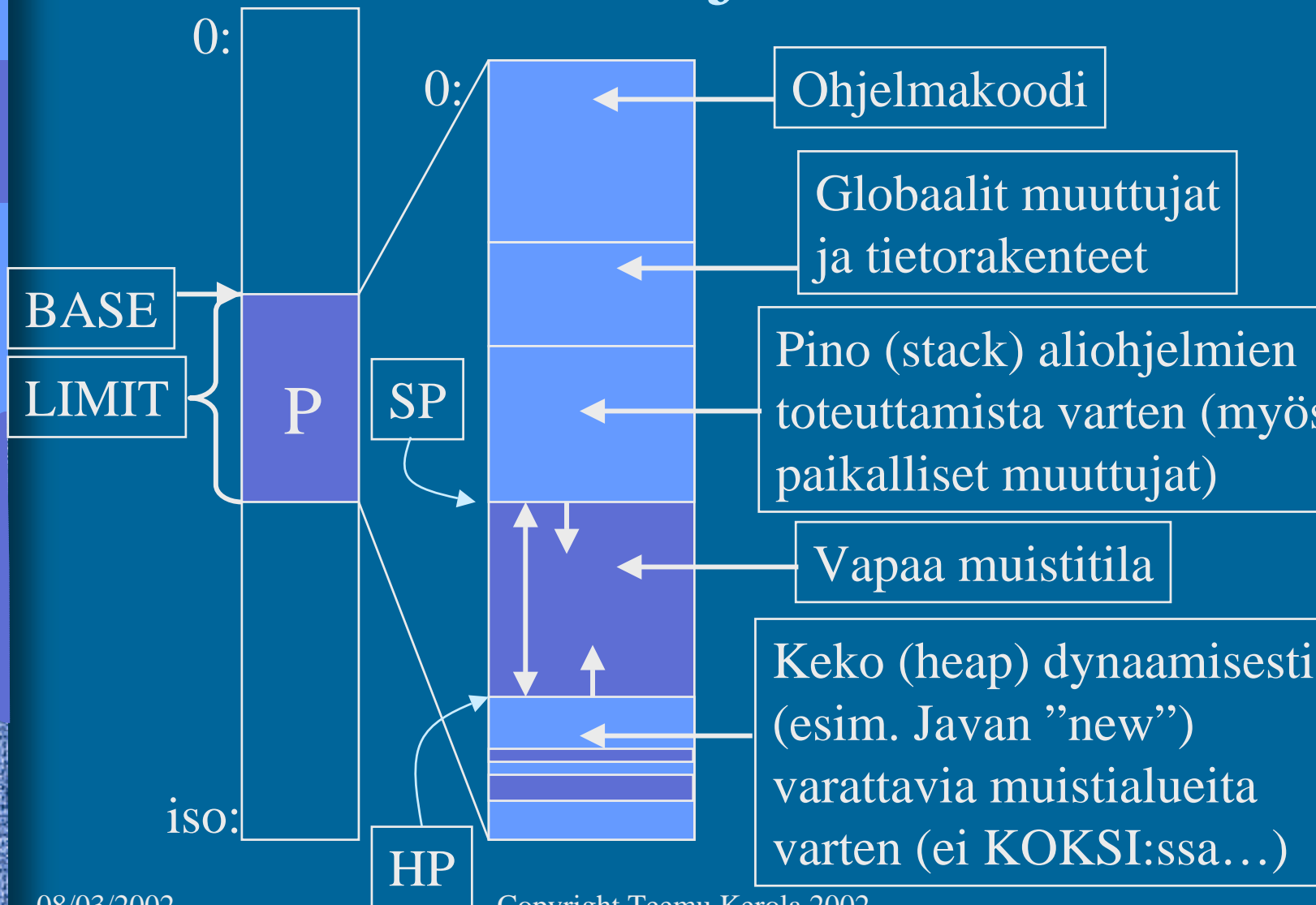
- tilan varaus

| | | |
|------|----|---------------------|
| 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 (pyydettyäessä?)
 - 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, tieteet
- 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

X:
Y:
Taulu:



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;
}
```

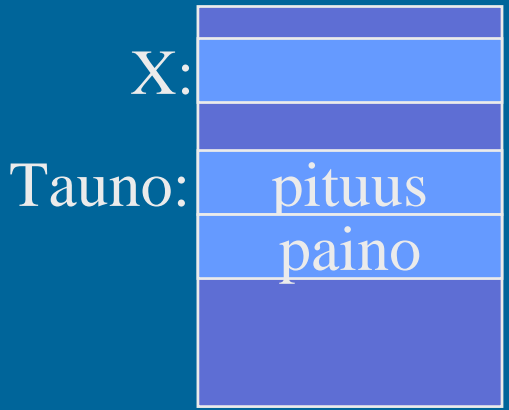
```
...
X = Tauno.Paino
```

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



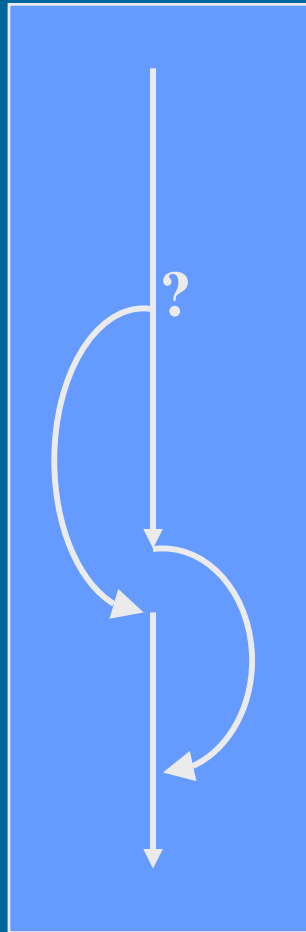
Kontrolli - valinta konekielellä ⁽³⁾

- 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 kaskeyt asettava 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

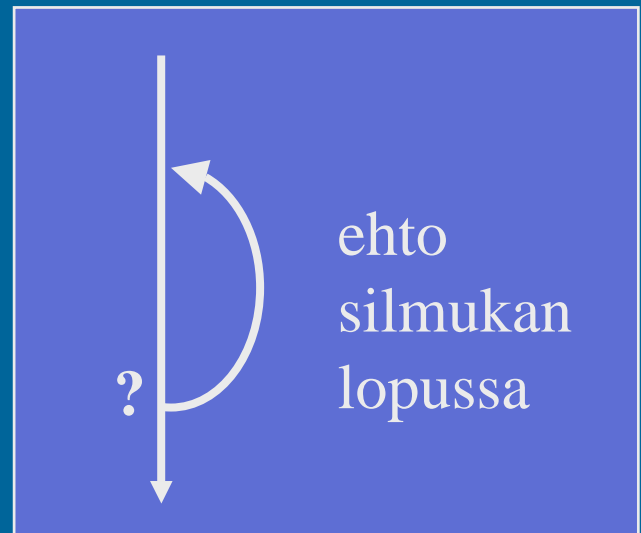
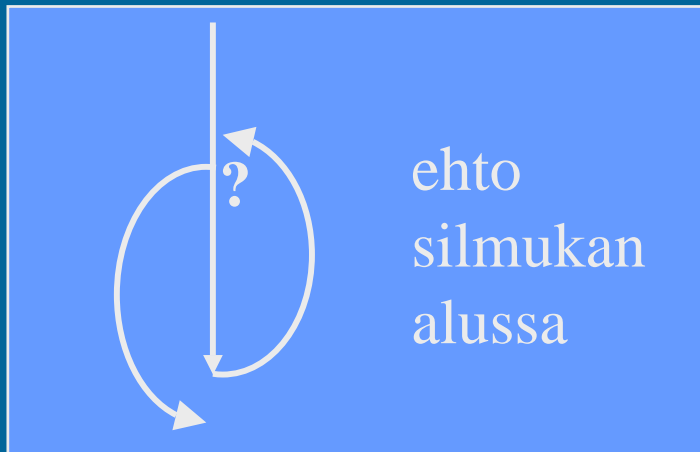
Vrt0 COMP R1, =0
JNEQ Def
JUMP Cont

Def LOAD R2,=0
STORE R2, X

Cont NOP

Toistolausekkeet (2)

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

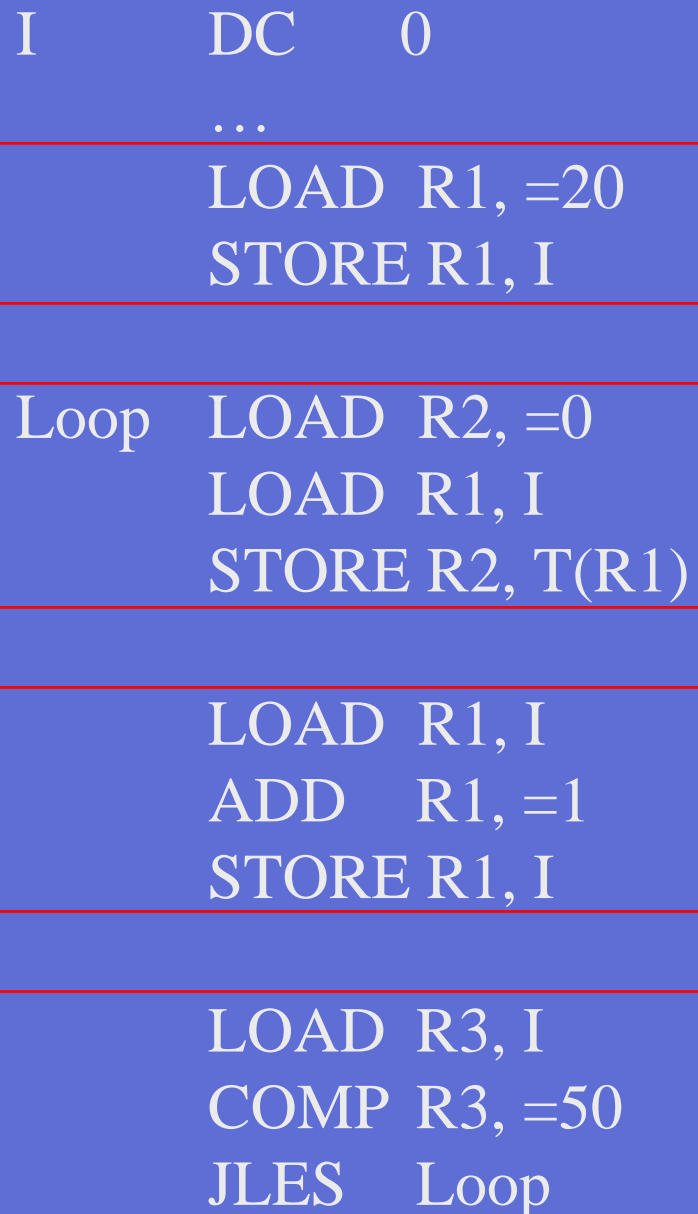


For lauseke ⁽³⁾

```
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?



While-do -lauseke (2)

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

Mitä kannattaa
pitää muistissa?

```
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
```

Mitä kannattaa pitää rekisterissä ja milloin?

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!

```
COMP R1, Tsize ; indeksin rajatarkistus
```

```
JLES IndexOK
```

```
SVC SP, =BadIndex ; käyttöjärj. huolehtii
```

IndexOK

```
ADD R2, Taulu(R1) ; R1 = 12 345 000 ??
```

Taulukon indeksitarkistus

```
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!

(1)
Loop

```
LOAD R1, =20
STORE R1, I
LOAD R2, =0
LOAD R1, I
```

```
JNNEG R1, ok1
SVC    SP,=BadIndex
ok1    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 nollasta ⁽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)

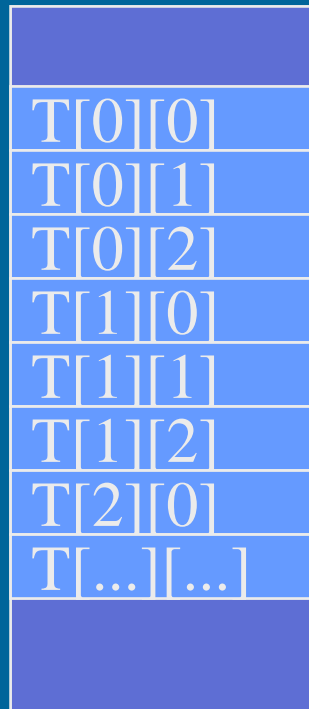
```
int[][] T = new int[4][3];  
...  
Y = T[i][j];
```

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

T:



fyysinen

```
T      DS      12  
Trows  DC      4  
Tcols  DC      3
```

Esimerkki
I=1, J=2 ?

```
...  
LOAD  R1, I
```

R1

```
MUL   R1, Tcols
```

R1

```
ADD   R1, J
```

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

```
STORE R2, Y
```

Tarkistukset... ?

Moni-ulotteiset taulukot (4)

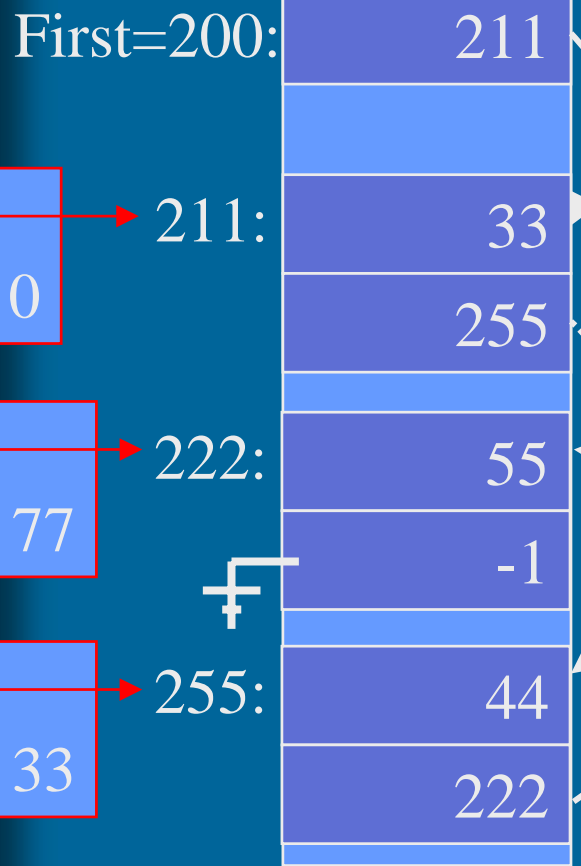
- Talletus riveittäin
 - C, Pascal, Java?
- Talletus sarakkeittain
 - Fortran
- 3- tai useampi ulotteiset
 - samalla tavalla!

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)



R1 → 211:
R2: 0

R1 → 222:
R2: 77

R1 → 255:
R2: 33

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?
- Tarkistukset?

```
X = T[yliopNum][opNum].palkka[kk];
```

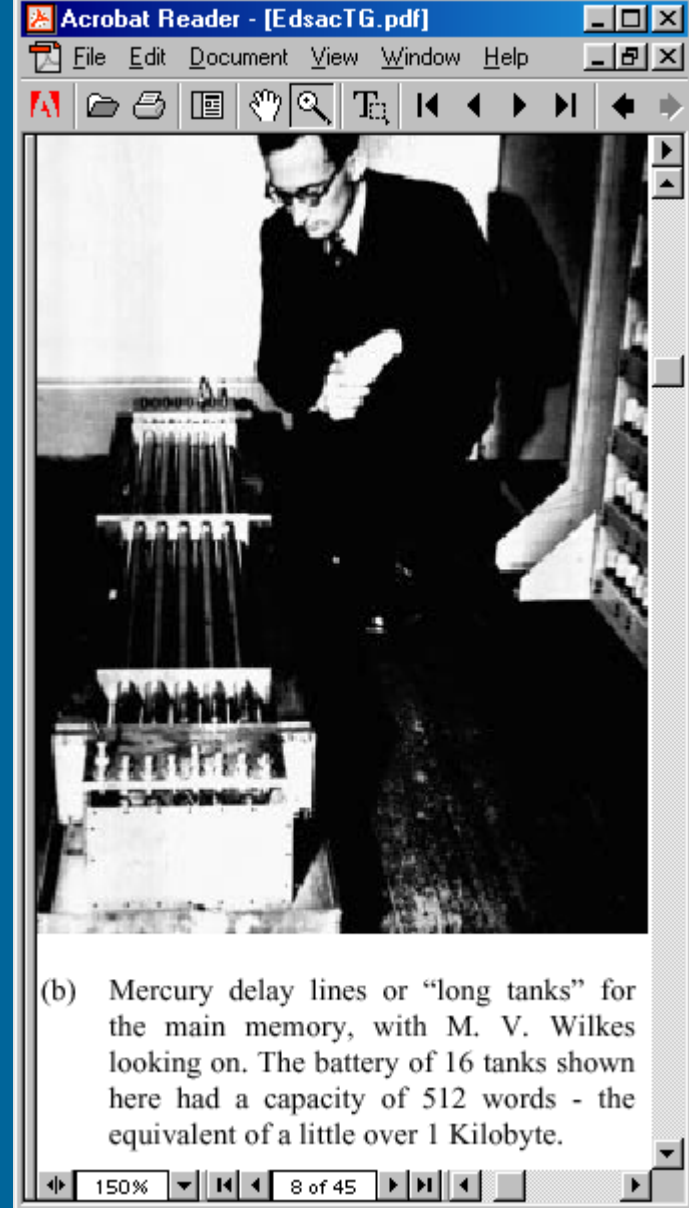
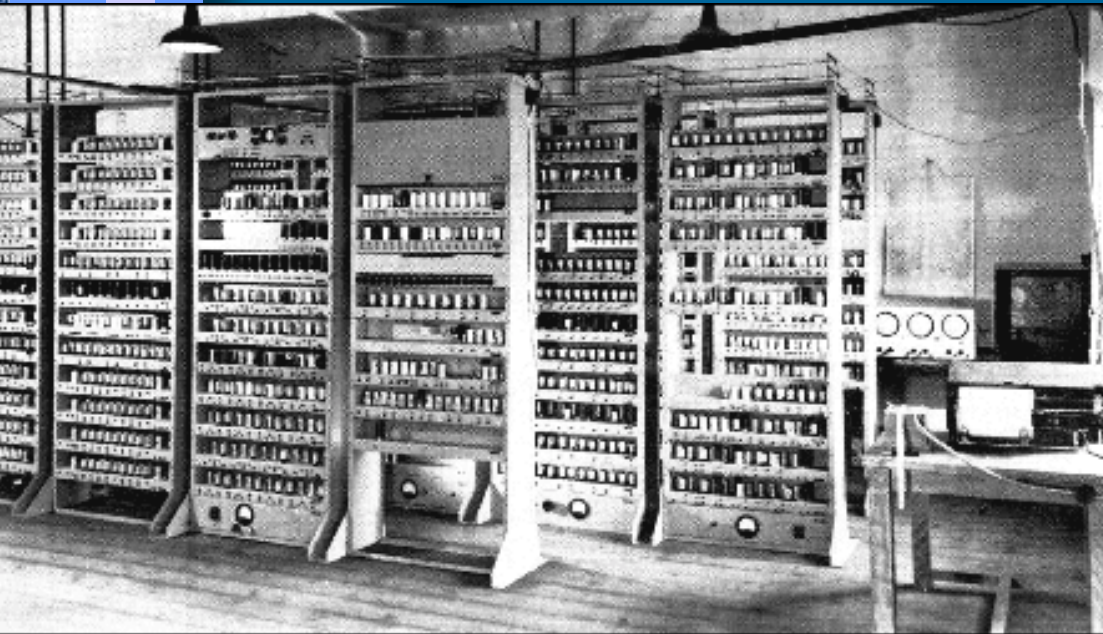
EDSAC

(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 | |
| | 33 | P | | S |] Used to kee of subtrac |
| | 34 | P | | S | |
| | 35 | P10000 | | S |] For use in binary con |
| | 36 | P 1000 | | S | |
| | 37 | P 100 | | S | |
| | 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/>

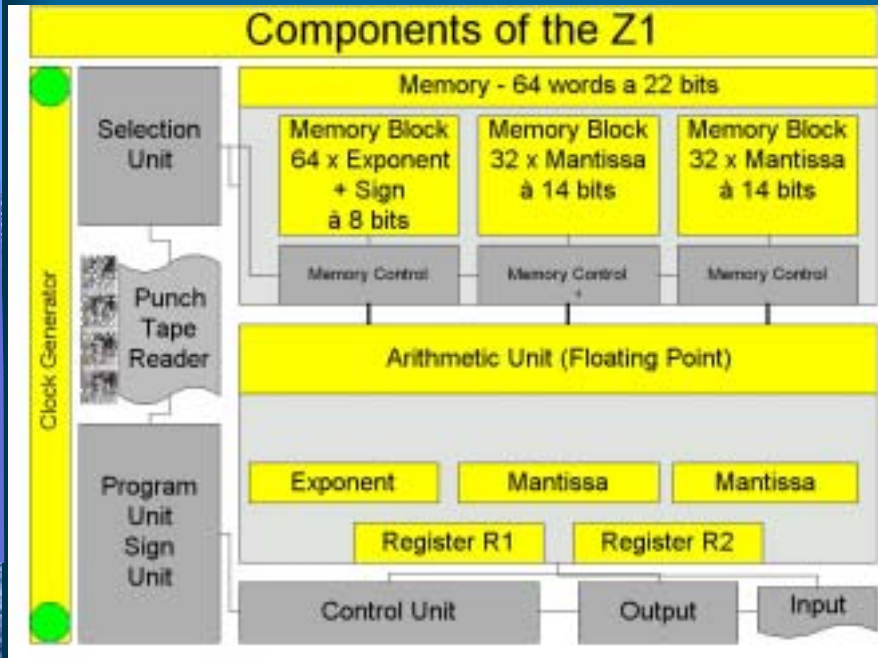
Konekieli

```
[Squares]
T123SE84SPSPSP10000SP1000SP100SP10SP1S
QS#SA40S!S&S0S043S033SPSA46S
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