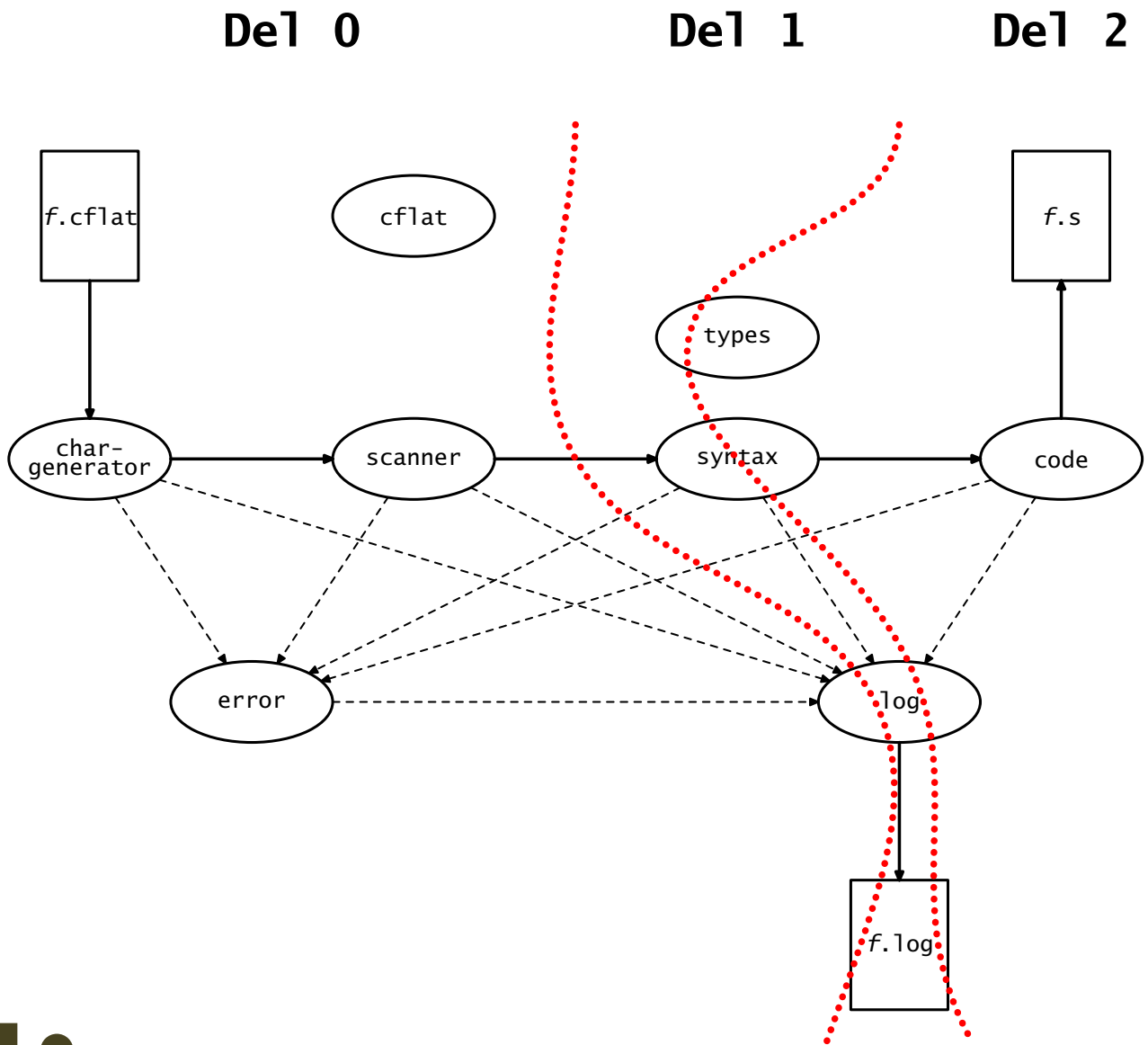
Dagens tema:

Kodegenerering

- Introduksjon
- Enkle variable
- Uttrykk
- Tilordning
- Litt mer kompliserte setninger med betingelser

(Alt om kodegenerering unntatt funksjoner.)

Prosjektoversikt

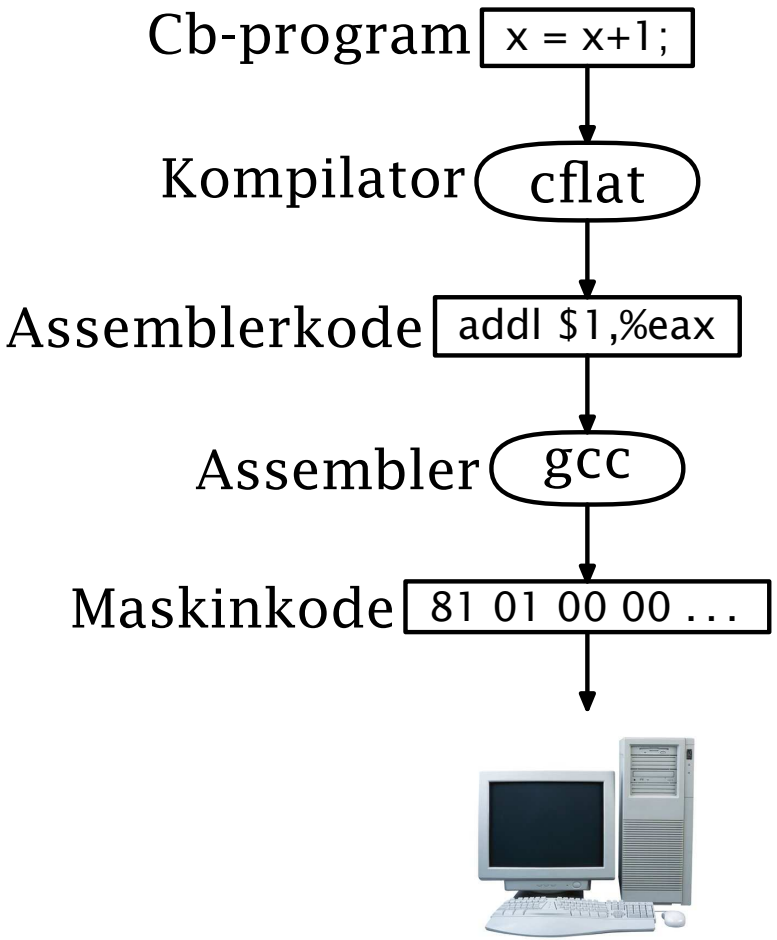


Formålet

Vårt oppdrag er å lage en kompilator:

Inndata er trerepresentasjonen av C♭-programmet laget i del 1.

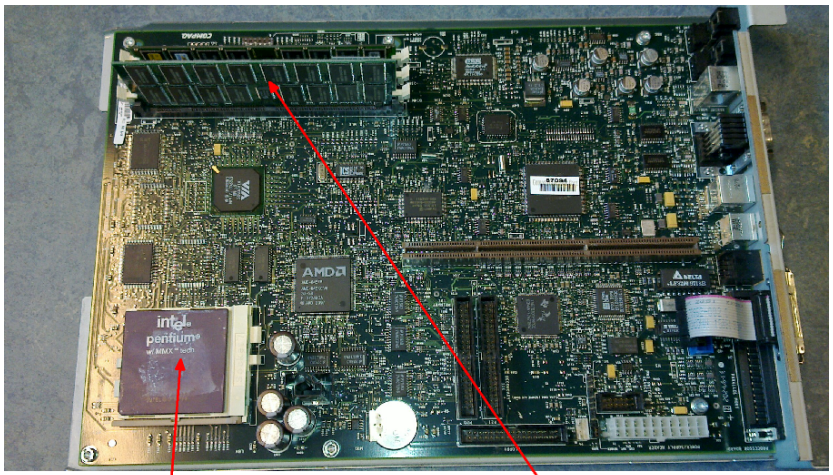
Utdata er en fil med x86 assemblerkode.



Datamaskinen vår

Minnet inneholder tre former for data:

- **Data** inneholder globale variabler.
- **Stakken** inneholder parametre og lokale variabler.
- **Koden** er programmet (som tall).



Hvordan ser datamaskinen vår ut?

`movl`	⟨v_1⟩,⟨v_2⟩	Flytt ⟨v_1⟩ til ⟨v_2⟩.
`cdq`		Omform 32-bits %EAX til 64-bits %EDX:%EAX.
`leal`	⟨v_1⟩,⟨v_2⟩	Flytt *adressen* til ⟨v_1⟩ til ⟨v_2⟩.
`pushl`	⟨v⟩	Legg ⟨v⟩ på stakken.
`popl`	⟨v⟩	Fjern toppen av stakken og legg verdien i ⟨v⟩.
`addl`	⟨v_1⟩,⟨v_2⟩	Addér ⟨v_1⟩ til ⟨v_2⟩.
`subl`	⟨v_1⟩,⟨v_2⟩	Subtraher ⟨v_1⟩ fra ⟨v_2⟩.
`imull`	⟨v_1⟩,⟨v_2⟩	Multipliser ⟨v_1⟩ med ⟨v_2⟩.
`idivl`	⟨v⟩	Del %EDX:%EAX med ⟨v⟩; svar i %EAX.
`call`	⟨lab⟩	Kall funksjonen i ⟨lab⟩.
`enter`	$⟨n⟩,$0	Opprett ⟨n⟩ byte lokale variabler.
`ret`		Returner fra funksjonen.
`leave`		Fjern lokale variabler
`cmpl`	⟨v_1⟩,⟨v_2⟩	Sammenligning ⟨v_1⟩ og ⟨v_2⟩.
`jmp`	⟨lab⟩	Hopp til ⟨lab⟩.
`sete`	⟨v⟩	Sett ⟨v⟩=1 om $=$, ellers ⟨v⟩=0.
`setne`	⟨v⟩	Sett ⟨v⟩=1 om $\neq$, ellers ⟨v⟩=0.
`setl`	⟨v⟩	Sett ⟨v⟩=1 om $<$, ellers ⟨v⟩=0.
`setle`	⟨v⟩	Sett ⟨v⟩=1 om $\leq$, ellers ⟨v⟩=0.
`setg`	⟨v⟩	Sett ⟨v⟩=1 om $>$, ellers ⟨v⟩=0.
`setge`	⟨v⟩	Sett ⟨v⟩=1 om $\geq$, ellers ⟨v⟩=0.

Hvordan ser datamaskinen vår ut?

faddp	Adder to flyttall.
fdivp	Divider ett flyttall på et annet.
fildl ⟨v⟩	Legg heltall i ⟨v⟩ på stakken som flyttall.
fistpl ⟨v⟩	Lagre flyttall som int i ⟨v⟩.
fldl ⟨fv⟩	Legg flyttall på stakken.
fldz	Legg 0,0 på stakken.
fmulp	Multipliser to flyttall.
fstpl ⟨fv⟩	Lagre flyttall som double i ⟨fv⟩.
fstps ⟨fv⟩	Lagre flyttall som float i ⟨fv⟩.
fsubp	Subtraher ett flyttall fra et annet.

Anta at vi har C♭-koden

```
v = 1 + 2;
```

Disse x86-instruksjonene gjør dette:

```
movl    $1,%eax    # %EAX=1 %ECX=? stack=...
pushl   %eax       # %EAX=1 %ECX=? stack=... 1
movl    $2,%eax    # %EAX=2 %ECX=? stack=... 1
movl    %eax,%ecx  # %EAX=2 %ECX=2 stack=... 1
popl    %eax       # %EAX=1 %ECX=2 stack=...
addl    %ecx,%eax  # %EAX=3 %ECX=2 stack=...
movl    %eax,v     # v = 3
```

Anta at vi har C♭-koden

```
v = 1 + 2;
```

Disse x86-instruksjonene gjør dette:

```
movl    $1,%eax    # %EAX=1 %ECX=? stack=...
pushl   %eax       # %EAX=1 %ECX=? stack=... 1
movl    $2,%eax    # %EAX=2 %ECX=? stack=... 1
movl    %eax,%ecx  # %EAX=2 %ECX=2 stack=... 1
popl    %eax       # %EAX=1 %ECX=2 stack=...
addl    %ecx,%eax  # %EAX=3 %ECX=2 stack=...
movl    %eax,v     # v = 3
```

Husk!

Det finnes mange mulige kodebiter som gjør det samme. I kompendiet står angitt nøyaktig hvilke som skal brukes.

Hvordan implementere kodegenerering

Det beste er å følge samme opplegg som for å sjekke programkoden:

Kodegenerering

Legg en metode genCode inn i alle klasser som representerer en del av C♭-programmet (dvs er subklasse av SyntaxUnit).

Metoden 'genCode'

```
class WhileStatm extends Statement {
    Expression test;
    StatmList body;

    @Override void check(DeclList curDecls) {
        :
    }

    @Override void genCode(FuncDecl curFunc) {
        :
    }

    static WhileStatm parse() {
        :
    }

    @Override void printTree() {
        :
    }
}
```

Konvensjoner

Kodegenerering blir mye enklere om vi setter opp noen fornuftige konvensjoner:

Konvensjoner

Kodegenerering blir mye enklere om vi setter opp noen fornuftige konvensjoner:

- Alle int-beregninger skal ende opp i %EAX.

Konvensjoner

Kodegenerering blir mye enklere om vi setter opp noen fornuftige konvensjoner:

- Alle int-beregninger skal ende opp i %EAX.
- Alle double-beregninger skal legges på flyttallsstakken.

Konvensjoner

Kodegenerering blir mye enklere om vi setter opp noen fornuftige konvensjoner:

- Alle int-beregninger skal ende opp i %EAX.
- Alle double-beregninger skal legges på flyttallsstakken.
- %ECX og %EDX er hjelperegistre.

Konvensjoner

Kodegenerering blir mye enklere om vi setter opp noen fornuftige konvensjoner:

- Alle int-beregninger skal ende opp i %EAX.
- Alle double-beregninger skal legges på flyttallsstakken.
- %ECX og %EDX er hjelperegistre.
- Hovedstakken (aksessert via %ESP) er til

Konvensjoner

Kodegenerering blir mye enklere om vi setter opp noen fornuftige konvensjoner:

- Alle int-beregninger skal ende opp i %EAX.
- Alle double-beregninger skal legges på flyttallsstakken.
- %ECX og %EDX er hjelperegistre.
- Hovedstakken (aksessert via %ESP) er til
  - mellomresultater av int-verdier

Konvensjoner

Kodegenerering blir mye enklere om vi setter opp noen fornuftige konvensjoner:

- Alle int-beregninger skal ende opp i %EAX.
- Alle double-beregninger skal legges på flyttallsstakken.
- %ECX og %EDX er hjelperegistre.
- Hovedstakken (aksessert via %ESP) er til
  - mellomresultater av int-verdier
  - funksjonskall (neste uke)

Konvensjoner

Kodegenerering blir mye enklere om vi setter opp noen fornuftige konvensjoner:

- Alle int-beregninger skal ende opp i %EAX.
- Alle double-beregninger skal legges på flyttallsstakken.
- %ECX og %EDX er hjelperegistre.
- Hovedstakken (aksessert via %ESP) er til
  - mellomresultater av int-verdier
  - funksjonskall (neste uke)
- Flyttallsstakken er til

Konvensjoner

Kodegenerering blir mye enklere om vi setter opp noen fornuftige konvensjoner:

- Alle int-beregninger skal ende opp i %EAX.
- Alle double-beregninger skal legges på flyttallsstakken.
- %ECX og %EDX er hjelperegistre.
- Hovedstakken (aksessert via %ESP) er til
  - mellomresultater av int-verdier
  - funksjonskall (neste uke)
- Flyttallsstakken er til
  - mellomresultater av double-verdier

Variabler

Det finnes fem sorter variabler i Cb:

	Enkle	Array-er	
Globale	✔	✔	
Lokale	✔	✔	(De blå tar vi neste uke.)
Parametre	✔		

Variabler

Det finnes fem sorter variabler i Cb:

	Enkle	Array-er	
Globale	✔	✔	
Lokale	✔	✔	(De blå tar vi neste uke.)
Parametre	✔		

De kan være int eller double.

Variabler

Det finnes fem sorter variabler i C♭:

	Enkle	Array-er	
Globale	✔	✔	
Lokale	✔	✔	(De blå tar vi neste uke.)
Parametre	✔		

De kan være int eller double.

De kan forekomme i tre ulike situasjoner:

Deklarasjon	int v;
Tilordning	v = 1;
Bruk	if (v>0) . . .

Generering av globale variable

```
abstract class Declaration extends SyntaxUnit {
    String name, assemblerName;
    Type type;
    boolean visible = false;
    Declaration nextDecl = null;
        :
        :
```

```
abstract class VarDecl extends Declaration {
        :
        :
```

```
class GlobalSimpleVarDecl extends VarDecl {
    GlobalSimpleVarDecl(String n) {
        super(n);
        assemblerName = (Cflat.underscoredGlobals() ? "_" : "") + n;
    }

    @Override void genCode(FuncDecl curFunc) {
        Code.genVar(assemblerName, true, declSize(),
                    type.typeName()+" "+name+";");
    }

        :
        :
```

Metoden Code.genVar vil sette av plass til globale variabler:

```
public static void genVar(String name, boolean global,
                          int nBytes, String comment) {
    if (! generatingData) {
        codeFile.println("        .data");
        generatingData = true;
    }

    if (global)
        codeFile.println("        .globl  " + name);

    printLabel(name, false);
    codeFile.printf(".fill   %-24d", nBytes);

    if (comment.length() > 0) {
        codeFile.print("# " + comment);
    }
    codeFile.println();
}
```

Setninger

I kompendiet finner vi kodeskjemaer for alle setningene.

Assignment

⟨iv⟩ = ⟨ie⟩	⇒	⟨Beregn ⟨ie⟩ med svar i %EAX⟩ movl %eax,⟨iv⟩
⟨ia⟩[⟨ie$_1$⟩] = ⟨ie$_2$⟩;	⇒	⟨Beregn ⟨ie$_1$⟩ med svar i %EAX⟩ pushl %eax ⟨Beregn ⟨ie$_2$⟩ med svar i %EAX⟩ leal ⟨ia⟩,%edx popl %ecx movl %eax,(%edx,%ecx,4)

Assignment av flyttall

⟨fv⟩ = ⟨fe⟩ ⇒

```
    ⟨Beregn ⟨fe⟩ med svar på f-stakken⟩
    fstpl   ⟨fv⟩
```

Assignment av flyttall

⟨fv⟩ = ⟨fe⟩	⇒	⟨Beregn ⟨fe⟩ med svar på f-stakken⟩ fstpl ⟨fv⟩

Noen ganger må vi konvertere fra int til float:

⟨fv⟩ = ⟨ie⟩;	⇒	⟨Beregn ⟨ie⟩ med svar i %EAX⟩ movl %eax,**.tmp** fildl **.tmp** fstpl ⟨fv⟩

(Legg merke til hjelpevariabelen .tmp – den må alltid være der.)

Et *forslag* til implementering:

```
class AssignStatm extends Statement {
    Assignment assignment;

    @Override void genCode(FuncDecl curFunc) {
        assignment.genCode(curFunc);
    }

        .
        .
        .
}

class Assignment extends SyntaxUnit {
    Variable lhs;     /* "Left hand side" */
    Expression rhs;   /* "Right hand side" */

    @Override void genCode(FuncDecl curFunc) {
        if (⟨det dreier seg om et array-element⟩) {
           // To be written...
        } else {
           rhs.genCode(curFunc);
           lhs.declRef.genStore(rhs.valType);
        }
    }

    .
    .
    .
}
```

Hint

Alle VarDecl bør ha en genStore- og genStoreArray-metode for å lage kode for tilordning til seg selv; de *kan* se slik ut:

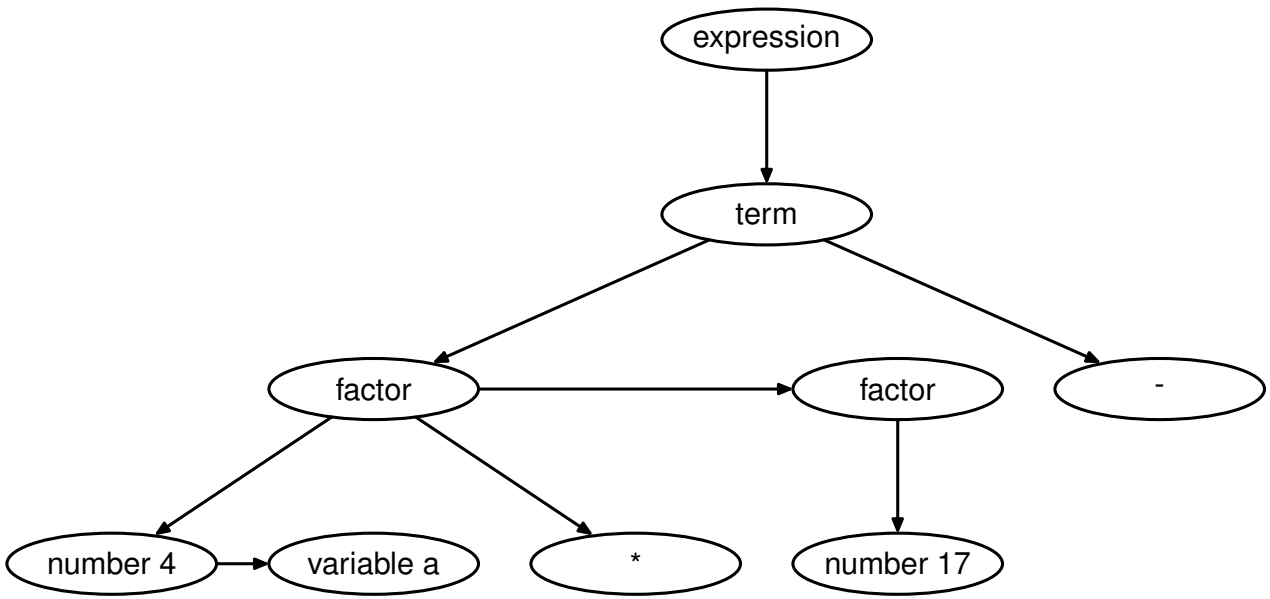
```
abstract class VarDecl extends Declaration {
    VarDecl(String n) {
        super(n);
    }

    void genStore(Type valType) {
        if (type==Types.doubleType && valType==Types.doubleType) {
            Code.genInstr("", "fstpl", assemblerName, name+" =");
        } else if (type==Types.doubleType && valType==Types.intType) {
            Code.genInstr("", "movl", "%eax,"+Code.tmpLabel, "");
            Code.genInstr("", "fildl", Code.tmpLabel, "  (double)");
            Code.genInstr("", "fstpl", assemblerName, name+" =");
        } else if (type==Types.intType && valType==Types.doubleType) {
            Code.genInstr("", "fistpl", assemblerName, name+" = (int)");
        } else if (type==Types.intType && valType==Types.intType) {
            Code.genInstr("", "movl", "%eax,"+assemblerName, name+" =");
        } else {
            Error.panic("Declaration.genStore");
        }
    }
```

Uttrykk

Hvordan lager vi kode for et uttrykk som

4 * a - 17

?



Operander

Det er ganske enkelt å lage kode som legger en global enkel int-variabel i %EAX-registeret eller en double-variabel på flyttallsstakken:

⟨iv⟩	⇒	`movl ⟨iv⟩,%eax`
⟨fv⟩	⇒	`fldl ⟨fv⟩`

Operander

Det er ganske enkelt å lage kode som legger en global enkel int-variabel i %EAX-registeret eller en double-variabel på flyttallsstakken:

⟨iv⟩	⇒	`movl ⟨iv⟩,%eax`
⟨fv⟩	⇒	`fldl ⟨fv⟩`

Det er like enkelt for int-konstanter (tall eller tegn).

⟨n⟩	⇒	`movl $⟨n⟩,%eax`

($-tegnet angir at det er snakk om en tallkonstant.)

Aritmetisk int-operatorer

$\langle ie_1 \rangle + \langle ie_2 \rangle \Rightarrow$

```
    ⟨Beregn ⟨ie1⟩ med svar i %EAX⟩
    pushl   %eax
    ⟨Beregn ⟨ie2⟩ med svar i %EAX⟩
    movl    %eax,%ecx
    popl    %eax
    addl    %ecx,%eax
```

Aritmetisk int-operatorer

$\langle ie_1 \rangle + \langle ie_2 \rangle \Rightarrow$

```
    ⟨Beregn ⟨ie1⟩ med svar i %EAX⟩
    pushl   %eax
    ⟨Beregn ⟨ie2⟩ med svar i %EAX⟩
    movl    %eax,%ecx
    popl    %eax
    addl    %ecx,%eax
```

- Ved at alle int-operander er innom %EAX blir det enklere å skrive kodegenereringen.

Aritmetisk int-operatorer

$\langle ie_1 \rangle$ + $\langle ie_2 \rangle$ $\Rightarrow$

```
    ⟨Beregn ⟨ie1⟩ med svar i %EAX⟩
    pushl   %eax
    ⟨Beregn ⟨ie2⟩ med svar i %EAX⟩
    movl    %eax,%ecx
    popl    %eax
    addl    %ecx,%eax
```

- Ved at alle int-operander er innom %EAX blir det enklere å skrive kodegenereringen.
- Divisjon og sammenligninger er litt vanskeligere; se tabellene i kompendiet.

Aritmetisk int-operatorer

$\langle ie_1 \rangle + \langle ie_2 \rangle \Rightarrow$

```
    ⟨Beregn ⟨ie1⟩ med svar i %EAX⟩
    pushl   %eax
    ⟨Beregn ⟨ie2⟩ med svar i %EAX⟩
    movl    %eax,%ecx
    popl    %eax
    addl    %ecx,%eax
```

- Ved at alle int-operander er innom %EAX blir det enklere å skrive kodegenereringen.
- Divisjon og sammenligninger er litt vanskeligere; se tabellene i kompendiet.
- Hvorfor må $\langle ie_1 \rangle$ legges på stakken?

Aritmetisk int-operatorer

$\langle ie_1 \rangle + \langle ie_2 \rangle \Rightarrow$

```
    ⟨Beregn ⟨ie1⟩ med svar i %EAX⟩
    pushl   %eax
    ⟨Beregn ⟨ie2⟩ med svar i %EAX⟩
    movl    %eax,%ecx
    popl    %eax
    addl    %ecx,%eax
```

- Ved at alle int-operander er innom %EAX blir det enklere å skrive kodegenereringen.
- Divisjon og sammenligninger er litt vanskeligere; se tabellene i kompendiet.
- Hvorfor må $\langle ie_1 \rangle$ legges på stakken?
- double-operatorene fordrer helt annen kode.

While-setningen med int-test

```
while (⟨ie⟩) {
    ⟨S⟩
}
```

⇒

```
.Ln1:   ⟨Beregn ⟨ie⟩ med svar i %EAX⟩
        cmpl    $0,%eax
        je      .Ln2
        ⟨S⟩
        jmp     .Ln1
.Ln2:
```

While-setningen med double-test

```
while (⟨fe⟩) {
    ⟨S⟩
}
```

⇒

```
.Ln1:   ⟨Beregn ⟨fe⟩ med svar på f-stak
        fstps   .tmp
        cmpl    $0,.tmp
        je      .Ln2
        ⟨S⟩
        jmp     .Ln1
.Ln2:
```

Siden de to variantene er like med unntak av kode for testen, er det nyttig med

```
public abstract class Type {
    public abstract int size();
    public abstract String typeName();

    public void genJumpIfZero(String jumpLabel) {}
}
```

```
public class Types {
    public static BasicType doubleType, intType;

    public static void init() {
        doubleType = new BasicType() {
                @Override public void genJumpIfZero(String jumpLabel) {
                    Code.genInstr("", "fstps", Code.tmpLabel, "");
                    Code.genInstr("", "cmpl", "$0,"+Code.tmpLabel, "");
                    Code.genInstr("", "je", jumpLabel, "");
                }
            };
```

Lokale navnelapper

Når vi skal lage slike hopp, trenger vi stadig nye navnelapper. Dette kan vi få fra Code-modulen:

```
private static int numLabels = 0;

public static String getLocalLabel() {
    return String.format(".L%04d", ++numLabels);
}
```

Hele koden for WhileStatm

```
class WhileStatm extends Statement {
    Expression test;
    StatmList body;


    @Override void genCode(FuncDecl curFunc) {
        String testLabel = Code.getLocalLabel(),
               endLabel  = Code.getLocalLabel();

        Code.genInstr(testLabel, "", "", "Start while-statement");
        test.genCode(curFunc);
        test.valType.genJumpIfZero(endLabel);
        body.genCode(curFunc);
        Code.genInstr("", "jmp", testLabel, "");
        Code.genInstr(endLabel, "", "", "End while-statement");
    }
```

Et eksempel

```
while (a < 10) {
    a = a + 1;
}
```

```
.L0001:                                 # Start while-statement
        movl    a,%eax                  # a
        pushl   %eax
        movl    $10,%eax                # 10
        popl    %ecx
        cmpl    %eax,%ecx
        movl    $0,%eax
        setl    %al                     # Test <
        cmpl    $0,%eax
        je      .L0002
        movl    a,%eax                  # a
        pushl   %eax
        movl    $1,%eax                 # 1
        movl    %eax,%ecx
        popl    %eax
        addl    %ecx,%eax               # Compute +
        movl    %eax,a                  # a =
        jmp     .L0001
.L0002:                                 # End while-statement
```