Härledda klasser

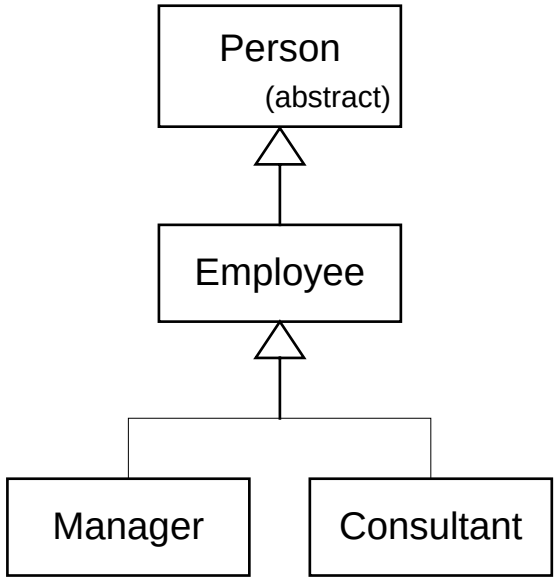
C++ har en relativt komplett och därmed komplicerad modell för härledning/arv

- stödjer flera sätt för subklasser att ärva från sina basklasser
  - *enkelt* arv – endast en direkt basklass
  - *multipelt* arv – två eller flera direkta basklasser
  - *upprepat* arv – en indirekt basklass ärvs flera gånger via multipelt arv
  - multipelt och upprepat arv kan leda till tvetydigheter och andra problem – behov av mekanismer för att lösa detta
- flera sätt att specificera *tillgänglighet för basklassmedlemmar* i den härledd klass
  - **public** basklass – **public**-medlemmar i basklassen blir **public** i den härledda klassen (**protected** blir **protected**)
  - **protected** basklass – **public**-medlemmar i basklassen blir **protected** i den härledda klassen (**protected** blir **protected**)
  - **private** basklass – **public**-medlemmar i basklassen blir **private** i den härledda klassen (**protected** blir **private**)
  - tillgängligheten är **public** om basen är en **struct**, **private** om en **class** ifall inget anges
  - en klass kan utse *vänner* – en **friend** har åtkomst till alla medlemmar, även privata
- polymorft beteende bestäms av programmeraren
  - objekt som ska bete sig polymorft måste refereras via pekare eller referenser
  - endast anrop av *virtuella* medlemsfunktioner kan bindas dynamiskt och därmed uppvisa polymorft beteende
  - en icke-polymorf klasshierarki använder arv för återanvändning av kod för, i princip, fristående klasser

Person-Employee-Manager-Consultant – en polymorf klasshierarki

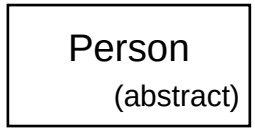
Konstruktion av en enkel *polymorf klasshierarki* för att hantera anställda (*employees*) vid ett företag.

- en klass för att representera *personer* i allmänhet – **Person**
  - har namn och personnummer (*civic registration number*)
  - alla anställda ska dela egenskaperna hos denna klass
  - inga objekt ska kunna skapas – ska vara en *abstrakt klass*
- en klass för anställda i allmänhet – **Employee**
  - har anställningsdatum, anställningsnummer, lön, anställning vid en avdelning
  - mer specialiserade kategorier av anställda ska härledas från denna klass
  - objekt ska kunna skapas – ska vara en *konkret klass*
- en klass för anställda som är avdelningschefer – **Manager**
  - ansvarar för en avdelning och dess anställda
- en klass för (tillfälligt) anställda som är konsulter – **Consultant**
  - ingen direkt skillnad jämfört med en anställd i allmänhet men ska vara särskiljbar typmässigt
- objekt skapas typiskt dynamiskt och hanteras med pekare
  - annars inget polymorft beteende hos objekt



***Observera**, I det fullständiga kodexemplet har medlemsfunktioner som implementeras med endast en rad **definierats** i klassdefinitionerna – i exemplen som visas på följande sidor **deklareras** endast funktionerna av utrymmesskäl.*

Class Person




```
class Person
{
public:
   virtual ~Person() = default;                    // HIC++ 12.5.2

   virtual std::string str() const;
   virtual Person* clone() const = 0;

   std::string  get_name() const;
   void         set_name(const std::string&);
   CRN          get_crn() const;
   void        set_crn(const IDA_Person::CRN&);

protected:
   Person(const std::string& name, const IDA_Person::CRN& crn);
   Person(const Person&) = default;                // HIC++ 12.5.2

private:
   Person& operator=(const Person&) = delete;      // HIC++ 12.5.8

   std::string name_;
   CRN         crn_;
};
```

- defaultkonstruktor, flyttkonstruktor och flyttilldelningsoperator genereras *inte*
- alla speciella medlemsfunktioner som annars skulle ha genererats implicit är deklarerade (kodningsregel)

Kommentarer till Person

- i grunden en trivial klass
  - välartade datamedlemmar – båda har defaultkonstruktion och destruering
  - de kompilatorgenererade speciella medlemsfunktionerna är i grunden bra men tillåts endast för internt bruk
- *”defaulted”* (= **default**) och *”deleted”* (= **delete**) medlemsfunktioner
  - *defaultkonstruktor* i genereras inte om någon annan konstruktor deklareras – kan ”*defaultas*” om önskad
  - *kopieringstilldelning* ska inte vara tillåten – åtkomstspecifikationen är betydelselös men underförstått **private** om ”*deleted*”
  - *flyttilldelning* genereras *inte* om destruktor, kopieringskonstruktor eller kopieringstilldelningoperator deklareras
  - *regel*: deklarera alltid speciella medlemsfunktioner som annars hade genererats för att tydligt dokumentera gränssnittet
- *virtuella funktioner* (**virtual***)*
  - virtuella funktioner kan *överskuggas* av subklasser – deklarera med `override` (*HIC++ 10.2.1*)
  - sker om en funktion med samma signatur deklareras i en subklass – deklarera inte **virtual** i subklasser
  - gör klassen *polymorf*
- *pure virtual funktion*
  - *pure specifier* = 0 gör att en virtuell funktion inte kan anropas en publik medlem
  - *kan* ha en separat definition – *måste* om en destruktor – anropbar från andra medlemsfunktioner och subklassers medlemsfunktioner
  - pure virtual funktioner ärvs – en subklass blir också abstrakt såvida inte alla ärvda pure virtual funktioner överskuggas
  - gör klassen *abstrakt*

Kommentarer till Person, forts.

- *polymorf klass*
  - har virtuella funktioner, egna eller ärvda
  - måste ha en *virtuell destruktor* för att säkerställa korrekt destruering av subobjekt (*HIC++ 12.2.1*)
  - objekt kommer att innehålla *typinformation* – används vid anrop av virtuella funktioner och av **dynamic_cast**
  - objekts kommer att innehålla en *virtuell tabell* (t.ex. `__vtable`) – implementeringsteknik för anrop av virtuella funktions (skapas av kompilatorn)
- *abstrakt klass*
  - inga fristående Person-objekt av kan skapas
- *skyddade konstruktorer*
  - eftersom Person är abstrakt finns det inget behov av publika konstruktorer
  - **protected** konstruktorer används för att framhäva abstraktheten – inget annat syfte finns
- *statisk typ* och *dynamisk typ*

```
Person* p = new Employee(…);        // p har statisk typ "pekare till Person"

p->clone();                         // den dynamiska typen för uttrycket *p är Employee
```

  - *statisk typ* används under kompilering för att kontrollera att clone() är tillåten för den typ av objekt p kan peka på
  - *dynamisk typ* används vid exekvering för att binda den överskuggning av clone() som gäller för det objekt som p pekar på

Konstruktor som tar namn och personnummer

```
Person::Person(const std::string& name, const CRN& crn)
    : name_{ name }, crn_{ crn }
{}
```

Säkerställer att en ny Person alltid har ett namn och ett personnummer

- defaultkonstruktorn genereras inte
- ingen annan konstruktor är tillgänglig som kan initiera objekt på något annat sätt, utom kopieringskonstruktorn och flyttkonstruktorn
- ska endast användas av motsvarande konstruktor i subklasserna – **protected**

Medlemsfunktionen str()

```
virtual std::string str() const;
```

Definition:

```
string Person::str() const
{
    return name_ + ' ' + crn_.str();
}
```

Anrop kommer att bindas *dynamiskt*, om objektet refereras av pekare eller referens.

- den dynamiska typen avgör vilken överskuggning som anropas

```
Person* p{ new Manager{name, crn, date, employment_number, salary, dept} };

cout << p->str() << endl;
```

  - pekaren `p` har *statisk typ* `Person*`
  - uttrycket `*p` har *dynamisk typ* `Manager`

```
(*p).str()
```

  - `Manager::str()` anropas – vi föredrar piloperatorn i detta fall

```
p->str()
```

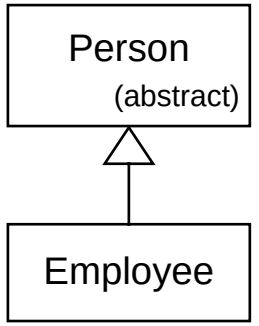
Medlemsfunktionen clone()

```
virtual Person* clone() const = 0;
```

Polymorfa klasser behöver ibland en *polymorf kopieringsfunktion*.

- använder man polymorfa klasser innebär det ibland att man ska allokera objekten dynamiskt och hanterar dem via pekare
  - kräver en polymorf kopieringsfunktion som clone()
  - varje konkret subklass måste ha sin egen, specifika överskuggning av clone()
- lämplig kandidat för att göra Person *abstrakt*
  - inga fristående Person-objekt ska kunna skapas
  - deklareras *pure virtual*, ”= 0” (*pure specifier*)
  - ingen definition ska (kan) finnas i detta fall
- standardbibliotekets strömklasser är exempel på polymorfla klasser som *inte* ska kunna kopieras
  - saknar publik kopieringskonstruktor

Subklassen Employee




```
class Employee : public Person
{
public:
    Employee(const std::string& name,
             const CRN&         crn,
             const Date&        e_date,
             int                e_number,
             double             salary,
             int                dept = 0);

    ~Employee() = default;                          // HIC++ 12.5.1, 12.5.2

    std::string str() const override;               // HIC++ 10.2.1
    Employee* clone() const override;               // observera returtypen – kovariant med Person*

    int     get_department() const;
    Date    get_employment_date() const;
    int     get_employment_number() const;
    double get_salary() const;

protected:
    Employee(const Employee&) = default;            // HIC++ 12.5.1, 12.5.2
```

```
    private:
        Employee& operator=(const Employee&) = delete;            // HIC++ 12.5.1

        friend class Manager;                                     // HIC++ 11.2.1 (använd inte friend)
        void set_department(int dept);
        void set_salary(double salary);

        IDA_date::Date e_date_;
        int            e_number_;
        double         salary_;
        int            dept_;
};
```

Kommentarer till Employee

- trivial klass
  - samma överväganden som för Person
- ett Employee-objekt består av ett *subobject* av typ Person och de specifika datamedlemmarna för Employee
  - Person-subobjektet initieras före medlemmarna i Employee
  - Person-subobjektet destrueras efter att medlemmarna i Employee har destruerats
  - det enda sättet att överföra argument till en konstruktor i Person är med en *medlemsinitierare*
- båda virtuella funktionerna överskuggas
  - Employee ska ha specifika versioner av både clone() och str()
  - Employee ska vara en konkret klass – clone() *måste* överskuggas och definieras
- märk en virtuell funktion `override` (*HIC++ 10.2.1*)
  - kompilatorn kontrollerar att det verkligen finns en sådan funktion i basklassen att överskugga
  - **virtual** deklareras *inte* (har ingen inverkan; var god kodningsstil i C++03)
- Manager är deklarerad som **friend**
  - alla medlemsfunktioner hos Manager har obegränsad åtkomst till alla medlemmar hos Employee, även **private**-medlemmar
  - *vänskap* skapar starkare koppling än härledning – härledning ger inte åtkomst till **private**-medlemmar (*HIC++ 11.2.1*)
  - anledningen till att Employee deklarerar Manager som vän sparar vi lite…

Publik konstruktor för Employee

```
Employee::Employee(const string& name,
                   const CRN&    crn,
                   const Date&   e_date,
                   int           e_nbr,
                   double        salary,
                   int           dept)
   : Person{name, crn}, e_date_{e_date}, e_number_{e_nbr}, salary_{salary}, dept_{dept}
{}
```

- Person-subobjektet initieras per definition först
  - Person-initieraren ska finnas först i initierarlistan
  - anrop av motsvarande konstruktor i Person
- Employees egna datamedlemmar initieras sedan i deklarationsordning
  - skriv deras initierare i samma ordningen
- en konstruktor ska uttryckligen initiera alla basklasser och icke-statiska datamedlemmar (*HIC++ 12.4.2, 12.4.4*)

Medlemsfunktionen str() överskuggas

```
string Employee::str() const
{
   return Person::str() + " (Employee) " + e_date_.str() + ' ' + std::to_string(dept_);
}
```

- anropar `str()` för Person-subobjektet för att generera en del av strängen som ska returneras
  - kvalificerat namn – `Person::str()` – krävs för att undvika rekursion
- `std::to_string()` är överlagrad för alla grundläggande typer

Medlemsfunktionen clone() överskuggas

```
virtual Employee* clone() const
{
    return new Employee{ *this };
}
```

- ska skapa ett kopia av det objekt som anropar clone() och returnera en pekare till kopian
- kopieringskonstruktorn är den naturliga operationen för att göra kopian
  - anropar i sin tur kopieringskonstruktorn för Person
- när returtypen tillhör en polymorf klasshierarki kan vi anpassa returtypen

```
Employee* p1{ new Employee{ name, crn, date, employment_nbr, salary} };

Employee* p2 = p1->clone();       // ingen typomvandling om clone() returnerar Employee*

Person*   p3 = p1->clone();       // implicit typomvandling till Person* – ”upcast”
```

  - typerna sägs vara *kovarianta*

Subklassen Manager

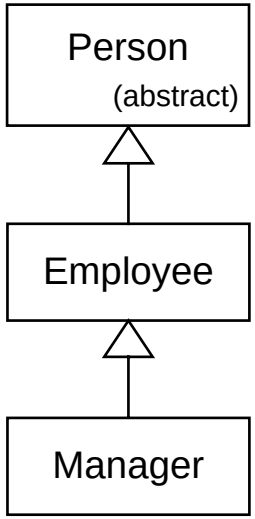
```
class Manager : public Employee
{
public:
    Manager(const std::string& name,
            const CRN&         crn,
            const Date&        e_date,
            int                e_number,
            double             salary,
            int                dept);
    ~Manager() = default;

    std::string str() const override;
    Manager*    clone() const override;

    void add_department_member(Employee* ep) const;
    void remove_department_member(int e_number) const;
    void print_department_list(std::ostream&) const;
    void raise_salary(double percent) const;

protected:
    Manager(const Manager&) = default;
private:
    Manager& operator=(const Manager&) = delete;

    // Manager äger inte Employee-objekten, destruering av dessa ska inte utföras av Manager
    mutable std::map<int, Employee*> dept_members_;
};
```



Kommentarer till Manager

- trivial klass
  - har en välartad datamedlem – dept_members_ – defaultinitieras till tom map
  - för övrigt samma överväganden och åtgärder som för Employee och Person
- ett Manager-objekt består av ett subobjekt av typ Employee – som i sin tur består av ett subobjekt av typ Person
  - subklassobjekten – deras datamedlemmar – initieras uppifrån-och-ner och inom klasserna i deklarationsordning

```
Person –> Employee –> Manager
```

  - destruering utförs i omvänd ordning och inom klasserna destrueras datamedlemmarna i omvänd deklarationsordning

```
Manager –> Employee –> Person
```

- `str()` överskuggas
- `clone()` överskuggas
- `dept_members_` deklareras **mutable**
  - add_department_member() och remove_department_member() deklareras som **const**-funktioner av logiska skäl
  - **mutable** tillåter att dept_members_ modifieras även av **const**-funktioner
- Manager är **friend** till Employee
  - Manager försöker inte komma åt privata medlemmar i Employee – så varför?
  - vi får strax veta…

Publik konstruktor för Manager

```
Manager(const std::string& name,
        const CRN&         crn,
        const Date&        e_date,
        int                e_number,
        double             salary,
        int                dept)
   : Employee{ name, crn, e_date, e_number, salary, dept }
{}
```

- alla parametrar överförs som arguments till den direkta basklassen Employee
- dept_members_ har defaultkonstruktion – en tom lista med anställda skapas för en ny Manager

Medlemsfunktionenerna str() och clone() överskuggade

```
string Manager::str() const
{
   return Person::str() + " (Manager) " + get_employment_date().str() + ' '
      + std::to_string(get_department());
}

virtual Manager* clone() const
{
   return new Manager{ *this };
}
```

Antag att vi skulle ha glömt att överskugga clone() för manager:

- den *sista överskuggaren* (*last overrider*) vore då Employee::clone()
- i stället för en Manager skulle clone() returnera en Employee
  - kopiera av Employee-subobjektet i den Manager som skulle ha kopierats

Anställda på avdelningen hanteras av Manager

```
void Manager::add_department_member(Employee* ep) const
{
    // Avdelningen för den anställda ska vara samma som avdelningschefens
    ep->set_department(get_department());                    // vänskap behövs

    // Lägg till i avdelningens lista över anställda
    dept_members_.insert(make_pair(ep->get_employment_number(), ep));
}
```

- Manager måste vara **friend** till Employee för att få anropa **protected**-medlemmen set_department() i denna kontext
  - funktionsparametern `ep` är en pekare till Employee
  - endast **public**-operationer är tillåtna via ep, om inte Manager är vän till Employee
  - om ep hade varit Manager* hade inte **friend** behövts men det är ju inte aktuellt
- En medlemsfunktion i Manager
  - kan komma åt **private**-medlemmar i sig själv och i andra Manager-objekt
  - kan komma åt **protected**-medlemmar – egna och ärvda – i sig själv och i andra *Manager-objekt*
  - kan bara komma åt **public**-medlemmar i objekt av typ Employee och Consultant, såvida inte **friend**

Consultant

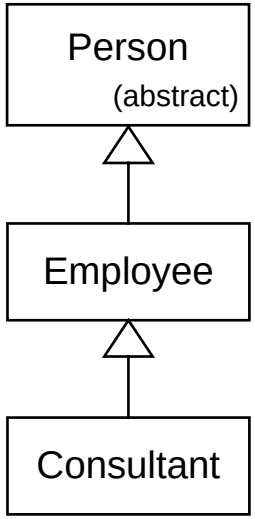
```
class Consultant final : public Employee          // ingen subklassning tillåten
{
public:
   using Employee::Employee;                      // konstruktorer ärvs

   ~Consultant() = default;

   std::string str() const override;
   Consultant* clone() const override;

protected:
   Consultant(const Consultant&) = default;

private:
   Consultant& operator=(const Consultant&) = delete;
};
```



Kommentarer till Consultant

- ingen egentlig skillnad jämfört med Employee
  - samma datamedlemmar, samma operationer
  - samma publika konstruktorer ska finnas – ärvs eller genereras
- vi vill kunna särskilja konsulter från vanliga anställda
  - subtypning är ett sätt att möjliggöra det
  - görs genom dynamisk typkontroll – **dynamic_cast** eller **typeid**-uttryck
- märka en klass `final`

```
class Consultant final : public Employee
```

  - det är inte tillåtet att härleda från Consultant
- märka en virtuell funktion `final`

```
virtual void str() const override final;
```

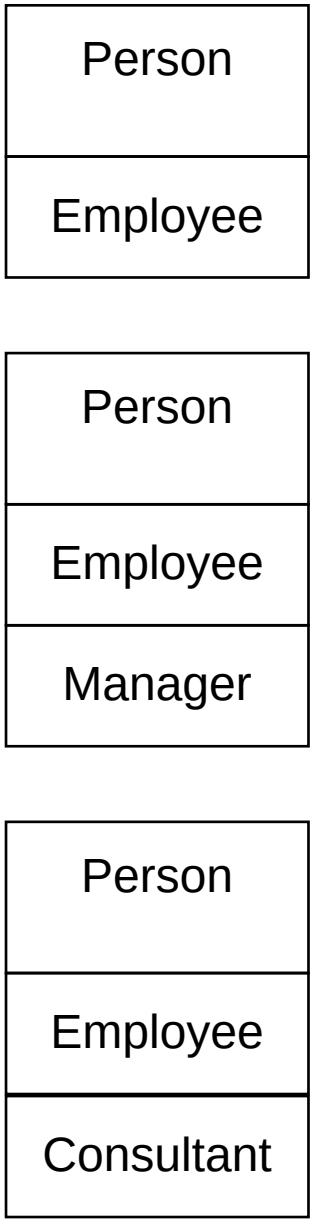
  - en sådan funktion kan inte överskuggas av subklasser
  - används inte i kodexemplet
- Consultant kommer att ha två publika konstruktorer, ärvda från Employee

```
Consultant(const std::string&, const CRN&, const Date&, int, double);
Consultant(const std::string&, const CRN&, const Date&, int, double, int);
```

Initiering och destruering av objekt av härledd typ

- ett objekt av härledd typ består av delar, subobjekt
  - subobjekt som motsvarar klassens basklasser
  - klassens egna datamedlemmar
- initieringsordningen är uppifrån-och ner
  - datamedlemmarna i ett basklass initieras före datamedlemmarna i en subklass
  - första konstruktorn som anropas är konstruktorn för den *mest härledda klassen*
  - den anropar sina direkta subklasskonstruktorer rekursivt
  - datamedlemmarna i en klass initieras i den ordning de deklareras
- destrueringsordningen är omvänd mot initieringsordningen – nerifrån-och-upp
  - datamedlemmarna i en subklass destrueras före datamedlemmarna i en basklass
  - först anropas den mest härledda klassens destruktor
  - datamedlemmarna i klassen destrueras i omvänd deklarationsordning
  - sist anropas de direkta basklassdestruktorerna, rekursivt
- viktigt att rotklassen i en polymorf klasshierarki har en virtuell destruktor
  - annars avgör pekartypen vilken destruktor som körs

```
Person* p{ new Consultant(...) };
...
delete p;        // ~Person() eller ~Consultant()?
```



Använda Person, Employee, Manager, Consultant

```
Person*     pp{ nullptr };     // kan peka på Employee-, Manager- eller Consultant-objekt (Person är abstrakt)
Employee*   pe{ nullptr };     // kan peka på Employee-, Manager- eller Consultant-objekt
Manager*    pm{ nullptr };     // kan endast peka på ett Manager-objekt
Consultant* pc{ nullptr };     // kan endast peka på ett Consultant-objekt


pm = new Manager{ name, crn, date, employment_nbr, salary, 17 };

pp = pm;                                  // ”upcast” sker automatiskt – Manager* -> Person*

pm = dynamic_cast<Manager*>(pp);          // ”downcast” måste göras uttryckligen – Person* -> Manager*

if (pm != nullptr)                        // har vi en Manager?
{
    pm->print_department_list(cout);
}
```

- polymorfa pekare – kan peka på objekt som motsvarande pekarens typ och dess subtyper
- *upcast* är en automatisk och är en säker typomvandling
- *downcast* måste göras uttryckligen och kan behöva kontrolleras innan vi opererar på objektet
  - print_department_list() är specifik för Manager och kan bara anropas via pekare av typ Manager*
- objekten i sig förändras inte – en Manager är alltid en Manager

Dynamisk typkontroll

Ett sätt att ta reda på ett objekts typ är med **`typeid`**-uttryck – inkludera `<typeinfo>`

```
if (typeid(*pp) == typeid(Manager)) ...
```

- kan användas för *typnamn*, *objekt* och alla slags *uttryck*
- ett **`typeid`**-uttryck returnerar ett objekt av typen `type_info`
- typkontroll kan göras genom att jämföra två `type_info`-objekt

`typeid`-uttryck:

`typeid``(*p)`	*returnerar ett* `type_info`*-objekt för den typ av objekt som pekaren* `p` *pekar på*
`typeid``(r)`	*returnerar ett* `type_info`*-objekt för den typ av objekt som referensen* `r` *refererar till*
`typeid``(T)`	*returnerar ett* `type_info`*-objekt för typen* `T`
`typeid``(p)`	*är vanligtvis ett misstag om* `p` *är en pekare – ger* `type_info`*-objekt för pekartypen*

`type_info`-operationer:

`==`	*testar likhet mellan två* `type_info`*-objekt* – **`typeid`**`(*p) == typeid(T)`
`!=`	*testar olikhet mellan två* `type_info`*-objekt* – **`typeid`**`(*p) != typeid(T)`
`name()`	*returnerar typens ”namn” i form av en C-sträng* – **`typeid`**`(*p).name()`

Dynamisk typkontroll, forts.

Typkontroll kan även göras med **`dynamic_cast`**.

- användning för polymorf pekare

```
Manager* pm{ dynamic_cast<Manager*>(pp) };      // typomvandla pp

if (pm != nullptr)
{
   pm->print_department_list(cout);
}
```

  - **`dynamic_cast`** returnerar **nullptr** om `pp` *inte* pekar på ett objekt av typen `Manager` eller en subtyp till `Manager`
- användning för polymorf referens – `rp` antas ha typ `Person&`

```
dynamic_cast<Manager&>(rp).print_department_list(cout);
```

  - om inte `rp` anger ett objekt av typen `Manager`, eller en subtyp till `Manager`, kastas undantaget `bad_cast`
  - det finns inget *”tomma-referensen-värde”* – en referens måste alltid vara bunden till ett objekt

Observera:

- med **typeid** kan man bara testa mot en *specifik* typ T, inte mot T och dess subtyper
- med **dynamic_cast** kan man testa om ett objektet är av typ `T` eller en subtyp till T
- **dynamic_cast** kräver dynamisk typinformation – endast tillåten för polymorfa klasstyper
- **typeid** kan användas för alla typer, objekt och uttryck

Dynamisk typomvandling

Med operatorn **`dynamic_cast`** kan man typomvandla polymorfa pekare och referenser:

`dynamic_cast``<T*>(p)`	*omvandlar pekaren* `p` *till ”pekare till* `T`*”*
`dynamic_cast``<T&>(r)`	*omvandlar referensen* `r` *till ”referens till* `T`*”*

- *”downcast”* från *bastypspekare* till *subtypspekare* eller från *bastypsreferens* till *subtypsreferens*
- *”upcast”* är en automatisk och säker typomvandling
- vid multipelt arv förekommer även *”crosscast”*

Sammanfattning av konstruktion av polymorfa klasshierarkier

- polymorft beteende
  - klasser måste vara polymorfa
  - objekt måste refereras av pekare eller referens
  - funktioner måste vara virtuella – anrop av en funktion som inte är virtuell binds alltid statiskt (vid kompileringen)
  - den *dynamiska typen* – typen för objektet – avgör vilken överskuggning av en virtuell funktion som anropas
- dynamisk typomvandling
  - krävs om en anropad funktion inte tillhör typen för pekaren/referensen – den *statiska typen*
  - funktionsanrop kontrolleras statiskt – inga exekveringsfel av sådan anledning
- rotklassen i en polymorf klasshierarki ska ha en *virtuell destruktor*
  - en kompilatorgenererad destruktor är vanligtvis **public** och *icke-virtuell*, men
  - om en basklass har en virtuell destruktor kommer en kompilatorgenerated subklassdestruktor också vara virtuell
- använd en virtuell medlemsfunktion som clone() för att kopiera polymorfa objekt
  - kopieringskonstruktorn bör elimineras eller deklareras **protected** och då användas enbart internt bruk
  - kopieringstilldelningsoperatorn bör elimineras helt
- märk en klass `final` för att förbjuda subklassning
- märk en virtuell funktion `override` för att få kompilkatorn att kontrollera att överskuggning görs korrekt
- märk en virtuell funktion `final` för att förhindra överskuggning i eventuella subklasser