❸ Semaforit ja rinnakkaisuuden hallinta

Tuottajat ja kuluttajat
Resurssien hallinta, vuoron antaminen
Lukijat ja kirjoittajat

Andrews 4.2, 4.4-4.6

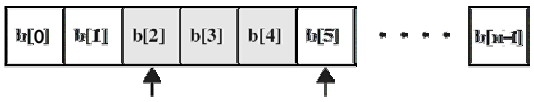
Tuottajat ja kuluttajat

Andrews: ss.158-160

```
typeT buf;      /* a buffer of some type T */
sem empty = 1, full = 0;
process Producer[i = 1 to M] {
  while (true) {
    ...
    /* produce data, then deposit it in the buffer */
    P(empty);
    buf = data;
    V(full);
  }
}
process Consumer[j = 1 to N] {
  while (true) {
    /* fetch result, then consume it */
    P(full);
    result = buf;
    V(empty);
    ...
  }
}
```

Andrews Fig. 4.3: **Producers and consumers using semaphores.** **(split binary semaphores)**

Toimiiko oikein? Mitä pitääkään tarkistaa?



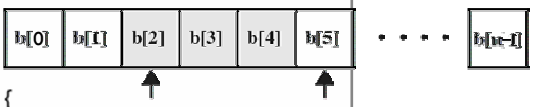

```
typeT buf[n];
int front = 0, rear = 0;
sem empty = n, full = 0;
```

```
process Producer {
  while (true) {
    ...
    produce message data
    P(empty);
    buf[rear] = data;
    rear = (rear+1) % n;
    V(full);
  }
}
```

```
process Consumer {
  while (true) {
    fetch and consume
    P(full);
    result = buf[front];
    front = (front+1) % n;
    V(empty);
    ...
  }
}
```

Andrews Fig. 4.4: **Bounded buffer using semaphores.**

```
typeT buf[n];       /* an array of some type T */
int front = 0, rear = 0;
sem empty = n, full = 0;      /* n-2 <= empty+full <= n */
sem mutexD = 1, mutexF = 1;  /* for mutual exclusion   */
process Producer[i = 1 to M] {
  while (true) {
    ...
    produce message data and deposit it in the buffer;
    P(empty);
    P(mutexD);
    buf[rear] = data; rear = (rear+1) % n;
    V(mutexD);
    V(full);
  }
}
process Consumer[j = 1 to N] {
  while (true) {
    fetch message result and consume it;
    P(full);
    P(mutexF);
    result = buf[front]; front = (front+1) % n;
    V(mutexF);
    V(empty);
    ...
  }
}
```



Andrews Fig. 4.5: **Multiple producers and consumers using semaphores.**

Entä, jos vain yksi mutex?

Lukijat ja kirjoittajat

Lukijat ja kirjoittajat

- **Yhteinen tietokanta DB**
  - **tai joku muu objekti, esim. tdsto, lista, …**
- **Kaksi kilpailevaa käyttäjäluokkaa**
  - Lukijat (readers)
    - lukevat
    - useita lukijoita voi olla käsittelemässä yhtäaikaa
  - Kirjoittajat (writers)
    - lukevat ja muuttavat
    - vain yksi kerrallaan muuttamassa
- **Luokka aktiivinen vain, jos toinen luokka passiivinen**

Ratkaisu 1: R/W poissulkemisongelmana

- **Yksinkertaistettu ongelma, yksink. ratkaisu**
  - **Poissulkeminen kaikille muille => semafori rw**
  - **Andrews Fig 4.8**
- **Salli lukijoiden toimia rinnakkain**
  - **Luokan poissulkeminen => semafori rw**
  - **Eka lukija varaa DB:n lukijaluokalle, viimeinen lukija vapauttaa DB:n**
  - **Kuka on eka / viimeinen? => laskuri nr**
  - **“testaa, varaa / vapauta” => atominen: < … >**
  - **Andrews Fig 4.9 and Fig 4.10**

Andrews: ss. 167-169

```
sem rw = 1;
process Reader[i = 1 to M] {
  while (true) {
    ...
    P(rw);     # grab exclusive access lock
    read the database;
    V(rw);     # release the lock
  }
}
process Writer[j = 1 to N] {
  while (true) {
    ...
    P(rw);     # grab exclusive access lock
    write the database;
    V(rw);     # release the lock
  }
}
```

Andrews Fig. 4.8:
An overconstrained solution.

```
int nr = 0;       # number of active readers
sem rw = 1;       # lock for reader/writer exclusion
process Reader[i = 1 to M] {
  while (true) {
    ...
    ⟨ nr = nr+1;
      if (nr == 1) P(rw);  # if first, get lock
    ⟩
    read the database;
    ⟨ nr = nr-1;
      if (nr == 0) V(rw);  # if last, release lock
    ⟩
  }
}
process Writer[j = 1 to N] {
  while (true) {
    ...
    P(rw);
    write the database;
    V(rw);
  }
}
```

Andrews Fig. 4.9: Outline of readers and writers solution.

```
int nr = 0;       # number of active readers
sem rw = 1;       # lock for access to the database
sem mutexR = 1;   # lock for reader access to nr
process Reader[i = 1 to m] {
  while (true) {
    ...
    P(mutexR);
      nr = nr+1;
      if (nr == 1) P(rw);  # if first, get lock
    V(mutexR);
    read the database;
    P(mutexR);
      nr = nr-1;
      if (nr == 0) V(rw);  # if last, release lock
    V(mutexR);
  }
}
process Writer[j = 1 to n] {
  while (true) {
    ...
    P(rw);
    write the database;
    V(rw);
  }
}
```

Andrews Fig. 4.10:
Readers and writers exclusion using semaphores.

Ratkaisu 2: R/W synkronointiongelmana

- **Odota, kunnes sopiva ehto tulee todeksi**
  - **Toiminnallisuus: < await (ehto) lauseet; >**
  - **Ehdon testaus ja lauseosa atomiseksi**
- **Tila**
  - **BAD: (nr > 0 and nw > 0) or nw > 1**
  - **RW: (nr == 0 or nw ==0) and nw <= 1**
    - RW muuttumaton, oltava voimassa aina
    - nr = number of readers, nw = number of writers
- **Ohjelmoi s.e. ehto RW on aina true**
  - **saa lukea nw == 0**
  - **saa kirjoittaa nr==0 and nw==0**

```
int nr = 0, nw = 0;
## RW:  (nr == 0 ∨ nw == 0) ∧ nw <= 1
process Reader[i = 1 to m] {
  while (true) {
    ...
    ⟨await (nw == 0) nr = nr+1;⟩
    read the database;
    ⟨nr = nr-1;⟩
  }
}
process Writer[j = 1 to n] {
  while (true) {
    ...
    ⟨await (nr == 0 and nw == 0) nw = nw+1;⟩
    write the database;
    ⟨nw = nw-1;⟩
  }
}
```

Andrews Fig. 4.11:
A coarse-grained readers/writers solution.

Ratkaisu 2, laajennettu

- **Ota huomioon käyttövuorot**
  - **Lukijat ensin, tai …**
  - **Vuoro prioriteetin perusteella: Kirjoittajat ensin! (jos muutokset tärkeitä; nälkiintymisvaara)**
- **Onko, joku odottamassa vuoroa?**
  - **Ei voi kysyä semafori-operaatioilla ⇨ oma laskuri**
- **Vuorojen toteutus rutiinissa** *SIGNAL*
  - **Kriittinen alue vapautuu ⇨joku muu saa jatkaa, kuka?**
    - odottava lukija, odottava kirjoittaja, kokonaan uusi tulija
- **Andrews Fig. 4.12**

- **Jaettu binääriarvoinen semafori**
  - **Liitä kuhunkin vahtiin (ehtoon) semafori ja laskuri**
  - **Vain yksi semafori kerrallaan 'auki' (0 <= (e+r+w) <= 1)**
- **await (nw==0) nr = nr+1**
  - **semafori: r = 0** *waiting place for readers*
    laskuri: dr *number of delayed readers*
- **await (nr==0 and nw==0) nw = nw+1**
  - **semafori: w = 0** *waiting place for writers*
    laskuri: dw *number of delayed writers*
- **poissulkeminen < ... >**
  - **semafori: e = 1** *waiting place for entry*
    laskurit: nr, nw *numbers of readers and writers*


```
process Reader  {
    while (true) {
      #  <await (nw == 0) nr = nr + 1;>
          read the database;
      #  <nr = nr -1;>
    }
}
```

```
P(e);  #varmistaa atomisuuden
if (nw > 0){ #joudutaan odottamaan
dr = dr + 1;
V(e);
P(r);}
nr=nr+1;
SIGNAL;
```

```
P(e);  #varmistaa atomisuuden
nr=nr-1
SIGNAL;
```

```
process Reader {
    while (true) {
        P(e);  #varmistaa atomisuuden
      # <await (nw == 0) nr = nr + 1;>
            if (nr>0 or nw > 0){ #joudutaan odottamaan
                dw = dw + 1;  V(e);  P(w);}
            nw=nw+1;
            SIGNAL;
        read the database;
      # <nr = nr -1;>
            P(e);  #varmistaa atomisuuden
            nw=nw-1
            SIGNAL;
    }
}
```

```
int nr = 0,    ## RW: (nr == 0 or nw == 0) and nw <= 1
    nw = 0;
sem e = 1,     # controls entry to critical sections
    r = 0,     # used to delay readers
    w = 0;     # used to delay writers
               # at all times 0 <= (e+r+w) <= 1
int dr = 0,    # number of delayed readers
    dw = 0;    # number of delayed writers
```

```
process Reader[i = 1 to M] {
  while (true) {
    # ⟨await (nw == 0) nr = nr+1;⟩
      P(e);
      if (nw > 0)
        { dr = dr+1; V(e); P(r); }
      nr = nr+1;
      SIGNAL;
    read the database;
    # ⟨nr = nr-1;⟩
      P(e);
      nr = nr-1;
      SIGNAL;
  }
}
```

```
process Writer[j = 1 to N] {
  while (true) {
    # ⟨await (nr== 0 and nw == 0) nw = nw+1;⟩
      P(e);
      if (nr > 0 or nw > 0)
        { dw = dw+1; V(e); P(w); }
      nw = nw+1;
      SIGNAL;
    write the database;
    # ⟨nw = nw-1;⟩
      P(e);
      nw = nw-1;
      SIGNAL;
  }
}
```

Andrews Fig. 4.12:
Outline of readers and writers with passing the baton.

- *SIGNAL* - **vuoron antaminen: Lukijat ensin!**

```
if (nw == 0  and  dr > 0) {
   dr = dr -1;
   V(r);              # herätä odottava lukija, tai
}
else if  (nr == 0  and nw == 0  and  dw > 0) {
   dw = dw -1;
   V(w);              # herätä odottava kirjoittaja, tai
}
else
    V(e);             # päästä joku uusi etenemään
```

- **Menetelmä: Viestikapulan välitys** (Baton passing)

Viestikapulan välitys (Baton passing)

- **Vain yksi etenee kerrallaan kriittisillä alueilla**
  - **pyydettävä etenemislupaa: P(e)**
  - **se etenee, joka 'saa' semaforin e (~ viestikapula)**
- **Muiden odotettava**
  - **Kokonaan uusi lukija tai kirjoittaja: P(e)**
  - **Jos etenijän pyyntöön ei voi suostua:**
    - **Lukijat: V(e); P(r)**
    - **Kirjoittajat: V(e): P(w)**

- **Etenijä aktivoi itse "seuraavan viestikapulan haltijan"** *(kohdassa SIGNAL)*
  - **jos odottajia,**
    - herätä odottaja semaforista: joko V(r) tai V(w)
    - jätä sille poissulkemissemafori valmiiksi kiinni: älä tee V(e)
  - **jos ei odottajia,**
    - jätä viestikapula vapaaksi uusille tulijoille: V(e)
- **Herätetty välittää aikanaan kapulan seuraavalle ja se seuraavalle ja ...**

⇨ **Takaa ettei kukaan pääse 'etuilemaan'!**

- **Ehdot taatusti voimassa, kun jonottaja saa prosessorin**
- *SIGNAL* **aktivoi vain yhden prosessin, kun ehto tuli todeksi**
- **FCFS**

- *SIGNAL* **- vuoron antaminen: Lukijat ensin!**

```
if (nw == 0  and  dr > 0) {
   dr = dr -1;
   V(r);              # herätä odottava lukija, tai
}
else if  (nr == 0  and nw == 0  and  dw > 0) {
   dw = dw -1;
   V(w);              # herätä odottava kirjoittaja, tai
}
else
    V(e);             # päästä joku uusi etenemään
```

- Osa ehdoista on jo tiedossa, kun ollaan **lukijassa** tai **kirjoittajassa** => voidaan jättää pois eikä tarvitse enää testata!

```
process Reader[i = 1 to M] {
  while (true) {
    # ⟨await (nw == 0) nr = nr+1;⟩
      P(e);
      if (nw > 0) { dr = dr+1; V(e); P(r);}
      nr = nr+1;
    | if (dr > 0) { dr = dr-1; V(r);}
      else V(e);
    read the database;
    # ⟨nr = nr-1;⟩
      P(e);
      nr = nr-1;
    | if (nr == 0 and dw > 0)
        { dw = dw-1; V(w); }
      else V(e);
  }
}
```

Andrews Fig. 4.13:
A readers / writers solution using passing the baton.

```
process Writer[j = 1 to N] {
  while (true) {
    # ⟨await (nr==0 and nw==0) nw = nw+1;⟩
      P(e);
      if (nr > 0 or nw > 0)
        { dw = dw+1; V(e); P(w); }
      nw = nw+1;
    | V(e);
    write the database;
    # ⟨nw = nw-1;⟩
      P(e);
      nw = nw-1;
    | if (dr > 0) { dr = dr-1; V(r); }
      elseif (dw > 0) { dw = dw-1; V(w); }
      else V(e);
  }
}
```

Lukijat ensin

Tarpeettomat osat annetusta *SIGNAL*-koodista poistettu

- *SIGNAL* **- vuoron antaminen: Kirjoittajat ensin!**
- **Reader:** uusi lukija odottamaan, jos kirjoittaja odottamassa (rivi 5)

```
if (nw>0  or  dw>0)    # DELAY
  { dr=dr+1; V(e);  P(r); }
```

- **Writer:** herätä lukija vain, jos kirjoittajia ei odottamassa (rivi 13)

```
if  (dw>0) {   # SIGNAL
    dw = dw-1;  V(w);      # herätä kirjoittaja
}
elseif  (dr>0) {           # herätä lukija
    dr = dr-1;  V(r);
}
else V(e);                 # herätä uusi
```

Muuta kuvaa 4.13 vastaavasti

Resurssien hallinta ja vuoronantaminen

Resurssien hallinta

- **Manageri**
  - **Objektit: varaus ja vapautus**
  - **Vuorot: kuka odottajista saa jatkaa?**
- **Sisäinen kirjanpito kustakin erillisestä resurssista** (private)
  - **ominaisuudet (esim. muistiosoite, koko, …)**
  - **vapaa / varattu**
  - **käyttäjä (esim. prosessin ID)**
- **Rajapinta, API** (public)
  - **pyydä(parametrit)**
  - **vapauta(parametrit)**

Operaatioiden raaka runko

- **pyydä(parametrit)**

  < **await** (pyyntöön voi suostua)
  anna resurssi, merkitse varatuksi **>**

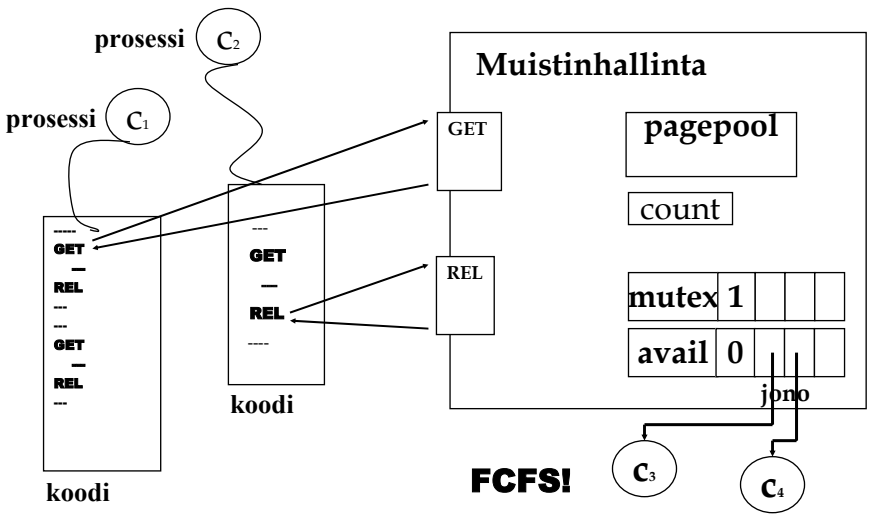
- **vapauta(parametrit)**

  < palauta resurssi kirjanpitoon **>**

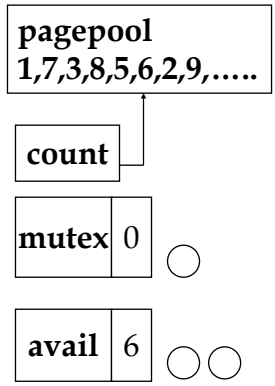
- **Vrt. entry protocol, exit protocol**

Muistinhallinta (3)

pyynnöt sivu kerrallaan



```
int count=MAX;
sem mutex=1, avail=MAX;
function GET(): returns addr {
  P(avail) ;     // await
  P(mutex);      // anna, merkitse
  get = pagepool[count];
  count  = count-1;
  V(mutex);
}
procedure REL(addr freepage) {
  P(mutex);      // palauta
  count = count+1;
  pagepool[count] = freepage;
  V(mutex);
  V(avail) ;     // pyyntöön voi suostua
}
```

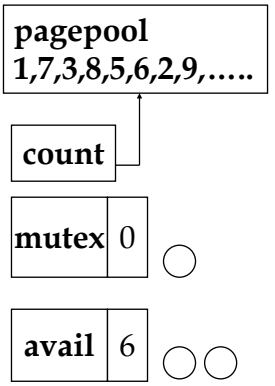


- **Toimivatko rutiinit oikein**
  - Poissulkeminen?
  - Ei lukkiutumista (deadlock/livelock)?
  - Ei tarpeettomia viipeitä?
  - Lopulta onnistaa?

VÄÄRIN!

```
int count=MAX;
sem mutex=1, avail=MAX;
function GET(): returns addr {
   P(mutex);
   P(avail) ;
   get = pagepool[count];
   count  = count-1;
   V(mutex);
}

procedure REL(addr freepage) {
   P(mutex) ;
   count = count+1;
   pagepool[count] = freepage;
   V(avail) ;
   V(mutex);
}
```



Resurssien hallinta, Yleinen ratkaisu

- **pyydä(parametrit)**

  P(mutex); # poissulkeminen
  if (pyyntöön ei voi suostua) *DELAY*; # odota semaforissa
  anna resurssi;
  SIGNAL;

- **vapauta(parametrit)**

  P(mutex);
  palauta resurssi;
  SIGNAL;

- *DELAY ~*
  - **V(mutex)**, **P(odotussemafori)**
- *SIGNAL ~*
  - **V(odotussemafori) else V(mutex)**

DELAY:
Älä jätä prosessia Blocked-tilaan tärkeä semafori kiinni!

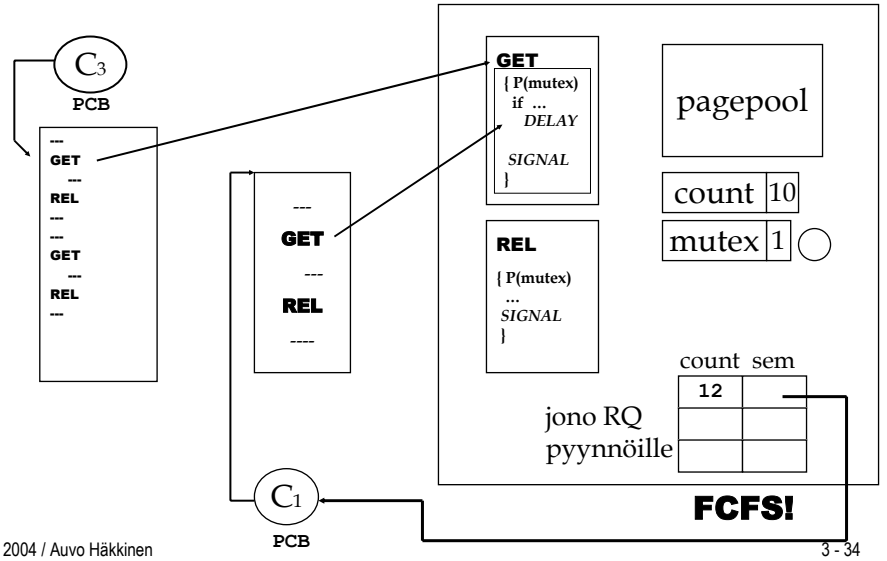
SIGNAL:
Herätä odottaja, jätä kriittinen alue kiinni (baton passing).

Palvelujärjestys

- **Semaforin jonot aina FCFS**
  - **Ongelma? Jäljellä 10 sivutilaa, eka haluaa 12, toka 5!**
- **Voiko semaforiin liittää prioriteetin?**
  - **Jonotusjärjestys?**
- **Montako erilaista? Dynaaminen vuorottelu?**
- **Ratkaisu: yksityiset semaforit + oma jono**
  - **Kullekin prosessille oma semafori, jossa odottaa yksin**
  - **Vuoron antamiseen käytettävä tietorakenne (jono) erikseen**
    - alkiossa semafori ja kenties muuta tietoa
  - **Vuorottaja valitsee sopivan prosessin vuorojonosta, ja päästää liikkeelle semaforissa odottavan asiakkaan**

Muistinhallinta (4)

pyynnöt useita sivuja kerralla



```
procedure GET (nbr_of_units) {
    P(mutex);
    if  (request can not be satisfied) { # DELAY
        RQ[tail].count = nbr_of_units;
        V(mutex);
        P(RQ[tail].sem);
    }
    take nbr_of_units for this process;
    if (! empty(RQ) and RQ[i].count  < count)
       V(RQ[i].sem);                    # SIGNAL
   else
       V(mutex);
}
```

```
procedure REL (list_of_units) {
    P(mutex);
    return units into pagepool;
    if (! empty(RQ) and RQ[i].count < count)
        V(RQ[i].sem);                    # SIGNAL
    else
        V(mutex);
}
```

SJN: Lyhyin työ seuraavaksi

- **request(time,id):**

  P(e);
  if (!free) *DELAY;*
  free = false;
  SIGNAL;

- **release():**

  P(e);
  free = true;
  SIGNAL;

- DELAY:
  - **Odottajan ID ja TIME** (suoritusaika) suoritusajan mukaan järjestettyyn jonoon **(PAIRS)** oikeaan kohtaan
  - **V(e)** eli vapauta kriittinen alue
  - jää odottamaan vuoroasi P(b[ID])
    - Tässä tarvitaan **kullekin oma semafori,** jotta pystytään 'herättämään' oikea prosessi: **b[n] = ([n] 0)**
    - **PAIRS-jono määrää järjestyksen:** herätetään aina jonon ensimmäinen prosessi
- SIGNAL:

  Reguest-vaihe
  - vapauta kriittinen alue **V(e)** eli päästä joku uusi Request-vaiheeseen

  Release-vaiheen lopussa
  - Jos jonossa odottajia, niin ota jonon ensimmäisen alkiopari **(time, ID)** ja herätä prosessi ID: **V(b[ID];**
  - muuten **V(e)**


```
bool free = true;
sem e = 1, b[n] = ([n] 0);  # for entry and delay
typedef Pairs = set of (int, int);
Pairs pairs = ∅;
## SJN:  pairs is an ordered set ∧ free ⇒ (pairs == ∅)
request(time,id):
  P(e);
  if (!free) {
    insert (time,id) in pairs;
    V(e);              # release entry lock
    P(b[id]);          # wait to be awakened
  }
  free = false;
  V(e);    # optimized since free is false here
release():
  P(e);
  free = true;
  if (P != ∅) {
    remove first pair (time,id) from pairs;
    V(b[id]);  # pass baton to process id
  }
  else V(e);
```

Andrews Fig. 4.14:
Shortest job next allocation using semaphores.

Entä, jos resurssia enemmän kuin 1 yksikkö?

- **amount** = montako yksikköä prosessi tarvitsee tai palauttaa
- **avail** = montako yksikköä on vapaana (~free)
- **request:**
  - testattava, onko vapaana tarvittu määrä yksiköitä **amount <= avail**. Jos on, niin varataan, muuten talletetaan myös **amount**
  - myös tässä voidaan vapauttaa odottavia prosesseja, jos vapaita resursseja on tarpeeksi
- **release:**
  - vapautetaan jonosta ensimmäinen prosessi, jonka tarpeet pystytään tyydyttämään

POSIX-kirjasto, pthread

Kurssi: Verkkosovellusten toteuttaminen

include <pthread.h>

- **pthread_mutex_init(), _lock(), _trylock(), _unlock(), _destroy() _mutexatrr_*(), …**
- **pthread_rwlock_init(), _rwlock_rdlock(),_rwlock_tryrdlock(), _rwlock_wrlock(), _rwlock _trywrlock(), _rwlock_unlock(), _rwlock_destroy(), _rwlockattr_*(), …**

include <semaphore.h>

- **sem_init(), sem_wait(), sem_trywait(), sem_post(), sem_getvalue(), sem_destroy(), …**

Java

Kurssi: Ohjelmointitekniikka (Java)

⇨ Lue man- / opastussivut

⇨ Andrews ch 4.6, 5.5

- **ei semaforeja**
- **synchronized objects ⇨ oma toteutus?**

Kertauskysymyksiä?