Institutionen för data- och informationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Tentamen med lösningsförslag

DAT016 Programmering av inbyggda system IT
DIT152 Programmering av inbyggda system GU

Tisdag 17 december 2013, kl. 14.00 - 18.00

Examinatorer
Roger Johansson, tel. 772 57 29
Jan Skansholm, tel. 772 10 12

Kontaktpersoner under tentamen
Roger Johansson/Jan Skansholm

Tillåtna hjälpmedel

Häftet

Instruktionslista för CPU12

Inget annat än rättelser och understrykningar får vara införda i häftet.
Du får också använda bladet:

C Reference Card

samt *en* av böckerna:

Vägen till C,
Bilting, Skansholm

The C Programming Language,
Kerninghan, Ritchie

Endast rättelser och understrykningar får vara införda i boken.

Tabellverk eller miniräknare får ej användas.

Lösningar
anslås senast dagen efter tentamen via kursens hemsida.

Granskning
Tid och plats anges på kursens hemsida.

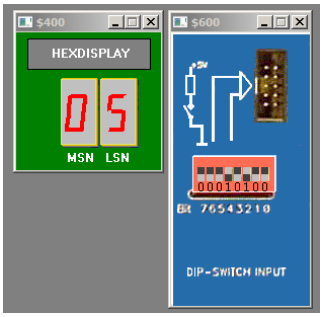
Allmänt
Siffror inom parentes anger full poäng på uppgiften. **För full poäng krävs att**:

- redovisningen av svar och lösningar är läslig och tydlig. Ett lösningsblad får endast innehålla redovisningsdelar som hör ihop med en uppgift.
- lösningen ej är onödigt komplicerad.
- du har motiverat dina val och ställningstaganden
- assemblerprogram är utformade enligt de råd och anvisningar som givits under kursen och tillräckligt dokumenterade.
- C-program är utformade enligt de råd och anvisningar som getts under kursen. I programtexterna skall raderna dras in så att man tydligt ser programmens struktur.

Betygsättning
För godkänt slutbetyg på kursen fordras att både tentamen och laborationer är godkända.

Tentamenspoäng ger slutbetyg (EDA/DAT):
$20p \leq$ betyg 3 $< 30p \leq$ betyg 4 $< 40p \leq$ betyg 5
respektive (DIT):
$20p \leq$ betyg G $< 35p \leq$ VG

Uppgift 1 (6p) *Assemblerprogrammering*



En 8-bitars strömbrytare, ”DIP_SWITCH” är ansluten till adress $600 och en displayenhet ”HEXDISPLAY” som visar en byte i form av två hexadecimala siffror, är ansluten till adress $400 i ett MC12 mikrodatorsystem.

Konstruera en subrutin `DipHexReversed` som läser av strömbrytaren och indikerar den mest signifikanta påslagna biten genom att skriva dess position, räknat från höger, till displayenheten. Om exempelvis bitarna 2 och 4 utgör ettställda strömbrytare ska positionen för bit 4, (dvs. 5) skrivas till displayenheten.
Om ingen strömbrytare är ettställd ska siffran 0 skrivas till displayen.
Speciellt gäller att endast symboler ska användas för absoluta adresser.

Uppgift 2 (8p) *Användning av sammansatta datatyper/avbrottshantering*

Följande figur beskriver en förenklad variant av CRG-modulen med de register som används för den enkla räknaren hos HCS12:

Clock Reset Generator (CRG)											
Offset		7	6	5	4	3	2	1	0	Mnemonic	Namn
$30	R	RTIF	PORF	LVRF	LOCKIF	LOCK	SCMIE	SCMIF	SCM	CRGFLG	Flags Register
	W										
$31	R	RTIE	0	0	LOCKIE	0	0	SCMIE	0	CRGINT	Interrupt Enable Register
	W										
$32	R	0	RTR6	RTR5	RTR4	RTR3	RTR2	RTR1	RTR0	RTICTL	RTI Control Register
	W										

Detta system har en 10 MHz oscillator. Räknaren ska programmeras för att generera periodiska avbrott med c:a 10ms intervall. *Ledning*: 3×2^{15} pulser/period ger tillräcklig noggrannhet. Räknaren använder avbrottsmekanismen hos HCS12, kopplad till vektor 0x3FF2.

RTR [3:0]	RTR[6:4]							
	000 (OFF)	001	010	011	100	101	110	111
0000	OFF	2^{10}	2^{11}	2^{12}	2^{13}	2^{14}	2^{15}	2^{16}
0001	OFF	$2x2^{10}$	$2x2^{11}$	$2x2^{12}$	$2x2^{13}$	$2x2^{14}$	$2x2^{15}$	$2x2^{16}$
0010	OFF	$3x2^{10}$	$3x2^{11}$	$3x2^{12}$	$3x2^{13}$	$3x2^{14}$	$3x2^{15}$	$3x2^{16}$
0011	OFF	$4x2^{10}$	$4x2^{11}$	$4x2^{12}$	$4x2^{13}$	$4x2^{14}$	$4x2^{15}$	$4x2^{16}$
0100	OFF	$5x2^{10}$	$5x2^{11}$	$5x2^{12}$	$5x2^{13}$	$5x2^{14}$	$5x2^{15}$	$5x2^{16}$
0101	OFF	$6x2^{10}$	$6x2^{11}$	$6x2^{12}$	$6x2^{13}$	$6x2^{14}$	$6x2^{15}$	$6x2^{16}$
0110	OFF	$7x2^{10}$	$7x2^{11}$	$7x2^{12}$	$7x2^{13}$	$7x2^{14}$	$7x2^{15}$	$7x2^{16}$
0111	OFF	$8x2^{10}$	$8x2^{11}$	$8x2^{12}$	$8x2^{13}$	$8x2^{14}$	$8x2^{15}$	$8x2^{16}$
1000	OFF	$9x2^{10}$	$9x2^{11}$	$9x2^{12}$	$9x2^{13}$	$9x2^{14}$	$9x2^{15}$	$9x2^{16}$
1001	OFF	$10x2^{10}$	$10x2^{11}$	$10x2^{12}$	$10x2^{13}$	$10x2^{14}$	$10x2^{15}$	$10x2^{16}$
1010	OFF	$11x2^{10}$	$11x2^{11}$	$11x2^{12}$	$11x2^{13}$	$11x2^{14}$	$11x2^{15}$	$11x2^{16}$
1011	OFF	$12x2^{10}$	$12x2^{11}$	$12x2^{12}$	$12x2^{13}$	$12x2^{14}$	$12x2^{15}$	$12x2^{16}$
1100	OFF	$13x2^{10}$	$13x2^{11}$	$13x2^{12}$	$13x2^{13}$	$13x2^{14}$	$13x2^{15}$	$13x2^{16}$
1101	OFF	$14x2^{10}$	$14x2^{11}$	$14x2^{12}$	$14x2^{13}$	$14x2^{14}$	$14x2^{15}$	$14x2^{16}$
1110	OFF	$15x2^{10}$	$15x2^{11}$	$15x2^{12}$	$15x2^{13}$	$15x2^{14}$	$15x2^{15}$	$15x2^{16}$
1111	OFF	$16x2^{10}$	$16x2^{11}$	$16x2^{12}$	$16x2^{13}$	$16x2^{14}$	$16x2^{15}$	$16x2^{16}$

Programpaketet ska bestå av delar implementerade såväl i assemblerspråk som i ’C’. Fyra olika funktioner ska implementeras:

En initieringsrutin, i form av en C-funktion: `void RTInit(void)`
En servicerutin för avbrottet, i form av en C-funktion: `void AtRTIrq(void)`
En avbrottsrutin `RTIRQ`, i assemblerspråk som anropar servicerutinen
En assemblerrutin `CLEARI` som nollställer avbrottsmasken hos HCS12

a) Visa en lämplig typdeklaration i form av en ’C’-`struct` för CRG-modulen, enligt figuren ovan.(2p)

b) Visa assemblerrutinen `CLEARI` och avbrottsrutinen `RTIRQ`. (2p)

c) Konstruera `RTInit` som:
initierar räknaren för att generera avbrott med den angivna periodtiden
förbereder HCS12 för att hantera avbrott från räknaren.
Typdeklarationen från uppgift a) ska användas.(3p)

d) Konstruera `AtRTIrq` som kvitterar ett avbrott från räknaren. Typdeklarationen från uppgift a) ska användas.(1p)

Uppgift 3 (10p) *Kodningskonventioner (C/assemblerspråk)*

I denna uppgift ska du förutsätta samma konventioner som i XCC12, (se bilaga 1).

a) I ett C-program har vi följande deklarationer:

```
void  func(long adam, unsigned char bertil, struct one * ceasar )
{
   long           a = adam;
   unsigned int   b = bertil;
   struct one     *c = ceasar;
   /* Övrig kod i funktionen är bortklippt eftersom vi bara
      betraktar anropskonventionerna. */
}
```

Översätt *hela* funktionen `func`, som den är beskriven, till HCS12 assemblerspråk, såväl *prolog* som *tilldelningar* och *epilog* ska alltså finnas med. Speciellt ska du börja med att beskriva aktiveringsposten, dvs. stackens utseende i funktionen och där riktningen för minskande adresser hos aktiveringsposten framgår. (6p)

b) I samma C-program har vi dessuton följande deklarationer givna på ”toppnivå” (global synlighet):

```
struct one * c;
long        a;
char        b;
```

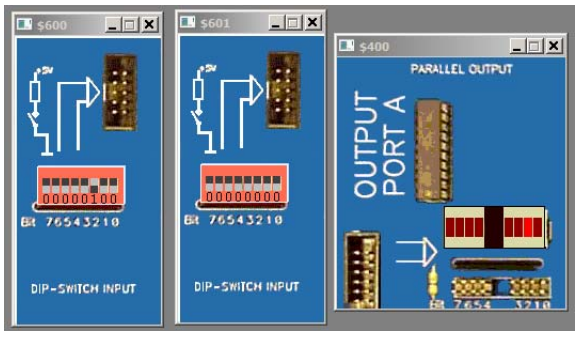
Visa hur variabeldeklarationerna översätts till assemblerdirektiv. Beskriv dessutom hur följande funktionsanrop översätts till assemblerkod. (4p)

```
func( a , b , c );
```

Uppgift 4 (8p) *In och utmatning beskriven i C*

I denna uppgift ska du bland annat demonstrera hur absolutadressering utförs i C. För full poäng måste du visa hur preprocessordirektiv och typdeklarationer då används för att skapa begriplig programkod.

Två strömbrytare och en ljusdiodramp, enligt figuren till höger, är anslutna till adresser 0x600 och 0x601, respektive adress 0x400 i ett MC12 mikrodatorsystem.



Konstruera en funktion

```
void CondRunDiode ( void )
```

- som oupphörligt jämför strömbrytarnas värden
- dessutom skriver ut ett *rinnande ljus* på diodrampen.

Det rinnande ljuset består i att en diod i taget tänds upp.

- Om värdet hos strömbrytaren på adress 0x600 är störst ska ljuset rinna från höger till vänster
- Om värdet hos strömbrytaren på adress 0x601 är störst ska ljuset rinna från vänster till höger
- Om värdena är lika ska det rinnande ljuset stannas.

Från början ska dioden längst till vänster vara tänd.
Du behöver här *inte* ta hänsyn till att fördröjningar krävs för det rinnande ljuset.

Uppgift 5 (8p) *Programmering med pekare*

Uppgiften är att skriva en C-funktion med namnet `split` som delar upp en text i delar, s.k. *tokens*. Varje token avgränsas i texten av ett eller flera blanka tecken, med undantag för den första token som inte behöver ha något blankt tecken före och den sista som inte behöver ha något blankt tecken efter. Texten `"Nu tentar  vi  MOP!"` skall t.ex. delas upp i fyra tokens: `"Nu"`, `"tentar"`, `"vi"` och `"MOP!"` .

Funktionen skall ha följande deklaration:

```
void split(char *s, char *tab[], int max);
```

Parametern `s` är en pekare till den text som skall delas upp. Du får förutsätta att denna text avslutas med ett noll-tecken. Parametern `tab` är en pekare till ett oinitierat fält. Du får förutsätta att minnesutrymme för själva fältet har allokerats i den anropande funktionen. Antalet element i fältet anges av parametern `max`.

Funktionen `split` skall fylla i fältet `tab` så att dess komponenter pekar på de tokens som finns i texten `s`. Om fältet `tab` innehåller färre element än antalet tokens skall bara så många tokens pekas ut som antalet element i `tab` medger. Om det å andra sidan finns färre tokens än antalet element i `tab` så skall de överflödiga elementen i `tab` fyllas i med tomma pekare. Funktionen `split` skall dessutom i texten `s` lägga in noll-tecken efter varje token.

I din lösning får du inte använda dig av några färdiga standardfunktioner, utan du måste skriva allt själv.

Här visas ett litet testprogram som anropar funktionen `split`.

```
#define N 10
main() {
  int i;
  char txt[] = "Nu tentar  vi  MOP! ";
  char *tokens[N];
  split(txt, tokens, N);
  for (i=0; i< N && tokens[i]; i++)
    printf("%s\n", tokens[i]);
}
```

Utskriften från programmet skall bli:

```
Nu
tentar
vi
MOP!
```

Uppgift 6 (10p) *Maskinnära programmering i C*

I en gruva samlas allt vatten längst ner i en behållare. En pump har till uppgift att då och då pumpa upp vatten ur behållaren så att gruvan inte blir vattenfylld. I gruvan bildas emellertid metangas och blir halten av denna gas för hög kan man p.g.a. explosionsrisken inte starta pumpen, utan måste vänta tills metangashalten minskat.

Uppgiften är att skriva ett program som övervakar metangashalten och kontrollerar vattennivån med hjälp av pumpen.

Pumpen startas och stoppas via ett kontrollregister. Det finns dessutom två A/D-omvandlare: en som avläser vattennivån och en som mäter metangashalten. Till varje A/D-omvandlare finns dels ett kontrollregister som används för att initiera en avläsning och dels ett dataregister i vilket det avlästa värdet placeras. Alla fem registren består av 16 bitar.

Registren har följande adresser:

`A/D-omvandlare för vattennivå, kontrollregister:`	$\texttt{AA10}_{16}$
`A/D-omvandlare för vattennivå, dataregister:`	$\texttt{AA12}_{16}$
`Kontrollregister för pumpmotor:`	$\texttt{AA14}_{16}$
`A/D-omvandlare för metangas, kontrollregister:`	$\texttt{AA16}_{16}$
`A/D-omvandlare för metangas, dataregister:`	$\texttt{AA18}_{16}$

Observera att kontrollregistren *inte* är läsbara. Man kan bara skriva till dem. Du måste därför använda dig av skuggregister.

Pumpen startas och stoppas genom att en etta resp. nolla skrivs i bit nummer 10 i dess kontrollregister. När man skall göra en avläsning med hjälp av en A/D-omvandlare skriver man en etta i bit nummer 10 i tillhörande kontrollregister. Man måste sedan vänta en tiondels sekund innan värdet i dataregistret har stabiliserats. (Ingen avbrottsmekanism används.)

A/D-omvandlarna ger normalt värden i intervallet 0 till 1023. Ett negativt värde i dataregistret indikerar att en avläsning misslyckats. Metangashalter större än 400 räknas som farliga. För vattennivån gäller att värden över 800 räknas som höga och värden under 100 som låga.

Din uppgift är att skriva övervakningsprogrammet. Till din hjälp skall du använda realtidskärnan som presenterats på en av föreläsningarna. Filen `process.h` visas i bilagan och du får anropa alla funktioner som deklareras i denna.

Programmet skall innehålla två processer, en som avläser vattennivån och en som avläser metangashalten. Båda skall exekvera utan att avslutas. Vattennivån skall avläsas var 20:e sekund och metangashalten var 10:e. Om någon avläsning misslyckas skall programmet ge en varningsutskrift, men sedan hoppa över den aktuella avläsningen och fortsätta normalt. Utskrifter från programmet kan för enkelhets skull göras med standardfunktionen `printf`.

Om programmet när det avläser vattennivån finner att denna är hög skall pumpen startas (om den inte redan är igång). Pumpen får emellertid inte startas om metangasnivån är för hög. Om vattennivån är under den nivå som betraktas som låg skall pumpen, om den är igång, stoppas.

Om programmet vid avläsning av metangashalten finner att denna är för hög skall en varningsutskrift ges. Detta skall dock bara ske första gången man finner att nivån är för hög (inte var 10:e sekund). Dessutom ska pumpen stängas av (om den inte redan är avstängd).

Det finns ett problem med pumpen: Av tekniska skäl får man inte starta den inom fem sekunder från det att man stängt av den och inte heller stoppa den inom fem sekunder från det att man startat den. Detta problem kan enkelt lösas genom att man betraktar pumpen som en kritisk delad resurs och skyddar den med en semafor så att bara en av processerna kan hantera den åt gången.

Bilaga 1: Kompilatorkonvention XCC12:

- Parametrar överförs till en funktion via stacken och den anropande funktionen återställer stacken efter funktionsanropet.
- Då parametrarna placeras på stacken bearbetas parameterlistan från höger till vänster.
- Lokala variabler översätts i den ordning de påträffas i källtexten.
- *Prolog* kallas den kod som reserverar utrymme för lokala variabler.
- *Epilog* kallas den kod som återställer (återlämnar) utrymme för lokala variabler.
- Den del av stacken som används för parametrar och lokala variabler kallas *aktiveringspost*.
- Beroende på datatyp används för returparameter HC12:s register enligt följande tabell:

Storlek	Benämning	C-typ	Register
8 bitar	byte	char	B
16 bitar	word	short int *och* pekartyp	D
32 bitar	long float	long int float	Y/D

Bilaga 2 - Assemblerdirektiv för MC68HC12.

Assemblerspråket använder sig av mnemoniska beteckningar som tillverkaren Freescale specificerat för maskininstruktioner och instruktioner till assemblatorn, s.k. pseudoinstruktioner eller assemblerdirektiv. Pseudoinstruktionerna framgår av följande tabell:

Direktiv	Förklaring
ORG N	Placerar den efterföljande koden med början på adress N (ORG för ORiGin = ursprung)
L RMB N	Avsätter N bytes i följd i minnet (utan att ge dem värden), så att programmet kan använda dem. Följden placeras med början på adress L. (RMB för Reserve Memory Bytes)
L EQU N	Ger label L konstantvärdet N (EQU för EQUates = beräknas till)
L FCB N1, N2	Avsätter i följd i minnet en byte för varje argument. Respektive byte ges konstantvärdet N1, N2 etc. Följden placeras med början på adress L. (FCB för Form Constant Byte)
L FDB N1, N2	Avsätter i följd i minnet ett bytepar (två bytes) för varje argument. Respektive bytepar ges konstantvärdet N1, N2 etc. Följden placeras med början på adress L. (FDB för Form Double Byte)
L FCS "ABC"	Avsätter en följd av bytes i minnet, en för varje tecken i teckensträngen "ABC". Respektive byte ges ASCII-värdet för A, B, C etc. Följden placeras med början på adress L. (FCS för Form Caracter String)

Bilaga 3 – ”process.h”

```
// Filen process.h
#ifndef PROCESS_H
  #define PROCESS_H

  #define DEFAULT_STACK_SIZE 128
  #define MINIMUM_PRIORITY 1
  #define DEFAULT_PRIORITY MINIMUM_PRIORITY+9

  typedef struct process_struct process;      // definieras i filen process.c
  typedef struct semaphore_struct semaphore;  // definieras i filen process.c
  typedef void (*function)(void);

  extern void init_processes(void);
  extern process *create_process(function f, int prio, int stack_size);
  extern void start_process(process *);
  extern process *running_process(void);
  extern int get_process_id(process *);
  extern unsigned long int get_time(void);    // resultat ges i ms
  extern void delay_process(process *p, long int t);    // t ges i ms
  extern int  get_process_priority(process *);
  extern void set_process_priority(process *p, int prio);
  extern void terminate_process(process *p);
  extern int terminated(process *p);
  extern semaphore *create_semaphore(int init_value);
  extern void signal(semaphore *);
  extern void wait(semaphore *);

  // macron för förenklade funktionsanrop (i brist på överlagrade funktioner)
  #define new_process(f)       create_process((f), DEFAULT_PRIORITY, DEFAULT_STACK_SIZE)
  #define get_id()             get_process_id(running_process())
  #define delay(t)             delay_process(running_process(), (t))
  #define get_priority()       get_process_priority(running_process())
  #define set_priority(i)      set_process_priority(running_process(), (i));
  #define terminate()          terminate_process(running_process())
#endif
```

Lösningsförslag

Uppgift 1 (6p):

```
; Symboliska adresser
DipSwitch:   EQU       $600
HexDisp:     EQU       $400

; Subrutin DipHexReversed

DipHexReversed:
             CLRB
             LDAA      DipSwitch
             BEQ       DipHexReversed20
             LDAB      #9

DipHexReversed10:
             DECB
             BEQ       DipHexReversed20
             LSLA
             BCC       DipHexReversed10

DipHexReversed20:
             STAB   HexDisp
             RTS
```

Uppgift 2a (2p):

```
typedef struct sCRG{
       volatile unsigned char crgflg;
       volatile unsigned char crgint;
       volatile unsigned char rtictl;
}CRG, *PCRG ;
```

Uppgift 2b (2p):

```
CLEARI:   CLI
          RTS

RTIRQ: JSR AtRTIrq
          RTI
```

Uppgift 2c (3p):

```
void RTInit(void)
{
   extern void AtRTIrq(void);
   extern void CLEARI(void);
   ((PCRG) (0x30))->rtictl = 0x62; /* periodtid 10 ms: 0110 0010 */
   ((PCRG) (0x30))->crgint = 0x80; /* RTIE <-1: aktivera avbrott */
   *(unsigned short *) 0x3FF2 = AtRTIrq;
   CLEARI();

}
```

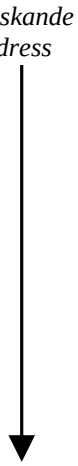
Uppgift 2d (1p):

```
void AtRTIrq(void)
{
   ((PCRG) (0x30))->rtictl = 0x80; /* RTIE <- 1: kvittera avbrott  */
}
```

Uppgift 3a (6p):

Beskrivning av aktiveringspost

minnesanvändning	*adress*
ceasar	15,SP
bertil	14,SP
adam	10,SP
PC (vid JSR)	
a	4,SP
b	2,SP
c	0,SP




```
;  void   func(long adam, unsigned char bertil, struct one * ceasar )
_func:
;  {
   LEAS   -8,SP
;  long             a = adam;
   LDY    10,SP
   LDD    12,SP
   STY    4,SP
   STD    6,SP
;  unsigned int b = bertil;
   LDAB   14,SP
   CLRA
   STD    2,SP
;  struct one   *c = ceasar;
   LDD    15,SP
   STD    0,SP
;  /* Övrig kod i funktionen är bortklippt eftersom vi bara
;     betraktar anropskonventionerna. */
;  }
   LEAS   8,SP
   RTS
```

Uppgift 3b (4p):

```
_c:    RMB    2
_a:    RMB    4
_b:    RMB    1
       LDD    _c
       PSHD
       LDAB   _b
       PSHB
       LDD    2+_a
       PSHD
       LDD    _a
       PSHD
       JSR    _func
       LEAS   7,SP
```

Uppgift 4 (8p):

```
typedef   unsigned char * port8ptr;
#define DISPLAY *((port8ptr) 0x400)
#define DIPSWITCH1 *((port8ptr) 0x600)
#define DIPSWITCH2 *((port8ptr) 0x601)

void   CondRunDiode( void )
{
   unsigned char value;
   value = 0x80;             /* initialvärde */
   while( 1 )
   {
      if( DIPSWITCH1 > DIPSWITCH2 )
      {  /* ljus rinner åt vänster */
         DISPLAY = value;
         value = value << 1;
         if( value == 0 ) /* över kanten? ... */
            value = 1;          /* böja om från höger */
      }else if ( DIPSWITCH1 < DIPSWITCH2 )
      {  /* ljus rinner åt höger */
         DISPLAY = value;
         value = value >> 1;
         if( value == 0 ) /* över kanten? ... */
            value = 0x80;    /* böja om från vänster */

      }else     /* ljus står still */
         DISPLAY = value;
   }
}
```

Uppgift 5 (8p):

```
   void split(char *s, char *tab[], int max) {
      int i;
      for (i=0; i<max; i++)
        tab[i] = 0;
      for (i=0; i<max; i++) {
        while (*s && *s == ' ')
          s++;
        if (!*s)
          return;
        tab[i] = s;
        while (*s && *s != ' ') {
          s++;
        }
        if (!*s)
          return;
        *s++ = '\0';
      }
    }
```

Uppgift 6 (10p):

```
// Filen gruva.h
typedef int port;
typedef port *portptr;

// Användbara makron
#define set(r, mask)    (r) = (r) | mask
#define clear(r, mask)  (r) = (r) & ~mask

#define WATER_CTRL_ADR     0xaa10
#define WATER_DATA_ADR     0xaa12
#define PUMP_CTRL_ADR      0xaa14
#define METAN_CTRL_ADR     0xaa16
#define METAN_DATA_ADR     0xaa18

#define WATER_CTRL         *((portptr) WATER_CTRL_ADR)
#define WATER_DATA         *((portptr) WATER_DATA_ADR)
#define PUMP_CTRL          *((portptr) PUMP_CTRL_ADR)
#define METAN_CTRL         *((portptr) METAN_CTRL_ADR)
#define METAN_DATA         *((portptr) METAN_DATA_ADR)

#define device_operation_bit      0x0400


// Filen gruva.c
#include "nygruva.h"
#include "process.h"
#include <stdio.h>
#include <limits.h>

#define HIGH_METAN 400
#define HIGH_WATER 800
#define LOW_WATER  100


static port pump_ctrl  = 0;   // skuggregister
static port water_ctrl = 0;   // skuggregister
static port metan_ctrl = 0;   // skuggregister

static int metan_alarm = 0;
static int pump_running = 0;
static semaphore *pump_sem;



void start_pump(void) {
  wait(pump_sem);
  if (!pump_running && !metan_alarm) {
    set(pump_ctrl, device_operation_bit);
    PUMP_CTRL = pump_ctrl;
    delay(5000);
    pump_running = 1;
  }
  signal(pump_sem);
}



void stop_pump(void) {
  wait(pump_sem);
  if (pump_running) {
    clear(pump_ctrl, device_operation_bit);
    PUMP_CTRL = pump_ctrl;
    delay(5000);
    pump_running = 0;
  }
  signal(pump_sem);
}
```

```
void water_monitor(void) {
  port water_level;
  while (1) {
    set(water_ctrl, device_operation_bit);
    WATER_CTRL = water_ctrl; // starta avläsning av vattennivån
    delay(100);
    water_level = WATER_DATA;
    if (water_level < 0)
      printf("Fel på läsare av vattennivån");
    if (water_level > HIGH_WATER)
      start_pump();
    else if (water_level < LOW_WATER && pump_running)
      stop_pump();
    delay(20000);
  }
}



void metan_monitor(void) {
  port metan_level;
  while (1) {
    set(metan_ctrl, device_operation_bit);
    METAN_CTRL = metan_ctrl; // starta avläsning av metanhalten
    delay(100);
    metan_level = METAN_DATA;
    if (metan_level < 0)
      printf("Fel på läsare av metangasnivån");
    if (metan_level > HIGH_METAN) {
      if (!metan_alarm) {  // första indikation
        metan_alarm = 1;
        stop_pump();
        printf("Varning! Hög metangasnivå");
      }
    }
    else if (metan_alarm)
      metan_alarm = 0;
    delay(10000);
  }
}




int main() {
  process *water_proc, *metan_proc;
  init_processes();
  pump_sem = create_semaphore(1);
  water_proc = new_process(water_monitor);
  metan_proc = new_process(metan_monitor);
  start_process(water_proc);
  start_process(metan_proc);
  delay(UINT_MAX);
}
```