



KTH Elektro-  
och systemteknik

## Kompletterings skrivning i 2C1118 Systemplanering, 27 mars 2007, 17:00-19:00, Q36

### Instruktioner

Skriv alla svar på det bifogade svarsbladet. Några motiveringar eller beräkningar behöver inte redovisas.

Kompletterings skrivningen kan totalt ge 40 poäng. Godkänt betyg garanteras vid 35 poäng.

### Tillåtna hjälpmedel

Vid denna kompletterings skrivning får följande hjälpmedel användas:

- Miniräknare utan information med anknytning till kursen.
- En **handskriven, enkelsidig** A4-sida med **egna** anteckningar (original, ej kopia).  
Denna sida skall lämnas in tillsammans med svarsbladet.

## Uppgift 1 (4 p)

Besvara följande teorifrågor genom att välja *ett* alternativ, som du anser är korrekt.

**a) (2 p)** Följande egenskaper kännetecknar en modern, omstrukturerad ("avreglerad") elmarknad: I) Det finns en systemoperatör som är ansvarig för säker drift av elsystemet, II) Producenterna konkurrerar inte med varandra, III) Ett och samma bolag kan sköta hela kedjan från produktion, via transmission och distribution till slutkonsument, d.v.s. bolaget är både producent, nätägare och återförsäljare.

1. Inget av påståendena är sanna.
2. Endast I är sant.
3. I och II är sanna men inte III.
4. I och III är sanna men inte II.
5. Alla påståendena är sanna.

**b) (2 p)** Med efterhandshandeln avser vi all handel som sker efter själva leveranstimmen (eller någon annan handelsperiod). På efterhandsmarknaden handlar man med följande typer av kontrakt: I) Balanskraft, d.v.s. då en balansansvarig aktör säljer ett eventuellt överskott i sin balans till systemoperatören, eller då en balansansvarig aktör köper av systemoperatören för att täcka ett eventuellt underskott i sin balans, II) Fastkraft, d.v.s. då en säljaren förbinder sig att leverera en viss mängd energi i varje handelsperiod under kontraktets giltighetstid, III) Reglerkraft, d.v.s. då en aktör på begäran av systemoperatören tillför systemet mer effekt (uppreglering) eller då en aktör på begäran av systemoperatören tar ut mer effekt från systemet (nedreglering).

1. Inget av påståendena är sanna.
2. Endast I är sant.
3. Endast II är sant.
4. Endast III är sant.
5. I och III är sanna men inte II.

## Uppgift 2 (6 p)

Betrakta en förenklad modell av elmarknaden i Land. Maximal årsproduktion och rörliga kostnader framgår av tabell 1 nedan. Elförbrukningen i Land uppgår till 145 TWh/år.

**Tabell 1** Data för elproducenterna i Land.

| Kraftslag   | Produktionskapacitet [TWh/år] | Rörlig produktionskostnad [ $\text{€}/\text{MWh}$ ] |
|-------------|-------------------------------|---|
| Kolkondens  | 10                            | 300   |
| Kärnkraft   | 70                            | 80  |
| Vattenkraft | 70                            | 5   |
| Vindkraft   | 1                             | 5   |

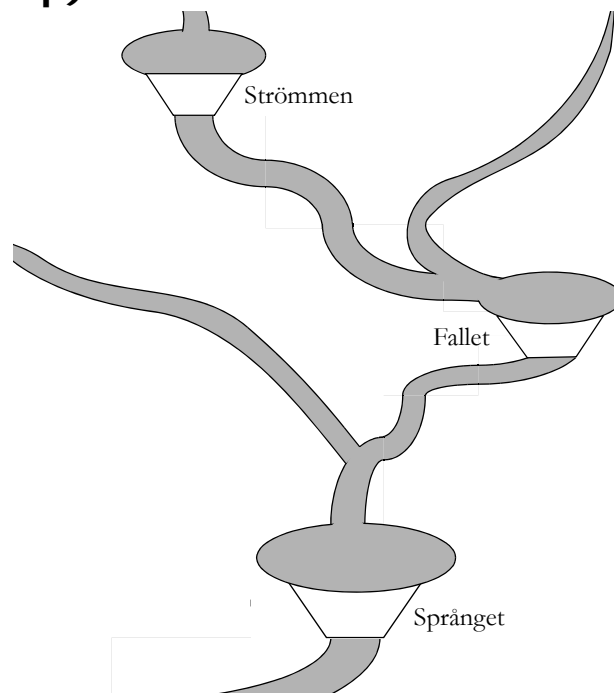
- a) (2 p)** Vilket elpris får man i Land om man antar perfekt konkurrens, perfekt information och att det inte finns några nät-, magasins- eller effektbegränsningar?
- b) (3 p)** Kärnkraftverket Strålinge har en produktionskapacitet på 5 TWh/år. Hur stor är vinsten från detta kärnkraftverk om de fasta kostnaderna uppgår till 900 M $\text{€}$ /år?
- c) (1 p)** Betrakta en godtycklig elmarknad och anta att elpriset är lika med  $\lambda$  om man har perfekt konkurrens, perfekt information och att det inte finns några nät-, magasins- eller effektbegränsningar. Vilket elpris får man på denna marknad om elmarknadens aktörer *inte* har tillgång till perfekt information?
1. Elpriset måste vara lägre än  $\lambda$ .
  2. Elpriset måste vara högre än  $\lambda$ .
  3. Elpriset kan bli lägre, lika med eller högre än  $\lambda$ .

## Uppgift 3 (6 p)

Betrakta ett elsystem där den totala reglerstyrkan uppgår till 2 000 MW/Hz i intervallet  $50 \pm 0,1$  Hz.

- a) (2 p)** Klockan 10:00 råder balans mellan produktion och konsumtion i systemet och frekvensen är 50,01 Hz. Vid detta tillfälle ökar det termiska kraftverket Sotinge sin elproduktion med 100 MW. Kraftverket Sotinge deltar inte i primärregleringen. Vilken frekvens får man i systemet efter att primärregleringen återställt balansen mellan produktion och konsumtion?
- b) (2 p)** Klockan 10:03 råder balans mellan produktion och konsumtion i systemet och frekvensen är 50,04 Hz. Vid detta tillfälle minskar lasten i systemet med 60 MW. Vilken frekvens får man i systemet efter att primärregleringen återställt balansen mellan produktion och konsumtion?
- c) (2 p)** Klockan 10:05 råder balans mellan produktion och konsumtion i systemet och frekvensen är 50,12 Hz. Vattenkraftverket Fors har en reglerstyrka på 100 MW/Hz. Basproduktionen (d.v.s. produktionen då frekvensen är exakt 50 Hz) är 80 MW och kraftverket har en installerad effekt på 90 MW. Hur mycket kommer Fors att producera vid denna tidpunkt?

## Uppgift 4 (12 p)



**a) (3 p)** Vattenkraftverket Språnget har en maximal tappning på  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Bästa verkningsgrad erhålls vid tappningen  $70 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vid maximal tappning producerar kraftverket installerad effekt, närmare bestämt 20,8 MW. Vid bästa verkningsgrad producerar kraftverket 15,4 MW.

Antag att man vill ta fram en styckvis linjär modell av elproduktionen som funktion av tappningen i Språnget. Modellen ska ha två segment och brytpunkten läggs vid bästa verkningsgrad. Beräkna följande parametrar:

$$\begin{aligned} \mu_j &= \text{marginell produktionsekvivalent i Språnget, segment } j, \\ \bar{Q}_j &= \text{maximal tappning i Språnget, segment } j. \end{aligned}$$

**b) (4 p)** I ett korttidsplaneringsproblem för vattenkraftverken ovan har man infört följande beteckningar:

Index för kraftverken: Strömmen 1, Fallet 2, Språnget 3.

$$M_{i,0} = \text{innehåll i magasin } i \text{ vid planeringsperiodens början, } i = 1, 2, 3,$$

$$M_{i,t} = \text{innehåll i magasin } i \text{ vid slutet av timme } t, i = 1, 2, 3, t = 1, \dots, 24,$$

$$Q_{i,j,t} = \text{tappning i kraftverk } i, \text{ segment } j, \text{ under timme } t, \\ i = 1, 2, 3, j = 1, 2, t = 1, \dots, 24.$$

$$S_{i,t} = \text{spill från magasin } i \text{ under timme } t, i = 1, 2, 3, t = 1, \dots, 24,$$

$$V_{i,t} = \text{lokal tillrinning till magasin } i \text{ under timme } t, i = 1, 2, 3, t = 1, \dots, 24,$$

Använd dessa beteckningar till att formulera det hydrologiska bivillkoret för Språnget, timme  $t$ . Rinntiden mellan kraftverken kan försummas.

**c) (3 p)** Det termiska kraftverket Flisinge eldas med biobränsle. Bränslet kostar  $200 \text{ kr}/\text{m}^3$  och har en densitet på  $400 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Bränslets värmeinnehåll är  $5 \text{ MWh}/\text{ton}$  och kraftverket har en verkningsgrad på 40%. Hur stor är den rörliga produktionskostnaden i Flisinge?

**d) (2 p)** I ett korttidsplaneringsproblem för Flisinge har man infört följande variabler och parametrar:

- $C^+$  = startkostnad för kraftverket,
- $C^-$  = stoppkostnad för kraftverket,
- $G_{s,t}$  = elproduktion i kraftverket under timme  $t$ ,
- $s_t^+$  = startvariabel för timme  $t$  (1 om kraftverket startar produktionen i början av timme  $t$ , annars 0),
- $s_t^-$  = stoppvariabel för timme  $t$  (1 om kraftverket stoppar produktionen i början av timme  $t$ , annars 0).
- $u_t$  = driftstatus under timme  $t$  (1 om kraftverket är i drift, 0 om det inte är i drift),
- $\beta$  = rörlig produktionskostnad.

Man har valt följande målfunktion för planeringsproblemet:

$$\text{minimera} \quad \sum_{t \in \mathcal{T}} (\beta G_t + C^+ s_t^+ + C^- s_t^-).$$

Vilka av följande bivillkor kan användas för att reglera sambandet mellan start, stopp och driftstatus?

I)  $u_t - u_{t-1} - s_t^+ + s_t^- = 0.$

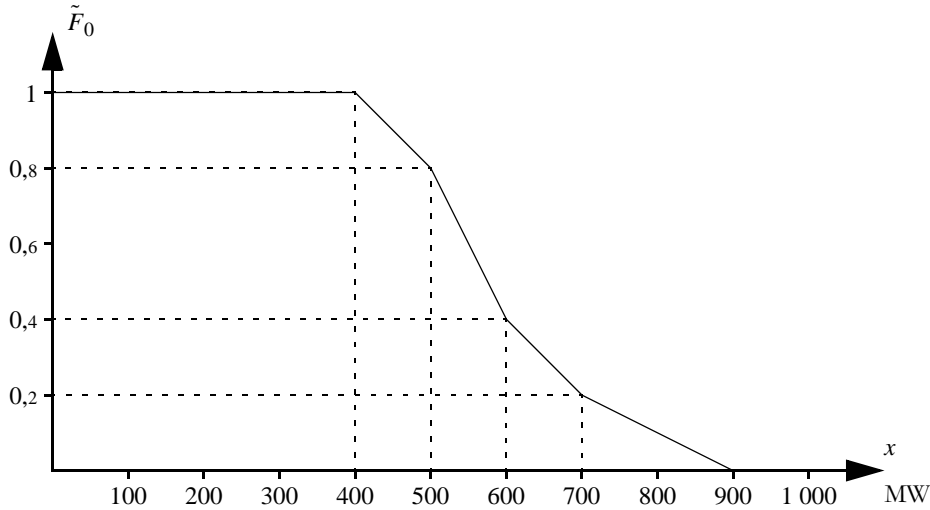
II)  $u_t - u_{t-1} - s_t^+ \leq 0.$

III)  $u_t - u_{t-1} + s_t^+ - s_t^- = 0.$

1. Inget av alternativen är korrekt.
2. Endast alternativ I är korrekt.
3. Endast alternativ II är korrekt.
4. Endast alternativ III är korrekt.
5. Man kan välja mellan att använda alternativ I och alternativ II.

## Uppgift 5 (12 p)

Figuren nedan visar lastens varaktighetskurva i Nchi. Antag att kraftverken i Nchi utgörs av vattenkraftverk som är 100% tillgängliga och som har en total installerad effekt på 700 MW, samt en vindkraftpark med en installerad effekt på 200 MW, vars tillgängliga produktionskapacitet modelleras enligt tabell 2.



**Tabell 2** Modell av vindkraftparken i Nchi.

| Tillgänglig produktionskapacitet [MW] | Sannolikhet [%] |
|---------------------------------------|-----------------|
| 0                                     | 20              |
| 50                                    | 20              |
| 100                                   | 10              |
| 150                                   | 10              |
| 200                                   | 40              |

**a) (3 p)** Antag att man i första hand utnyttjar vattenkraftverken och att vindkraften endast utnyttjas då lasten överstiger den tillgängliga kapaciteten i vattenkraften. Hur stor är den förväntade elproduktionen per timme i vattenkraften?

**b) (3 p)** Vad har systemet för *LOLP*?

*Tips:* Faltningsekvationen för en flertillståndsmoell ser ut så här:

$$\tilde{F}_g(x) = \sum_{i=1}^{N_g} p_{g,i} \tilde{F}_{g-1}(x - x_{g,i}).$$

**c) (3 p)** Antag att man i ett scenario har slumpat fram att den totala lasten är  $D_{tot} = 525$  MW. Vad är slumpalskomplementet till  $D_{tot}$ ?

**d) (3 p)** I en Monte Carlo-simulering av Nchi har man använt en lite mer avancerad modell av vindkraftparken än den som ges i tabell 2. Dessutom har man tagit hänsyn till transmissionsförlusterna i elsystemet. Resultatet av 1 000 studerade scenarier är sammanställt i tabell 3. Vilken skattning av *LOLP* får man utifrån dessa resultat?

**Tabell 3** Resultat från en Monte Carlo-simulering av elsystemet i Nchi.

| Stratum, $h$ | Stratumvikt, $\omega_h$ | Antal scenarier,<br>$n_h$ | Resultat, $\sum_{i=1}^{n_h} x_{i,h}$ ,<br>(där $x_{i,h}$ är det observerade värdet på<br><i>LOLO</i> i scenario $i$ , stratum $h$ ) |
|--------------|-------------------------|---------------------------|---|
| 1            | 0,85                    | 50                        | 0   |
| 2            | 0,06                    | 900                       | 150   |
| 3            | 0,09                    | 50                        | 50  |



KTH Elektro-  
och systemteknik

## Svarsblad

Namn: .....

Personnummer: .....

### Uppgift 1

a) Alternativ ..... är korrekt.

b) Alternativ ..... är korrekt.

### Uppgift 2

a) .....  $\alpha$ /MWh

b) .....  $M\alpha$ /år

c) Alternativ ..... är korrekt.

### Uppgift 3

a) ..... Hz

b) ..... Hz

c) ..... MW

### Uppgift 4

a)  $\mu_1$  ..... MWh/TE     $\mu_2$  ..... MWh/TE

$\bar{Q}_1$  ..... TE     $\bar{Q}_2$  ..... TE

b) .....

c) .....  $\alpha$ /MWh

d) Alternativ ..... är korrekt.

### Uppgift 5

a) ..... MWh/h    b) ..... %

c) ..... MW    d) ..... %



Lösningsskisser till kompletteringskrävning i 2C1118 Systemplanering.

### Uppgift 1

a) 2, b) 2.

$$= \begin{cases} 0,22 & j = 1, \\ 0,18 & j = 2, \end{cases}$$

$\bar{Q}_j$  = maximal tappning i Språnget, segment  $j = \begin{cases} 70 & j = 1, \\ 30 & j = 2. \end{cases}$

- b)  $M_{3,r} - M_{3,r-1} + Q_{3,1,r} + Q_{3,2,r} + S_{3,r} - Q_{2,1,r} - Q_{2,2,r} - S_{2,r} = Y_{3,r}$   
 c) En  $m^3$  bränsle motsvarar 0,4 ton. Eftersom värmehållet är 5 MWh/ton och verkningsgraden är 40% får man således ut 0,8 MWh el per  $m^3$  bränsle. Om bränslet kostar 200  $\text{€}/m^3$  får man en rörlig produktionskostnad på 200/0,8 = 250  $\text{€}/MWh$ .  
 d) 2.

### Uppgift 2

- a) Vattenkraft, vindkraft och kärnkraft kan totalt producera 141 TWh/år, vilket inte är tillräckligt. Således måste en del av kolkondensen tas i bruk och därmed måste elpriset uppgå till 300  $\text{€}/MWh$ .  
 b) Intäkterna för Strålinge uppgår till 5 TWh/år  $\cdot$  300  $\text{€}/MWh = 1500 \text{ M€}/\text{år}$ . Från intäkterna subtraherar vi den totala rörliga produktionskostnaden (5 TWh/år  $\cdot$  80  $\text{€}/MWh = 400 \text{ M€}/\text{år}$ ) och de fasta kostnaderna, vilket ger en vinst på 200 M€/år.  
 c) 3.

### Uppgift 3

- a) Den ökade elproduktionen leder till en frekvensökning  $\Delta f = \Delta G/R = 100/2000 = 0,05 \text{ Hz}$ , d.v.s. den nya frekvensen blir 50,01 + 0,05 = 50,06 Hz.  
 b) Den minskade elförbrukningen leder till en frekvensökning  $\Delta f = \Delta G/R = 60/2000 = 0,03 \text{ Hz}$ , d.v.s. den nya frekvensen blir 50,04 + 0,03 = 50,07 Hz.  
 c) Sambandet mellan frekvens och elproduktion ger att Fors bör producera  $G = G_0 - R(f - f_0) = 80 - 100(50,12 - 50) = 68 \text{ MW}$ , vilket inte överskrider den installerade effekten.

### Uppgift 4

- a) Följande data är givna i uppgiften:  
 $\bar{Q} =$  maximal tappning i Språnget = 100,  
 $\bar{Q} =$  tappning i Språnget vid bästa verkningsgrad = 70,  
 $H =$  elproduktion i Språnget vid bästa verkningsgrad = 15,4,  
 $\bar{H}_i =$  maximal elproduktion i Språnget = 20 s.

De marginella produktionskvivalenterna kan nu beräknas enligt

$$H_1 = \frac{\bar{H}}{\bar{Q}}$$

och

$$H_2 = \frac{\bar{H} - \bar{H}}{\bar{Q} - \bar{Q}}$$

vilket ger följande linjära modeller av kraftverket:

$$H_j = \text{marginell produktionskvivalent i Språnget, segment } j =$$

### Uppgift 5

- a) Eftersom vattenkraften är 100% tillgänglig har vi  $\tilde{F}_1(x) = \tilde{F}_0(x)$ . Den förväntade elproduktionen i vattenkraften ges därmed av

$$EG_1 = EENS_0 - EENS_1 = \int_0^{\infty} \tilde{F}_0(x) dx - \int_0^{\infty} \tilde{F}_1(x) dx = \int_0^{700} \tilde{F}_0(x) dx = 580 \text{ MWh/h.}$$

- b)  $LOLP = \tilde{F}_2(900) = 0,4\tilde{F}_1(900) + 0,1\tilde{F}_1(850) + 0,1\tilde{F}_1(800) + 0,2\tilde{F}_1(750) + 0,2\tilde{F}_1(700) = 0,4 \cdot 0 + 0,1 \cdot 0,05 + 0,1 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 0,15 + 0,2 \cdot 0,2 = 8,5\%$ .

- c) Med den inversa transformmetoden erhålls  $D_{tot} = F_{D_{tot}}^{-1}(U)$ , där  $U$  är ett  $U(0, 1)$ -fördelat slumpital. Eftersom vi i uppgiften får varaktighetskurvan i stället, kan vi lika gärna använda transformen  $D_{tot} = F_{D_{tot}}^{-1}(U)$ . Det ursprungliga slumptalet måste ha varit  $U = F_{D_{tot}}(D_{tot}) = 0,7$ . Således är  $U^* = 1 - U = 0,3$ , vilket ger  $D_{tot}^* = F_{D_{tot}}^{-1}(U^*) = 650 \text{ MW}$ .

- d) Skattningen av väntevärdet i ett enskilt stratum ges av

$$m_{Xh} = \frac{1}{n_{h_i}} \sum_{i=1}^{n_h} x_i \cdot h_i$$

vilket ger  $m_{X1} = 0$ ,  $m_{X2} = 1/6$  och  $m_{X3} = 1$ . Resultaten viktas samman enligt

$$m_X = \sum_{h=1}^3 \omega_h m_{Xh}$$

vilket ger en skattning av  $LOLP$  på  $0,85 \cdot 0 + 0,06 \cdot 1/6 + 0,09 \cdot 1 = 10\%$ .