



KTH Elektro-
och systemteknik

Kompletteringskrivning i 2C1118 Systemplanering, 26 juni 2007, 18:00-20:00, seminarierummet

Instruktioner

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

Kompletteringskrivningen kan totalt ge 40 poäng. Godkänt betyg garanteras vid 35 poäng.

Tillåtna hjälpmedel

Vid denna kompletteringskrivning 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) På en modern, omstrukturerad ("avreglerad") elmarknad är det systemoperatören som är ansvarig för den kortsiktiga balansen mellan produktion och konsumtion. Detta innebär att I) Systemoperatören är ansvarig för att frekvensen i systemet hålls inom givna gränser, II) Om systemoperatören inte ser till att systemet i varje ögonblick tillförs lika mycket effekt som det tas ut får systemoperatören betala en straffavgift till de balansansvariga aktörerna, III) Om systemoperatören inte ser till att systemet under varje handelsperiod (t.ex. en timme) tillförs lika mycket energi som det tas ut får systemoperatören betala en straffavgift till de balansansvariga aktörerna.

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

b) (1 p) Vad gäller för s.k. självbetjäningskontrakt?

1. Kunden köper lika mycket energi per handelsperiod under hela kontraktets giltighetstid.
2. Under kontraktets giltighetstid abonnerar kunden på en viss maximal effekt och får köpa valfri mängd energi per handelsperiod, så länge den maximala effekten inte överskrids.
3. Kunden köper el på elbörsen. Om priset på elbörsen överskrider ett visst avtalat maximalt pris, får kunden en ersättning motsvarande skillnaden mellan börspriset och det avtalade maximala priset.

c) (1 p) Vad gäller för ett nedregleringsbud?

1. Ett elbolag säljer el till en kund och kunden måste i förväg meddela elbolaget exakt hur mycket energi man kommer att förbruka under varje handelsperiod.
2. En aktör erbjuder sig att på systemoperatörens begäran öka sin elproduktion (alternativt minska sin elförbrukning).
3. En aktör erbjuder sig att på systemoperatörens begäran minska sin elproduktion (alternativt öka sin elförbrukning).

Uppgift 2 (6 p)

På elmarknaden i Land råder perfekt konkurrens, alla aktörer har perfekt information och det finns vare sig några nät-, magasins-, eller effektbegränsningar. Data för elproducenterna i Land ges i tabell 1. Den rörliga produktionskostnaden för kolkondensen antas vara linjära i det angivna intervallet, d.v.s. då produktionen är noll är priset på den lägsta nivån och vid maximal produktion är priset maximalt.

Tabell 1 Data för elproducenterna i Land.

Kraftslag	Produktionskapacitet [TWh/år]	Rörlig kostnad [ϰ/MWh]
Vattenkraft	75	10
Kärnkraft	75	100
Kolkondens	50	300–500

a) (2 p) Antag att konsumenterna på elmarknaden i Land inte är priskänsliga. Vilket elpris får man om elförbrukningen är 175 TWh/år?

b) (2 p) Antag att elpriset i Land är 380 ϰ/MWh. Strålinge kraftverksaktiebolag äger ett kärnkraftverk med en produktionskapacitet på 10 TWh per år. De fasta kostnaderna för kraftverket uppgår till 2 000 Mϰ/år. Hur stor vinst gör företaget?

c) (2 p) Antag att konsumenterna på elmarknaden förbrukar 175 TWh/år om elpriset är 300 ϰ/MWh eller lägre, men att förbrukningen minskar med 0,25 TWh/år för varje ϰ/MWh som priset överstiger 300 ϰ/MWh. Vilket elpris får man i Land?

Uppgift 3 (6 p)

Riksnät är systemoperatör i Rike. Eftersom Riksnät inte har några egna kraftverk har man upphandlat reglerstyrka från olika aktörer på elmarknaden, så som visas i tabell 2. Man kan utgå från att om ett kraftverk ska tillhandahålla reglerstyrka ned till en viss frekvens, så kommer kraftverket inte att kunna öka sin produktion ytterligare om frekvensen fortsätter sjunka – således bidrar kraftverket inte längre med reglerstyrka då frekvensen understiger den frekvens som anges i tabell 2.

Tabell 2 Primärregleringen i Rike.

Kategori	Antal kraftverk	Reglerstyrka i varje kraftverk [MW/Hz]	Lägsta frekvens där reglerstyrkan är tillgänglig [Hz]
I	20	100	49,9
II	10	50	49,9
III	50	50	49,5

a) (2 p) Hur stor är den sammanlagda reserven för att öka produktionen i kraftverken som hör till kategori I och II då frekvensen är 49,92 Hz?

b) (1 p) Hur stor är systemets totala reglerstyrka då frekvensen är 49,75 Hz?

c) (3 p) Vid ett visst tillfälle är frekvensen i systemet stabil på 49,92 Hz, då ett kärnkraftverk måste snabbstoppas. Före snabbstoppet producerade kärnkraftverket 1 050 MW. Vilken frekvens får man i systemet då frekvensen stabiliserats efter snabbstoppet?

Uppgift 4 (12 p)

Stads energi AB äger ett termiskt kraftverk med tre block. Dessutom äger man en vindkraftpark. Antag att bolaget formulerat sitt korttidsplaneringsproblem som ett MILP-problem och att man har infört följande beteckningar:

Index för kraftverken: Block I - 1, Block II - 2, Block III - 3.

$$C_g^+ = \text{startkostnad i kraftverk } g, g = 1, 2, 3,$$

$$D_t = \text{avtalad last timme } t, t = 1, \dots, 24,$$

$$G_{g,t} = \text{elproduktion i kraftverk } g, \text{ timme } t, g = 1, 2, 3, t = 1, \dots, 24,$$

$$\underline{G}_g = \text{installerad effekt i kraftverk } g, g = 1, 2, 3,$$

$$\underline{G}_g = \text{minimal elproduktion då kraftverk } g \text{ är i drift, } g = 1, 2, 3,$$

$$s_{g,t}^+ = \text{startvariabel för kraftverk } g, \text{ timme } t, g = 1, 2, 3, t = 1, \dots, 24,$$

$$u_{g,0} = \text{driftstatus i kraftverk } g \text{ vid planeringsperiodens början, } g = 1, 2, 3,$$

$$u_{g,t} = \text{driftstatus i kraftverk } g, \text{ timme } t, g = 1, 2, 3, t = 1, \dots, 24,$$

$$W_t = \text{förväntad vindkraftproduktion timme } t, t = 1, \dots, 24,$$

$$\beta_{Gg} = \text{rörlig produktionskostnad i kraftverk } g.$$

a) (4 p) Stads energi AB önskar minimera driftkostnaden under det kommande dygnet. Formulera målfunktionen i bolagets korttidsplaneringsproblem. Använd beteckningarna ovan.

b) (2 p) Hur formuleras det bivillkor i Stads energi AB:s korttidsplaneringsproblem som reglerar sambandet mellan \underline{G}_g , $G_{g,t}$ och $u_{g,t}$ för kraftverk g timme t ?

$$1. G_{g,t} + \underline{G}_g \cdot u_{g,t} \leq 0.$$

$$2. G_{g,t} - \underline{G}_g \cdot u_{g,t} \leq 0.$$

$$3. G_{g,t} + \underline{G}_g \cdot u_{g,t} = 0.$$

$$4. G_{g,t} - \underline{G}_g \cdot u_{g,t} \geq 0.$$

$$5. G_{g,t} + \underline{G}_g \cdot u_{g,t} \geq 0.$$

c) (1 p) Den bästa produktionsekvivalenten i kraftverket Forsen är 0,8 MWh/TE och uppnås vid tappningen 125 TE. Vid tappningen 187,5 TE är den relativa verkningsgraden 96%. Hur mycket producerar Forsen vid tappningen 187,5 TE?

d) (1 p) Forsens vattenmagasin innehåller 1 000 TE klockan 10:00. Den lokala tillrinningen samt tappning och spill från kraftverket närmast uppströms uppgår till 100 m³/s mellan 10:00 och 11:00. Under samma tid tappar man 140 TE från Forsen. Hur mycket innehåller Forsens vattenmagasin klockan 11:00? Observera att svaret ska ges i m³!

e) (2 p) I följande fall är man tvungen att använda heltalsvariabler för att modellera elproduktionen i ett vattenkraftverk: I) Då man använder en styckvis linjär modell där den marginella produktionsekvivalenten ökar med ökad tappning, II) Då man har ett förbjudet intervall för tappningen, III) Då kraftverket närmast uppströms är ett strömkraftverk (d.v.s. ett vattenkraftverk utan magasin).

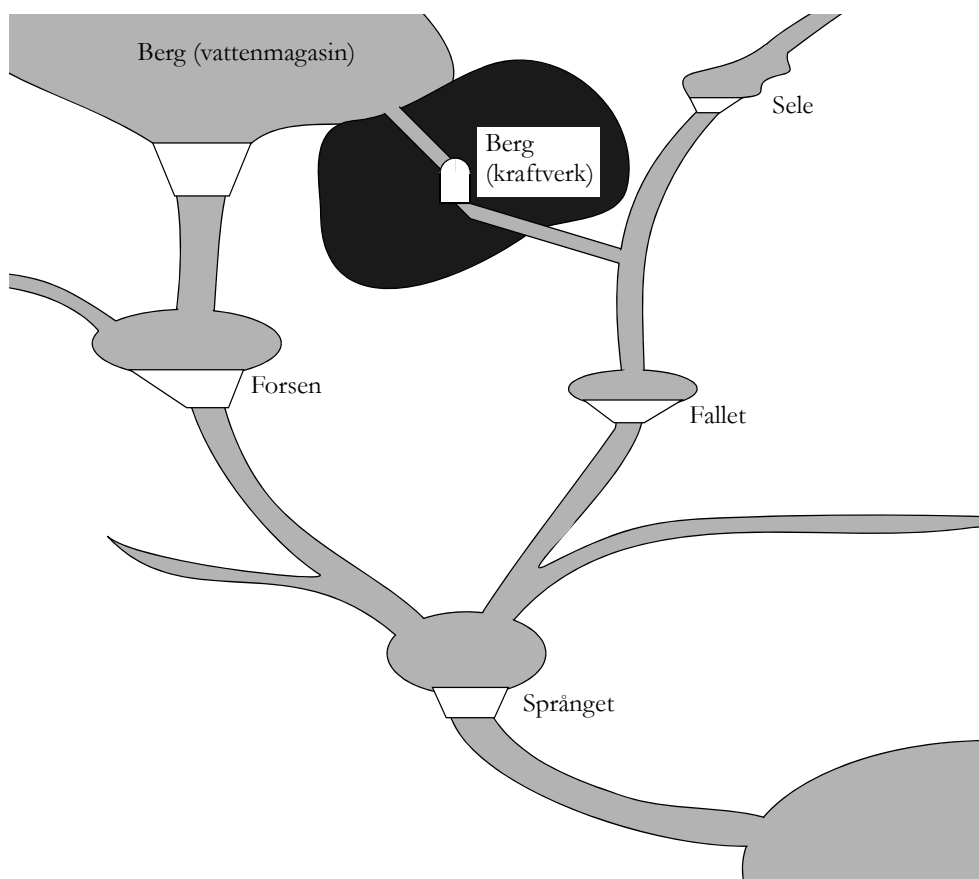
1. Inget av påståendena är sanna.

2. I och II är sanna men inte III.

3. I och III är sanna men inte II.

4. II och III är sanna men inte I.

5. Alla påståendena är sanna.



f) (2 p) Betrakta vattenkraftverken i figuren ovan. Notera att Berg är ett underjordiskt kraftverk och att vatten som tappas genom turbinen rinner vidare till Fallet, medan spill hamnar i Forsen. Rinntiderna mellan kraftverken kan försummas.

I ett korttidsplaneringsproblem för dessa kraftverk har man infört följande beteckningar:

$M_{i,t}$ = innehåll i magasin i vid slutet av timme t ,

$Q_{i,t}$ = tappning i kraftverk i , timme t ,

$S_{i,t}$ = spill från magasin i under timme t ,

$V_{i,t}$ = lokalt inflöde till kraftverk i , timme t .

Kraftverken har tilldelats indexen $i = 1, \dots, 5$ och det hydrologiska bivillkoret för kraftverk 3, timme t ser ut så här:

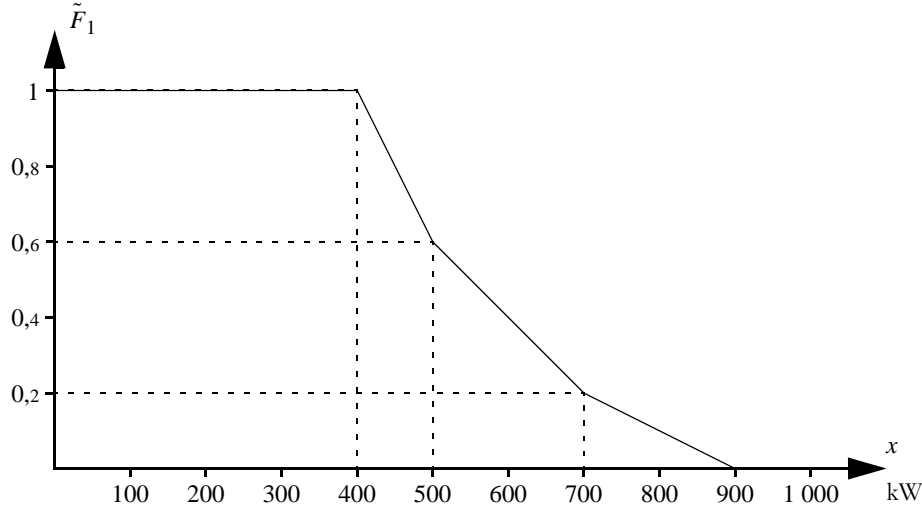
$$M_{3,t} - M_{3,t-1} + Q_{3,t} + S_{3,t} - Q_{2,t} - S_{2,t} - Q_{5,t} - S_{5,t} = V_{3,t}$$

Vilket kraftverk är det som har tilldelats indexet $i = 3$?

1. Berg
2. Fallet
3. Forsen
4. Sele
5. Språnget

Uppgift 5 (12 p)

Shahir är en liten stad i Östafrika. Staden är inte ansluten till något nationellt elnät, utan man har ett eget lokalt system som försörjs av ett vattenkraftverk. Kraftverket saknar magasin, men vattenflödet är alltid tillräckligt stort för att man ska kunna producera installerad effekt (800 kW) och risken för driftstopp i kraftverket är försumbar.



- a) (3 p)** Figuren ovan visar varaktighetskurvan för den ekvivalenta lasten inklusive bortfall i vattenkraftverket. Hur stor är den förväntade elproduktionen per timme i vattenkraftverket?
- b) (3 p)** Vilken *LOLP* får man i Shahir om man förutom vattenkraftverket införskaffar en dieselgenerator med en kapacitet på 150 kW och en tillgänglighet på 75%?
- c) (3 p)** Elnätet i Shahir är dåligt underhållet och det är vanligt att transformatorer och ledningar går sönder. För att ta hänsyn till driftstörningar i elnätet har man genomfört en Monte Carlo-simulering av systemet. För att uppnå ett så bra resultat som möjligt har man använt kontrollvariabelmetoden. Den detaljerade modellen tar hänsyn till driftstörningar i elnätet. I den förenklade modellen har man försummat elnätet, vilket innebär att man använt samma modell som i en stokastisk produktionskostnadssimulering. Resultaten visas i tabell 3. Vilken skattning av *LOLP* ger den detaljerade modellen om *LOLP* för den förenklade modellen är 10%?
- d) (3 p)** Vilken skattning av *EENS* ger den detaljerade modellen om *EENS* för den förenklade modellen är 5 kWh/h?

Tabell 3 Resultat från Monte Carlo-simulering av elsystemet i Shahir.

Antal scenarier, n	Resultat från detaljerad modell		Resultat från förenklad modell	
	$\sum_{i=1}^n lolo_i$	$\sum_{i=1}^n ens_i$	$\sum_{i=1}^n \tilde{lolo}_i$	$\sum_{i=1}^n \tilde{ens}_i$
1 000	199	11 400	108	5 300



KTH Elektro-
och systemteknik

Svarsblad

Namn:

Personnummer:

Uppgift 1

a) Alternativ är korrekt.

b) Alternativ är korrekt.

c) Alternativ är korrekt.

Uppgift 2

a) \varnothing /MWh

b) $M\varnothing$ /år

c) \varnothing /MWh

Uppgift 3

a) MW

b) MW/Hz

c) Hz

Uppgift 4

a)

b) Alternativ är korrekt.

c) MW d) m^3

e) Alternativ är korrekt.

f) Alternativ är korrekt.

Uppgift 5

a) kWh/h b) %

c) % d) kWh/h

Lösningsskisser till kompletteringskrävning i 2C1118 Systemplanering.

Uppgift 1

- a) 2, b) 2, c) 3.

Uppgift 2

- a) Vattenkraft och kärnkraft kan totalt ge 150 TWh, vilket betyder att man också kommer att behöva utnyttja hälften av kolkondensen. Elpriset måste därför vara halvt så i intervallet för kolkondens, d.v.s. 400 $\text{€}/\text{MWh}$.
- b) Eftersom elpriset är högre än den rörliga driftkostnaden kommer kärnkraftverket att producera maximalt. Detta ger en årlig vinst på 10 TWh \cdot 380 $\text{€}/\text{MWh}$ (mått av såld el) – 10 TWh \cdot 100 $\text{€}/\text{MWh}$ (rörlig kostnad) – 2 000 M € (fast kostnad) = 800 M € .
- c) Med ledning från resultatet i a-uppgiften kan vi konstatera att elförbrukningen kommer att bli lägre än 175 TWh. Om vi antar att elpriset, λ , är större än 300 $\text{€}/\text{MWh}$ kommer den totala produktionen (vattenkraft + kärnkraft + kolkondens) att vara

$$75 + 75 + \frac{\lambda - 300}{500 - 300} \cdot 50,$$

samtidigt som lasten är lika med

$$175 - 0,25(\lambda - 300).$$

Om dessa två uttryck ska vara lika stora måste $\lambda = 350 \text{ €}/\text{MWh}$.

Uppgift 3

- a) Kraftverken i kategori I och II har en total reglerstyrka $R_{I+II} = 2\,500 \text{ MW}/\text{Hz}$, vilket innebär att om frekvensen sjunker med 0,02 Hz så ökar de elproduktionen med 2 500 \cdot 0,02 = 50 MW.
- b) Vid denna frekvens är det bara kraftverken i kategori III som bidrar till den totala reglerstyrkan, vilket ger en total reglerstyrka på 2 500 MW/Hz.
- c) Upppenbådigen kommer ett så stort bortfall leda till en frekvens som är lägre än 49,9 Hz. Kraftverken i kategori I och II kommer således att öka sin elproduktion så mycket de kan, d.v.s. 50 MW. De resterande 1 000 MW måste tillföras av de kraftverken i kategori III, vilket innebär att frekvensen måste sjunka med $\Delta f = \Delta G/R_{3,9,5} = 1\,000/2\,500 = 0,4 \text{ Hz}$. Den nya frekvensen blir därmed 49,9 – 0,4 = 49,5 Hz.

Uppgift 4

- a) minimera $\sum_{t=1}^5 (C_{g,t}^+ s_{g,t}^+ + \beta_{G,t} C_{g,t})$.

$$t = 1 \text{ g} = 1$$

- b) 4.

- c) Elproduktionen ges av $H(Q) = \gamma_{\max} \cdot \mathcal{H}(Q) \cdot Q = 0,8 \cdot 0,96 \cdot 187,5 = 144 \text{ MW}$.

- d) Eftersom magasinet fylls på med 100 TE och man tappat 140 TE så måste det innehålla 960 TE = 3 456 000 m³ vatten i slutet av timmen.

- e) 2.

- f) 5.

Uppgift 5

- a) Vi börjar med att konstatera att $\tilde{F}_0(x) = \tilde{F}_1(x)$, eftersom vattenkraftverket är 100% tillgängligt. Således får vi

$$\begin{aligned} EG_1 &= EENS_0 - EENS_1 = \int_0^\infty \tilde{F}_0(x) dx - \int_0^\infty \tilde{F}_1(x) dx = \int_0^{800} \tilde{F}_1(x) dx = \\ &= 400 \cdot 1 + 100 \cdot (1 + 0,6)/2 + 200 \cdot (0,6 + 0,2)/2 + 100 \cdot (0,2 + 0,1)/2 = 575 \text{ kW/h/h.} \end{aligned}$$

- b) $LOLP = \tilde{F}_2(950) = 0,75 \tilde{F}_1(950) + 0,25 \tilde{F}_1(950 - 150) = 0,75 \cdot 0 + 0,25 \cdot 0,1 = 2,5\%$.

- c) $m_{LOLO} = m_{LOLO} - LOLO + m_{LOLO} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n lo_{lo_i} - \sum_{i=1}^n lo_{lo_i} \right) + 0,1 =$
 $= \frac{1}{1\,000} (199 - 108) + 0,1 = 19,1\%$.

- d) $m_{ENS} = m_{ENS} - ENS + m_{ENS} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n ens_i - \sum_{i=1}^n ens_i \right) + 5 =$
 $= \frac{1}{1\,000} (11\,400 - 5\,300) + 5 = 11,1 \text{ kW/h/h.}$