



KTH Elektro-
och systemteknik

Kompletteringskrivning i EG2050 Systemplanering, 23 juni 2011, 9:00-11:00, seminarerummet

Instruktioner

Endast de uppgifter som är markerade på det bifogade svarsbladet behöver lösas (på de övriga uppgifterna tillgodoräknas resultatet från tentamen). Några motiveringar eller beräkningar behöver inte redovisas.

Denna kompletteringskrivning kan totalt ge 40 poäng. Godkänt betyg garanteras vid 33 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) En aktör som är balansansvarig har följande skyldigheter: I) Man är ekonomiskt ansvarig för att systemet under en viss handelsperiod (t.ex. en timme) tillförs lika mycket energi som ens kunder förbrukat, II) Man är fysiskt ansvarig för att systemet under en viss handelsperiod (t.ex. en timme) tillförs lika mycket energi som ens kunder förbrukat, III) Man är fysiskt ansvarig för att systemet i varje ögonblick tillförs lika mycket effekt som ens kunder förbrukar.

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) (2 p) Följande gäller för ett nedregleringsbud på en reglermarknad: I) Om ett nedregleringsbud aktiveras så innebär det att den som lämnat budet köper energi av systemoperatören, II) Ett nedregleringsbud kan verkställas genom att minska produktionen i t.ex. ett vattenkraftverk, III) Ett nedregleringsbud kan verkställas genom att minska elförbrukningen i t.ex. en stor industri.

1. Endast I är sant.
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.

Uppgift 2 (6 p)

Antag att det råder perfekt konkurrens på elmarknaden i Land, att alla aktörer har perfekt information och att det inte finns nät-, magasins- eller effektbegränsningar. Data för kraftverken i Land ges i tabell 1. De rörliga produktionskostnaderna antas vara linjära i de angivna intervallen, d.v.s. då produktionen är noll är priset på den lägsta nivån och vid maximal produktion är priset maximalt.

Tabell 1 Data för kraftverken i Land.

Kraftslag	Produktionskapacitet [TWh/år]	Rörlig kostnad [ϰ/MWh]
Vattenkraft	60	5
Kärnkraft	60	90–100
Biobränsle	30	200–350
Kolkondens	10	305–505

- a) (1 p) Hur mycket producerar biobränslekraftverken under ett år om elpriset är 320 ϰ/MWh?
- b) (3 p) Vilket elpris får man i Land om elförbrukningen inte är priskänslig och uppgår till 151 TWh/år?
- c) (2 p) Antag att Land inför koldioxidavgifter. Biobränslekraftverken anses inte ge något nettotillskott av koldioxid, men kolkondensproducenterna måste betala en avgift på 80 ϰ/MWh. Vilket elpris får man i Land?

Uppgift 3 (6 p)

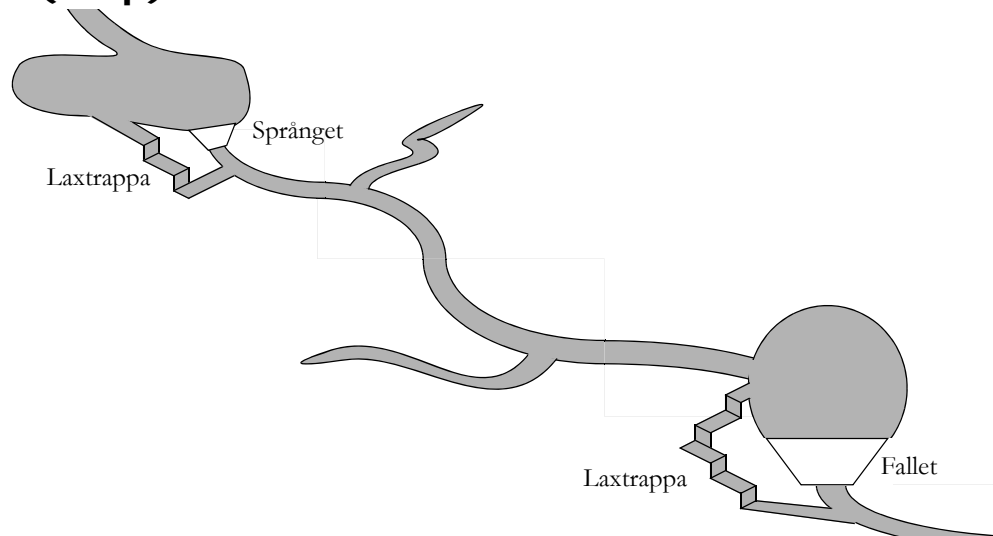
Primärregleringen i Rike är uppdelad i normaldriftreserv och en störningsreserv. De kraftverk som ingår i respektive reserv tillhandahåller endast reglerstyrka i ett visst frekvensintervall, så som anges i tabell 2. Om frekvensen i systemet hamnar utanför dessa intervall bidrar kraftverken inte med någon reglerstyrka.

Tabell 2 Primärregleringen i Rike.

Kategori	Reglerstyrka [MW/Hz]	Frekvensintervall [Hz]
Normaldriftreserv	2 000	49,9–50,1
Störningsreserv	3 000	49,5–49,9

- a) (2 p) Hur mycket återstår av normaldriftreserven då frekvensen är 49,94 Hz (d.v.s. hur mycket kan elproduktionen i dessa kraftverk öka)?
- b) (1 p) Hur stor är systemets totala reglerstyrka då frekvensen är 49,8 Hz?
- c) (3 p) Vid ett visst tillfälle är frekvensen i systemet stabil på 49,94 Hz, då ett kärnkraftverk måste snabbstoppas. Kärnkraftverket deltog inte i primärregleringen. Före snabbstoppet producerade kärnkraftverket 1 010 MW. Vilken frekvens får man i systemet då frekvensen stabiliserats efter snabbstoppet?

Uppgift 4 (12 p)



AB Vattenkraft äger två vattenkraftverk lokaliserade som i figuren ovan. För att lax ska kunna vandra förbi kraftverken har miljödomstolen ålagt AB Vattenkraft att alltid släppa ett flöde på $2 \text{ m}^3/\text{s}$ i laxtrapporna vid Språnget och Fallet.

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

Index för kraftverken: Språnget 1, Fallet 2.

γ_i = förväntad framtida produktionsekvivalent för vatten lagrat i magasin i ,
 $i = 1, 2$,

λ_t = förväntat elpris timme t , $t = 1, \dots, 24$,

λ_{25} = förväntat elpris efter planeringsperiodens slut,

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

\bar{M}_i = maximalt innehåll i magasin i , $i = 1, 2$,

p_t = köp från ElKräng timme t , $t = 1, \dots, 24$,

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

$\bar{Q}_{i,j}$ = maximal tappning i kraftverk i , segment j , $i = 1, 2$, $j = 1, 2, 3$,

r_t = försäljning till ElKräng timme t , $t = 1, \dots, 24$,

$S_{i,t}$ = spill från magasin i (inklusive flödet genom laxtrapporna) under timme t ,
 $i = 1, 2$, $t = 1, \dots, 24$,

\underline{S}_i = minsta tillåtna flöde genom laxtrapporna vid magasin i , $i = 1, 2$.

a) (3 p) Vilka beteckningar representerar optimeringsvariabler respektive parametrar?

b) (4 p) AB Vattenkraft säljer el till kunder med fastkraftavtal, men bolaget har också möjlighet att handla på den lokala börsen ElKräng. Formulera målfunktionen i bolagets planeringsproblem om syftet med planeringen är att maximera intäkterna från el såld på ElKräng plus värdet av sparat vatten minus kostnaden för el köpt från ElKräng. Använd beteckningarna ovan.

c) (3 p) Formulera gränserna för de optimeringsvariabler i AB Vattenkrafts korttidsplaneringsproblem som definierats ovan. För att få full poäng på denna uppgift måste du även ange tillåtna indexvärden för varje gräns!

d) (2 p) I följande fall är man tvungen att använda heltalsvariabler till en linjär modell av elproduktionen i ett termiskt kraftverk: I) Då kraftverket har en startkostnad som anges i SEK/start, II) Då kraftverket har en stoppkostnad som anges i SEK/stopp, III) Då kraftverket har en lägsta möjliga produktionsnivå, \underline{Q} , då kraftverket är i drift.

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.

Uppgift 5 (12 p)

Betrakta en elmarknad där lasten kan antas vara normalfördelad med väntevärdet 500 kW och standardavvikelsen 50 kW. I tabell 3 anges utvalda data för varaktighetskurvan $\tilde{F}_0(x)$.

Tabell 3 Lastens varaktighetskurva i uppgift 5.

	$x = 450$	$x = 500$	$x = 550$	$x = 600$	$x = 650$	$x = 700$
$\tilde{F}_0(x)$	0,841	0,500	0,159	0,023	0,001	0,000
$\int_x^\infty \tilde{F}_0(\xi) d\xi$	54,17	19,95	4,17	0,42	0,02	0,00

a) (1 p) Beräkna $EENS_0$, d.v.s. den förväntade ickelevererade energin om det inte finns några kraftverk i systemet.

b) (2 p) Antag att denna elmarknad försörjs av ett vattenkraftverk på 600 kW och att den installerade effekten i detta kraftverk alltid är tillgänglig. Hur stor är den förväntade elproduktionen i vattenkraftverket?

c) (3 p) Antag att denna elmarknad dels försörjs av vattenkraftverket från föregående uppgift, samt ett vindkraftverk. En modell av den tillgängliga vindkraftkapaciteten anges i tabell 4. Vad har detta system för *LOLP*?

Tips: Faltningsekvationen för en flertillståndsmo­dell ser ut så här:

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

Tabell 4 Modell av vindkraftverket i uppgift 5c–e.

Tillgänglig produktionskapacitet [kW]	Sannolikhet [%]
0	30
50	50
100	20

d) (2 p) I en Monte Carlo-simulering av Akabuga behöver man generera slumpvärden på den tillgängliga produktionskapaciteten i vindkraftverket, \bar{W} . Antag att man erhåller slumpvalet $U = 0,76$ från en $U(0, 1)$ -fördelning. Med hjälp av den inversa transformmetoden transformeras U till $\bar{W} = 0$. Vad är slumpvals­komplementet till detta värde på \bar{W} ?

e) (4 p) Antag att man simulerar elsystemet från c-uppgiften med hjälp av en kombination av slumpvals-komplement och kontrollvariabler. I simuleringen ingår 1 000 ursprungliga scenarier, y_i , $i = 1, \dots, 1\,000$. Dessutom har man genererat motsvarande komplementära scenarier, y_i^* , $i = 1, \dots, 1\,000$. Den förenklade modellen, $\tilde{g}(Y)$, motsvarar den modell som används i stokastisk produktionskostnadssimulering, medan den detaljerade modellen, $g(Y)$, tar hänsyn faktorer som att förlusterna beror på vilka kraftverk som körs och hur stor lasten är i olika delar av systemet. Resultaten visas i tabell 5. Vilken skattning av *LOLP* får man?

Tabell 5 Resultat från en Monte Carlo-simulering av elsystemet i Akabuga.

Detaljerad modell		Förenklad modell	
Antal effektbristsituationer bland de ursprungliga scenarierna, 1000 $\sum_{i=1} g(y_i)$	Antal effektbristsituationer bland de komplementära scenarierna, 1000 $\sum_{i=1} g(y_i^*)$	Antal effektbristsituationer bland de ursprungliga scenarierna, 1000 $\sum_{i=1} \tilde{g}(y_i)$	Antal effektbristsituationer bland de komplementära scenarierna, 1000 $\sum_{i=1} \tilde{g}(y_i^*)$
12	9	9	7



KTH Elektro-
och systemteknik

Svarsblad

Namn:

Personnummer:

Uppgift 1

a) Alternativ är korrekt.

b) Alternativ är korrekt.

Uppgift 2

a) TWh/år b) \varnothing /MWh

c) \varnothing /MWh

Uppgift 3

a) MW b) MW/Hz

c) Hz

Uppgift 4

a) Parametrar:

Optimeringsvariabler:

b)

c)

.....

.....

d) Alternativ är korrekt.

Uppgift 5

a) kWh/h b) kWh/h

c) % d) kW

e) %

Lösningförslag till kompletteringskrav i ECG2050 Systemplanering, 23 juni 2011.

Uppgift 1

- a) 2, b) 2.

Uppgift 2

a) Vid elpriset 310 \square /MWh utnyttjas 120/150 = 80% av biobränslepotentialen, vilket ger en årlig produktion på 24 TWh/år.

b) Antag att elpriset, λ , ligger i intervallet 305 till 350 \square /MWh. Vattenkraft och kärnkraft producerar 120 TWh och därmed måste de andra två kraftslagen tillsammans producera 31 TWh. Bidraget från biobränsle plus kolkondens kan skrivas

$$\frac{\lambda - 200}{350 - 200} \cdot 30 + \frac{\lambda - 305}{505 - 305} \cdot 10.$$

Sätter man detta uttryck lika med 31 och löser ekvationen får man elpriset $\lambda = 345 \square$ /MWh.

c) Med koldioxidavgiften hamnar de rörliga produktionskostnaderna för kolkondens i intervallet 385–585 \square /MWh, vilket betyder att den billigaste kolkondensen nu kostar mer än den dyraste biobränsleproduktionen. Vattenkraft, kärnkraft och biobränslen är dock inte tillräckligt för att täcka elförbrukningen, utan man behöver också 1 TWh kolkondens. Detta motsvarar 10% av kolkondenspotentialen och därmed utnyttjas också 10% av prisintervallet. Elpriset blir därför 405 \square /MWh.

Uppgift 3

a) Frekvensen kan sjunka med 0,04 Hz innan kraftverken i normaldrifreserven upphör att reglera; detta innebär att den reserv som återstår är 2 000 MW/Hz \cdot 0,04 Hz = 80 MW.

b) Reglerstyrkan vid denna frekvens är lika med reglerstyrkan i störningsreserven, d.v.s. 3 000 MW/Hz.

c) Uppenbarligen kommer ett så stort bortfall leda till en frekvens som är lägre än 49,9 Hz. Kraftverken i normaldrifreserven kommer således att öka sin elproduktion så mycket de kan, d.v.s. 80 MW. I detta läge har frekvensen sjunkit till 49,9 Hz, men man behöver ytterligare 930 MW, som måste tillföras av kraftverken i störningsreserven. Frekvensen måste alltså sjunka med ytterligare 930/3 000 = 0,31 Hz. Den nya frekvensen blir därmed 49,9 - 0,31 = 49,59 Hz.

Uppgift 4

a) Parametrar: $\gamma_p, \lambda_p, \lambda_{25}, \bar{M}_i, \bar{Q}_{i,j}$ och \bar{S}_i . Optimeringsvariabler: $M_{i,r}, P_p, Q_{i,j,r}, r_{p,r}$ och $S_{i,r}$.

b) maximera $\sum_{t=1}^{24} \lambda_t (r_t - P_t) + \lambda_{25} (\gamma_1 + \gamma_2) M_{1,24} + \gamma_2 M_{2,24}$.

- c) $0 \leq M_{i,r} \leq \bar{M}_i, \quad i = 1, 2, t = 1, \dots, 24,$
 $0 \leq P_p$
 $0 \leq Q_{i,j,t} \leq \bar{Q}_{i,j}, \quad i = 1, 2, j = 1, 2, 3, t = 1, \dots, 24,$
 $0 \leq r_p$
 $\bar{S}_i \leq S_{i,r}, \quad i = 1, 2, t = 1, \dots, 24.$
- d) 5.

Uppgift 5

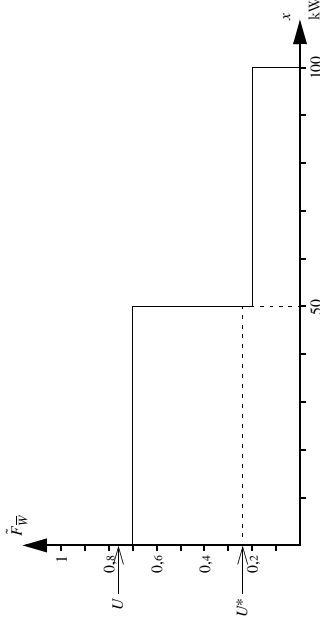
a) $EENS_0 = E[D] = 500$ kWh/h.

b) Eftersom vattenkraftverket är 100% tillgängligt får vi $\bar{F}_1(x) = \bar{F}_0(x)$. Den förväntade elproduktionen blir därmed

$$EG_1 = EENS_0 - EENS_1 = 500 - \int_0^{\infty} \bar{F}_1(x) dx = 500 - 0,42 = 499,58 \text{ kWh/h}.$$

c) $LOLP = \bar{F}_2(700) = 0,2 \bar{F}_1(700) + 0,5 \bar{F}_1(650) + 0,3 \bar{F}_1(600) = 0,2 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0,001 + 0,3 \cdot 0,023 = 0,74\%$.

d) Eftersom U_0 transformeras till $\bar{W} = 0$ måste transformationen utgå från varaktighetskurvan, så som visas i figuren nedan. Slumpalskomplementet ges av $U^* = 1 - U$, vilket transformeras till 50, d.v.s. $\bar{W}^* = 50$ kW.



e) I praktiken behöver man inte göra något skillnad mellan observationer från de ursprungliga scenarierna och de komplementära scenarierna, utan den förväntade skillnaden mellan den detaljerade och den förenklade modellen ges av

$$m_{LOLO - L\bar{O}LO} = \frac{1}{2000} \left(\sum_{i=1}^{1000} (g(y_i) - \bar{g}(y_i)) + \sum_{i=1}^{1000} (g(y_i^*) - \bar{g}(y_i^*)) \right) = 0,25\%.$$

Väntevärdet för den förenklade modellen (som ju motsvaras av en SPS-modell) beräknas till 0,74% i c-uppgiften. Skatningen av $LOLP$ för den detaljerade modellen blir således

$$m_{LOLO} = m_{LOLO - L\bar{O}LO} + H_{LOLO} = 0,25 + 0,74 = 0,99\%.$$