



KTH Elektro-
och systemteknik

Kompletteringskrivning i EG2050/2C1118 Systemplanering, 14 oktober 2008, 17:00-19:00, seminarierummet

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 inklusive tillgodoräknade uppgifter. 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.

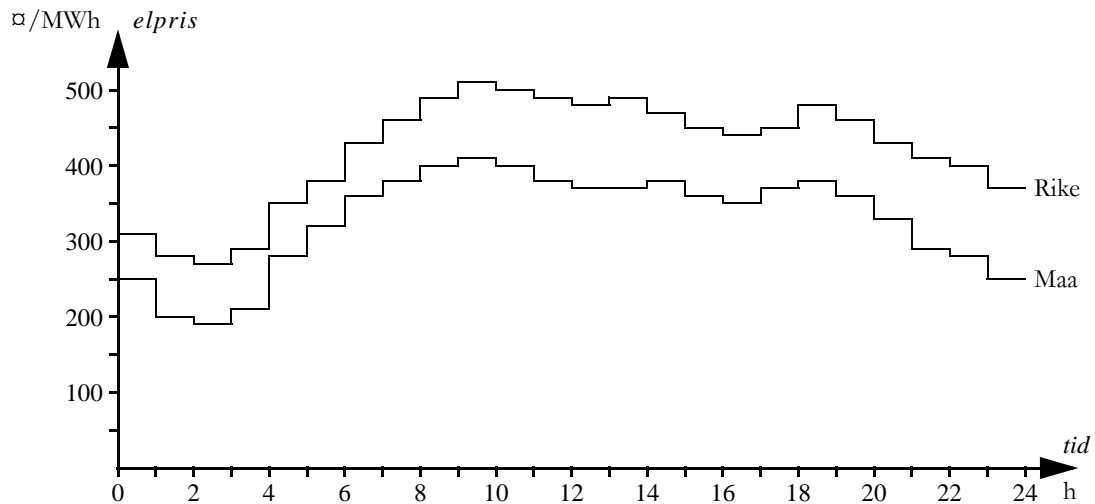
1. Inget av påståendena är sant.
2. Endast I är sant.
3. Endast II är sant.
4. Endast III är sant.
5. I och II är sanna men inte III.

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)

a) (3 p) Betrakta den gemensamma elmarknaden för de två länderna Rike och Maa. Antag att det råder perfekt konkurrens, att alla aktörer har perfekt information, samt att det inte finns några magasinbegränsningar eller effektbegränsningar i kraftverken. Elsystemen i Rike och Maa är förbundna via en HVDC-ledning, som maximalt kan överföra 1 000 MW. Figuren nedan visar elpriset i Rike respektive Maa under ett dygn. Hur mycket kommer att handlas mellan de två länderna, d.v.s. vilket land kommer att exportera och hur stor är den totala exporten under detta dygn?



b) (2 p) Antag att det råder perfekt konkurrens på elmarknaden i Rike, att alla aktörer har perfekt information och att det inte finns några nät-, magasin- eller effektbegränsningar inom Rike. Data för kraftverken i Rike 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. Förutom den inhemska produktionen importerar Rike även 6 TWh från Maa. Hur stor är elförbrukningen i Rike om elpriset under ett visst år är 220 €/MWh?

Tabell 1 Data för kraftverken i Rike.

Kraftslag	Produktionskapacitet [TWh/år]	Rörlig kostnad [€/MWh]
Vattenkraft	53	5
Kärnkraft	49	90–100
Biobränsle	20	100–300
Fossila bränslen	20	200–400

c) (1 p) Antag att kärnkraftproducenterna måste betala en avfallshanteringsavgift på 10 € för varje producerad MWh. Vilket elpris får man i Rike om elförbrukningen är lika stor som i b-uppgiften?

Uppgift 3 (6 p)

Elsystemet i Land är uppdelat i två områden (A respektive B) som är förbundna med en växelströmsledning. Denna ledning har en maximal överföringskapacitet på 1 000 MW och är försedd med skyddssystem som efter en viss tidsfördröjning kopplar bort ledningen om den maximala kapaciteten överskrids.

Klockan 8:45 utbryter en brand i en transformatorstation i Stad (som ligger i område A). Till följd av branden måste hela regionnätet för Stad omedelbart kopplas bort från Lands nationella elnät, vilket innebär att det nationella nätet förlorar 200 MW elproduktion och 500 MW last. Efter att Stads regionnät kopplats bort uppgår reglerstyrkan i Land till 5 000 MW/Hz i område A och 5 000 MW/Hz i område B.

Alldeles innan Stads regionnät kopplades bort var frekvensen i systemet 50,02 Hz och det överfördes 750 MW från område A till område B.

a) (1 p) Vad händer då Stads regionnät kopplas bort?

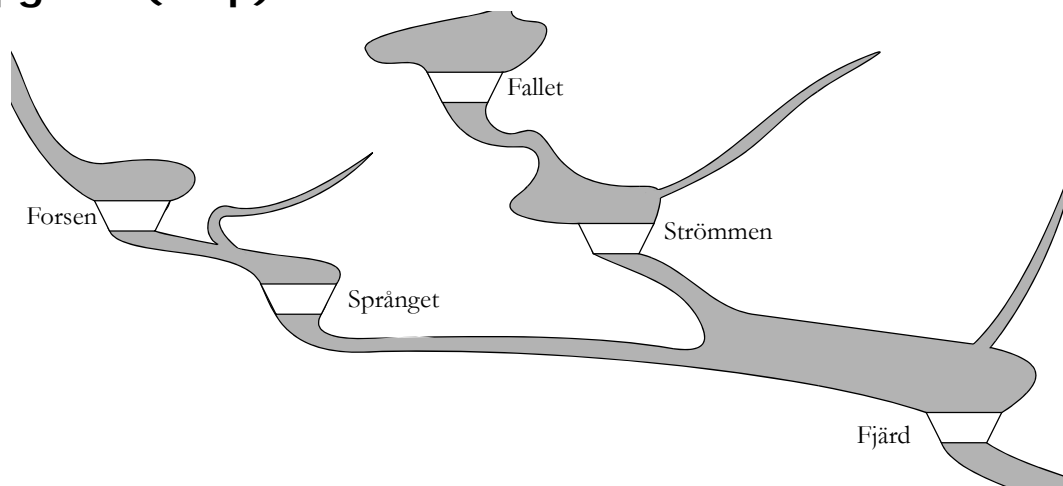
1. Det uppstår ett överskott av energi, vilket leder till att spänningen höjs i elnätet. Reglersystemet i de kraftverk som deltar i primärregleringen svarar på spänningsökningen genom att minska elproduktionen.
2. Det uppstår ett överskott av energi, som lagras i form av rotationsenergi i alla synkrongeneratorer och därmed ökar frekvensen i systemet. Reglersystemen i de kraftverk som deltar i primärregleringen svarar på frekvensökningen genom att minska elproduktionen.
3. Det uppstår ett underskott av energi, som täcks med rotationsenergi från alla synkrongeneratorer och därmed ökar frekvensen i systemet. Reglersystemen i de kraftverk som deltar i primärregleringen svarar på frekvensökningen genom att öka elproduktionen.

b) (1 p) Kommer transmissionsförbindelsen mellan område A och område B att kopplas bort p.g.a. överbelastning?

c) (2 p) Vilken frekvens får man i område A respektive B efter att primärregleringen återställt balansen mellan produktion och konsumtion?

d) (2 p) Kraftverket Språnget ligger i område B. Kraftverket har en installerad effekt på 300 MW och reglerstyrkan är inställd på 200 MW/Hz. Basproduktionen (d.v.s. produktionen då frekvensen är exakt 50 Hz) är 200 MW. Hur mycket producerar Språnget då frekvensen är 50,02 Hz?

Uppgift 4 (12 p)



AB Vattenkraft äger de fem kraftverken i figuren ovan. I ett korttidsplaneringsproblem för dess kraftverk har man infört följande beteckningar:

Index för kraftverken: Forsen 1, Språnget 2, Fallet 3, Strömmen 4, Fjärd 5.

γ_i = förväntad framtida produktionsekvivalent för vatten lagrat i magasin i ,
 $i = 1, \dots, 5$,

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

λ_{25} = förväntat elpris på ElKräng efter planeringsperiodens slut,

$M_{i,0}$ = innehåll i magasin i vid planeringsperiodens början, $i = 1, \dots, 5$,

$M_{i,t}$ = innehåll i magasin i vid slutet av timme t , $i = 1, \dots, 5$, $t = 1, \dots, 24$,

$\mu_{i,j}$ = marginell produktionsekvivalent för kraftverk i , segment j ,
 $i = 1, \dots, 5$, $j = 1, 2$,

$Q_{i,j,t}$ = tappning i kraftverk i , segment j , under timme t ,
 $i = 1, \dots, 5$, $j = 1, 2$, $t = 1, \dots, 24$.

a) (4 p) Formulera målfunktionen om syftet med planeringsproblemet är att maximera värdet av sparat vatten. Använd beteckningarna ovan.

b) (2 p) Den maximala produktionsekvivalenten i Fjärd är 0,8 MWh/TE. Antag att kraftverket ska producera 15,68 MWh mellan 12:00 och 13:00. Hur stor är tappningen i Fjärd under denna timme om den relativa verkningsgraden är 98%? Svaret ska ges i TE.

c) (2 p) Fjärds vattenmagasin innehåller 432 000 m³ vatten kl. 12:00 och att det totala inflödet (d.v.s. både lokalt inflöde samt tappning och spill från uppströms liggande kraftverk) mellan 12:00 och 13:00 uppgår till 32 400 m³. Antag att AB Vattenkraft utöver den tappning som beräknades i b-uppgiften dessutom måste spilla 1 m³/s genom en laxtrappa vid Fjärd. Hur mycket innehåller vattenmagasinet klockan 13:00? Svaret ska ges i TE.

d) (2 p) Ett korttidsplaneringsproblem omfattar \mathcal{G} termiska kraftverk och \mathcal{T} tidsperioder. I detta problem har man infört följande bivillkor för maximal respektive minimal produktion i kraftverken:

$$G_{g,t} \leq u_{g,t} \bar{G}_g, \quad g = 1, 2, \dots, \mathcal{G}, t = 1, 2, \dots, \mathcal{T}$$

$$G_{g,t} \geq u_{g,t} \underline{G}_g, \quad g = 1, 2, \dots, \mathcal{G}, t = 1, 2, \dots, \mathcal{T}$$

Vilka av beteckningarna ovan utgör parametrar respektive variabler i optimeringsproblemet?

1. Alla beteckningarna är parametrar.
2. \bar{G}_g , \underline{G}_g , och $u_{g,t}$ är parametrar, $G_{g,t}$ är optimeringsvariabler.
3. \bar{G}_g och \underline{G}_g är parametrar, $u_{g,t}$ och $G_{g,t}$ är optimeringsvariabler.
4. Endast $u_{g,t}$ är parametrar, \bar{G}_g , \underline{G}_g , och $G_{g,t}$ är optimeringsvariabler.
5. Alla beteckningarna är optimeringsvariabler.

e) (2 p) Antag att man beslutat att ett termiskt kraftverk ej ska tas ur drift för kortare tidsperioder än fyra timmar, d.v.s. om kraftverket tas ur drift 12:00 så får det inte startas igen före 16:00. Inför följande beteckningar:

s_t^+ = startvariabel för timme t (1 om kraftverket startar produktionen i början av timme t , annars 0),

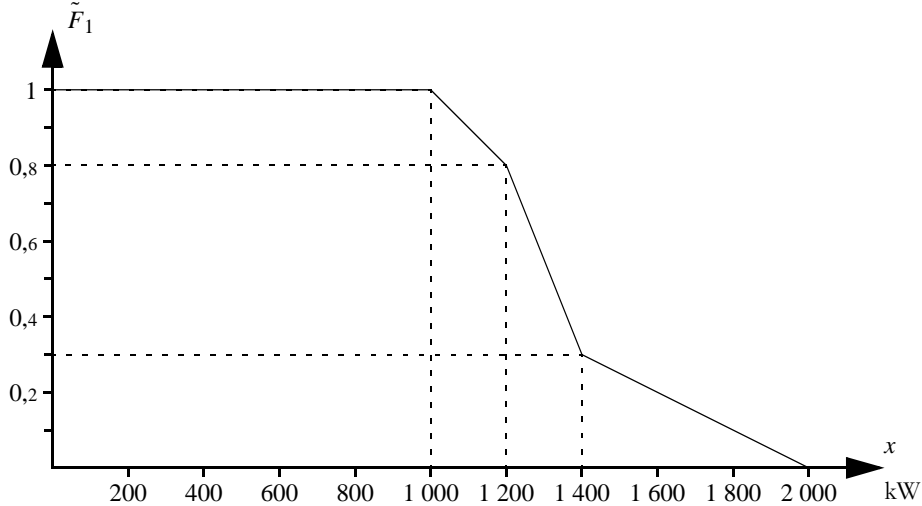
s_t^- = stoppvariabel för timme t (1 om kraftverket stoppar produktionen i början av timme t , annars 0).

Hur formuleras ett linjärt bivillkor som reglerar sambandet mellan s_t^- , s_{t+1}^+ , s_{t+2}^+ och s_{t+3}^+ ?

1. $s_t^- - s_{t+1}^+ - s_{t+2}^+ - s_{t+3}^+ = 0$.
2. $s_t^- - s_{t+1}^+ - s_{t+2}^+ - s_{t+3}^+ \leq 1$.
3. $s_t^- - s_{t+1}^+ - s_{t+2}^+ - s_{t+3}^+ = 1$.
4. $s_t^- + s_{t+1}^+ + s_{t+2}^+ + s_{t+3}^+ \leq 1$.
5. $s_t^- + s_{t+1}^+ + s_{t+2}^+ + s_{t+3}^+ = 1$.

Uppgift 5 (12 p)

Mji är en stad i Östafrika. Staden är inte ansluten till något nationellt elnät, utan man har ett eget lokalt system som försörjs av ett vattenkraftverk och två dieselgeneratorer. Vattenkraftverket saknar magasin, men vattenflödet är alltid tillräckligt stort för att man ska kunna producera installerad effekt (1 400 kW) och risken för driftstopp i kraftverket är försumbar. Dieselgeneratorerna har en kapacitet på 200 kW vardera, tillgängligheten är 80% och driftkostnaden 1 ¢/kWh.



a) (2 p) Vad har lasten för väntevärde?

Tips: Studera $EENS_0$!

b) (2 p) Med hjälp av stokastisk produktionskostnadssimulering kan man räkna ut att den förväntade vattenkraftproduktionen för detta system är 1 290 kWh/h och den icke-levererade energin är 22,8 kWh/h. Hur stor är den förväntade driftkostnaden?

c) (3 p) Använd stokastisk produktionskostnadssimulering till att beräkna risken för effektbrist i systemet.

d) (2 p) Antag att man önskar använda slumptalkomplement för att förbättra noggrannheten i simuleringen av Mji. Vilket värde får slumptalkomplementet, D^* , om den totala lasten i systemet slumpas fram till $D = 1\,100$ MW?

e) (3 p) För att ta hänsyn till förlusterna i elnätet har man genomfört en Monte Carlo-simulering av elsystemet i Mji. Simuleringen använder kontrollvariabelmetoden. Den förenklade modellen motsvarar den modell som används i stokastisk produktionskostnadssimulering, medan den detaljerade modellen tar hänsyn faktorer som att förlusterna beror på vilka kraftverk som körs, hur stor lasten är i olika delar av systemet. Resultaten visas i tabell 2. Vilken skattning av $ETOC$ får man för den detaljerade modellen?

Tabell 2 Resultat från Monte Carlo-simulering av elsystemet i Mji.

Antal scenarier, n	Resultat från den detaljerade modellen, $\sum_{i=1}^n toc_i$	Resultat från den förenklade modellen, $\sum_{i=1}^n \tilde{toc}_i$
1 000	68 100	66 500



**KTH Elektro-
och systemteknik**

Svarsblad

Namn:

Personnummer:

Uppgift 1

a) Alternativ är korrekt.

b) Alternativ är korrekt.

Uppgift 2

a) kommer att exportera MWh

b) TWh/år c) \varnothing /MWh

Uppgift 3

a) Alternativ är korrekt b)

c) Område A: Hz Område B: Hz

d) MW

Uppgift 4

a)
.....

b) TE c) TE

d) Alternativ är korrekt.

e) Alternativ är korrekt.

Uppgift 5

a) kWh/h b) \varnothing /h

c) % d) MW

e) \varnothing /h

Lösningssförslag till kompletteringskärning i EG2050/2C1118 Systemplanering, 14 oktober 2008.

Uppgift 1

- a) 2, b) 2.

Uppgift 2

- a) Eftersom elpriset under varje timme är högre i Rike i Maa kommer Maa att exportera 1 000 MW under hela dygnet, vilket ger en total export på 24 000 MWh under detta dygn.
 b) Vid elpriset 220 ¢/MWh producerar vattenkraften och kärnkraften för fullt, d.v.s. $53 + 49 = 102$ TW/h. Bidraget från biobränslekraftverken är lika med $(220 - 100)/(300 - 100) \cdot 20 = 12$ TW/h och fossilkraften levererar $(220 - 200)/(400 - 200) \cdot 20 = 2$ TW/h. Sammantaget produceras således 116 TW/h/år. Dessutom importerar 6 TW/h vilket ger en total elförbrukning på 122 TW/h/år.
 c) Den rörliga produktionskostnaden i kärnkraften inklusive avgiften hamnar mellan 100 och 110 ¢/MWh. Eftersom detta fortfarande är lägre än elpriset i Land kommer kärnkraftverken att fortsätta att producera för fullt och samma kraftverk som tidigare (d.v.s. biobränsle och fossilkraft) kommer att sätta priset. Med andra ord kommer elpriset att förbli 220 ¢/MWh.

Uppgift 3

- a) 2.
 b) Efter att Stad kopplats bort måste de reglerstyrkstyrda kraftverken minska elproduktionen med 300 MW. Område B har halva reglerstyrkan i systemet och står således för hälften av produktionsminskningen. Eftersom lasten och den övriga elproduktionen i område B är oförändrad måste produktionsminskningen i de reglerstyrkstyrda kraftverken kompenseras med ökad import från område A. Överföringen på transmissionsförbindelsen ökar därför till 900 MW, vilket är lägre än ledningens kapacitet. Ledningen kommer således inte att kopplas bort.
 c) Eftersom de två områden fortfarande är förbundna med en växelströmsledning kommer frekvensen att vara densamma i bägge områdena. För att elproduktionen ska minska med 300 MW krävs att frekvensen ökar med $\Delta f = \Delta G/R = 300/10\,000$ Hz, d.v.s. den nya frekvensen blir 50,02 + 0,03 = 50,05 Hz.
 d) Då frekvensen är 50,02 Hz producerar Språnget $G = G_0 - R(f - f_0) = 200 - 200(50,02 - 50) = 196$ MW.

Uppgift 4

- a) maximera $\lambda_{25}(\gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_5)M_{1,24} + (\gamma_2 + \gamma_5)M_{2,24} + (\gamma_3 + \gamma_4 + \gamma_5)M_{3,24} + (\gamma_4 + \gamma_5)M_{4,24} + \gamma_5 M_{5,24}$.

- b) Elproduktionen som funktion av tappningen kan skrivas $H(Q) = \eta(Q)\gamma_{max}Q \Rightarrow$

$$Q = \frac{H(Q)}{\eta(Q)\gamma_{max}} = 15,68 \text{ MWh}/(0,98 \cdot 0,8 \text{ MWh}/\text{TE}) = 20 \text{ TE}.$$

- c) Magasinet innehåller 432 000/3 600 = 120 TE. kl. 12:00. Det totala tillflödet uppgår till

32 400/3 600 = 9 TE och det totala utflödet uppgår till 20 + 1 = 21 TE. Således innehåller magasinet 120 + 9 - 21 = 108 TE. kl. 13:00.

- d) 3.
 e) 4.

Uppgift 5

- a) $EENS_0 = \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{F}_0(x) dx = 1\,000 \cdot 1 + 200 \cdot (1 + 0,8)/2 + 200 \cdot (0,8 + 0,3)/2 + 600 \cdot 0,3/2 = 1\,380$ MWh/h.
 b) Den förväntade lasten är 1 380 kW/h/h, vilket betyder att $EG_1 + EG_2 + EG_3 + EENS_3 = 1\,380$. Givet att $EG_1 = 1\,290$ kW/h/h och $EENS_3 = 22,8$ kW/h/h får man att den förväntade elproduktionen i dieselgeneratorerna är 67,2 kW/h/h. Den förväntade driftkostnaden blir således $ETOC = 1 \cdot (EG_2 + EG_3) = 67,2$ ¢/h.

- c) Risken för effektbrist ges av

$$\begin{aligned} \tilde{F}_3(1\,800) &= 0,8\tilde{F}_2(1\,800) + 0,2\tilde{F}_2(1\,600) = \\ &= 0,8(0,8\tilde{F}_1(1\,800) + 0,2\tilde{F}_1(1\,600)) + 0,2(0,8\tilde{F}_1(1\,600) + 0,2\tilde{F}_1(1\,400)). \end{aligned}$$

Eftersom vattenkraftverket är 100% tillgängligt är $\tilde{F}_1(x) = \tilde{F}_0(x)$, vilket ger $LOLP = 0,8(0,8 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 0,2) + 0,2(0,8 \cdot 0,2 + 0,2 \cdot 0,3) = 14\%$.

- d) Med den inversa transformmetoden erhålls $D = F_D^{-1}(U)$, där U är ett $U(0, 1)$ -fördelat slumptal. Eftersom vi i uppgiften fått varaktighetskurvan i stället, kan vi lika gärna använda transformen $D = F_D^{-1}(U)$. Det ursprungliga slumptalet måste ha varit $U = F_D(1\,100) = 0,9$. Således är $U^* = 1 - U = 0,1$, vilket ger $D^* = F_D^{-1}(U^*) = 1\,800$ MW.

$$\begin{aligned} e) m_{TOC} &= \eta_{TOC} - \tilde{TOC} + \mu_{TOC} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \text{to}c_i - \sum_{i=1}^n \tilde{\text{to}c}_i \right) + 67,2 = \\ &= \frac{1}{1\,000} (68\,100 - 66\,500) + 67,2 = 68,8 \text{ ¢/h}. \end{aligned}$$