

Lab 1: Experimentell modellering och P-reglering av tankuppställning

Andreas Johansson

October 26, 2021

I denna laboration ska vi experimentera med att reglera nivån i en vattentank. Att hålla jämn vätskenivå i en tank är ett problem som uppstår i många sammanhang, tex. i vattentorn och i olika processindustrier. Vattentanken finns dels som en experimentuppställning vid LTU men även i form av en simulator för distansundervisning.

1 Redovisning

Resultaten från de punkter som markerats med stjärna * redovisas i form av en kortfattad rapport som laddas upp på kurshemsidan, se kursinfo för vilka krav som gäller för rapporten. **OBS: Var noga med att dokumentera och spara alla resultat, de kommer att behövas i senare laborationer**

2 Experimentuppställningen

I experimentuppställningen (Figur 1) finns nivågivare i de båda tankarna. Dessa ger en spänning som är proportionell mot vätskenivån i tanken och mäts i uttag på baksidan av tankuppställningen. Där finns även ett uttag för att skicka in den spänning som bestämmer pumpens varvtal. Dessa tre signaler kan kopplas med koaxialkabel till en kopplingslåda som i sin tur är kopplad till ett datainsamlingskort i datorn. Dessutom finns en liten handventil som man kan öppna för att tömma vatten ur Tank 1. I datorn finns programmeringsmiljön Matlab med den grafiska simuleringsmiljön Simulink med vilken man även kan göra beräkningar i realtid, tex. för att kunna bestämma hur stor spänning man vill skicka till pumpen i tankuppställningen i varje ögonblick. I denna miljö kan man grafiskt konstruera program som samplar mätsignaler, gör beräkningar och skickar ut en styrsignal, exempelvis en gång varje sekund. Tankuppställningarna finns på Luleå campus, labsal A1522.

3 Simulatorn

För att kunna köra laborationen på distans så finns även en simulator för vattentankarna implementerad i Simulink (Figur 1). I denna simulator animeras vattenflöden och vätskenivåer.

4 Matlab

För denna laboration behövs Matlab version R2017b (eller nyare) med Simulink och toolboxarna Simulink 3D animation och Simulink desktop realtime (fungerar ej med Linux). Rätt version av Matlab finns i

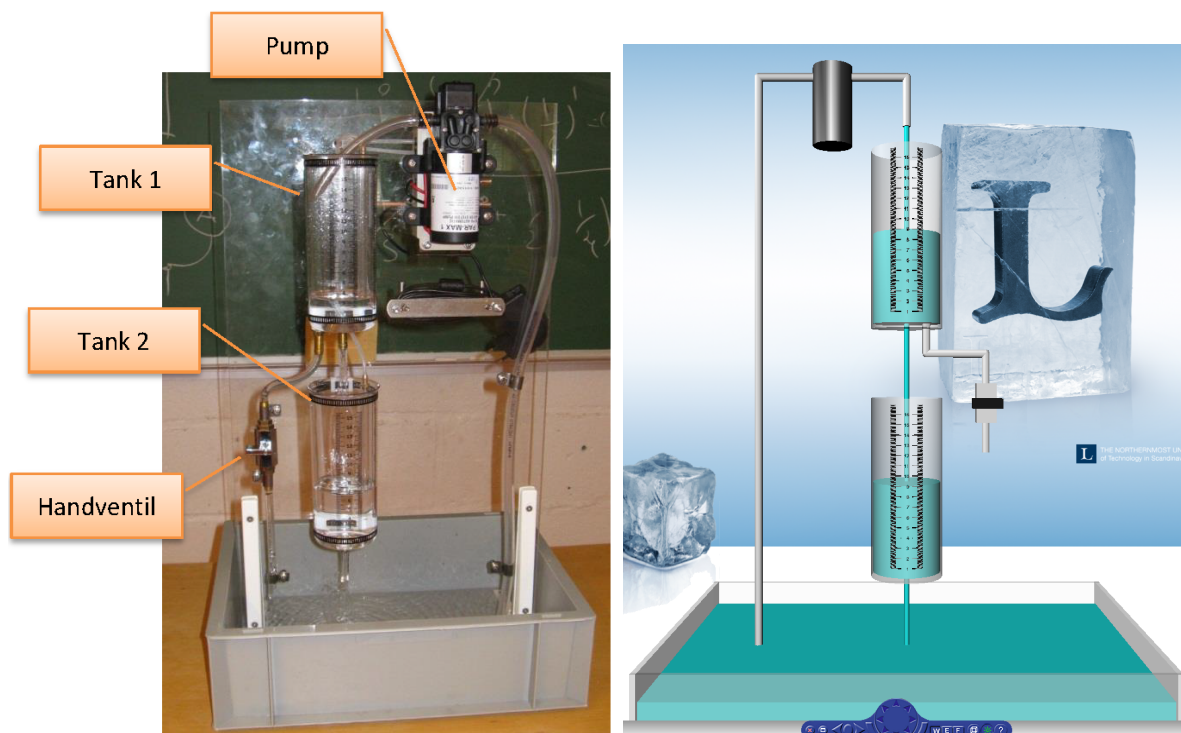


Figure 1: Experimentuppställningen (vänster) och animeringen (höger)

LTU:s labsalar i Luleå och Skellefteå (2019a) och kan installeras på egen dator för studenter vid LTU, UmU och MiU.

Labinstruktionen nedan förutsätter inga förkunskaper i Matlab. Instruktionen är från början mycket detaljerad men blir gradvis mindre detaljerad då du förväntas ha lärt dig de procedurer som behövs.

5 Koppla upp en tankuppställning

Om du har tillgång till tankuppställningarna i labbet så börjar du med att koppla upp en sådan enligt följande

1. Fyll ca 5 cm vatten i en av de grå baljorna och ställ i en tankuppställning
2. Anslut en kopplingslåda (vit eller svart) till datorn (om den inte redan är ansluten) samt elsladden till ett uttag
3. Anslut tankuppställningen till kopplingslådan med koaxialkablar enligt
 - "Pump 0-10 V DC" till "AO 0" (vit låda) alt. "DAC0 OUT" (svart låda)
 - "Upper tank" till "AI 0" (vit låda) alt. "ACH0" (svart låda)
 - "Lower tank" till "AI 1" (vit låda) alt. "ACH1" (svart låda)

6 Komma igång

1. Skapa en mapp och ladda ner filerna från mappen Laborationer/Matlab på kurshemsidan till denna. Starta Matlab och gå till den skapade mappen med knappen *Browse for folder* (mappsymbolen med en grön pil uppe till vänster i Matlab-fönstret).
2. Om du inte använder datorerna i labsalarna A1520-A1522 så behöver du troligen installera Simulinks realtidskärna för att simuleringarna ska gå i realtid. Detta görs genom att på kommandoraden skriva `sldrtkernel -install`. Observera att realtidskärnan inte går att installera på alla hårdvaruplattformar men laborationen går att utföra även utan den. Då måste istället animeringen vara igång (se punkt 13 nedan) under alla simuleringar för att hålla ner hastigheten.
3. Öppna ett blockschema genom att klicka på knappen Simulink och välja *Blank Model*. Välj *Save As...* under *File*-menyn och ge den filen namnet Tank_reglering.
4. Ställ om till oändlig simuleringstid genom att skriva inf i rutan *Simulation Stop Time* (uppe till höger, där det står 10.0). Välj *Configure logging...* (finns under menyn *Simulation/Output* alternativt i rutan *PREPARE* beroende på version). Bocka ur rutan *Single simulation output* (om den är bockad) och tryck *OK*.
5. Öppna block-biblioteket Tank_bib.slx genom att dubbelklicka på den i fillistan till vänster i Matlab-fönstret. Dra blocket Tankuppställning med vänster musknapp till Tank_reglering (om du inte har tillgång till tankuppställningarna i labbet så tar du istället blocket Tanksimulator).
6. På samma sätt, dra även in blocken *Constant*, *Scope* och *Display* till ditt blockschema.
7. Med vänster musknapp, dra en koppling från utsignalen på blocket *Constant* till insignalen på blocket Tanksimulator/uppställning. På samma sätt, koppla ihop den undre utsignalen från Tanksimulator/uppställning till insignalen på *Scope*. Med höger musknapp, klicka på pilen mellan Tanksimulator/uppställning och *Scope* och dra en gren till insignalen på *Display*.
8. Dubbelklicka på *Constant* och skriv 2 i rutan *Constant value*.
9. Byt namn på blocket *Scope* till Ärvärde
10. Dubbelklicka på Ärvärde så öppnas ett plot-fönster. Öppna *Configuration Properties* (kugghjulet till vänster). Skriv 0.1 i rutan *Sample time*. Under fliken *Time*, skriv 300 i rutan *Time Span*. Under fliken *Display*, skriv 0 och 10 under *Y-limits (Minimum)* resp. *Y-limits (Maximum)*. Under fliken *Logging*, bocka i rutan *Log data to workspace* och skriv y i rutan *Variable name*. Bocka ur rutan "Limit data points to last", välj *Array* i listen *Save format* och klicka OK. Under menyn *Tools*, gå in i *Axes scaling* och välj *Save axes limits*.
11. Dra in ytterligare en *Scope* från Tank_bib. Förgrena utsignalen från *Constant* till detta block och byt namn på blocket till Styrsignal. Upprepa proceduren i föregående punkt på detta block men välj *Variable name* till u.
12. Dubbelklicka på *Display* och välj *Bank* i rullistan *Format*.
13. Starta en simulering genom att trycka på Run (knappen uppe i mitten på Tank_reglering). Du ska nu kunna se hur vattennivån stiger och samtidigt en mätning av nedre tanknivån (i Volt), både i

form av en plot i fönstret Ärvärde och i sifferform i blocket *Display*. Om du använder simulatören och animeringsfönstret inte öppnat eller behöver startas om klickar du på pilen längst ner till vänster på blocket Tanksimulator, sedan dubbelklickar du på blocket Animation samt på blocket VR Sink. Klicka sedan på pilen Back ovanför blockschemat två gånger för att komma tillbaka till originalvyn.

7 Hitta statisk karaktäristik

För att zooma i plottar använder man knappen med ett förstoringsglas ovanför grafen. Under triangeln bredvid förstoringsglaset finns också knappar för att zooma ut och panorera. Man kan också zooma ut med knappen närmast till höger om förstoringsglaset.

14. Vänta till nivåerna har stabiliserat sig efter ca 300 sekunder. Avläs nivån i nedre tanken (i cm) och notera värdet. Om du använder den animerade tankuppställningen kan du zooma in på nedre tanken genom att trycka två gånger på Next viewpoint (pil åt höger längst ner i animeringsfönstret). Avläs även mätvärdet i Volt, antingen i sifferdisplayen eller genom att zooma in i plotten Ärvärde.
15. Välj ett nytt värde på pumpspänningen i blocket Constant och vänta till nivån har stabiliserat sig. Läs av och notera tanknivån och mätsignalen enligt ovan. Gör om samma procedur med ca 6-7 värden på pumpspänningen mellan ca 0.5 och 3 Volt. Låt körningen vara igång hela tiden. Välj spänningsvärdena tätare i området närmast 8 cm nivå i tanken.
16. Öppna ett Matlab-skript genom att klicka på New Script under fliken Home.
17. I detta skript, skriv in de värden på pumpspänningen som du använde i en vektor på följande sätt $U=[\dots]$; där du ersätter punkterna med siffervärdena, i stigande ordning, åtskilda med mellanslag. Skriv in motsvarande tanknivåer och mätsignalvärden på samma sätt, under namnet H respektive Y.
18. Spara skriptet under namnet tank. Kör det genom att på kommandoraden (Command Window) skriva **tank**. Nu ska variablerna U, H och Y finnas i listan till höger.
19. Starta en plot genom att skriva `figure(1)` på kommandoraden.
20. *Plotta statistiska karaktäristiken för sambandet mellan pumpspänningen och tanknivån genom att på kommandoraden skriva `plot(U,H)`. Under menyn *Edit* i plotten finns *Copy figure* för att kopiera figuren till klippbordet så att man kan klistra in den i rapporten.
21. *Hitta arbetspunkten 8 cm genom att i figuren läsa av det värde på styrsignalen (kallat u_0) som motsvarar 8 cm tanknivå.
22. *Plotta givarens statistiska karaktäristik (sambandet mellan tanknivån och mätsignalen) på samma sätt i en figur med nummer 2.

8 Invertera givarkaraktäristiken

Med hjälp av de uppmätta stationära värdena på tanknivåer och mätsignaler ska vi nu göra en tabell så att Simulink kan översätta mätvärden till tanknivåer. För enkelhets skull använder vi samma tabell för övre tanken.

23. Dra in blocket 1-D Lookup Table från Tank_bib till Tank_reglering och dubbelklicka på det. Skriv H på raden Table data och Y på raden Breakpoints 1.
24. Koppla om så att den nedre utsignalen från Tanksimulator/uppställning går in i 1-D Lookup Table och utsignalen från 1-D Lookup Table går vidare till Ärvärde och Display.
25. Skala om den vertikala axeln i plotfönstret Ärvärde till intervallet 0 till 16 och spara denna skalning (se punkt 10)
26. Kopiera blocken 1-D Lookup och Ärvärde och koppla in kopiorna på den övre utgången från Tanksimulator/uppställning. Gå in i Parameters i blocket Ärvärde 1 och skriv y1 i rutan Variable name.
27. Starta simuleringen. Värdet som syns på Ärvärde och Display ska nu stämma överens med den verkliga tanknivån i cm som avläses på animeringen eller på tankuppställningen (så länge nivån ligger mellan ca 2.5 och 15 cm, som är givarens ungefärliga mätområde)
28. Ställ in värdet u_0 på pumpspänningen i simuleringen. Justera eventuellt ytterligare så att nivån i nedre tanken hamnar precis på 8 cm (inom +/- 2 mm).

9 Hitta parametervärden

29. *Zooma in på ärvärdet under ett tidsintervall när nivån ligger stabilt. Uppskatta hur stort mätbrusets toppvärde är, dvs största avvikelser från den verkliga nivån, vilken kan antas vara genomsnittsnivån under intervallet.

10 Modellera med hjälp av stegsvar

Vi ska nu ta fram en linjär modell för tankuppställningen genom att identifiera förstärkning och tidskonstant. Resultaten ska redovisas i plottar men om man tar en skärmdump direkt från ett Scope i Simulink så får man en figur som är nästan oläslig med tunna linjer på svart botten och mycket liten textstorlek. Istället kan trycka Ctrl+C för att få en kopia av plotten med vit bakgrund. Textstorleken ändras enklast genom att ändra plotfönstrets storlek innan man kopierar. Alternativt kan man göra nya plottar med kommandot plot på kommandoraden under förutsättning att de plottade värdena sparats i Workspace (enligt instruktion i Punkt 10).

30. När nivån ligger konstant på 8 cm, gör ett steg på styrsignalen med en amplitud på $\Delta u = 0.2$ Volt genom att öka värdet i blocket Constant med 0.2.
31. Vänta till nedre tanken stabiliserat sig på en ny nivå (ca 300 sek.) och slå sedan av simuleringen.
32. Zooma in runt steget i styrsignalen för att hitta den exakta tidpunkt t_0 då steget gjordes.
33. Zooma in runt stegsvaren i tanknivåerna, från strax innan de börjar till nivån har helt stabiliserat sig på nytt.
34. Läs av slutvärdena för hur mycket nivån i de båda tankarna har ökat jämfört med före steget. Kalla dessa värden Δy_1 och Δy_2 .

Stegsvaret i övre tanken kan antas komma från en process av typen ”en tidskonstant” vilken bestäms av sin tidskonstant T och statiska förstärkning K . Dessa avläses enligt följande

- K är utsignalens ökning Δy_1 delat med stegets amplitud Δu .
- T är tiden det tar för utsignalens ökning att nå 63% av sitt slutvärde Δy_1

Jämför gärna med bilden i avsnitt 3.2 i kursboken, men kom ihåg att stegsvaret i den bilden börjar på 0 samt ges av ett steg med amplitud 1. Vi ska istället göra avläsningen på stegsvaret som börjar vid tiden t_0 och vid nivån 8 cm.

För att göra avläsningarna av värden och tider är det praktiskt att använda sig av *Cursor measurements* (linjalen längst till höger i plotfönstret). När man kopierar en plot till klippbordet med Ctrl+C kommer Cursor Measurements dock inte med. Gör istället en skärmdump men ändra först färg och tjocklek på linjerna och byt till en vit bakgrund för att bilden ska bli läsbar i rapporten. Verktyg för detta finns i *Style...* under menyn *View*.

35. *Ta fram värde på tidskonstant och statisk förstärkning för övre tanken genom att avläsa stegsvaret mha *Cursor measurements*.

Stegsvaret i den nedre tanken kan antas komma från en process av typen ”två tidskonstanter” vilken bestäms av sina tidskonstanter T_1 och T_2 och sin statiska förstärkning K .

36. *Ta fram ett värde på statiska förstärkningen K för nedre tanken på samma sätt som för övre tanken. Observera att eftersom stegsvaret i undre tanken är av typen ”två tidskonstanter” så kan man inte avläsa dess tidskonstanter med 63%-regeln som vi gjorde för övre tanken.
37. Frivillig extrauppgift: Ta fram värden på tidskonstanterna T_1 och T_2 för nedre tanken med metoden i avsnitt 7.6 i kursboken.

11 Göra en P-regulator

Vi ska nu implementera en P-regulator för nivån i övre tanken. Styrsignalen beräknas då enligt (se avsnitt 4.4 i kursboken) $u = ke + u_0$ där $e = r - y_1$ är reglerfelet och r är börvärdet (vi har här bytt beteckning på regulatorns förstärkning till k för att inte blanda ihop den med processens förstärkning K). För att implementera denna beräkning behövs nu nya block från Tank.bib.

- Börvärdet görs med ett Constant. Värdet ska då vara 8 cm.
 - Reglerfelet beräknas med blocket Sum. Genom att dubbelklicka på blocket kan man ändra till ett minustecken på ena ingången.
 - Multiplikation med förstärkningen k görs med blocket Gain. Förstärkningens värde ska från början vara 0.
 - Arbetspunkten u_0 finns redan i ditt blockschema i form av blocket Constant men för att addera den till styrsignalen behövs ytterligare ett Sum-block.
36. *Implementera en P-regulator med hjälp av tipsen ovan. Koppla även om blocket Styrsignal så att det plottar styrsignalen u .
37. Kör igång simuleringen och vänta till nivån i övre tanken har stabiliserat sig. Justera eventuellt u_0 så att nivån hamnar precis på 8 cm (inom +/- 2 mm).

12 Undersöka reglerprestanda

Vi ska undersöka P-regulatorns prestanda i två avseenden:

- Kvarstående reglerfel vid stegstörning
 - Styrsignalaktivitet
38. Introducera en stegstörning genom att vrida vredet på handventilen till ca 45° . I animeringen görs detta genom att dubbelklicka på Tanksimulator och vrida ratten som kommer upp.
 39. Vänta till nivån stabiliserat sig och avläs ärvärdet y_1 . Beräkna och notera reglerfelet e .
 40. Slå igång regleringen genom att öka förstärkningen i blocket Gain till 1. Nu ska det synas ett brus på styrsignalen.
 41. Vänta till nivån stabiliserat sig och avläs ärvärdet y_1 . Beräkna och notera reglerfelet e .
 42. Zooma in på styrsignalen efter att nivån stabiliserat sig och notera hur mycket styrsignalen varierar till följd av mätbrus. Avläs exempelvis hur mycket den avviker från sin genomsnittsnivå.
 43. Ställ in ett nytt värde på regulatorförstärkningen k och gör om ovanstående två punkter. Upprepa detta för några värden på k mellan 0 och 20. Observera att störningen ska fortsatt vara aktiv, dvs handventilen öppen 45° .
 44. *Använd Matlab för att plotta hur styrsignalaktiviteten (från Punkt 42) beror på regulatorförstärkningen, dvs med regulatorförstärkningen på horisontella axeln och styrsignalaktiviteten på den vertikala. Varför ser kurvan ut som den gör? Förklara med hjälp av ekvationerna för P-regulatorn ovan.
 45. *Använd Matlab för att plotta hur kvarstående reglerfelet (från Punkt 41) beror på regulatorförstärkningen.