

Gedächtnisprotokoll für die mündliche Prüfung im Fach Prozess- und Anlagendynamik

Datum: 20.12.2021
Uhrzeit: 14 Uhr
Prüfer: Prof. Repke
Note: 1,0

Einführung

Was ist ein Prozess?

Ein Prozess ist die Gesamtheit aller Ereignisse, die dazu führen, dass Energie, Impuls, Stoff und Informationen gespeichert, transportiert oder umgewandelt werden.

Was ist ein Modell?

Ein Modell ist eine vereinfachte Darstellung der Realität.

Was sind denn die drei Anforderungen an ein Modell?

Die wusste ich nicht mehr auswendig, also habe ich ihm das so gesagt.

MESHI-Modellierung

*Dann hat ein Prozessfließbild herausgeholt. Zusehen war ein Biogasprozess. Das Biogas besteht aus CH_4 und CO_2 wird auf **12 bar** hochgedrückt. Dann gelangt es in eine Adsorptionskolonne und wird mit Wasser gereinigt. Obwohl wir von Adsorption sprechen ist die Flüssigkeit nicht ideal. Zudem ändert sich die Feedzusammensetzung.*

Wie muss ich denn vorgehen, wenn ich ein Modell für den 5. Boden der Kolonne aufstellen will?

Ich muss mir ein Ziel definieren und den Bilanzraum definieren.

Na dann machen Sie das mal.

Ich würde dazu hier den 5. Boden einmal schematisch zeichnen und alle ein- und austretenden Ströme einzeichnen und beschriften.

Habe dann die folgende Abbildung (s. Seite 2) auf ein Blatt gemalt und währenddessen immer gesagt, was ich da jetzt hinschreibe. Dann habe ich die Gleichungen nach der MESHI-Systematik aufgeschrieben.

M:

$$\frac{dHU_{tr=5,c}^L}{dt} = F_{tr=4}^L x_{tr=4,c}^L + F_{tr=6}^V x_{tr=6,c}^V - F_{tr=5}^L x_{tr=5,c}^L - F_{tr=5}^V x_{tr=5,c}^V$$

Hier habe ich gesagt, dass ich den molaren Komponentenholdup bilanziere und gefragt, ob ich den Vapour-Holdup vernachlässigen darf. Als Begründung habe ich dazu gesagt, dass 12 bar ein Grenzfall wären, aber die Teilchenanzahl des Vapour/Gas vermutlich immernoch geringer ist als der Flüssigkeit. Die Dichten sind ja auch noch sehr stark verschieden.

E:

$$x_{tr=5,c=1}^V \varphi_{c=1} p_{tr=5} = x_{tr=5,c=1}^V \gamma_{c=1}^* H_{c=1,c=3} \Pi_{c=1}$$

$$x_{tr=5,c=2}^V \varphi_{c=2} p_{tr=5} = x_{tr=5,c=2}^V \gamma_{c=2}^* H_{c=2,c=3} \Pi_{c=2}$$

Ich habe hierzu erklärt, warum ich für Komponente 1 und 2 das Henry-Gesetz aufstelle und was die einzelnen Terme bedeuten. Ich habe beim Henry-Koeffizienten vergessen, die zwei Komponenten (Gas und Wasser) in den Index zu schreiben. Da hat er dann nachgefragt.

$$x_{tr=5,c=3}^V \varphi_{c=3} p_{tr=5} = x_{tr=5,c=3}^V \gamma_{c=3} \varphi_{c=3}^{0,LV} p_{c=3}^{0,LV} \Pi_{c=3}$$

Ich habe auch erklärt warum ich das Raoult-Gesetz für Komponente 3 (Wasser) verwende. Ist ja ein VLE.

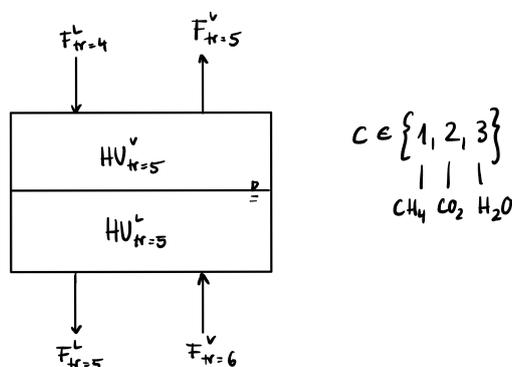
S:

$$0 = 1 - \sum_c x_{tr=5,c}^V$$

$$0 = 1 - \sum_c x_{tr=5,c}^L$$

H:

$$\frac{dU_{tr=5}^L}{dt} = F_{tr=4}^L h_{tr=4}^L + F_{tr=6}^V h_{tr=6}^V - F_{tr=5}^L h_{tr=5}^L - F_{tr=5}^V h_{tr=5}^V$$



Meine Skizze von dem 5. Boden.

Habe hier angemerkt, dass das System ja in Ruhe ist, ich also kinetische und potentielle Energie vernachlässigen kann und demnach nur die innere Energie bilanziere. Hier habe ich dann auch gesagt, dass es ebenfalls wieder nur die innere Energie der Flüssigkeit ist, da ich den Vapour/Gas ja vernachlässigen durfte.

I:

$$0 = p_{tr=6} - p_{tr=5} - \Delta p_{tr=5}$$

Jetzt stelle ich Ihnen mal ein paar Fragen zu den Gleichungen, die sie aufgeschrieben haben: Was ist denn γ_3 ?

Das ist der Aktivitätskoeffizient.

Wie können Sie den berechnen?

Über ein gE-Modell.

Wie denn genau und nennen Sie mal eins.

gE-Modell von Wilson und über: $g^E = RT \sum_c \ln(\gamma_c)$

Wie berechnen Sie denn $h_{tr=5}^L$?

$$h_{tr=5}^L = \sum_{c=1}^2 x_{tr=5,c}^L \left(h_c^{0,f} + \int_{T^0}^{T^{GL}} c_{p,c}^V dT + \Delta h_c^{GL} + \int_{T^{GL}}^{T_{tr=5}} c_{p,c}^L dT \right) + x_{tr=5,c=3}^L \left(h_{c=3}^{0,f} + \int_{T^0}^{T_{tr=5}} c_{p,c=3}^L dT \right) + h^E(x_{tr=5,c}^L, T_{tr=5})$$

Hier habe ich gemeint, dass man das aufsplitten muss einmal für die zwei gasförmigen/absorbierten Komponenten und die flüssige Komponente. Dann hat er mich korrigiert und gemeint, dass es nicht T^{LV} ist, sondern T^{GL} und ebenso bei der Enthalpie. Und er hat mich gefragt, wo ich denn die Referenzenthalpie wähle und wie die heißt. Ich habe gesagt, dass das die Standardbildungsenthalpie ist. Das ich aber hier ja bei 12 bar bin und deswegen eigentlich noch eine Druckkorrektur dazunehmen würde. Woraufhin ich mich korrigierte und meinte, dass das in dem Fall hier nur eine Bildungsenthalpie ist, die ich dann entsprechend bei 12 bar wähle und nicht die Standardbildungsenthalpie. Diese ist ja nur bei 1 bar und 25 Grad Celsius. Ich meinte auch, dass ich ihm die Druckkorrektur leider nicht aufschreiben könne. Das wollte er aber auch gar nicht hören.

Numerik

Wir haben ja jetzt hier ein DAE-System. Das lösen Sie ja indem Sie die Differentialkoeffizienten approximieren. Zum Beispiel mit dem impliziten

Euler-Verfahren. Können Sie mir mal das für die Energiebilanz zeigen?

$$\frac{dU_{tr=5}^L}{dt} = \frac{dH_{tr=5}^L}{dt} - p_{tr=5} \frac{dV_{tr=5}^L}{dt} - V_{tr=5}^L \frac{dp_{tr=5}}{dt}$$

Hier unterbrach er mich bzw. fragte mich, ob sich Volumen oder Druck denn ändern und ich meinte, dass das vermutlich nicht der Fall sei. Er meinte draufhin, dass das auf jeden Fall vernachlässigbar sei.

$$\frac{dH_{tr=5}^L}{dt} \approx \frac{H_{tr=5}^{L,t+1} - H_{tr=5}^{L,t}}{\Delta t} = F_{tr=4}^{L,t+1} h_{tr=4}^{L,t+1} + F_{tr=6}^{V,t+1} h_{tr=6}^{V,t+1} - F_{tr=5}^{L,t+1} h_{tr=5}^{L,t+1} - F_{tr=5}^{V,t+1} h_{tr=5}^{V,t+1}$$

Wie groß würden Sie denn den Zeitschritt beim expliziten Euler wählen?

So groß, wie die kleinste Zeitkonstante des Gleichungssystems.

Wie würden Sie diese ermitteln?

Ich würde die DGLs in Normalenform bringen und dann ablesen.

Das funktioniert bei DGLs zweiter Ordnung aber nicht. Was können Sie dann machen?

Ich könnte über die Eigenwerte der Matrix gehen. Die Zeitkonstanten sind in etwa die Rezipoke der Realteile der Eigenwerte.

Welcher Matrix denn?

Der Jacobi-Matrix bzw. Matrix A des Gleichungssystems.

Das schien nicht zu stimmen. Er meinte dann daraufhin, dass sich ja irgendwie die Matrix mit der Zeit ändert. Aber ich habe auch keine Ahnung, was er dann noch meinte und worauf er genau hinaus wollte. Am Ende meinte er noch es sei eine schwierige Frage gewesen.

Regelung

Nun holte er folgendes System (s. letzte Seite) raus und ich sollte ihm sagen, was für Größen ich alle regeln würde und wie ich das genau tun würde. Ziel soll eine hohe Sumpf- und Destillatzusammensetzung sein. Ich habe dazu dann die in der Abbildung roten Sachen ergänzt. Dabei habe ich immer erklärt, warum ich was regeln würde.

Ich würde die Temperaturen stellvertretend für die Konzentrationen an Kopf und Sumpf regeln. Dann würde ich aus Sicherheitsgründen auch noch den Druck regeln und die beiden Holdups sowohl im Kondensator als auch im Sumpf, da diese sich nicht selbst regulieren.

Ich habe auch noch einmal mich umentschieden, wie ich das genau regle, da ich

zuerst den Holdup des Kondensators über den Rücklauf L geregelt habe. Das habe ich dann, siehe Bild, anders gemacht. Das haben wir kurz diskutiert, aber näher ist er darauf auch nicht eingegangen. Man hätte beides machen können, da das über das Rücklaufverhältnis verbunden ist.

Schreiben Sie mal T_i und T_j und darunter V und L auf und sagen Sie mir, warum ich nicht T_i mit V regeln sollte.

V ist sehr weit von T_i entfernt, weshalb ich auch wegen der Heuristiken das nicht empfehlen würde. Außerdem haben wir ja auch einen Feed als Strörgröße und das ist dann auch nicht so ideal. Mathematisch würde ich einen Relative Gain Array aufstellen.

Dann stellen sie mal $\lambda_{1,2}$ auf.

$$\lambda_{1,2} = \frac{\left. \frac{\partial T_i}{\partial V} \right|_{L=\text{konst.}}}{\left. \frac{\partial T_i}{\partial V} \right|_{T_j=\text{konst.}}}$$

Da wir die steady-state open- bzw. closed-loop gains verwenden können wir statt ∂ ein Δ schreiben:

$$\lambda_{1,2} = \frac{\left. \frac{\Delta T_i}{\Delta V} \right|_{L=0}}{\left. \frac{\Delta T_i}{\Delta V} \right|_{T_j=0}}$$

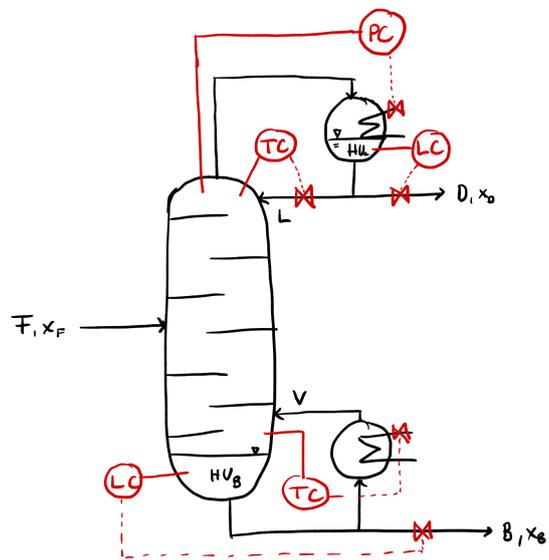
Welchen Wert sollte $\lambda_{1,2}$ annehmen?

Null.

Warum?

Das würde bedeuten, dass V keinen Einfluss auf T_i hat.

Daraufhin nahm er den gelben Zettel und sagte mir, dass er auch nicht wüsste, was er jetzt noch sagen sollte und gab mir meine Note. Insgesamt habe ich ihn als sehr zugewandt und freundlich wahrgenommen. Für die Vorbereitung habe ich alle Folien mit einem Kommilitonen detailliert durchgesprochen. Wir sind alle Systeme, die vorgestellt wurden durchgegangen und haben dazu immer wieder MESHIs aufgestellt. Anschließend sind wir immer wieder Gedächtnisprotokolle durchgegangen. Vor allem der Numerik- und Regelungsteil ist ja sehr, sehr ähnlich bei allen Prüfungen. Zusätzlich hatte ich den Vorteil, dass mein Kommilitone die exakt gleiche Prüfung ein paar Tage vor mir hatte.



Von Prof. Repke vorgelegtes System und meine Zeichnungen (rot).