

Massajöfnunarkerfi

Svokölluð jöfnunarkerfi eru notuð til að fylgjast með magni efnis þegar það fer í gegnum ferli. Slík kerfi eru útgáfur af lögmálinu um varðveislu massans.

Einfaldasta jöfnunarkerfið er massajöfnunarkerfi. Flest fyrirtæki nota massajöfnunarkerfi í sínu birgðabókhalda, sem lítur þá gjarnan einhvernvegin svona út:

$$1) \quad \text{Birgðabreyting} = \text{Innkaup} - \text{Sala} + \text{Framleiðsla} - \text{Rýrnun} - \text{Eigin notkun}$$

Birgðabreytingin gæti t.d. verið kílógrömm af hveiti í kjörbúð.

Kjörbúðareigandinn getur reiknað út birgðabreytingu hvers dags eða mánaðar með því að fylgjast með því hversu mikið selst af hveiti og hversu mikið hann kaupir inn og hversu mikið fer til spillis.

Hér er að sjálfsögðu gert ráð fyrir því, að ekkert hveiti verði til af sjálfu sér eða eyðist af sjálfu sér - rýrnun á sér alltaf eðlilegar orsakir. Með öðrum orðum, jafn mikið hveiti þarf að koma inn í búðina (innkaup, framleiðsla) og fer út úr búðinni (sala, rýrnun) ef birgðir eiga ekki að safnast upp. Þess vegna er þetta kallað massajöfnunarkerfi.

Almennari útgáfa af lögmálinu hér fyrir ofan lítur svona út:

$$2) \quad \text{Uppsöfnun} = \text{Inn} - \text{Út} + \text{Framleiðsla} - \text{Notkun}$$

Annað dæmi um massajöfnunarkerfi er flæði efnis í gegn um verksmiðju. Vegna þess að í verksmiðju safnast ekki upp neinar birgðir, er vinstri hlið jöfnu 2) núll. Massi sem flæðir inn í verksmiðjuna er hráefnið, og það sem kemur út er fullunnin vara, auk aukaafurða og úrgangs. Massajöfnuður fyrir verksmiðju er því:

$$3) \quad 0 = \text{Magn hráefnis} - \text{Magn söluvaru} - \text{Magn aukaafurða} - \text{Magn úrgangs}$$

Eða:

$$4) \quad \text{Hráefni} = \text{Söluvara} + \text{Aukaafurðir} + \text{Úrgangur}$$

Ég sleppi því að setja "Magn" inn í jöfnu 4), enda liggur það í hlutarins eðli, þegar talað er um *massajöfnuð* að um sé að ræða magneiningar.

Dæmi 1. Massajöfnunarkerfi.

Olíufélagið Xtra flytur inn 1216 tonn af dísilolíu á árinu 2013. Fyrir átti félagið 167 tonn af dísilolíu. Á árinu seljast 956 tonn af dísilolíu á bíla og 120 tonn af dísilolíu á tæki. Einnig fóru 3 tonn á flutningabíla fyrirtækisins. Við vörutalningu í lok árs kemur í ljós að birgðir eru 287 tonn. Hver var rýrnunin á árinu?

Svar:

Ég nota jöfnu 1):

$$\text{Rýrnun} = \text{Innkaup} - \text{Sala} + \text{Framleiðsla} - \text{Eigin notkun} - \text{Birgðabreyting}$$

Rýrnun = 1216 tonn - 1076 tonn + 0 tonn - 3 tonn - (287 tonn - 167 tonn) = 17 tonn

Í reglugerð iðnaðarráðuneytis (og lögum nr. 40/2013) er talað um að nota eigi massajöfnunarkerfi til að tryggja að sjálfbærni viðmið íblöndunarefnis glattist ekki. Tökum dæmi.

Dæmi 2. Íblöndun.

Olúfélagið Ypsilon flytur inn 2.000 tonn af etanólíblönduðu bensíni. Íblöndunarhlutfallið er 5,0% etanól af rúmmáli. Ypsilon selur 500.000 lítra af bensín-etanólíblöndunni í annað en samgöngur á landi, en afgangurinn af bensín-etanólíblöndunni er blandaður metanóli þannig að orkuhlutfall blöndunnar sé 4,0% endurnýjanlegt eldsneyti sem er selt á bíla. Hvað þarf Ypsilon að kaupa mikið af metanóli og hvernig setur Ypsilon upp massajöfnuð fyrir þessa sölu?

Svar:

Samkvæmt reglugerð iðnaðarráðuneytis skal nota orkugildi eldsneytis úr viðauka 1 í reglugerðinni. Þar er m.a. eftirfarandi:

Orkuinnihald etanóls: 27MJ/kg eða 21MJ/l

Orkuinnihald metanóls: 20MJ/kg eða 16MJ/l

Orkuinnihald bensíns: 43 MJ/kg eða 32MJ/l

Ég get reiknað eðlisþyngd eldsneytisins (í kg/l) með því að deila seinni töluna með þeirri fyrri, til dæmis er eðlisþyngd etanóls 21/27kg/l eða 0,778kg/l. Þá veit ég bæði orkuinnihald á massa og rúmmál (úr reglugerð) og eðlisþyngd (reiknað):

	Orkuinnihald		Eðlisþyngd
	MJ/kg	MJ/l	kg/l
Etanól	27	21	0,778
Metanól	20	16	0,800
Bensín	43	32	0,744

Þetta er langt og ruglingslegt dæmi, svo ég brýt svarið niður í hluta. Ég þarf að byrja á því að finna hversu mikið hlutfall af massa eldsneytisins er etanól. Þó að etanólið sé 5% af rúmmáli, er ekki þar með sagt að það sé 5% af massanum.

Næsti hluti er að finna orkuhlutfallið, enda er ekki hægt að gera ráð fyrir því að etanólið sé 5% af orku eldsneytisins.

Þegar ég veit orkuhlutfallið veit ég hvort Ypsilon þarf að kaupa metanól til að ná orkuhlutfallinu upp, og þarf að reikna hversu mikið metanól þarf. Ég má ekki gleyma að draga 500.000 lítra frá, enda fóru þeir ekki í samgöngur og voru ekki blandaðir með metanóli.

Að lokum set ég niðurstöðurnar upp í massajöfnuð.

Ég lendi strax í vandræðum með að finna massahlutfallið vegna þess að ég veit ekki hvert rúmmálið er. En ég get notað mér að massi = eðlismassi * rúmmál og reiknað það út.

$$\text{Rúmmál etanóls} + \text{rúmmál bensíns} = \text{heildarrúmmál} = V$$

Ég veit ekki hvað heildarrúmmálið er, svo ég kalla það bara V. En ég veit að rúmmál etanólsins er 5% af V og rúmmál bensínsins er 95% af V. Það er að segja:

$$\text{Rúmmál etanóls í blöndunni} = 0,05 * V$$

og

$$\text{Rúmmál bensíns í blöndunni} = 0,95 * V$$

Að auki veit ég að heildarmassinn er 2.000 tonn eða 2.000.000 kg:

$$\text{massi etanóls} + \text{massi bensíns} = \text{heildarmassi} = 2.000.000 \text{ kg}$$

Eins og ég sagði áðan, er massi = eðlismassi * rúmmál. Þá get ég umritað jöfnuna fyrir ofan svona:

$$\text{eðlismassi etanóls} * \text{rúmmál etanóls} + \text{eðlismassi bensíns} * \text{rúmmál bensíns} = 2.000.000 \text{ kg}$$

Þetta er orðið óþægilega langt, svo ég ætla að kalla eðlismassa etanóls $\rho_{\text{etanól}}$ og eðlismassa bensíns $\rho_{\text{bensín}}$. Svo ætla ég að kalla rúmmál etanóls $V_{\text{etanól}}$ og rúmmál bensíns $V_{\text{bensín}}$. Þá lítur sama jafna svona út:

$$\rho_{\text{etanól}} * V_{\text{etanól}} + \rho_{\text{bensín}} * V_{\text{bensín}} = M$$

Hér hef ég kallað heildarmassann M.

Ég var búin að finna út að

$$V_{\text{etanól}} = 0,05 * V \text{ og } V_{\text{bensín}} = 0,95 * V$$

svo ég sting því inn og fæ:

$$\rho_{\text{etanól}} * 0,05 * V + \rho_{\text{bensín}} * 0,95 * V = M$$

Þá get ég tekið V út fyrir sviga:

$$(\rho_{\text{etanól}} * 0,05 + \rho_{\text{bensín}} * 0,95) * V = M$$

Einangra V:

$$V = M / (\rho_{\text{etanól}} * 0,05 + \rho_{\text{bensín}} * 0,95)$$

Og set að lokum inn tölur:

$$V = 2.000.000 \text{ kg} / (0,778 \text{ kg/l} * 0,05 + 0,744 \text{ kg/l} * 0,95) = 2.681.448 \text{ lítrar}$$

Það er að segja, heildarrúmmál innkaupanna hjá Ypsilon er 2.681.448 lítrar af etanólíblönduðu bensíni.

Af þessu er bensínið:

$$V_{\text{bensín}} = 0,95 * V = 0,95 * 2.681.448 \text{ lítrar} = 2.547.376 \text{ lítrar}$$

Og etanólið:

$$V_{\text{etanól}} = 0,05 * V = 0,05 * 2.681.448 \text{ lítrar} = 134.072 \text{ lítrar}$$

Þá get ég reiknað hversu mörg kíló eru af hvoru fyrir sig. Hér er bensínið:

$$M_{\text{bensín}} = \rho_{\text{bensín}} * V_{\text{bensín}} = 0,744 \text{ kg/l} * 2.547.376 \text{ l} = 1.895.721 \text{ kg}$$

Og svo etanólið:

$$M_{\text{etanól}} = \rho_{\text{etanól}} * V_{\text{etanól}} = 0,778 \text{ kg/l} * 134.072 \text{ l} = 104.279 \text{ kg}$$

Til að athuga hvort ég hafi reiknað rétt, skoða ég:

$$M_{\text{bensín}} + M_{\text{etanól}} = 1.895.721 \text{ kg} + 104.279 \text{ kg} = 2.000.000 \text{ kg}$$

Ég sé að þetta stemmir, svo líkurnar eru þær að ég sé að reikna fyrsta hlutann rétt!

En það er rétt að athuga, að massahlutfall etanólsins er ekki nákvæmlega 5%, þó rúmmálshlutfallið sé það:

$$\text{Massahlutfall etanóls} = 104.279 \text{ kg} / 2.000.000 \text{ kg} * 100\% = 5,21\%$$

Áðan sagði ég að fyrsti hlutinn af dæminu væri að reikna massahlutfall etanóls. Það er nú komið.

Næsti hluti er orkuhlutfallið. Ég reikna orkugildi hvors hluta fyrir sig, og finn svo hlutfallið.

Orkugildi bensínsins er:

$$E_{\text{bensín}} = 1.895.721 \text{ kg} * 43 \text{ MJ/kg} = 81.516.023 \text{ MJ}$$

Orkugildi etanólsins er:

$$E_{\text{etanól}} = 104.279 \text{ kg} * 27 \text{ MJ/kg} = 2.815.521 \text{ MJ}$$

Heildarorkan í eldsneytinu er:

$$E = E_{\text{bensín}} + E_{\text{etanól}} = 81.516.023 \text{ MJ} + 2.815.521 \text{ MJ} = 84.331.543 \text{ MJ}$$

Orkuhlutfall etanólsins í blöndunni er því:

$$\text{Orkuhlutfall etanóls} = 2.815.521 \text{ MJ} / 84.331.543 \text{ MJ} * 100\% = 3,34\%$$

Það er vert að staldra aðeins hér við, og taka saman niðurstöðurnar úr hlutfallareikningunum. Rúmmálshlutfallið, massahlutfallið og orkuhlutfallið eru öll mismunandi:

Hlutfall etanóls í blöndunni	
M.v. rúmmál	5,00 %
M.v. massa	5,21 %
M.v. orku	3,34 %

Það er því algerlega lífsnauðsynlegt að vita hvort um er að ræða hlutfall miðað við rúmmál, massa eða orku þegar talað er um "eldsneyti sem er 5% vistvænt".

Ég sé að orkuhlutfallið er 3,34% sem er lægra en 4,0%, svo Ypsilon verður að blanda bensínið meira ef það á að verða 4,0% vistvænt að orkuhlutfalli. En fyrst drögum við 500.000 lítra frá heildarblöndunni.

$$\text{Rúmmál eldsneytis til samgangna} = 2.681.448 \text{ l} - 500.000 \text{ l} = 2.181.448 \text{ lítrar}$$

Hlutfallið breytist ekki, þ.e.a.s. etanól er enn 5,0% af því rúmmáli sem er eftir. Því er etanólið sem er eftir:

$$\text{Rúmmál etanóls} = 0,05 * 2.181.448 \text{ lítrar} = 109.072 \text{ lítrar}$$

Orkugildi etanólsins er:

$$E_{\text{etanól}} = 109.072 \text{ l} * 21 \text{ MJ/l} = 229.051 \text{ MJ}$$

Orkugildi bensínsins sem er eftir er:

$$E_{\text{bensín}} = 2.072.376 \text{ l} * 32 \text{ MJ/l} = 66.316.032 \text{ MJ}$$

Nú þarf ég að stilla af orkugildið með því að blanda meira vistvænu eldsneyti út í blönduna. Markmiðið er að vistvænt eldsneyti sé 4,0% af orkunni í eldsneytinu sem er selt til samgangna. Með öðrum orðum, þá vil ég að $E_{\text{bensín}}$ sé 96% af heildarorkugildi blöndunnar. Því þarf ég:

$$\text{Heildarorkugildi} = E_{\text{bensín}} / 0,96 = 69.079.200 \text{ MJ}$$

Þetta gefur mér heildarorkugildi blöndunnar þegar metanólið er komið út í. En ég veit hvað ég hef mörg MJ af bensíni og ég veit hvað ég hef mörg MJ af etanóli. Þá er auðvelt að finna hvað ég þarf mörg MJ af metanóli til þess að ná upp heildarorkugildinu:

$$E_{\text{metanól}} = \text{heildarorkugildi} - E_{\text{bensín}} - E_{\text{etanól}} = 472.656 \text{ MJ}$$

Þegar ég veit orkugildi metanólsins get ég reiknað rúmmálið og massann:

$$V_{\text{metanól}} = 472.656 \text{ MJ} / 16 \text{ MJ/l} = 29.541 \text{ lítrar}$$

$$M_{\text{metanól}} = 472.656 \text{ MJ} / 20 \text{ MJ/kg} = 23.633 \text{ kg}$$

Nú, loksins, get ég sett upp massajöfnuð fyrir þetta dæmi:

Bensín (kg)		
Birgðir 1/1	0	
Innkaup	1.895.721	
Sala til samgangna	1.542.233	
Sala, annað	353.488	
Framleiðsla	0	
Eigin notkun		0
Rýrnun		0
Birgðir 31/12		0
Samtals	1.895.721	1.895.721

Etanól (kg)		
Birgðir 1/1	0	
Innkaup	104.279	
Sala til samgangna	84.834	
Sala, annað	19.445	
Framleiðsla	0	
Eigin notkun		0
Rýrnun		0
Birgðir 31/12		0
Samtals	104.279	104.279

Metanól (kg)		
Birgðir 1/1	0	
Innkaup	23.633	
Sala til samgangna	23.633	
Sala, annað	0	
Framleiðsla	0	
Eigin notkun		0
Rýrnun		0
Birgðir 31/12		0
Samtals	23.633	23.633

Hér hef ég sleppt allri rýrnun (dæmið er nógu flókið fyrir) og það er auðvitað engin birgðabreyting, þetta átti bara að vera massajöfnuður fyrir þessa einu sölu. Ég get því sett nákvæmlega sama massajöfnuð upp á einfaldari hátt, þar sem allar tegundirnar koma fyrir í einni töflu:

Massajöfnuður (kg)	Bensín	Etanól	Metanól	Samtals
Innkaup	1.895.721	104.279	23.633	2.023.633
Sala til samgangna	1.542.233	84.834	23.633	1.650.700
Sala, annað	353.488	19.445	0	372.933

Í öllum tilfellum er heildarsala jöfn innkaupum.

En það er hægt að hugsa sér að setja upp rúmmálsjöfnuð eða orkujöfnuð. Gerum það til gamans:

Rúmmálsjöfnuður (lítrar)	Bensín	Etanól	Metanól	Samtals
Innkaup	2.547.376	134.072	29.541	2.710.989
Sala til samgangna	2.072.376	109.072	29.541	2.210.989
Sala, annað	475.000	25.000	0	500.000

Orkujöfnuður (MJ)	Bensín	Etanól	Metanól	Samtals
Innkaup	81.516.023	2.815.521	472.656	84.804.199
Sala til samgangna	66.316.032	2.290.512	472.656	69.079.200
Sala, annað	15.199.991	525.009	0	15.724.999

Í öllum tilfellum þurfa jöfnuðirnir að stemma, þ.e. heildarsalan þarf að vera jöfn innkaupunum. En hlutfall vistvæns eldsneytis í blöndunni er mjög misjafnt eftir því hvort miðað er við massa, rúmmál eða orku.

Í reglugerð kemur fram eftirfarandi um massajöfnunarkerfi:

"Söluaðilar eldsneytis skulu nota massajöfnunarkerfi fyrir endurnýjanlegt eldsneyti:

- a) sem gerir kleift að blanda saman sendingum af hráefni eða lífheldsneyti með ólíka sjálfbærnieiginleika,*
- b) sem gerir kröfu um að upplýsingar um sjálfbærnieiginleika og stærð sendinganna, sem um getur í a-lið, fylgi blöndunni áfram og*
- c) sem tryggir að sjálfbærnieiginleikar eldsneytisblöndu tapist ekki þrátt fyrir að eldsneyti með ólíka sjálfbærnieiginleika sé blandað saman eða hluti af eldsneytisblöndu sé tekinn frá.*
- d) Orkustofnun gefur út nánari leiðbeiningar um massajöfnunarkerfi sem söluaðilar geta haft til hliðsjónar."*

Sýnidæmi 2 tók á liðum a) og c). Ef Ypsilon hefði verið að senda massajöfnuðinn til Orkustofnunar, þá hefði, skv. lið b), þurft að fylgja með upplýsingar um sjálfbærnieiginleika etanólsins og metanólsins. Það hefði verið alveg leyfilegt að senda t.d. upprunavottorð frá viðurkenndum útgefendum upprunavottorða fyrir etanólið en greinargerð frá framleiðanda metanólsins.