



14.2 EXERCICES DE BIOLOGIQUE DIGESTION ANAEROBIE_SOLUTIONS

Exercice n° 14.2.a : Digesteur anaérobique de la ferme des frères Klaesi

Aujourd'hui plusieurs fermes cherchent à se doter d'un digesteur anaérobique permettant de produire de l'énergie à l'aide de leurs diverses sources de matières organiques : résidus de cultures ou déjections animales, par exemple. Les vaches laitières de la ferme des frères Klaesi, située en Ontario, rejettent chacune 62 kg de fumier par jour pour un total journalier pour l'entièreté du troupeau de 15 m³. Grâce à ces déjections, le digesteur est capable de produire quotidiennement environ 450 m³ de biogaz chaque jour, composé à 60 % de méthane. Le bilan énergétique simplifié de cette production de méthane est le suivant :

- 36% permet de produire de l'électricité ;
- 48% est récupérée sous forme de chaleur dont la moitié est directement réutilisée pour régulariser la température du digesteur (l'autre moitié permet le chauffage de deux maisons, deux garages, trois ateliers, un petit poulailler, une écurie) ;
- le reste représente les pertes de chaleur résiduelles non récupérables.

Une part de l'électricité produite subvient directement aux besoins de la ferme et les 216,2 kWh par jour (en moyenne) restants sont revendus à Hydro-Ontario.

- Densité du fumier des vaches : 825 kg/m³
- PCI du méthane : 35,784 MJ/m³
- Rendement combustion/électricité : 100 %
- Prix de l'électricité : 0,10 \$/kWh (coût typique moyen utilisé pour cet exemple. En Ontario, le prix de l'électricité varie en fonction de la période de l'année, du jour de la semaine, de l'heure du jour).

QUESTIONS

Question 1 : Combien de vaches possèdent les frères Klaesi (arrondir à l'entier supérieur)?

Question 2 : Quel est le potentiel méthanogène des déjections des vaches (en m³/tonne, avec une décimale)?

Question 3 : Quelles sont respectivement les quantités d'énergie électrique (3.1), thermiques (3.2) et les pertes produites par le digesteur par année (3.3)? (En MWh/an, avec une décimale)

Question 4 : Si vous désirez une PRI simple de 10 ans et en ne considérant uniquement que la production d'électricité, quel est le budget d'investissement initial maximal possible ? (arrondir au \$ supérieur, sans décimale)

Question 5 : Si vous désirez une PRI simple de 10 ans en considérant la production d'électricité et le coût de production de la chaleur en hiver comme si elle était produite à l'électricité, quel est le budget d'investissement initial maximal possible (arrondir au \$ supérieur, sans décimale) ?

Note : seule environ 50% de la chaleur produite pour le chauffage des résidences peut être employée pour chauffer car en été le besoin de chauffage est nul. Pour les besoins du calcul on suppose une consommation de chaleur sur 6 mois.

Sources :

- Présentation du projet du digesteur anaérobique des frères Klaesi
https://www.agrireseau.net/energie/documents/Ferme_Klaesi_2006.pdf
- Quantité de rejet de fumier par jour des vaches laitières
<https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/16-002-x/2008004/article/10751-fra.htm>

REPONSES

Question 1 : Combien de vaches possèdent les frères Klaesi (arrondir à l'entier supérieur)?

Le nombre de vache est égale à la digestion totale diviser par la digestion unitaire. Attention à bien utiliser la densité volumique du fumier pour respecter les unités !

$$\frac{\rho_{\text{fumier}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * V_{\text{digestio total}} (\text{m}^3)}{V_{\text{digestion unitaire}} (\text{kg})} = 199,6 \text{ donc } 200 \text{ vaches}$$

Question 2 : Quel est le potentiel méthanogène des déjections des vaches (en m³/tonne, avec une décimale)?

Le potentiel méthanogène décrit la quantité de m³ de CH₄ par tonne de matière brut. Ici le digesteur permet la production de 450m³ de biogaz composé à 60% de CH₄, soit une production de 270m³ de CH₄. La densité du fumier multiplié par la digestion totale représente la quantité totale de matière brut ce qui permet d'obtenir le potentiel méthanogène :

$$\frac{V_{\text{CH}_4}}{\frac{\rho_{\text{fumier}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{1000} * \text{digestion}_{\text{total}} (\text{m}^3)} = \frac{270 (\text{m}^3_{\text{CH}_4})}{12,375 (\text{t})} = 21,82 \text{ donc } 21,8 \left(\frac{\text{m}^3_{\text{CH}_4}}{\text{t}} \right)$$

Question 3 : Quelles sont respectivement les quantités d'énergie électrique, thermiques et les pertes produites par le digesteur par jour ? Et par an ? (En kWh/jours et MWh/an)

Le digesteur produit 270 m³ de méthane (vu question 2). En multipliant cette quantité par le PCI du méthane vous obtenez la quantité d'énergie total produite. 36 % de cette valeur représente la production électrique tandis que 48% la production thermique :

$$\begin{cases} E_{\text{elec}} = V_{\text{biogaz}} (\text{m}^3) * \eta_{\text{CH}_4} * \frac{\text{PCI}_{\text{CH}_4}}{3,6} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right) * \eta_{\text{elec}} = 450 * 0,6 * \frac{35,784}{3,6} * 0,36 = 966,2 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{j}} \right) = 352,7 \text{ MWh/an} \\ E_{\text{thermique}} = V_{\text{biogaz}} (\text{m}^3) * \eta_{\text{CH}_4} * \frac{\text{PCI}_{\text{CH}_4}}{3,6} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right) * \eta_{\text{thermique}} = 1288,2 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{j}} \right) = 470,2 \text{ MWh/an} \\ E_{\text{pertes}} = V_{\text{biogaz}} (\text{m}^3) * \eta_{\text{CH}_4} * \frac{\text{PCI}_{\text{CH}_4}}{3,6} \left(\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \right) * \eta_{\text{perte}} = 429,4 \left(\frac{\text{kWh}}{\text{j}} \right) = 156,7 \text{ MWh/an} \end{cases}$$

Question 4 : Si vous désirez une PRI simple de 10 ans et en ne considérant uniquement que la production d'électricité, quel est le budget d'investissement initial maximal possible ? (arrondir au \$ supérieur, sans décimale)

Certes 216,2 kWh sont revendus chaque jour à 0,10 \$/kWh soit un gain annuel total de :

$$\text{Gain}_{\text{elec}} = 216,2 * 0,10 * 365 = 7891,2 \$ \text{ donc } 7891\$$$

Mais, il faut considérer que la portion de génération électrique qui n'est pas vendue serait achetée pour faire fonctionner la ferme si le digesteur n'était pas présent. Donc, pour calculer le coût de l'investissement maximal possible il faut employer TOUTE l'électricité produite

$$\text{Gain}_{\text{elec}} = 966,2 * 0,10 * 365 = 35266,3 \$ \text{ donc } 35266\$$$

Avec une PRI de 10 ans l'investissement maximal possible serait de :

$$\text{CAPEX} = \text{Gain}_{\text{elec}} * \text{PRI} = 352660 \$$$

Ce budget permet de penser que la PRI serait inférieure à 10 ans car le digesteur de la ferme a couté environ 200 000 \$.

Bien entendu, ici on néglige les frais d'opération (OPEX), le maintien d'actif et les éventuelles subventions possibles.

Question 5 : Si vous désirez une PRI simple de 10 ans en considérant la production d'électricité et le coût de production de la chaleur en hiver comme si elle était produite à l'électricité, quel est le budget d'investissement initial maximal possible (arrondir au 100\$ supérieur, sans décimale) ?

Note : seule environ 50% de la chaleur produite pour le chauffage des résidences peut être employée pour chauffer car en été le besoin de chauffage est nul. Pour les besoins du calcul on suppose une consommation de chaleur sur 6 mois.

1288,2 kWh sont produits en chaleur chaque jour. De ce total, la moitié est consommée par le digesteur et l'autre est disponible pour du chauffage. De cette moitié on perd 50% en été et ainsi 322 kWh/j sont disponibles pour chauffer en moyenne (ou 644,1 kWh sur 6 mois). Vous comprendrez que ça fait beaucoup de chaleur pour chauffer des résidences. C'est pourquoi dans l'énoncé on indique que deux garages, trois ateliers, un petit poulailler, une écurie peuvent aussi être chauffée. Si cette énergie était produite par de l'électricité, de 966,2 kWh/j on passerait à 1288,2 kWh/j et de facto de 352 700 \$ pour l'installation à environ 470 200\$.

Ceci indique qu'un budget supplémentaire de 117 600\$ est disponible pour installer du matériel pouvant permettre de chauffer les bâtiments secondaires