Analyse théorique et expérimentale d'un système de micro-cogénération biomasse à moteur Stirling

Stefan-Dominic Voronca

Résumé de these

La micro-cogénération est une technologie par laquelle on produit simultanément de l'électricité et de la chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire des logements, d'une manière décentralisée. La puissance électrique produite est inférieure à 50 kW_{el}. Cette technologie récupère les pertes de "chaleur fatale" considérées comme des "déchets thermiques" produits dans les cycles thermodynamiques pour la production d'énergie mécanique. La technologie de la micro-cogénération offre des avantages importants : réduction des consommations d'énergie primaire, réduction des émissions de CO2, évitement de la construction de centrales et de réseaux. En utilisant la biomasse en tant que combustible on a plusieurs avantages : on utilise de l'énergie renouvelable, la neutralité carbone, la disponibilité et le bas-prix. Le travail de cette thèse a pour objectif de réaliser une analyse théorique et expérimentale d'un système de micro-cogénération biomasse à moteur Stirling.

La première partie de la thèse présente une étude bibliographique sur la biomasse (types de la biomasse, utilisations de la biomasse, standards de la biomasse, potentiel de la biomasse en France et en Roumanie) et sur les moteurs thermiques (notions de thermodynamique, types de moteur, types de moteurs Stirling, paramètres du moteur Stirling).

La deuxième partie de la thèse présente une étude théorique et expérimentale de plusieurs types de biomasse : déchets forestiers, granulés de sapin, briquettes de chêne, sciure de hêtre, granulés de hêtre, briquettes de hêtre. Six combustibles disponibles chez les fournisseurs ont été analysés en termes de pouvoir calorifique supérieur. Plusieurs caractéristiques sont prises en compte dans le cadre de cette étude : l'influence de l'humidité, le coût, la complexité de l'équipement nécessaire sur place pour transporter et brûler le combustible, la disponibilité du combustible, les problèmes associés au stockage du combustible, les émissions causées par la combustion, le succès historique de la technologie des chaudières utilisant ce combustible.

La troisième partie de la thèse est consacrée au dispositif expérimental mis en place au cours de la thèse. Une description détaillée du banc d'essai de l'unité de micro-cogénération est présentée. Il s'agit d'une installation de micro-cogénération biomasse à moteur Stirling. Le moteur Stirling est un moteur à piston libre de type dynamique. En plus du moteur Stirling, l'unité comprend une chambre combustion et des échangeurs de chaleur pour récupérer la chaleur des gaz de combustion. Le système utilise la technologie de condensation pour augmenter son efficacité. La puissance électrique nominale de l'installation de micro-cogénération biomasse est de 1 kW. La puissance thermique du système de micro-cogénération varie entre 10 et 14 kW. L'objectif de l'étude expérimentale a été d'observer l'influence du débit de l'agent thermique et de la puissance de sortie thermique sur le comportement de l'installation de micro-cogénération. Dans la deuxième partie de ce chapitre les résultats expérimentaux sont présentés. Les essais ont été effectués pour neuf configurations différentes correspondant à trois débit de l'agent thermique différents et à trois puissances de sortie thermique différentes : 10 kW, 12 kW et 14 kW. Les températures et les débits ont été mesurés à l'aide des capteurs de température et de débitmètres. Le rendement global et les rendements thermique et électrique ont été déterminés pour chaque configuration. Les résultats obtenus ont montré que, si le débit n'est pas suffisant pour évacuer la puissance thermique produite par l'unité de micro-cogénération, la température de l'agent thermique va augmenter, réduisant ainsi les performances thermiques du système.

Enfin, la dernière partie de la thèse présente le développement d'un modèle mathématique décrivant le système de micro-cogénération biomasse. Une modélisation d'un moteur Stirling est présentée pour un fonctionnement en charge nominale et un fonctionnement en charge partiale. Le modèle permet d'obtenir les puissances thermique et électrique, le rendement thermique de l'installation et le rendement électrique de l'installation. Une analyse paramétrique à partir de ce modèle permet d'affiner et de compléter les résultats obtenus expérimentalement. L'étude de l'impact des différents combustibles a différentes humidités et des différents excès d'air sur la production de puissance thermique et de puissance électrique est ainsi mis en évidence.

Mots-clés : micro-cogénération, biomasse, moteur Stirling, bâtiment, production d'énergie

Liste de travaux

1. Sonja Kallio, Monica Siroux, **Ștefan-Dominic Voronca,** Energy and exergy analysis of a biomass-fuelled micro-CHP unit, Proceedings of 34th International Conference on Efficiency, Cost, Optimisation, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems ECOS-2021, Taormina, Italie, 2021
2. **Ștefan-Dominic Voronca**, Elena Pop, Monica Siroux, George Darie, Analysis of Wooden Biomass Use as Renewable Source of Energy in Romania, Proceedings of International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT CIEM 2019 IEEE Conference publication, Timisoara, Romania, 2019
3. **Ștefan-Dominic Voronca**, Elena Pop, Monica Siroux, George Darie Technical and economical analysis of wooden biomass use as renewable source of energy for cogeneration purposes in Romania, Colloque Francophone sur l'Energie COFRET'18 Strasbourg, France, 2018
4. **Ștefan-Dominic Voronca**, Darie George, Pătrașcu Roxana, Biomass O.R.C. cogeneration - A case study, Proceedings of 8th International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT CIEM 2017 IEEE Conference publication, Bucharest, Romania, 2017