Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 75 (1984)

Heft: 4

Artikel: Systèmes de chauffage de maisons unifamiliales : rapport de recherche provisoire

Autor: Virtanen, R. / Lento, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904362

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

2.23 ✓
2.24 ✓

Systèmes de chauffage de maisons unifamiliales – rapport de recherche provisoire

R. Virtanen et R. Lento

Le projet de recherche vise à réunir des données comparables de la consommation d'énergie de systèmes de chauffage utilisant l'électricité comme source de chaleur principale. Pour cette étude, la consommation d'énergie d'environ 1000 maisons unifamiliales neuves, disséminées en Finlande, fut enregistrée pendant 1...3 ans. Le groupe de référence est constitué par environ 60 maisons chauffées au mazout et dont la consommation a été enregistrée auparavant pendant l'hiver 1981/82. Les données ont fait l'objet d'une analyse statistique à partir de régressions linéaires. Les modèles de consommation ainsi obtenus ont été rapportés à la maison type, afin d'obtenir des données comparables pour les divers systèmes de chauffage et les divers modes de consommation.

Ziel des Forschungsprojektes ist es, vergleichbare Energieverbrauchsdaten von Heizsystemen mit Strom als Hauptenergiequelle zusammenzustellen. Für diese Studie wurde der Energieverbrauch von rund 1000 neuen Einfamilienhäusern in ganz Finnland während 1–3 Jahren aufgezeichnet. Eine Referenzgruppe besteht aus etwa 60 ölbeheizten Häusern, deren Verbrauch vorher während des Winters 1981/82 registriert wurde. Die Daten wurden einer statistischen Analyse auf Basis der linearen Regression unterzogen. Die so gewonnenen Verbrauchsmuster wurden auf ein Einheitsgebäude umgerechnet, um für die verschiedenen Heizungssysteme und Verbrauchsarten vergleichbare Daten zu gewinnen.

Adresse de l'auteur
R. Virtanen et *R. Lento*, Imatran Voima Oy, Tutkimusosasto PL 138, 00101 Helsinki 10, Finland

1. Situation antérieure et objectifs

Des données séparées et comparables de la consommation d'énergie des ménages étaient rares jusqu'à présent. Les informations disponibles sur le coût d'achat et l'exploitation des installations sont en partie contradictoires. De nouveaux systèmes de chauffage sont sans cesse présentés, augmentant ainsi la confusion au sujet du chauffage.

Afin de réunir des données sur la consommation d'énergie et d'éliminer les inconvénients précités, l'Imatram Voima Oy a, en liaison avec 56 sociétés de distribution d'électricité, lancé son analyse du chauffage de maison unifamiliale en 1978. Ce projet se poursuit.

Conformément aux objectifs du projet, des statistiques de la consommation d'énergie de divers systèmes de chauffage sont établies à partir de mesures, et les constructeurs de maisons unifamiliales sont interviewés pour recueillir des données relatives aux coûts d'achat et d'installation, ainsi qu'à l'exploitation des systèmes. D'autres objectifs comprennent la recherche d'une esquisse de la structure de la consommation d'énergie des maisons unifamiliales et la collecte de données de base pour une meilleure tarification des prix de l'énergie électrique pour l'usager.

L'échantillon statistique est constitué par plus de 1000 maisons unifamiliales disséminées en Finlande et où la consommation est relevée mensuellement pendant 1...3 ans.

Le projet fournit des informations sur la consommation d'énergie de divers systèmes de chauffage et sur les facteurs qui l'influencent. Les valeurs de la maison type choisie permettent de calculer la consommation d'énergie des divers systèmes de chauffage, à partir des modèles de consommation d'énergie obtenus sur la base des résultats d'essai. Ces valeurs sont alors utilisables pour calculer les coûts d'exploitation des systèmes individuels. L'économie globale d'un système est obtenue en tenant compte du coût d'achat.

2. Analyse des résultats d'essai

La consommation d'énergie des maisons étudiées a été analysée par régression linéaire. Les critères de consommation d'énergie retenus sont le volume du bâtiment, la surface des planchers, les déperditions thermiques spécifiques et la valeur locale des degrés-jours. Les niveaux annuels de consommation d'énergie ont servi à établir, par type de consommation, plusieurs modèles de régression individuels pour divers systèmes de chauffage.

Afin de comparer les divers systèmes, les modèles de régression ont été utilisés pour calculer la consommation d'énergie (consommation annuelle et consommation spécifique) d'une maison type définie comme suit:

volume du bâtiment	$V = 420\ m^3$
surface nette de planchers	$A = 120\ m^2$
nombre d'habitants	$N = 4$
conductance totale	$G = 92\ W/°C$

La valeur locale de degrés-jours adoptée est égale à la valeur annuelle standard de Jyväskylä (Finlande centrale) $S_{17} = 4930\ °C \cdot 24\ h$.

2.1 Consommation d'électricité pour le chauffage de locaux

La consommation pour le chauffage (à l'exclusion de la consommation pour l'eau chaude sanitaire) ne peut être mesurée séparément que dans des maisons à chauffage électrique direct. Les mesures donnent une consommation de 11 000 kWh/an et une consom-

Consommations annuelles et spécifiques déterminées à partir des modèles de régression les plus favorables. Chauffage et production d'eau chaude sanitaire (sept. 1983) Tableau I

Système de chauffage	Nombre de périodes d'enquêtes de 12 mois	Consommation annuelle kWh/an	Consommation spécifique kWh/m³/an
Chauffage électrique direct (radiateurs, plafond, plancher ou combinaison)	640	13 800	32,9
Chauffage électrique direct (récupération de chaleur de la ventilation)	63	12 500	29,8
Systèmes à circulation d'eau (stockage)	24	18 400	43,8
Chauffage par air chaud (avec accumulateur de chaleur supplémentaire)	130	17 700	42,1
Pompe à chaleur sur sol	166	9 100	19,3
Pompe à chaleur à air extrait	49	12 300	29,2[1])
Chauffage au mazout	64	24 400	58,1

[1]) Valeur moyenne

mation spécifique de 26,1 kWh/m³/an pour la maison type, dans le cas d'un chauffage électrique direct par plafond, plancher ou plinthes, ou une combinaison de ces modes.

Parmi les sous-groupes de chauffage électrique direct, la récupération de chaleur de ventilation donne la plus faible consommation spécifique (pour la maison type: 9200 kWh/an ou 21,9 kWh/m³/an. Il y a une différence d'environ 20% par rapport aux autres solutions de chauffage électrique direct. Il n'y a pas de différence importante entre les consommations spécifiques des systèmes de chauffage par plafond, plancher ou radiateurs.

2.2 Consommation d'électricité pour la production d'eau chaude sanitaire

La consommation d'électricité pour l'eau chaude ne peut être mesurée séparément que dans le cas d'un chauffage électrique direct. La consommation annuelle calculée pour la maison type est de 3420 kWh/an et la consommation spécifique de 8,1 kWh/m³/an. La consommation spécifique moyenne calculée pour un groupe échantillon est également de 8,1 kWh/m³/an.

2.3 Consommation totale d'électricité pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude sanitaire

Le tableau I présente un résumé des niveaux de consommation obtenus pour la maison type avec les modèles les plus favorables. La consommation spécifique d'un système à électricité et récupération de chaleur de la ventilation est dans ce cas inférieure d'environ 15% à celle d'autres systèmes de chauffage électrique direct. La consommation spécifique dérivée du modèle est, pour les systèmes de chauffage par circulation d'eau, supérieure d'environ 10% à celle des systèmes à chauffage électrique direct. La consommation spécifique du groupe de chauffage par air chaud semble être de 10–20% supérieure à celle des maisons à chauffage électrique direct. Sur l'ensemble des systèmes testés, les consommations spécifiques minimales sont observées pour les systèmes de pompes à chaleur sur le sol.

Consommations annuelles et spécifiques de l'électricité domestique de la maison type, avec une fréquence moyenne d'appareils, déterminées à partir des modèles de régression les plus favorables Tableau II

Système de chauffage	Nombre de périodes d'enquêtes de 12 mois	Consommation annuelle kWh/an	Consommation annuelle kWh/m³/an
Chauffage électrique direct	233	5 460	13,0
Systèmes à circulation d'eau	49	4 870	11,6
Systèmes de chauffage par air chaud	126	4 910	11,7
Systèmes à pompe à chaleur	90	5 290	12,6

2.4 Consommation d'électricité des ménages

La consommation spécifique d'électricité par les ménages varie de 11 à 17 kWh/m³/an selon le système de chauffage et son modèle de régression. La consommation spécifique moyenne enregistrée pour chaque période d'enquête est de 12,4 kWh/m³/an. Certains modèles de régression ont retenu comme critère l'existence d'appareils domestiques, tels que saunas. La consommation d'électricité des ménages peut aussi dépendre du nombre d'appareils électriques en général et des habitudes de consommation. Le tableau II spécifie pour chaque système les valeurs de la consommation d'électricité des ménages, obtenues à l'aide des modèles les plus favorables.

2.5 Consommation totale

Ni la consommation de bois, ni la récupération de chaleur de la ventilation ne sont significatives quand le chauffage électrique direct est réalisé sous forme d'un chauffage par radiateurs, plafond, plancher ou plinthes. Chacune des analyses de régression effectuées sur ce groupe a donné une consommation spécifique d'environ 46 kWh/m³/an, de sorte que cette valeur peut être considérée comme représentant de façon satisfaisante la consommation spécifique du chauffage électrique direct ordinaire, en ce qui concerne la consommation totale. Dans le groupe du chauffage électrique direct, des valeurs de consommation légèrement inférieures sont obtenues pour les systèmes à récupération de chaleur sur la ventilation, tandis que les systèmes de chauffage à air chaud présentent les plus forts niveaux de consommation mesurés. Les niveaux de consommation totale sont minimaux pour les systèmes à pompe à chaleur (tab. III).

Dans nombre des maisons considérées, de faibles quantités de bois sont utilisées en plus de l'électricité pour le chauffage. Les quantités de bois consommé résultent d'estimations fournies par les occupants et de quantités d'énergie calculées à partir de ces estimations et à l'aide de certains facteurs. Les données relatives à la consommation de bois sont par suite relativement vagues et incomplètes, ce qui accroît la difficulté d'établissement

Consommations annuelles et spécifiques déterminées à partir des modèles de régression les plus favorables. Consommation totale (sept. 1983) Tableau III

Système de chauffage	Nombre de périodes d'enquêtes de 12 mois	Consommation annuelle kWh/an	Consommation annuelle kWh/m³/an
Chauffage électrique direct (radiateurs, plafond, plancher ou combinaison)	541	19 100	45,6
Chauffage électrique direct (récupération de chaleur de la ventilation)	96	18 000	42,8
Systèmes à circulation d'eau (stockage)	49	23 900	56,8
Chauffage par air chaud (stockage)	200	23 100	54,8
Pompe à chaleur sur sol	183	13 600	32,4
Pompe à chaleur sur air extrait	57	17 400	41,4
Chauffage au mazout	44	30 500	72,6

de modèles de consommation fiables. La consommation de bois varie considérablement suivant les divers types de chauffage analysés. En gros, une sur deux des maisons étudiées utilise du bois comme chauffage d'appoint. La consommation moyenne de bois correspond à 2...5 kWh/m³/an avec tous les systèmes de chauffage, à l'exception de ceux pour lesquels le bois est une source de chaleur importante (chauffage électrique direct, chauffage électrique par circulation d'eau ou chauffage par air et chaudière à bois). La consommation moyenne de bois dans ces systèmes est d'environ 10 kWh/m³/an.

2.6 Consommation d'énergie par le chauffage au mazout

Les modèles de consommation d'énergie dans les maisons chauffées au mazout sont basés sur les relevés effectués pendant l'hiver 1981/82. L'analyse a porté sur 48 maisons chauffées au mazout. Elles sont relativement récentes; leur âge moyen ne dépaissait pas 2,8 ans à la fin 1981. La consommation mensuelle a été déterminée à partir du temps de fonctionnement effectif enregistré par des compteurs montés sur chaque brûleur à mazout et des spécifications des brûleurs.

Le calcul, effectué selon les modèles les plus favorables de consommation de mazout figurant dans les résultats de recherche, donne une consommation de la maison type de 23 540 kWh/an (56,0 kWh/m³/an). Calculé à l'aide des caractéristiques de la maison type, chaque modèle implique une consommation totale de combustible de 59 ± 5 kWh/m³/an pour les maisons chauffées au mazout.

Compte tenu de la consommation mensuelle des maisons chauffées au mazout, la consommation spécifique d'électricité des ménages peut être estimée à 11...12 kWh/m³/an. Cela correspond à une consommation annuelle de 4600...5000 kWh/an pour la maison type.

La consommation annuelle a été estimée à partir de la distribution d'électricité des ménages au cours des mois successifs calculée à partir de l'autre objectif de l'étude. La consommation annuelle par les brûleurs à mazout et les auxiliaires est estimée à environ 1,25 kWh/m³/an.

2.7 Consommation d'énergie pendant la 1re et la 2e année de fonctionnement

La consommation d'énergie de certaines maisons ayant fait l'objet de cette enquête de suivi a été surveillée pendant plus de deux ans. Les différences entre les niveaux de consommation d'énergie pendant la première et la seconde année ont été calculées dans ce cas. Cette partie de l'enquête a été étendue à des maisons appartenant au

Coûts d'exploitation de systèmes de chauffage de maisons unifamiliales, aux tarifs moyens (sept. 1983) Tableau IV

Système de chauffage				1	1b	2	3	4	5	6
	Consommation spécifique kWh/m³/an			Coûts d'exploitation Fmk/an						
Coûts de l'énergie[1])	jour	nuit	total							
mazout	–	–	58							3940
électricité directe	15	18	33	2870						
électricité directe avec récupération de chaleur	13	17	30		2590					
circulation d'eau	8	36	44			3430				
chauffage par air chaud	5	37	42				3180			
pompe à chaleur sur sol	12	7	19					1770		
pompe à chaleur (air extrait)[2])	19	10	29						2720	
Electricité domestique	5200 kWh/an									
– tarif général										1460
– tarif chauffage électrique	jour: 73%, nuit: 27%			1190	1190	1190	1190	1190	1190	
Charges annuelles fixes										
électricité				780	780	780	780	780	780	270
coût d'entretien				130	200	250	400	600	400	600
Total				4970	4760	5650	5550	4340	5090	6270

Prix de l'énergie
- mazout (1 l = 10 kWh) 1,616 Fmk/l
- électricité
  - tarif général 0,28 Fmk/kWh
  - tarif chauffage jour 0,251 Fmk/kWh
  - nuit 0,171 Fmk/kWh

1 Chauffage électrique direct
1b Chauffage électrique direct avec récupération de chaleur de la ventilation
2 Chauffage par circulation d'eau avec accumulateur
3 Chauffage par air chaud avec accumulateur
4 Pompe à chaleur sur sol
5 Pompe à chaleur, air extrait
6 Chauffage au mazout

[1]) Chauffage et eau chaude sanitaire
[2]) Relevé moyen

Coûts d'achat (Fmk) de systèmes de chauffage d'une maison unifamiliale, complets, avec l'équipement et l'installation. Maison type: 120 m², 420 m³ (sept. 1983) Tableau V

Système de chauffage	1	1b	2	3	4	5	6[1])
Chaudière ou accumulateur (1,5 m³)			7 500	7 500			12 900
Accumulateur d'eau chaude sanitaire	4 500	4 500					
Pompe à chaleur et accumulateur					25 000	23 100	
Tuyauterie enterrée					4 700		
Dispositif de chauffage par air chaud, ventilation	3 800	7 000	3 800	10 500	3 800		3 800
Radiateur ou système de distribution d'air	7 300	7 300	10 300	6 500	10 700	6 500	9 600
Travaux électriques supplémentaires	2 800	2 800	3 000	3 000	1 400	1 400	1 700
Appareils et installation	18 400	21 600	24 600	27 500	45 600	31 000	28 000
Travaux supplémentaires de construction	–	500	1 000	1 500	1 000	1 000	4 000
Coût du terrain (2000 Fmk/m²)	2 000	2 000	8 000	8 000	4 000	4 000	12 000
Coût d'achat total	20 400	24 100	33 600	37 000	50 600	36 000	44 000

1 Chauffage électrique direct
1b Chauffage électrique direct avec récupération de chaleur de la ventilation
2 Chauffage par circulation d'eau et accumulateur
3 Chauffage par air chaud et accumulateur
4 Pompe à chaleur, géothermie
5 Pompe à chaleur, air extrait
6 Chauffage au mazout
[1]) State Technical Research Centre 98: Grounds guiding the selection of heating mode

groupe du chauffage électrique direct, sans aucune forme de récupération de chaleur, ainsi qu'aux systèmes de chauffage par air chaud et de pompes à chaleur sur le sol avec accumulateur de chaleur. Dans ces groupes, une étude comparative de la consommation d'électricité a été effectuée pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude sanitaire.

Dans le cas du chauffage électrique direct et des pompes à chaleur sur le sol, la consommation au cours de la seconde année tend à être légèrement supérieure à celle de la première année. La consommation de combustible supplémentaire est également plus élevée au cours de la seconde année. Dans le cas du chauffage par air chaud avec accumulateur de chaleur, la consommation au cours de la seconde année est inférieure de 9% à celle de la première année. Ces maisons étaient toutefois peu nombreuses, de sorte que le résultat n'est peut-être pas fiable. Les valeurs en degrés-jours applicables aux divers groupes pendant la première année ont été supérieure de 2...3% aux valeurs correspondantes de la seconde année. La différence entre les consommations d'énergie pendant la première et la seconde année ne semble pas significative.

3. Sommaire

Les forts écarts des données de consommation rendent difficile l'estimation de la consommation d'énergie dans les maisons unifamiliales. Même une analyse par système de chauffage fait apparaître un écart de 20...50%, inexpliqué par les concepteurs du modèle. La plus grande partie de l'écart est explicable par des différences sur les habitudes de consommation et des niveaux variables d'équipement des maisons. En général, les différences de consommation d'eau chaude sanitaire sont sans aucun rapport avec le type du système de chauffage, contrairement à la consommation pour le chauffage. Toute comparaison entre les diverses solutions de chauffage doit donc porter essentiellement sur la consommation pour le chauffage des locaux.

Parmi les divers systèmes de chauffage, les pompes à chaleur présentent la plus faible consommation d'énergie. Les calculs effectués pour la maison type font apparaître une consommation totale (environ 6000 kWh/an) inférieure de 30% à celle de toutes les autres maisons étudiées comportant un chauffage électrique direct. La consommation est également un peu plus faible dans les systèmes comprenant une pompe à chaleur à air extrait ou les systèmes équipés pour récupération de la chaleur de ventilation.

Les résultats montrent que dans le cas d'un calcul avec les valeurs de la maison type, les maisons du groupe de référence chauffées au mazout consomment 70% environ de plus (10 000 kWh/an environ) pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude que les maisons à chauffage électrique direct. Jusqu'à présent, des données relatives aux maisons chauffées au mazout n'ont été disponibles que pour la période d'hiver. Aucune conclusion finale concernant le chauffage au mazout ne pourra donc être faite avant de disposer de données suffisantes relatives aux mois d'été.

Parmi les divers systèmes de chauffage, les applications de la pompe à chaleur (pompe à chaleur sur le sol, puis pompe à chaleur à air extrait) se caractérisent par les plus faibles coûts d'exploitation, le chauffage électrique direct venant en second. Les tableaux IV et V indiquent les coûts d'exploitation et d'achat des divers systèmes, selon l'indice des prix de septembre 1982.