

Le potentiel de stockage d'énergie électrique et thermique dans les maisons à faible consommation d'énergie

H. Monteyne, M. De Paepe

Vakgroep Electromechanica, Systeem- en Metaalengineering

Universiteit van Gent - UGent

Sint-Pietersnieuwstraat 41, 9000 Gent

Recherche dans le cadre du prix de la Fondation Burnay à l'occasion du 75ème anniversaire de l'Atic

Introduction

Le "Green Deal" européen accélérera la réduction de nos émissions de CO₂, en nous rapprochant d'un nouvel objectif de 55 % de réduction des émissions par rapport à 1990 d'ici à 2030. Pour les bâtiments, une série de mesures a été annoncée pour transformer notre parc immobilier. Dans ce domaine, le Greendeal se concentre sur l'efficacité énergétique, en instaurant un prix sur le CO₂ et en réduisant davantage la demande énergétique des bâtiments privés et publics. Le chauffage des bâtiments au moyen de combustibles fossiles est également visé.

Le Green Deal vise également à ce que 40 % de l'énergie finale utilisée soit fournie par des sources renouvelables d'ici 2030. En conséquence, 49 % de l'approvisionnement énergétique des bâtiments devrait provenir de sources renouvelables. Cette évolution s'accompagnera d'une électrification poussée, dans laquelle la pompe à chaleur jouera un rôle crucial.

L'utilisation flexible des énergies renouvelables dans les bâtiments nécessitera un stockage local de l'énergie. La recherche sur les batteries et leur utilisation dans les bâtiments est en plein essor. Le stockage de l'énergie thermique en est encore à ses débuts. Mais ce potentiel devra également être exploité.

C'est ce qui a conduit l'ATIC à confier une mission de recherche sur ce thème à l'UGent dans le cadre de la Fondation Burnay. En collaboration avec des chercheurs de l'UGent, l'ATIC a étudié les possibilités de stockage de l'énergie dans les maisons familiales à faible consommation d'énergie équipées de pompes à chaleur.

La question de l'étude était de savoir dans quelle mesure le stockage de l'énergie peut soulager le réseau par l'auto-utilisation et dans quelle mesure la fraction utilisable de la production d'énergie renouvelable sur une maison peut être maximisée. Dans la foulée, on peut se demander dans quelle mesure il est possible de réduire, voire d'annuler, la demande d'électricité de pointe du réseau.

À cette fin, un vaste ensemble de simulations a été réalisé sur des bâtiments résidentiels individuels ayant une faible demande d'énergie pour le chauffage. Pour ces maisons, la demande de chauffage a

été déterminée sur une année entière avec des pas de temps de 3 minutes. La consommation d'énergie des appareils électriques a également été prise en compte, avec un profil de consommation dans le temps. L'étude montre que les bâtiments dotés d'une enveloppe performante sont une condition préalable pour rendre le stockage intéressant. Mais l'étude montre également qu'une combinaison judicieuse du stockage d'énergie thermique et du stockage électrique dans des batteries pourrait être intéressante pour l'avenir.

Détermination des besoins en chauffage

Différents niveaux de performance de l'enveloppe du bâtiment ont été pris en compte pour les simulations, et cet article se référera à ces types de bâtiments en utilisant la convention de dénomination suivante : 15 kWh/m²a, 30 kWh/m²a, 60 kWh/m²a. Cette dénomination correspond à une demande énergétique annuelle par mètre carré. Pour atteindre ce niveau d'énergie, l'enveloppe du bâtiment et la stratégie de ventilation ont été adaptées pour chaque type de bâtiment. Sur la base de simulations dynamiques dans TRNSYS17, la demande de chaleur pour le chauffage a été déterminée au fil du temps pour chaque logement.

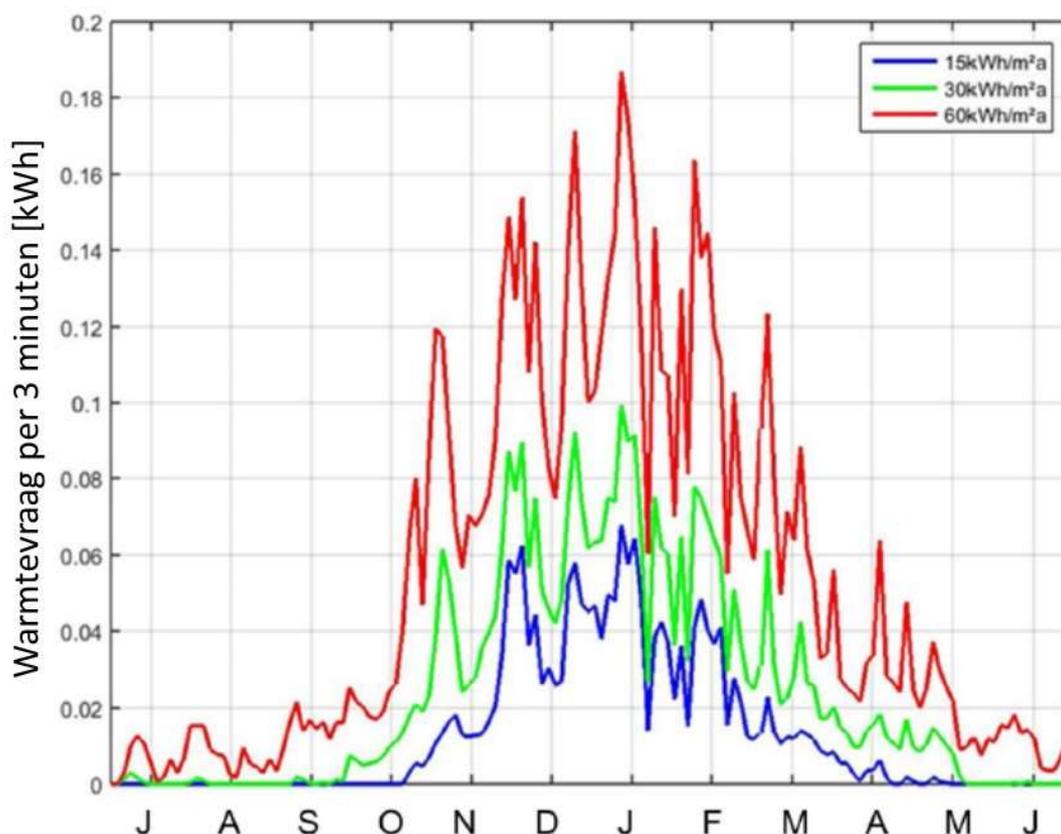


Figure 1 : Demande de chaleur au fil du temps

La figure 1 montre l'évolution de la demande de chaleur pour les trois types de bâtiments, les mois de décembre et janvier (hiver) étant centraux pour plus de clarté. La figure 1 montre que l'importance de la demande de chauffage de pointe en hiver n'est pas proportionnelle au niveau d'utilisation énergétique défini. Bien qu'une maison dont la demande annuelle d'énergie pour le chauffage est de 15 kWh/m²a ait une demande annuelle totale d'énergie qui représente 25% de celle d'une maison de 60 kWh/m²a, la demande de pointe pour le chauffage atteint même 37% de la demande de pointe d'une maison de 60 kWh/m²a. Autrement dit, la demande de chauffage de

pointe ne diminue pas proportionnellement à la réduction de la demande de chaleur. Une maison très économe en énergie nécessite beaucoup moins d'heures de chauffage en basse saison, alors qu'aux heures les plus froides, la demande en électricité peut encore être importante. Il s'agit d'une première observation importante lorsqu'on examine l'utilité du stockage de l'énergie.

Système de production d'énergie

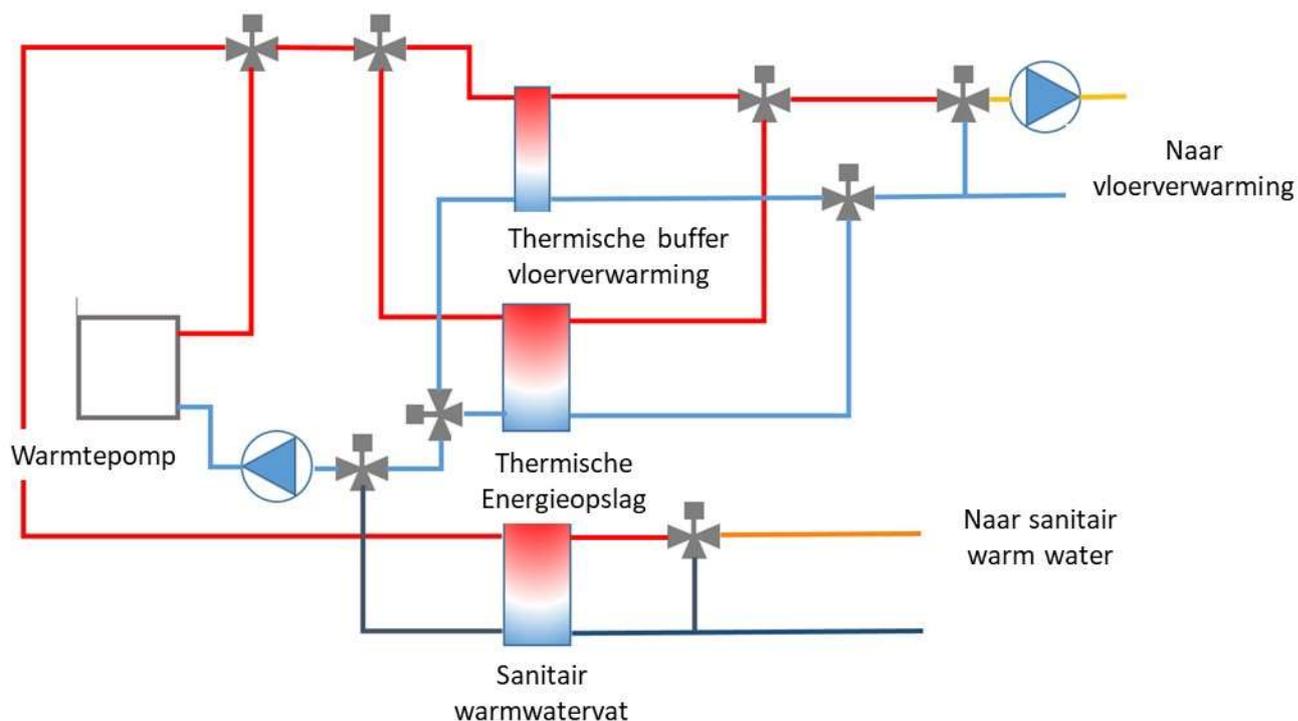


Figure 2 : Schéma du système de chauffage

Toutes les maisons ont été équipées d'un système de chauffage de la même manière, comme le montre la figure 2. La base est une pompe à chaleur avec chauffage par le sol (avec sa propre capacité thermique en fonction de la teneur en eau estimée). Cette teneur en eau constitue un tampon thermique initial dans le système. Le choix du système de pompe à chaleur tient compte de l'électrification poussée du chauffage prévue après 2030. Dans le même temps, on peut étudier l'impact de cette situation sur la demande d'électricité. En outre, un réservoir tampon est prévu pour le stockage de l'énergie thermique. Il y a également un réservoir d'eau alimenté par la pompe à chaleur pour l'eau chaude sanitaire.

Des panneaux solaires photovoltaïques et des panneaux solaires thermiques seront également ajoutés à la maison. Enfin, une batterie est également prévue pour stocker l'énergie électrique. La figure 3 illustre le schéma complet de l'approvisionnement en énergie et montre également la possibilité de se connecter au réseau.

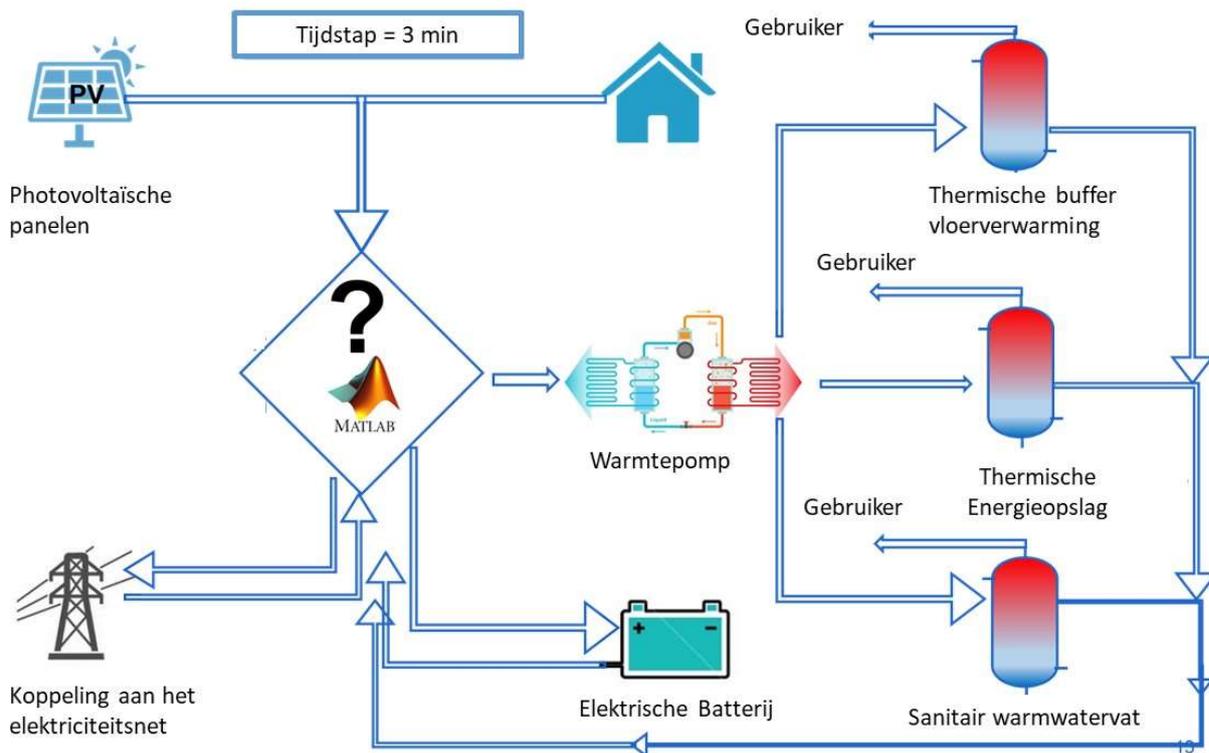


Figure 3 : Approvisionnement complet en énergie des logements

Outre la demande d'énergie pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, chaque logement a également une demande d'énergie pour les appareils électriques. Dans ce projet, la consommation d'énergie de base pour une maison unifamiliale est prise comme étant de 5011 kWh par an, telle que mesurée dans le projet LINEAR. Dans ce projet, les maisons individuelles ont été suivies dans des familles de 2 enfants où les deux parents travaillent. Les appareils ménagers sont ceux typiquement nécessaires à une famille et la cuisine se faisait uniquement sur une cuisinière électrique. Le chauffage de ces maisons se faisait au gaz naturel et la consommation d'énergie des appareils était donc découplée de la demande de chaleur.

La stratégie de contrôle est au cœur du schéma de la figure 3. La stratégie de contrôle détermine comment la demande d'énergie est satisfaite. À tout moment, la demande d'énergie pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et les appareils électriques est déterminée par tranches de 3 minutes. La production d'eau chaude sanitaire est toujours prioritaire. Si les panneaux photovoltaïques ou la batterie ne peuvent fournir suffisamment d'énergie à cette fin, l'énergie est prélevée sur le réseau. L'énergie thermique est stockée dans le tampon thermique avec la pompe à chaleur, si la batterie est chargée à plus de 50%.

S'il y a une demande de chauffage, on vérifie d'abord si, dans le pas de temps donné, la capacité en eau du chauffage par le sol peut fournir cette chaleur. La pompe à chaleur peut alors charger le stockage d'énergie thermique à ce moment-là. Si ce n'est pas le cas, on vérifie alors si la batterie contient suffisamment d'énergie pour fournir cette énergie via la pompe à chaleur. Si ce n'est pas le cas (par exemple parce qu'il y a un besoin d'eau chaude sanitaire au même moment), le stockage de l'énergie thermique est alors sollicité. Si cette dernière n'est pas suffisamment chargée, la pompe à chaleur fournira l'énergie en prélevant de l'électricité sur le réseau.

L'énergie électrique va d'abord à la pompe à chaleur, puis aux appareils ménagers et enfin à la batterie. Si les panneaux photovoltaïques ne produisent pas d'énergie, la batterie est sollicitée en premier, puis le réseau.

Demande d'énergie sans stockage

Sans stockage d'énergie, la pompe à chaleur nécessite 1370 kWh d'énergie électrique sur une base annuelle pour une maison de 15kWh/m²a et 3374 kWh pour une maison de 60kWh/m²a. Pour le logement de 15kWh/m²a, la demande de chauffage est principalement en hiver, la pompe à chaleur fonctionne donc à un COP plus faible.

La figure 4 montre la production d'énergie de panneaux PV de 25 m² et de 100 m² par rapport à la consommation d'énergie d'une maison de 60 kWh/m²a. La consommation d'énergie est divisée en demande d'eau chaude sanitaire (ligne pointillée rouge), la somme de la demande d'eau chaude sanitaire et des appareils ménagers (toujours avec une demande énergétique annuelle de 5011 kWh - ligne pleine jaune) et la somme de l'eau chaude sanitaire, des appareils ménagers et du chauffage avec la pompe à chaleur (ligne pleine orange).

Cette figure montre clairement que 25 m² de panneaux photovoltaïques peuvent couvrir la demande énergétique des appareils et de l'eau chaude sanitaire en été.

Nous constatons également que même 100 m² de panneaux photovoltaïques en hiver ne suffisent pas à répondre à la demande d'énergie pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et les appareils ménagers. L'ajout d'une batterie ou d'un stockage thermique permettra donc d'utiliser les pics de production pour faire face aux baisses de production.

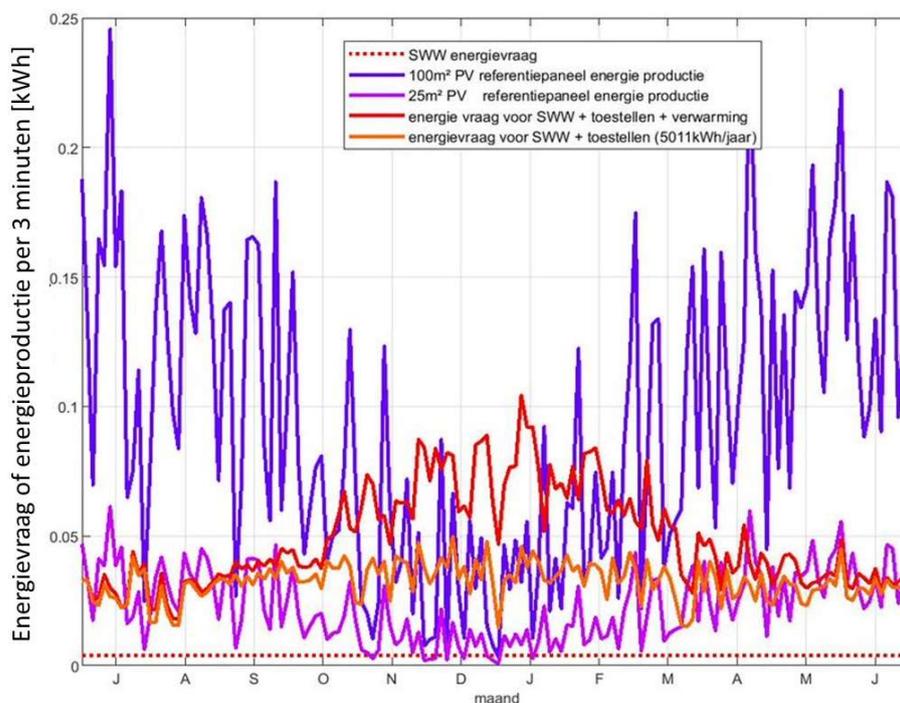


Figure 4 : Production d'énergie électrique par les PV et demande d'énergie pour les applications, sans stockage d'énergie

Fraction solaire (avec stockage)

Si nous ajoutons un stockage d'énergie (batterie ou stockage thermique) à la maison, nous pouvons vérifier comment la fraction solaire change. La fraction solaire peut être définie pour chaque pas de temps par :

$$\phi_S = \frac{\sum_{k=k_0}^{k_{\max}} (P_P(k) - P_{P,net}(k))}{\sum_{k=k_0}^{k_{\max}} P_L(k)}$$

FRACTION SOLAIRE F :

Où PP est la production d'énergie des panneaux PV à l'étape k, PL est la demande d'énergie de l'ensemble de la maison à l'étape k et PP, net est la partie de la production qui ne peut pas être utilisée instantanément à l'étape k (ni pour couvrir la demande PL ni pour alimenter le stockage) et qui est donc réinjectée dans le réseau à l'étape k. Cette fraction solaire est donc une mesure de la quantité d'énergie solaire provenant des panneaux PV qui est utilisée pour l'autoconsommation sur une base annuelle.

Nous allons successivement analyser comment une batterie électrique, un tampon thermique et leur combinaison affectent la fraction solaire.

La figure 5 montre l'impact de l'ajout d'une **batterie** (avec différentes tailles de batterie, de 2000 kWh à 8000 kWh). La batterie permet d'utiliser davantage d'énergie des panneaux photovoltaïques pour l'autoconsommation à mesure que la taille de la batterie augmente. Dans une maison sans batterie, un maximum de 25% de l'énergie fournie par les panneaux PV peut être utilisé par le bâtiment. Avec une batterie de 8000 kWh, cette part peut aller jusqu'à 50%.

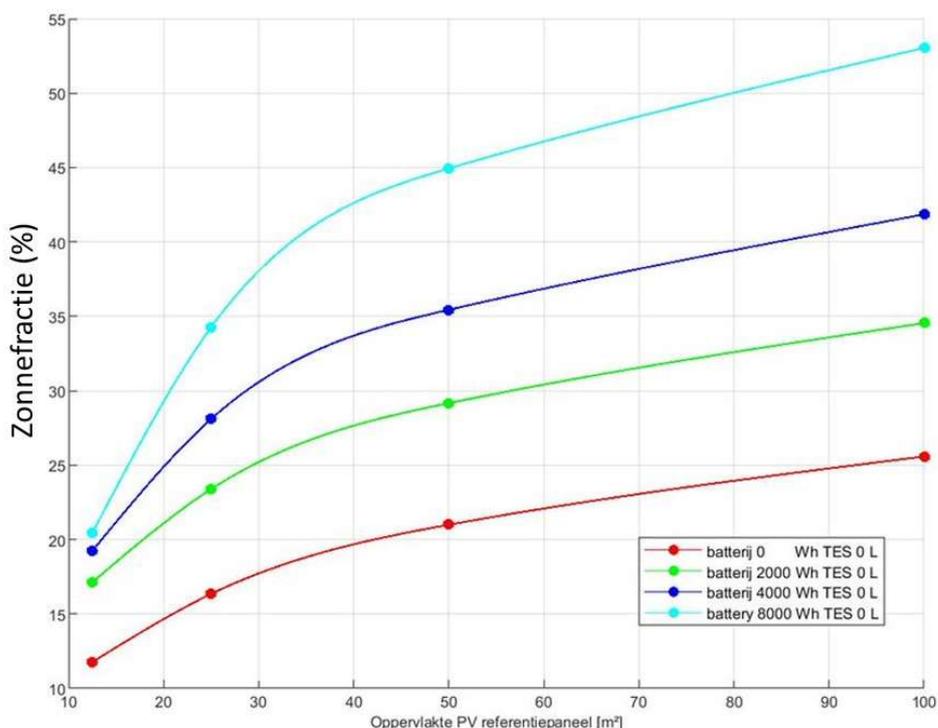


Figure 5 : Fraction solaire pour la combinaison PV et batterie (habitation 60 kWh/m2a)

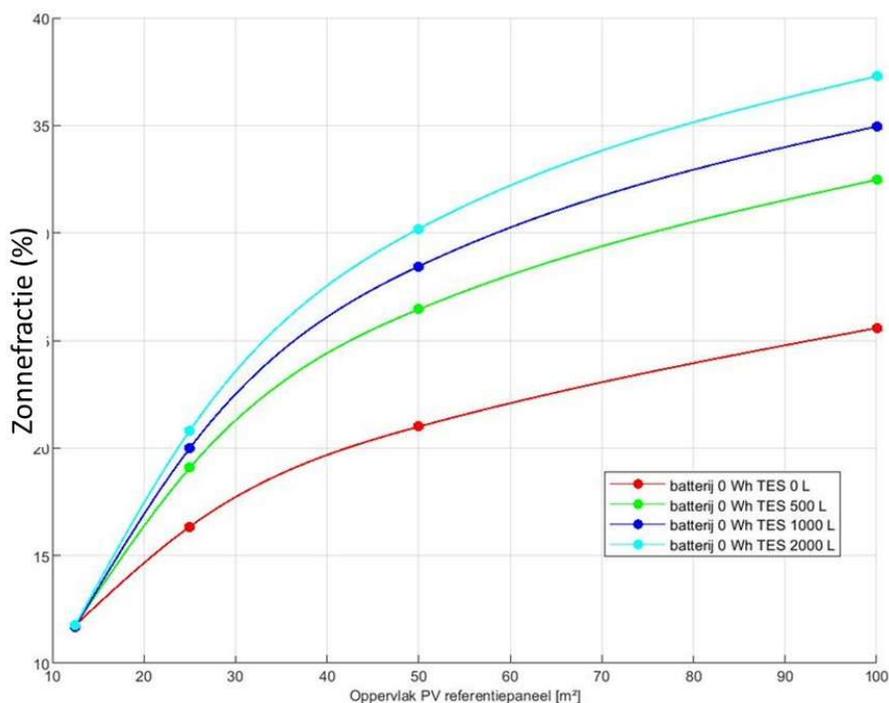


Figure 6 : Fraction solaire pour la combinaison PV et stockage thermique (logement 60 kWh/m²a)

Si nous utilisons uniquement le stockage thermique (**TES : Thermal Energy Storage**), nous observons un comportement similaire. Il convient ici de noter que la fraction solaire ne sera pas aussi élevée (35 % maximum), car le stockage thermique ne peut être utilisé que pour répondre à la demande de chauffage, ce qui n'est donc possible que pendant la saison de chauffe.

Si nous réduisons la demande de chauffage de la maison à 15kWh/m²a (Figure7), nous constatons que la situation ne change guère. Lorsque la quantité de PV installée est faible, le stockage thermique n'a pas d'importance et toutes les courbes coïncident. Ce n'est que lorsqu'il y a suffisamment de panneaux photovoltaïques que la production est suffisante pour stocker dans le tampon thermique ce qui n'est pas utilisé par les appareils ménagers.

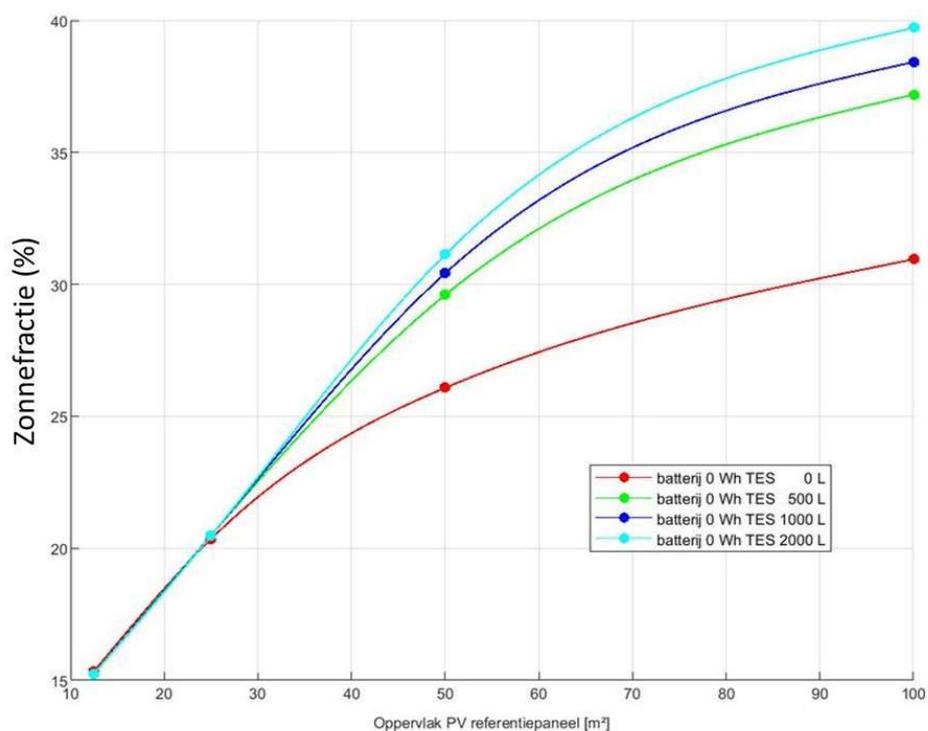


Figure 7 : Fraction solaire pour la combinaison PV et stockage thermique (maison 15 kWh/m²a)

Si l'on combine des batteries et un stockage thermique, cela conduit à une combinaison particulièrement complexe de tailles de batteries et de stockage thermique, comme le montre la figure 8. Dans tous les cas, les 40 premiers m² de panneaux PV contribuent fortement à la croissance de la fraction solaire. Ensuite, la fraction solaire n'augmente que progressivement de 1% par 5m². Plus la batterie électrique est grande, moins l'impact du système de stockage de l'énergie thermique est important.

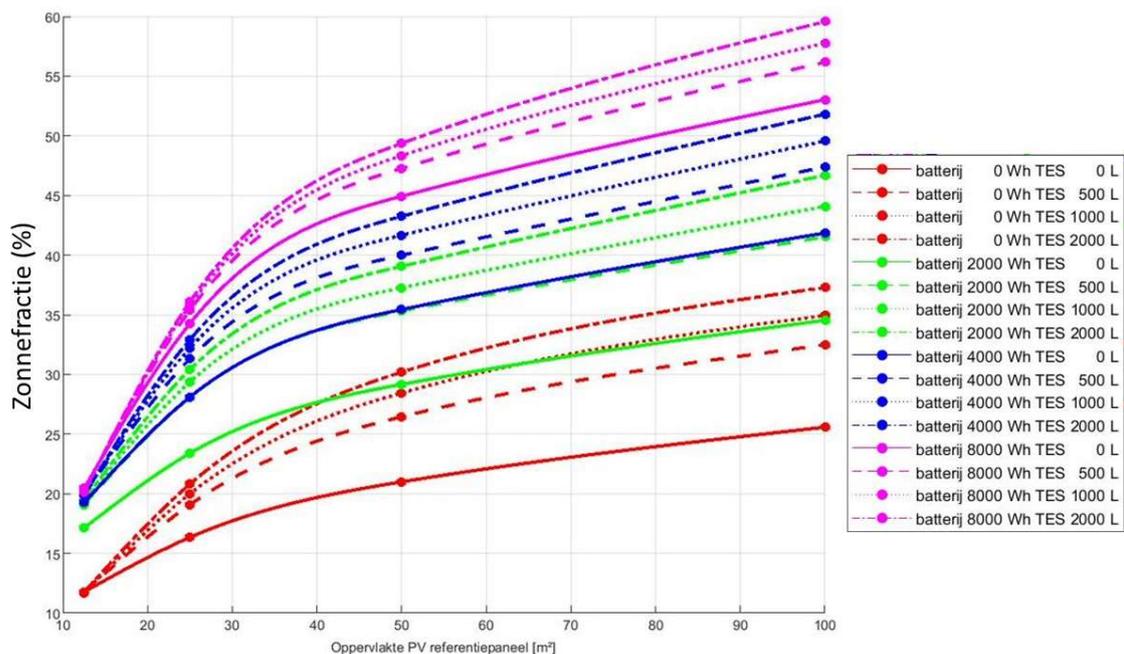


Figure 8 : Fraction solaire pour la combinaison PV, batteries et stockage thermique (maison 60 kWh/m²a)

Comme l'illustre le tableau 1, plusieurs combinaisons sont possibles, conduisant toutes à une fraction solaire de 40%, par exemple. Sur la base de ces combinaisons, le propriétaire du bâtiment sera en mesure de faire le meilleur choix financier.

Un outil de calcul a donc été développé au cours du projet. Cet outil permet de vérifier comment ces différentes combinaisons ont un impact sur la fraction solaire. La figure 9 montre une capture d'écran de l'outil qui a été élaboré dans Excel. Cet outil est disponible sur le site de l'ATIC.

Solar fraction	Battery	Thermal storage	surface PV
	Wh	l	m ²
40	8000	500	30
40	4000	1000	40
40	4000	500	50
41	2000	2000	60
40	2000	1000	70
40	4000	0	90
40	2000	500	90

Tableau 1 : Combinaisons de systèmes atteignant tous une fraction solaire de 40%.

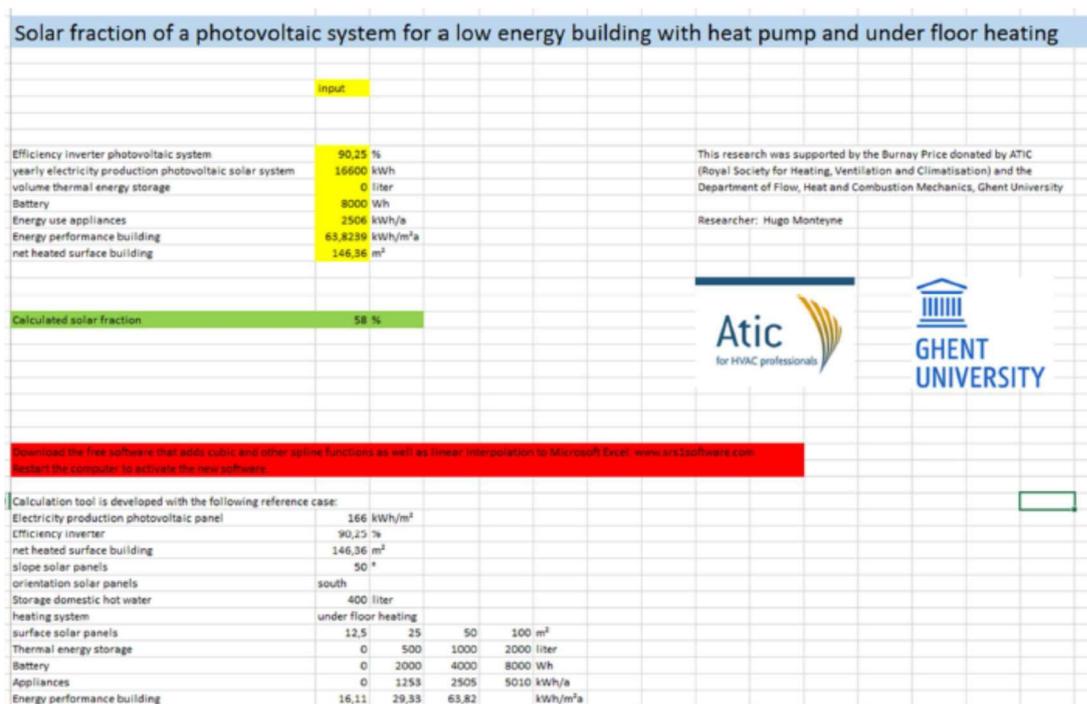


Figure 9 : Capture d'écran de l'outil de calcul

Conclusion

Le stockage de l'énergie est en train de devenir un outil important pour introduire davantage d'énergie renouvelable dans les foyers, réalisant ainsi le "Green Deal" européen.

Le stockage de l'énergie électrique et thermique peut augmenter considérablement la fraction solaire d'un système photovoltaïque : jusqu'à 60% de l'énergie produite peut être utilisée pour l'autoconsommation grâce au stockage. Cependant, même avec un stockage de l'énergie, il n'est pas possible de déconnecter une maison, même avec une faible demande de chaleur, du réseau électrique. Il est possible de trouver différentes combinaisons de tailles de batterie, de tampon thermique et de panneaux PV qui produiront la même fraction solaire.

Ce projet a développé un outil permettant de déterminer la taille du stockage de l'énergie électrique et thermique en fonction de la demande de chaleur et de l'utilisation de l'énergie électrique pour une maison familiale. Cela vous permet d'estimer le nombre de panneaux photovoltaïques et la capacité de stockage dont vous avez besoin pour arriver à une certaine fraction de couverture de votre demande énergétique. L'outil est maintenant disponible et peut être affiné.

Mot de remerciement

Les auteurs souhaitent exprimer leurs remerciements explicites à l'ATIC et aux membres de son conseil d'administration. Leur confiance et leur retour d'information ont contribué à une étude bien fondée avec une vision de la pratique quotidienne. Un grand merci à Joris Mampaey pour ses conseils et à Véronique Matthys pour son soutien administratif.