

# Ефективност на термопомпите въздух-вода при различни климатични условия и влиянието ѝ върху енергийните характеристики на еднофамилни жилищни сгради

Иван Димчев<sup>1\*</sup>, Борислав Станков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Технически университет София, катедра Топлинна и хладилна техника, 1156, София, България, \*E-mail: [ivan.dimchev@tu-sofia.bg](mailto:ivan.dimchev@tu-sofia.bg)

**Абстракт:** Делът на използваните термопомпени системи в жилищното строителство се увеличава значително през последните две десетилетия. Съществен интерес към термопомпените системи се наблюдава, както в Европа, така и в България през последните години, именно защото те се класифицират като съоръжения, които използват възобновяема енергия. От своя страна възобновяемата енергия има решаваща роля за определянето на това дали една сграда е с близко до нулево потребление на енергия. Енергопотреблението на сградите зависи от ефективността на използваните топлинни източници като при въздушните термопомпи консумираното електричество, зависи от коефициента на преобразуване, който от своя страна е функция на параметрите на външния въздух. Настоящата работа има за цел да анализира до колко сезонният коефициент на преобразуване (SCOP) деклариран от производителя се различава от преизчисления спрямо локалните климатични данни и как той влияе на енергопотреблението на еднофамилните жилищни сгради. Анализът показва, че разликата е до 24.8%, като за определени климатични зони единствено използването на термопомпи за отопление и БГВ няма да е достатъчно за постигане на клас на енергопотребление „А“.

**Ключови думи:** термопомпи; коефициент на преобразуване; енергопотребление; сгради с близко до нулево потребление на енергия

## 1. Въведение

Най-широко разпространените термопомпи, както у нас, така и по света, по своята същност представляват парокompресорни хладилни системи, задвижвани с електричество. Термопомпите се използват все по-често като източник на топлина и студ в жилищни и обществени сгради. Техният пазарен дял в Европа през последните десет години се е увеличил близо три пъти [1]. Основната причина към момента, поради която техният дял продължава значително да нараства, по данни на [2], е че термопомпените системи се класифицират като съоръжения, които използват възобновяема енергия, като постепенно по този начин да изместват конвенционалните топлинни източници. В тази връзка, термопомпите на практика имат ключова роля за постигане на целите, които си е поставил Европейският съюз а именно до 2050 г. Европа да бъде първият континент, неутрален по отношение на климата [3].

Най-често използваните термопомпи във водните отоплителни системи, спрямо флуида, от който получават енергия, биват „въздух-вода“ и „вода-вода“. Ръстът в продажбите се дължи именно на термопомпи „въздух-вода“ поради лесния начин за инсталиране и създаването на високо ниво на комфорт

но значително се влияят от климатичните условия, при които работят. Използваните основно за битови цели термopомпи, биват два вида: от разделен тип (комплект вътрешно и външно тяло) и моноблок.

С оглед на последните изменения в нормативната уредба, а именно Наредба № РД-02-20-3 от 9 ноември 2022 г.) [4], всички новопостроени сгради от началото на 2024 г., трябва да бъдат проектирани със сградни системи, които да използват поне 55% потребна енергия от възобновяеми източници (ЕВИ) на база енергопотреблението за отопление, вентилация, охлаждане, гореща вода за битови цели (БГВ) и осветление.

Ефективността на термopомпите в отоплителен режим се изразява със сезонния коефициент на преобразуване (SCOP). От него зависи, както потреблението на енергия, съответно енергийния клас на сградата, така и делът на ЕВИ. Различни автори [5],[6],[7] през годините изчисляват SCOP но той строго зависи от локалните климатични данни, което води до същественият и слабоизследван въпрос, а именно, дали винаги използването на термopомпи ще гарантира удовлетворяването на това изискване за всички 9 климатични зони, съгласно [4], които са идентифицирани на територията на България. Използваният хладилен агент е важен, както от екологична гледна точка, така и по отношение на ефективността на системата [8],[9].

## 2. Идентифициране на проблема

При термopомпите консумираното електричество зависи от техния коефициент на преобразуване (COP). COP представлява отношението на отоплителната мощност към електрическата мощност за извършване на обрания кръгов процес, като се изразява в kW/kW. По отношение на определяне на енергопотреблението на дадена сграда, както на ниво проект, така и при обследване за енергийна ефективност или предлагане на енергоспестяващи мерки съществено значение има сезонният коефициент на преобразуване (SCOP). SCOP представлява годишната енергия необходима за отопление разделена на годишната консумация на електричество и съответно се изразява в kWh/kWh.

В тази връзка нормативната база [4] на Република България през 2022 г. бе допълнена, като бяха включени изисквания за адаптиране на енергийните характеристики на термopомпите към реалните експлоатационни условия, както по отношение на системите, които ще обслужват, така и по отношение на външните климатични условия.

Съгласно наредбата за енергийните характеристики на сгради за изчисляване на потреблението на енергия през отоплителния период се използва сезонният коефициент на преобразуване в работен режим – SCOP<sub>ON</sub>. Той включва в себе си, както работата на термopомпата, която се характеризира с SCOP<sub>NET</sub> (за термopомпа „въздух-вода“ отчита само работата на компресора и вентилаторите) така и евентуална работа на допълнителен електрически нагревател, в случай на необходимост.

- **Климатични данни:**

За определяне на SCOP<sub>ON</sub> се използва методиката описана в стандарт БДС EN 14825 [11] с климатични данни под формата на бинове. В тази връзка в настоящата работа е прието да се използва актуалния пакет с база данни IWEC2 на ASHRAE за представителна година. От тази база данни са избрани

по едно населено място за всяка от деветте климатични зони, за Кл. з. 1 – Варна, Кл. з. 3 – Русе, Кл. з. 4 – Плевен, Кл. з. 5 – Бургас, Кл. з. 6 – Пловдив, Кл. з. 7 – София, Кл. з. 8 – Кърджали и Кл. з. 9 – Сандански. Изключение прави Зона 2, за която няма представително населено място в IWEC2. Поради тази причина за Климатична зона 2 са използвани осреднени часови данни за периода 2004 ÷ 2023 г. за град Шумен. Данните са взети от метеорологичната база с данни The POWER Project на NASA и са обработени до бинове за целите на настоящия анализ.

- **Данни за сградата и сградните системи:**

Разгледана е еднофамилна жилищна сграда с отопляема площ  $A = 173 \text{ m}^2$  и нетен обем  $V_n = 389 \text{ m}^3$ . Сградата е на три етажа, без сутерен. Характеристиките на ограждащите елементи близки до нормативните изисквания, а именно: стени  $U = 0.23 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $A = 233 \text{ m}^2$ ; прозорци  $U = 1,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $A = 53 \text{ m}^2$ ; покрив  $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $A = 63 \text{ m}^2$ ; под  $U = 0,51 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $A = 59 \text{ m}^2$ .

Вентилацията е естествена, като кратността на въздухообмена е  $0,41 \text{ h}^{-1}$ . Консумацията на гореща вода за битови нужди е оценена на  $660 \text{ l/m}^2\text{a}$ , при приета температурна разлика  $27,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Товарите от вътрешни източници са както следва: осветление  $0,72 \text{ W/m}^2$ ; уреди с влияние на топлинния баланс  $0,44 \text{ W/m}^2$ ; уреди не влияещи на топлинния баланс  $0,04 \text{ W/m}^2$ ; среднообемната температура, която поддържа отоплителната система в сградата е  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Сградата се обитава средно от 4 човека. Работния режим на всички системи и уреди е приет за 24 часа, 7 дни в седмицата.

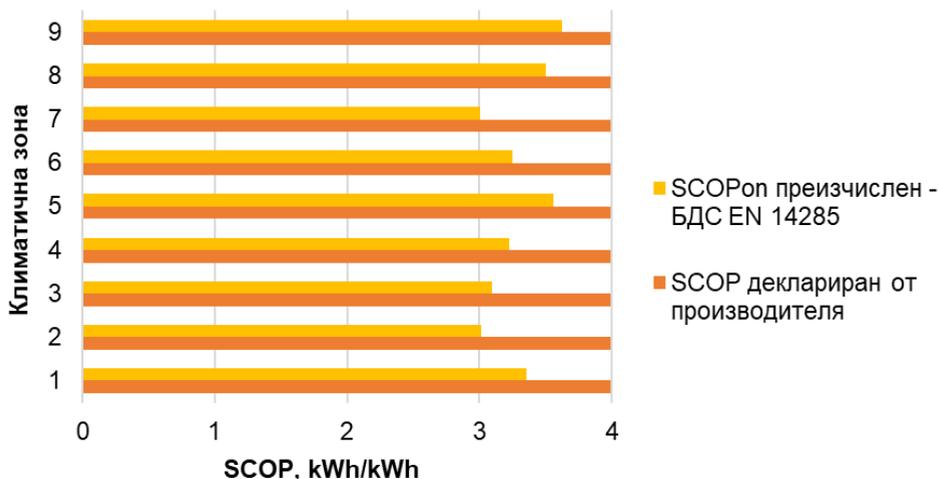
Разликата в отоплителния товар за една и съща сграда, поставена в различните климатични зони, е значителна. За климатична зона 7 - София, ще бъде  $8079 \text{ W}$ , докато за климатична зона 9 (Сандански) ще бъде  $6527 \text{ W}$  или  $19.2\%$  по-нисък.

- **Избор на термopомпа:**

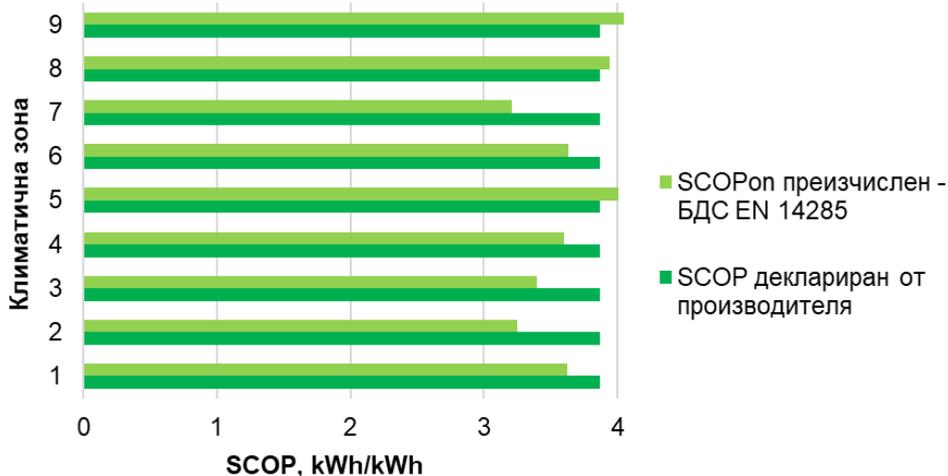
Високата ефективност на термopомпата (SCOP) при частичен товар зависи от правилния избор на съоръжението, изходящата температура на топлоносителя и климатичните условия на населеното място. Според проучване [10], върху ефективността на термopомпите влияние оказва управлението на компресора – on/off или инверторно, с около  $10\%$ . Също така и обезскрежаването на съоръжението може да доведе до редуциране на SCOP с до  $5.4\%$  [11], изследването е извършено за района на северна Италия, който също попада в умерения климат. Поради тази причина са разгледани два варианта за избор на термopомпа от разделен тип тъй като те са най-разпространени към момента на извършване на изследването. Вариант 1 –  $8 \text{ kW}$  без електрически нагревател и Вариант 2 –  $4 \text{ kW}$  с  $4 \text{ kW}$  електрически нагревател. В разгледания пример използваните съоръжения работят с хладилен агент R32, управлението на компресорите е инверторно.

### 3. Резултати

Резултатите от преизчисляването на  $SCOP_{ON}$  (без отчитане на обезскрежаването) за всяка климатична зона, сравнени с декларирания SCOP от производителя на термopомпите са представени на Фиг. 1 и Фиг. 2, при работа с топлоносител вода с параметри  $45/40 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**Фиг. 1. Вариант 1 - Термопомпа 8 kW без ел. нагревател**



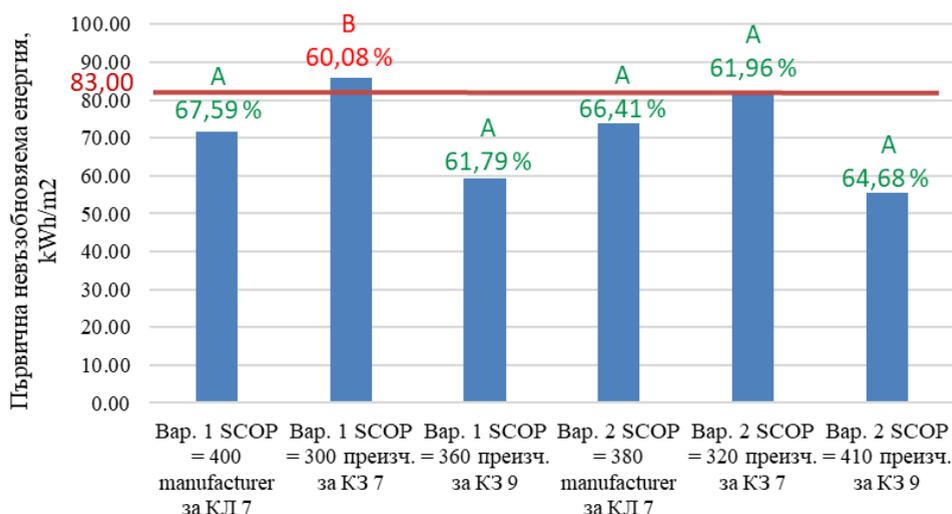
**Фиг. 2. Вариант 2 - Термопомпа 4 kW с 4 kW ел. нагревател**

За климатични зони 2 и 7 разликата между декларирания и преизчисления SCOP е най-голяма, между 9.1 и 24.8% (средно 17.5%), при Вариант 1. При Вариант 2 разликата е от -4.6 до 17.0% (средно 6.0%), което потвърждава твърдението, че преоразмеряването на термопомпата води до голямо отклонение от декларираните стойности. За да работи термопомпата с висок SCOP, същата трябва да е подходящо избрана за конкретните експлоатационни условия.

При правилен избор на термопомпа за климатични зони 5, 8 и 9 може съответното приближение да се изчислява енергопотреблението с представения от производителя SCOP. За всички останали случаи, SCOP следва да бъде преизчислен.

Разлика в SCOP неминуемо води и до разлика в енергопотреблението. За разглеждания пример е симулирано енергопотреблението въз основа на квазистационарния модел, основан на месечни данни за климата, посредством софтуерен продукт EAB Software v. HC 1.0. За целите на симулирането на енергопотреблението е прието, че SCOP в режим за загряване на гореща вода за битови цели съответства на SCOP в режим отопление.

Резултатите от симулацията са показани на Фиг. 3 - първична невъзобновяема енергия, клас на енергопотребление и дял на ЕВИ. Термопомпите разглеждани във Вариант 1 и 2 се използват, както за отопление, така и за осигуряване на гореща вода за битови цели. Горната граница на първичната невъзобновяема енергия за еднофамилни жилищни сгради е 83 kWh/m<sup>2</sup>K, съгласно [4].



**Фиг. 3. Първична невъзобновяема енергия, клас на енергопотребление и дял на ЕВИ**

#### 4. Заключение

Ако се използват данните предоставени от производителя, които са изчислени по [11] за умерен климат, разглежданата сграда в климатична зона 7 и с двете термопомпи попада в изискванията на националната дефиниция за сгради с близко до нулево потребление на енергия. Това обаче ще доведе до сериозна грешка от 16,8% в енергопотреблението тъй като действителния SCOP на 8 kW термопомпа е с близо 24,8% по-нисък от декларирания. Следователно сградата, поставена в климатична зона 7, няма да изпълнява изискванията за близко до нулево потребление на енергия, тъй като с по-ниския SCOP попада в клас В. По-малката термопомпа, ще работи за всички климатични зони с по-висок SCOP, като за Климатична зона 9 ще бъде по-голям от декларирания. Това е така, защото Сандански и голяма част от населените места в климатична зона 9 се доближават повече до топлия климат. Следователно изборът на по-малка термопомпа е по-подходящ за конкретната сграда.

## Литература

1. Novak, T. (2021). European heat pump market. *REHVA Journal*, vol. 58, n. 4, ISSN 1307-3729;
2. European Heat Pump Association. (n.d.), <http://www.ehpa.org/>, последно посетен на 13.02.2023;
3. Pierret, H. (2020). Heat pumps are key to decarbonizing residential heating. *REHVA Journal*, vol. 57, n. 6, ISSN 1307-3729
4. Наредба № РД-02-20-3 от 9.11.2022 г. за техническите изисквания към енергийните характеристики на сгради, МППБ, 2022
5. Zlateva, P., Yordanov, K. (2019). Experimental study of heat pump type air water for heating system performance. *8th International Conference on TE-RE-RD 2019, E3S Web of Conferences*, ISSN: 2555-0403, vol. 112. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911201007>
6. Mouzeviris, G., Papakostas, K. (2022). Study on Air-to-Water Heat Pumps Seasonal Performances for Heating in Greece. *Energies*, 15(1), 279. <https://doi.org/10.3390/en15010279>
7. Pospisil, J., Špiláček, M., Charvat, P. (2019). Seasonal COP of an Air-to-Water Heat Pump when Using Predictive Control Preferring Power Production from Renewable Sources in the Czech Republic, *Energies*, 12(17), 3236. <https://doi.org/10.3390/en12173236>
8. Rossi di Schio, E., Ballerini, V. (2021). The SCOP of an air source heat pump: Comparison between on-off and inverter heat pump. *JP Journal of Heat and Mass Transfer*, 24, 79-86. <http://dx.doi.org/10.17654/HM024010079>
9. Rossi di Schio, E., Ballerini, V., Dongellini, M., Valdiserri, P. (2021). Defrosting of Air-Source Heat Pumps: Effect of Real Temperature Data on Seasonal Energy Performance for Different Locations in Italy. *Applied Sciences*, 11(17), 8003. <https://doi.org/10.3390/app11178003>
10. Höges, C., Wissing, L., Vering, C., Mueller, D. (2023). How to Choose the Best Refrigerant in Heat Pumps from an Ecologic Perspective? Analyzing the Influence of the Evaluation Method. 36th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, pp. 725-737. <https://doi.org/10.52202/069564-0066>
11. БДС EN 14825:2022 - Климатизатори, агрегати за охлаждане на течности и термпомпи с електрически задвижвани компресори за отопление и охлаждане на помещения, търговско и технологично охлаждане. Изпитване и номинални параметри в условия на частично натоварване и изчисляване на сезонни характеристики.