

## OPTIMISATION OF THE OPERATION OF HYBRID HEATING SYSTEMS THROUGH THE INTEGRATION OF THERMAL ENERGY STORAGE

**Alexander Kustelev**

*University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: a.kustelev@mgu.bg*

**ABSTRACT.** The present article examines the possibilities for optimising the operation of hybrid heating systems through the integration of thermal energy storage. The influence of buffer tanks on energy efficiency, operational stability, and the reduction of peak loads is analysed. Through modelling or comparative analysis, the behavior of the system under different operating modes and storage volumes is evaluated. The obtained results allow for determining optimal parameters for improving the efficiency and reliability of the system.

**Key words:** thermal energy storage, energy efficiency, system optimisation.

### ОПТИМИЗАЦИЯ НА РАБОТАТА НА ХИБРИДНИ ОТОПЛИТЕЛНИ СИСТЕМИ ЧРЕЗ ИНТЕГРАЦИЯ НА ТОПЛИННО СЪХРАНЕНИЕ

**Александър Кюстелев**

*Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София*

**РЕЗЮМЕ.** Настоящият доклад разглежда възможностите за оптимизация на работата на хибридни отоплителни системи чрез интеграция на топлинно съхранение. Анализира се влиянието на буферни съдове върху енергийната ефективност, стабилността на работа и намаляването на пиковите натоварвания. Чрез моделиране или сравнителен анализ се оценява поведението на системата при различни режими на работа и обеми на съхранение. Получените резултати позволяват определяне на оптимални параметри за повишаване на ефективността и надеждността на системата.

**Ключови думи:** топлинно съхранение на енергия, енергийна ефективност, оптимизация на системи.

### Въведение

В днешно време се приема за необходимост при изработка на хибридна отоплителна система да се предвиди буферен съд. Той изпълнява ключова роля за оптимизацията на работата на различните източници на топлина. Акумулира произведената енергия, позволявайки равномерно и стабилно подаване на топла вода към отоплителната инсталация, като същевременно намалява честотата на включване и изключване на котела и термопомпата. Освен това съдът улеснява координацията между източниците на енергия и интеграцията на възобновяеми технологии, като слънчеви колектори, осигурявайки ефективност и комфорт в целия отоплителен процес.

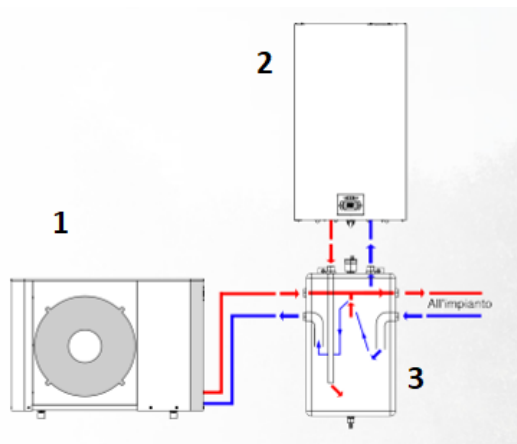
Най-често за постигане на максимална ефективност въпросната отоплителна система представлява подово отопление или преоразмерени радиатори. Колкото е по-голяма площта и мощността на топлоотдаващите компоненти, толкова по-ниска може да е температурата на водата, с която затопляме жилището. Това води до икономия на енергия по два различни начина. Подгръването на вода до по-ниска температура изразходва по-малко количество енергия, без значение дали това е газ или ток. Втората причина е, че при по-малка разлика в температурата между водата в буфера и температурата на въздуха в помещението се получават по-малко загуби на топлина. Буферните съдове почти винаги са изолирани, но това не предотвратява напълно да се предава топлината от водата към въздуха на котелното помещение.

### Въздействие на буферен съд върху ефективността на хибридната система

Разделянето на производството на топлина от моментното пиково потребление позволява на източника на топлина да работи по-дълго и по-равномерно. Модерните високоефективни газови котли и термопомпи изразходват най-малко енергия, когато им се осигури възможност за дълготрайно непрекъснато функциониране с ниско натоварване. Този ефект се постига от повишен обем на водата в инсталацията. При приближаване на желаната температура (настроена в буферния съд) уредите успяват да модулират с ниска мощност, което позволява плавно подгръване на водата и води до значителна ефективност. Начинът на модулация при термопомпените съоръжения е малко по-различен от този на газовите котли.

При изгарянето на газ за подгръване на водата модулацията се случва, като вентилаторът на уредите намалява оборотите си, вкарва по-малко количество смес (газ и въздух), което води до по-слаб пламък в горелката и по-ниска температура на затопляне. При термопомпите за модулацията се грижат едновременно компресорът, вентилаторът на топлообменника, както и циркулационната помпа. При необходимост от по-малко топлинна енергия компресорът забавя честотата на работа, което намалява количеството на хладилен агент, преминал през пълния цикъл.

В двата случая се наблюдава равномерна и икономична работа на уредите, което пряко влияе върху повишената им ефективност.



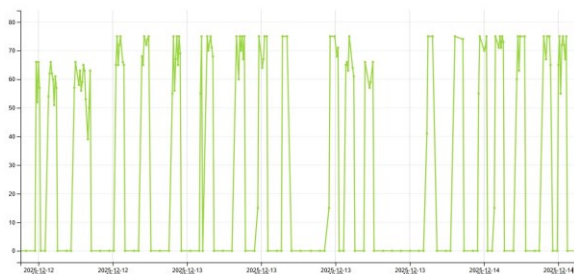
Фиг. 1. Основна схема за подвързване:  
1-Термопомпа, 2 – Газов котел, 3 – Буферен съд

При успоредното свързване на отоплителните уреди се цели възможността за едновременна работа при нужди от голямо количество енергия. (Първоначално стартиране на отоплителната система, високо  $\Delta T$  между външната температура и тази в помещението или големи загуби на енергия). В този случай буферният съд играе роля като хидравлично разделяне на двата източника. Газовият котел, както и термопомпата са оборудвани с циркулационни помпи, които работят с различни дебити. При липса на хидравличен разделител (буферният съд) съществува вероятност от взаимно влияние между помпите, при което дебитът на едната помпа влияе върху другата. Този процес води до неравномерно разпределение на топлината, високи температури на връщащата вода, възможен шум в системата и в дългосрочен план повреда в помпите.

### Сравнение на работата на отоплителен уред с буферен съд спрямо инсталация без буферен съд

Трите основни ползи от буферния съд представляват:

- Съхранение на топлинна енергия
- По-рядко включване и изключване на отоплителните уреди
- Хидравлично разделяне на енергийните източници



Фиг. 2. Работа на термопомпа в отоплителна система без буферен съд

На графиката е изразена работата на компресор на термопомпа в системата без буферен съд. Наблюдават се следните процеси, които се повтарят: често включване,

бързо достигане на максимална честота на компресора (около 75 Hz), рязкото спиране. Причината е малкото количество на топлоносителя в системата, както и бързото достигане на зададената температура. Това не само води до ниска ефективност и нисък комфорт, но също така и драстично намалява „живота“ на компонентите в термопомпата. Причините за този тип работа са две: 1. Преоразмеряване на мощността на термопомпата. 2. Липса на буферен съд и малко количество на водата в инсталацията.



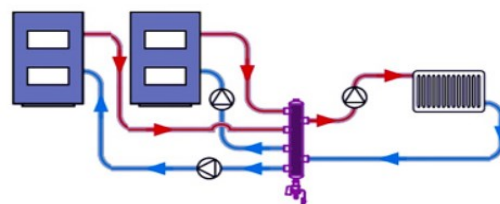
Фиг. 3. Работа на термопомпа в отоплителна система с буферен съд

На (фиг.3.) е показана идентична отоплителна система, като основната разлика с предишната е наличието на буферен съд. Забелязва се по-равномерна работа на компресора на отоплителния уред. Няма нито едно изключване в рамките на няколко дни, което спомага за равномерната и ефективна работа. Рядката цикличност (включване и изключване) на машината ще удължи времето за експлоатация на уреда. Според проучване, направено от един от водещите производители на климатична техника и термопомпи - Carrier Global Corporation, честото включване и изключване (цикличност) и неправилното оразмеряване на уреда могат да намалят експлоатационния срок на една термопомпа средно от 12-15 години до 8-10 години. Това е намаляване на експлоатационния срок между 20% до 47%.

Газовият котел работи с подобен принцип, макар и да не е толкова чувствителен към честите промени. В него компонентите като запалителен електрод, запалителна бубина имат лимит за максимален брой стартирания, след което трябва да бъдат заменени.

### Хидравлично разделяне на източниците на енергия

В случаите на хибридни системи, състоящи се от два или повече източници на топлина е от изключителна важност хидравличното им свързване. Най-често срещаният модел е успоредното присъединяване на отоплителните уреди с помощта на хидравличен разделител или буферен съд.



Фиг. 4. Успоредно свързване чрез хидравличен разделител на хибридна система с 2 източника на енергия

Причината за хидравличното разделяне на двата отоплителни уреда лежи в принципа им на работа.

Ако се вземе под внимание най-често срещаният модел на хибридна система – газов котел и термopомпа количеството на циркулирана вода и дебитите, с които работят се различават значително.

Дебит на водата при газов котел (7-15 l/min)

Дебит на водата при термopомпа (25-40 l/min)

Това налага двата източника на топлина да бъдат хидравлично разделени, за да могат да работят независимо един от друг, без взаимно влияние върху циркуляционните помпи и необходимите дебители.

При липса на хидравлично разделяне често се наблюдават следните проблеми:

- недостатъчен дебит през термopомпата;
- чести аварии и грешки за нисък дебит;
- нестабилна работа на газовия котел;
- шум в инсталацията и повишена скорост на водата;
- неправилно разпределение на топлината към отоплителните кръгове;
- намалена ефективност и по-висок разход на енергия.

Това са основните причини да се разделят отоплителните уреди с буферен съд или хидравлични съединители както е на фиг. 4.

По този начин всеки уред работи в оптималния за него режим. Газовият котел може да функционира с по-голям температурен пад и по-нисък дебит, докато термopомпата поддържа необходимия висок дебит за ефективен топлообмен и стабилна работа на компресора.

### Изчисления за съхранение на енергия

Най-ясно може да се види разликата между двата типа системи, като се пресметне количеството на използваната енергия за функционирането им, както и топлинният капацитет.

За пример ще сравним две стандартни идентични отоплителни системи, като единствената разлика е наличието на буферен съд в отоплителна инсталация.

Система 1:

Подово отопление 100 m<sup>2</sup> = 80 L = 80 kg

Буферен съд 0 литра

Температура на подаване 40°C

Температура на връщане 35°C

Топлинен капацитет на вода 4184 J/g°C

Система 2:

Подово отопление 100 m<sup>2</sup> = 80 L = 80 kg

Буферен съд 100 L = 100 kg

Температура на подаване 40°C

Температура на връщане 35°C

Топлинен капацитет на вода 4184 J/g°C

$$c = \frac{1 \text{ kWh} = 3600000 \text{ J}}{4184} = 0,001162 \text{ kWh}$$

Формула за изчисляване на абсорбирана енергия

$$Q = mc\Delta T \quad (1)$$

където:

Q – абсорбирана енергия [kWh]

m – маса на водата [kg]

c – топлинен капацитет на водата за 1 K x 1 L [kWh]

$\Delta T$  – температурна разлика [K]

Пример 1:

$$Q_1 = mc\Delta T = 80 \cdot 0,001162 \cdot 5 = 0,4648 \text{ kWh}$$

Пример 2:

$$Q_2 = mc\Delta T = (80 + 100) \cdot 0,001162 \cdot 5 = 1,0458 \text{ kWh}$$

$$\Delta Q = Q_2 - Q_1 \quad (2)$$

$$\Delta Q = Q_2 - Q_1 = 1,0458 - 0,4648 = 0,581 \text{ kWh}$$

От изчисленията се разбира, че акумулираната енергия при отоплителна система, снабдена с буферен съд, е значително по-висока от тази без буферен съд. Това позволява по-плавно подгриване на топлоносителя, защото топлинната енергия се изчерпва по-бавно. Сензорите на термopомпата имат достатъчно време да реагират на отнетата топлина и да задействат подгриващия процес на по-ранен етап с по-ниска честота на компресора и по-ниски обороти на вентилаторите.

### Заклучение

Буферният съд е основен елемент при изграждането на съвременни хибридни отоплителни системи, комбиниращи термopомпа и газов котел. Неговата роля не се изчерпва единствено със съхранение на топлинна енергия, а обхваща оптимизацията на цялата инсталация чрез стабилизиране на работните режими, намаляване на цикличността и осигуряване на хидравлично разделяне между различните източници на топлина.

Анализът показва, че увеличеният воден обем в системата позволява по-плавна и продължителна работа на отоплителните уреди при ниско натоварване, което води до по-висока ефективност и по-нисък разход на енергия. Особено при термopомпените системи буферният съд значително намалява честите включения и изключения на компресора, като по този начин удължава експлоатационния живот на оборудването и подобрява комфорта при отопление.

Хидравличното разделяне е от критично значение поради различните дебители и принципи на работа на газовия котел и термopомпата. Буферният съд позволява всеки уред да функционира в оптимален режим без взаимно влияние между циркуляционните помпи, като предотвратява проблеми като нисък дебит, шум в инсталацията, неравномерно разпределение на топлината и намалена ефективност.

Изчисленията за акумулираната енергия ясно показват, че системите с буферен съд разполагат със значително по-голям топлинен капацитет, което създава условия за по-стабилна работа и по-добро управление на отоплителния процес.

В заключение може да се каже, че правилното оразмеряване и интегриране на буферен съд в хибридните отоплителни системи е ключово условие за постигане на висока енергийна ефективност, надеждна експлоатация, продължителен живот на оборудването и максимален комфорт за потребителите.

### **Литература:**

Караджов, М. Проектиране, изграждане, поддръжка и сервиз на битови хибридни системи с използване на

природен газ. *Списание "Минно дело и геология", бр. 9, 2022 г., София, ISSN 0861 – 5713 (Print), ISSN 2603 – 4549 (Online), стр. 42-46 (in Bulgarian).*

Baugh T. How Long Do Heat Pumps <https://www.carrier.com/residential/en/ca/products/heat-pumps/how-long-do-heat-pumps-last/>

Brumbaugh J. (2004) HVAC FUNDAMENTALS Volume 1: Heating Systems, Furnaces and Boilers ISBN: 0-764-54206-0

<https://www.idm-energie.at/en/heat-distribution/hydraulic-separators/>