

Regulacja hydrauliczna węzłów ciepłych w łódzkim systemie ciepłowniczym

Hydraulic regulation of heating substations in the Łódź district heating system

TOMASZ JEROMINKO, HENRYK G. SABINIĄK

DOI 10.36119/15.2020.9.2

W artykule przedstawiono dwa najczęściej spotykane sposoby regulacji hydraulicznej ciśnienia wysokich parametrów (wody sieciowej) w układach węzłów ciepłych w łódzkim systemie ciepłowniczym: z zastosowaniem zaworów równoważących przepływ w węźle wraz z pełną stabilizacją ciśnienia z regulatorami bezpośredniego działania. Dla omawianych przypadków przedstawiono przykłady obliczeniowe wraz z doбором urządzeń.

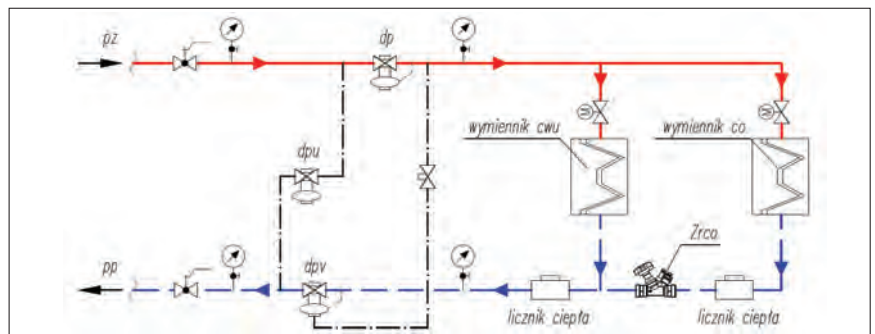
Słowa kluczowe: węzeł ciepły, regulacja hydrauliczna, równoważenie przepływu, różnica ciśnień

In the article two most often met manners of the hydraulic regulation of the pressure of high parameters were presented in arrangements of heating substations in the Łódź district heating system: with using valves balancing the flow on the threshold of the knot and with the full stabilization of the pressure. For cases in question computational examples were presented along with the assortment of devices.

Keywords: regulation, balancing flow, differential pressure

Regulacja hydrauliczna w układzie węzła ciepłego jest niezbędna dla poprawnego i stabilnego jego działania [4]. W łódzkim systemie ciepłowniczym w zależności od wielkości nadwyżki ciśnienia dyspozycyjnego, które należy zdławić, najczęściej stosuje się dwa rozwiązania:

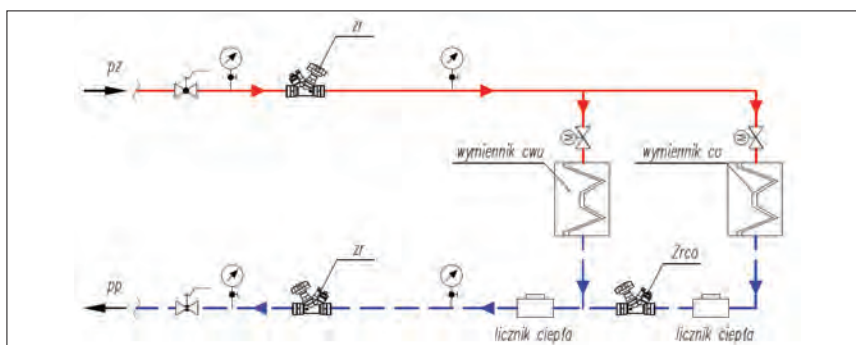
- Dla węzłów zasilanych z sieci ciepłowniczej, dla których różnica ciśnień zasilania i powrotu tzw. ciśnienie dyspozycyjne nie przekracza $250 \div 300$ kPa stosuje się zawory równoważące przepływ (zr) (rys.1). Sytuacja taka występuje najczęściej w przypadkach, dla któ-



Rysunek 2.

Lokalizacja zaworów przy zastosowaniu pełnej stabilizacji ciśnienia: dp – reduktor ciśnienia, dpu – zawór upustowy, dpv – regulator różnicy ciśnienia i przepływu

Fig. 2. Location of valves at applying the full stabilization of the pressure: dp – pressure reduction controller, dpu – differential pressure relief controller dpv – differential pressure and flow controller



Rysunek 1.

Lokalizacja zaworów równoważących przepływ na progu węzła: pz – przewód zasilający (wysokie parametry), pp – przewód powrotny (wysokie parametry), zr – zawór równoważący przepływ na progu węzła, Zrco – zawór równoważący w obiegu wymiennika c.o.

Fig. 1. Location of valves balancing the flow on the threshold of the heating substation: pz – supply pipe (high parameters), pp – return pipe (high parameters), zr – valve balancing the flow on the threshold of the heating substation, Zrco – valve balancing the exchanger in circulation by central heating

rych zawór różnicy ciśnień jest zamontowany w komorze ciepłowniczej [3].

- Dla węzłów podłączonych do magistrali ciepłowniczej, gdzie nie ma zamontowanych zaworów różnicy ciśnień w komorach ciepłowniczych, stosuje się tzw. pełną stabilizację ciśnienia, dokonując doboru i montażu regulatorów bezpośredniego działania: reduktorów ciśnienia (dp), regulatorów różnicy ciśnienia i przepływu (dpv) oraz zaworów upustowych (dpu) (rys.2).

Przedmiotowy dobór zaworów umożliwia łatwiejszą eksploatację węzłów ciepłych oraz precyzyjniejszą regulację, która przyczynia się także do obniżenia kosztów eksploatacyjnych węzłów.

Dr inż. Tomasz Jerominko prof. PŁ, <https://orcid.org/0000-0001-9052-7225>; e-mail: tomasz.jerominko@p.lodz.pl, prof. dr hab. inż. Henryk G. Sabiniak, <https://orcid.org/0000-0003-1868-380X>; e-mail: henryk.sabiniak@p.lodz.pl – Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych Politechniki Łódzkiej

Podstawowym kryterium doboru zaworów w układzie hydraulicznym węzła jest kryterium prędkości przepływającej wody przez zawór. Średnica zaworu powinna być tak dobrana, aby prędkość wody na wypływie z zaworu nie przekraczała $3,0 \div 3,5$ m/s. Zawory równoważące przepływ (zr) są dobierane dla obliczonego przepływu wody przez węzeł. Następnie oblicza się wartość ciśnienia do zdławienia, jako różnicę ciśnienia dyspozycyjnego na wejściu węzła i spadku ciśnienia w układzie węzła (tzw. opór węzła). Obliczoną wartość należy podzielić przez dwa (dwa zawory) i dla takiej wartości ciśnienia oraz wcześniej obliczonego przepływu z nomogramu lub tabel podanych przez producenta zaworu należy odczytać k_v i nastawę zaworu. Zawory montuje się w przewodach zasilającym i powrotnym za zaworami odcinającymi.

Przykład 1

Dobór zaworów równoważących przepływ:

Dane: przepływ wody sieciowej na progu węzła $5,5$ m³/h, ciśnienie dyspozycyjne 250 kPa, spadek ciśnienia w układzie węzła (opory przepływu przez wymiennik, licznik ciepła, zawór regulacyjny) 60 kPa.

Obliczenia:

Obliczeniowa wartość ciśnienia do zdławienia:

$$p_{zb} = p_d - \Delta p_w = 250,0 - 60,0 = 190 \text{ kPa} \quad (1)$$

gdzie:

p_{zb} – ciśnienie dławione przez zawór kPa,

p_d – ciśnienie dyspozycyjne kPa,

Δp_w – opór węzła kPa.

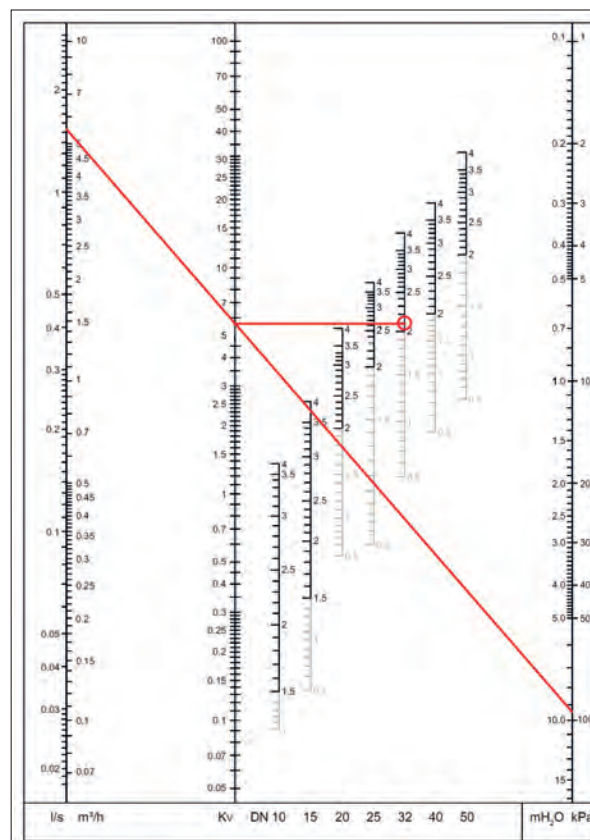
Dobieramy dwa zawory (jeden będzie zainstalowany w przewodzie zasilającym, drugi w powrotnym), spadek ciśnienia na każdym zaworze wyniesie:

$$\frac{p_{zb}}{2} = \frac{190}{2} = 95 \text{ kPa}.$$

Na wykresie producenta zaworów IMI Hydronic Engineering (rys.3) prowadzimy prostą łączącą punkt określający przepływ wody sieciowej $5,5$ m³/h i punkt spadku ciśnienia na zaworze 95 kPa. Odczytujemy wartość k_v zaworu, w miejscu przecięcia prostej z osią K_v i następnie od odczytanego k_v zaworu prowadzimy prostą do osi określającej średnicę zaworu oraz jego nastawę. W naszym przypadku są to dwa zawory typu STADA z gwintem zewnętrznym o średnicy DN32 i nastawie 2.2 [1].

Rysunek 3. Dobór nastaw zaworów równoważących na przykładzie zaworów typu STADA firmy IMI

Fig. 3. Set the selection of valves balancing IMI companies on the example of valves of the type of the STADA



Pozostaje jeszcze obliczyć prędkości przepływu wody przez zawór i sprawdzić czy jest mniejsza niż $3,0$ m/s:

$$v = \frac{4 \cdot G}{3,14 \cdot 3600 \cdot DN_{zr}^2} = \frac{4 \cdot 5,5}{3,14 \cdot 3600 \cdot 0,032^2} = \frac{1,90m}{s}$$

warunek spełniony $v < 3,0$ m/s (2)

gdzie:

G – przepływ wody sieciowej na progu węzła [m³/h],

DN_{zr} – średnica zaworu [m].

W przypadku projektowania urządzeń pełnej stabilizacji ciśnienia dobór możemy rozpocząć od obliczenia współczynnika k_v zaworu redukcyjnego (dp) ze wzoru:

$$k_v = \frac{10 \cdot G_{cat}}{\sqrt{\Delta p_{dp}}} \text{ m}^3/\text{h} \quad (3)$$

gdzie:

G_{cat} – obliczeniowy przepływ przez zawór m³/h,

Δp_{dp} – spadek ciśnienia na zaworze redukcyjnym kPa.

Obliczenia wykonuje się zarówno dla sezonu grzewczego, jak i letniego. Po obliczeniu współczynnika k_v należy dobrać zawór o najbliższej wartości k_{vs} z uwzględnieniem kryterium nie przekroczenia prędkości wody na zaworze. Kolejny krok to sprawdzenie stopnia otwarcia zaworu, który nie może być mniejszy od

minimalnego wynoszącego 20% (zalecane minimum to 30%). Sprawdzenie stopnia otwarcia zaworu oblicza się ze wzoru (4).

$$\text{stopień otwarcia zaworu} = \frac{k_v}{k_{vrzecz}} \% \quad (4)$$

gdzie:

k_{vrzecz} – rzeczywista wartość k_v dla dobranego zaworu m³/h.

Dla dobranego zaworu należy wykonać jeszcze obliczenia sprawdzające dopuszczalnego spadku ciśnienia na zaworze, przy którym nie zachodzi kavitacja z zależności:

$$\Delta p_d < Z(p_{min} + 100 - p_v) \text{ kPa} \quad (5)$$

gdzie:

Z – współczynnik kavitacji wg producenta zaworu,

p_{min} – minimalne ciśnienie przed zaworem dla maksymalnej temperatury wody sieciowej kPa,

p_v – ciśnienie parowania wody dla maksymalnej temperatury wody sieciowej kPa.

Regulator różnicy ciśnień i przepływu dobiera się podobnie jak reduktor do wyznaczenia współczynnika k_v dla okresu grzewczego i letniego ze wzoru (1), z tą różnicą, że Δp_{dp} oznacza spadek ciśnienia na regulatorze różnicy ciśnień i przepływu, który możemy wyznaczyć ze wzoru:

$$\Delta p_{dpv} = p_z - (p_p + \Delta p_{dp} + \Delta p_w) \text{ kPa} \quad (6)$$

gdzie:

p_z – ciśnienie zasilania na proggu wężła kPa,

p_p – ciśnienie powrotu na proggu wężła kPa,

Δp_{dp} – spadek ciśnienia w wężle ciepłowniczym tzw. opór wężła kPa.

Dla dobranego zaworu należy przeprowadzić obliczenia sprawdzające:

- prędkości przepływającej wody przez zawór,
- stopień otwarcia zaworu,
- dopuszczalnego spadku ciśnienia na zaworze, dla którego nie wystąpi jeszcze kawitacja.

Zawór upustowy montowany jest na spince pomiędzy zasilaniem i powrotem, i ma za zadanie ochronę urządzeń wężła ciepłego od uderzeń hydraulicznych. Zawór dobierany jest przyjmując 30% wartości przepływu obliczeniowego czynnika grzewczego przez wężel. Wartość ciśnienia otwarcia zaworu powinna mieć wartość mniejszą niż maksymalne ciśnienie zasilania występujące w sieci ciepłowniczej.

Przykład 2

Przykład doboru reduktora oraz regulatora różnicy ciśnień i przepływu:

W przypadku podłączenia wężła ciepłego bezpośrednio do sieci magistralnej lub rozdzielczej oraz braku w komorze ciepłowniczej układu stabilizacji ciśnienia, aby nie dopuścić do zbyt wysokiego ciśnienia w wężle, stosuje się regulatory bezpośredniego działania. Są to układy oparte o reduktory i regulatory różnicy ciśnień i przepływu.

Dane: przepływ wody sieciowej zimą 2,4 m³/h, przepływ wody sieciowej latem 1,4 m³/h, ciśnienie zasilania zimą 921 kPa, ciśnienie powrotu zimą 391 kPa, ciśnienie zasilania latem 800 kPa, ciśnienie powrotu latem 450 kPa, spadek ciśnienia w układzie wężła (opory przepływu przez wymiennik, licznik ciepła, zawór regulacyjny) zimą 60 kPa, latem 46 kPa. Opory w rurociągach, jako małe niższego rzędu, pominięto.

Dobór reduktora (dp):

Wyznaczenie współczynnika k_v dla zimy ze wzoru (3):

$$k_v = \frac{10 \cdot G_{cat}}{\sqrt{\Delta p_{dp}}} = \frac{10 \cdot 2,40}{\sqrt{321,0}} = 1,34 \frac{m^3}{h} \quad (7)$$

gdzie:

Δp_{dp} – spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym został określony przy założeniu ciśnienia za reduktorem

o wartości 6 barów, tak więc $\Delta p_{dp} = 921 - 600 \text{ kPa} = 321 \text{ kPa}$

Wyznaczenie współczynnika k_v dla sezonu letniego ze wzoru (3):

$$k_v = \frac{10 \cdot G_{cat}}{\sqrt{\Delta p_{dp}}} = \frac{10 \cdot 1,40}{\sqrt{200,0}} = 0,99 \frac{m^3}{h} \quad (8)$$

gdzie:

Δp_{dp} – spadek ciśnienia na zaworze regulacyjnym został określony przy założeniu ciśnienia za reduktorem o wartości 6 barów, tak więc $\Delta p_{dp} = 800 - 600 \text{ kPa} = 200 \text{ kPa}$.

Dobrano reduktor ciśnienia typ AVD PN25 20/4 3-12, $kvs = 4,0 \text{ m}^3/\text{h}$, DN20, zakres nastawy ciśnienia 3-12 barów firmy Danfoss, gwint. zewnętrzny – montaż na zasilaniu (wg rys.2) [2]. Nastawa ciśnienia 6 barów, $z = 0,6$ [2].

Sprawdzenie prędkości przepływu wody przez reduktor:

– sezon zimowy

$$v = \frac{4 \cdot 2,40}{3,14 \cdot 3600 \cdot 0,020^2} = 2,13 \frac{m}{s}$$

warunek spełniony $v < 3,0 \text{ m/s}$,

– sezon letni

$$v = \frac{4 \cdot 1,40}{3,14 \cdot 3600 \cdot 0,020^2} = 1,25 \frac{m}{s}$$

warunek spełniony $v < 3,0 \text{ m/s}$.

Sprawdzenie stopnia otwarcia zaworu (wzór 4) ze względu na stabilną pracę urządzenia:

– sezon zimowy

$$\text{stopień otw.} = \frac{k_{vob.icz}}{k_{vuzrecz}} = \frac{1,34}{4} = 0,335$$

warunek spełniony,

– sezon letni

$$\text{stopień otw.} = \frac{k_{vob.icz}}{k_{vuzrecz}} = \frac{0,99}{4} = 0,250$$

warunek spełniony.

Sprawdzenie dopuszczalnego spadku ciśnienia na zaworze, przy którym nie zachodzi kawitacja (wzór 5):

– sezon zimowy:

$$\Delta p_{dop} < Z(p_{1min} + 100 - p_{par}) \text{ kPa}$$

$$\Delta p_{dop} < 0,6(921 + 100 - 198) \text{ kPa}$$

$$\Delta p_{dop} < 494 \text{ kPa}$$

$$\Delta p_{dp} = 321 \text{ kPa} < 494 \text{ kPa}$$

warunek spełniony,

– sezon letni:

$$\Delta p_{dop} < Z(p_{1min} + 100 - p_{par}) \text{ kPa}$$

$$\Delta p_{dop} < 0,6(800 + 100 - 31) \text{ kPa}$$

$$\Delta p_{dop} < 521 \text{ kPa}$$

$$\Delta p_{dp} = 200 \text{ kPa} < 521 \text{ kPa}$$

warunek spełniony.

Dobór regulatora różnicy ciśnień i przepływu (dpv):

Wyznaczenie współczynnika k_v dla zimy (wzory 3 i 6):

$$\Delta p_{dpv} = p_1 - (p_2 + \Delta p_{dp} + \Delta p_w) = 920,0 - (391 + 321 + 60) = 148,0 \text{ kPa} \quad (9)$$

$$k_v = \frac{10 \cdot G_{cat}}{\sqrt{\Delta p_{dpv}}} = \frac{10 \cdot 2,40}{\sqrt{148,0}} = 1,97 \frac{m^3}{h} \quad (10)$$

Wyznaczenie współczynnika k_v dla lata:

$$\Delta p_{dpv} = p_1 - (p_2 + \Delta p_{dp} + \Delta p_w) = 800,0 - (450 + 200 + 46) = 104,0 \text{ kPa} \quad (11)$$

$$k_v = \frac{10 \cdot G_{cat}}{\sqrt{\Delta p_{dpv}}} = \frac{10 \cdot 1,40}{\sqrt{104,0}} = 1,37 \frac{m^3}{h} \quad (12)$$

Dobrano regulator różnicy ciśnienia i przepływu typ AVPQ PN25 20/6,3; 0,2 ÷ 1,0/0,2 gwint zewnętrzny, $kvs = 6,3 \text{ m}^3/\text{h}$, DN20, nastawa różnicy ciśnienia 0,2 ÷ 1,0 bar firmy Danfoss – montaż na powrocie, $z = 0,6$, nastawa 0,6 bara [2].

Sprawdzenie prędkości przepływu wody przez zawór:

– sezon zimowy

$$v = \frac{4 \cdot 2,40}{3,14 \cdot 3600 \cdot 0,020^2} = 2,13 \frac{m}{s}$$

warunek spełniony $v < 3,0 \text{ m/s}$,

– sezon letni

$$v = \frac{4 \cdot 1,40}{3,14 \cdot 3600 \cdot 0,020^2} = 1,25 \frac{m}{s}$$

warunek spełniony $v < 3,0 \text{ m/s}$.

Sprawdzenie stopnia otwarcia zaworu:

– sezon zimowy

$$\text{stopień otw.} = \frac{k_{vob.icz}}{k_{vuzrecz}} = \frac{1,97}{6,3} = 0,31$$

warunek spełniony,

– sezon letni

$$\text{stopień otw.} = \frac{k_{vob.icz}}{k_{vuzrecz}} = \frac{1,37}{6,3} = 0,22$$

warunek spełniony.

Sprawdzenie dopuszczalnego spadku ciśnienia na zaworze, przy którym nie zachodzi kawitacja:

– sezon zimowy:

$$\Delta p_{dop} < Z(p_{1min} + 100 - p_{par}) \text{ kPa}$$

$$\Delta p_{dop} < 0,6(600 - 60 + 100 - 198) \text{ kPa}$$

$$\Delta p_{dop} < 265 \text{ kPa}$$

$$\Delta p_{dp} = 148 \text{ kPa} < 265 \text{ kPa}$$

warunek spełniony,

– sezon letni:

$$\Delta p_{dop} < Z(p_{1min} + 100 - p_{par}) \text{ kPa}$$

$$\Delta p_{dop} < 0,6 \text{ left } (600 - 46 + 100 - 31) \text{ kPa}$$

$$\Delta p_{dop} < 374 \text{ kPa}$$

$$\Delta p_{dp} = 104 \text{ kPa} < 374 \text{ kPa}$$

warunek spełniony.

Dobór zaworu upustowego (dpu):

Obliczenie przepływu przez spinke, na której będzie zamontowany zawór:

$$G_{dpu} = 0,3 \cdot G_{caj} = 0,3 \cdot 2,40 = 0,73 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dobrano zawór upustowy typ VFG2 PN25 15/4 2-drogowy, kołnierz DN15, $k_v=4,0 \text{ m}^3/\text{h}$, AFA PB25 10 ÷ 16 32cm² sp. firmy Danfoss – montaż by-pass, nastawa 12 barów, $z=0,6$ [2].

Podsumowanie

W artykule przedstawiono dwa rozwiązania stabilizacji ciśnienia w węzle cieplnym. W łódzkim systemie ciepłowniczym w ostatnich latach dokonano gruntownych remontów komór ciepłowniczych, montując w nich układy stabilizacji ciśnienia. Rozwiązanie takie powoduje, że w węzłach cieplnych wystarczy montować zawory równoważące przepływ, których koszt na ogół nie przekracza od kilkuset złotych do kilku tysięcy (w zależności od

średnicy zaworu). Niemniej jednak zdarzają się też węzły cieplne podłączane bezpośrednio z magistrali, wówczas koszt zakupu montażu opisanych zaworów wynosi kilkanaście tysięcy złotych.

Należy wspomnieć też, że na powrocie z wymiennika centralnego ogrzewania (po stronie wody sieciowej) montuje się zawór równoważący przepływ Z_{rco} , którego zadaniem jest zwiększenie spadku ciśnienia w układzie wymiennika c.o. i tym samym zapewnienie hydraulicznego priorytetu przepływu wody grzewczej po stronie wody sieciowej przez wymiennik c.w. Aby priorytet c.w. był zachowany, spadek ciśnienia przy przepływie przez wymiennik c.o. powinien być o około 20 ÷ 25% większy od przepływu wody przez wymiennik c.w.

Podsumowując, prawidłowy dobór i montaż zaworów regulacyjnych gwarantuje

stabilną pracę węzła cieplnego. Dobierając zawory dla pełnej stabilizacji ciśnienia należy dodatkowo sprawdzić obliczenia w programie komputerowym producenta urządzeń.

LITERATURA

- [1] Karta katalogowa zaworów równoważących przepływ STADA nr karty 5-5-10 PL STAD (PN 25) ed.5 09.2019
- [2] Karty katalogowe urządzeń firmy Danfoss nr karty VD.DC.12.49 Danfoss 05/2011, VD.CC.X5.49 Danfoss 06/2013, VD.CA. M6.49 Danfoss 03/2018.
- [3] Wytyczne doboru i stosowania urządzeń oraz układów automatycznej regulacji węzłów cieplnych w łódzkim systemie ciepłowniczym – Veolia Energia Łódź S.A czerwiec, 2018
- [4] K. Żarski – Węzły cieplne w miejskich systemach ciepłowniczych – Ośrodek Informacji „Technika Instalacyjna w budownictwie” Warszawa (Wyd.II, 2014r.)

Pierwszy portal o przyszłości polskiej energetyki



Transformacja 2050.pl

Szanse i ryzyka, jakie niesie przyszłość, są trudne do przewidzenia, ale ich wczesna identyfikacja i analiza są bardzo potrzebne.

Grupa Veolia w Polsce chcąc wesprzeć sektor ciepłowniczy i całą energetykę w przygotowaniu się do wyzwań przyszłości, uruchomiła portal **Transformacja 2050.pl** – unikalne źródło wartościowej, eksperckiej wiedzy na tematy związane z przyszłością rynku energii i transformacją energetyczną.



Bądź na bieżąco i zapisz się na nasz newsletter!



BUDOWNICTWO i PRAWO

ISSN 1401-0099

Kwartalnik „Budownictwo i Prawo” ukazuje się piętnasty rok i ma już usiałoną grupę odbiorców wśród: firm budowlanych, wydziałów budownictwa urzędów miejskich i starostw, biur projektowych, firm kosztorysowych i innych. Obecnie nakład czasopisma wynosi ok. 2000 egz. (w zależności od uczestnictwa w targach lub sympozjach i konferencjach, podczas których prowadzone są akcje promocyjne).

Współpracujemy z ministerstwami odpowiedzialnymi za zagadnienia: budownictwa, infrastruktury, ochrony środowiska, energetyki, Głównym Urzędem Nadzoru Budowlanego, Urzędem Zamówień Publicznych, Instytutem Techniki Budowlanej, uczelniami oraz licznymi stowarzyszeniami z sektora budownictwa.

Autorzy z tytułu publikacji w „Budownictwo i Prawo” otrzymują 5 pkt w klasyfikacji MNiSW. Czasopismo jest wydawane przez Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie” oraz Oficynę Wydawniczą POLCEN i rozpowszechniane na terenie całego kraju w prenumeracie oraz w sieci sprzedaży ww. wydawców.

Zamówienia na prenumeratę w 2020 roku w wysokości 80 zł przyjmuje:

Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”

02-674 Warszawa, ul. Marynarska 14, tel./fax: 22/843-77-71

redakcja@informacjainstal.com.pl, wydawnictwo@informacjainstal.com.pl