

Piotr Narowski

Kalkulator Audytora Energetycznego

Wersja 1.1

Instrukcja obsługi programu

Autor programu: Piotr Narowski

Program **Kalkulator Audytora Energetycznego** wersja 1.1 jest chroniony Ustawą o prawie autorskim. Nieautoryzowane kopiowanie lub dystrybucja programu, instrukcji obsługi lub ich części, jak również wykorzystanie programu nie zgodnie z jego przeznaczeniem, grozi odpowiedzialnością karną i będzie ścigane sądownie.

PRAWA AUTORSKIE. Prawo własności oraz prawa autorskie dotyczące OPROGRAMOWANIA (łącznie z wszelkimi obrazami, rejestracjami wizyjnymi i dźwiękowymi, muzyką, tekstem i aplikacjami wchodzącymi w skład OPROGRAMOWANIA), jak również do załączonych materiałów drukowanych oraz wszelkich kopii OPROGRAMOWANIA stanowią własność PIOTRA NAROWSKIEGO. OPROGRAMOWANIE chronione jest przez prawa autorskie i postanowienia umów międzynarodowych. Licencjodawca winien traktować OPROGRAMOWANIE tak samo, jak każdy inny przedmiot prawa autorskiego, z zastrzeżeniem, że Licencjodawca może (a) sporządzić jedną kopię OPROGRAMOWANIA wyłącznie jako kopię zapasową lub w celach archiwalnych, oraz (b) zainstalować OPROGRAMOWANIE na jednym komputerze pod warunkiem, że zachowa oryginał wyłącznie jako kopię zapasową lub w celach archiwalnych. Licencjodawca nie może kopiować materiałów drukowanych towarzyszących OPROGRAMOWANIU.

WYŁĄCZENIE ODPOWIEDZIALNOŚCI ZA SZKODĘ - PIOTR NAROWSKI LUB JEGO DOSTAWCY NIE SĄ W ŻADNYM WYPADKU ODPOWIEDZIALNI ZA JAKĄKOLWIEK SZKODĘ BĘDĄCĄ NASTĘPSTWEM UŻYWANIA ALBO NIEMOŻLIWOŚCI UŻYWANIA NINIEJSZEGO PRODUKTU PIOTRA NAROWSKIEGO, NAWET JEŻELI PIOTR NAROWSKI ZOSTAŁ ZAWIADOMIONY O MOŻLIWOŚCI WYSTĄPIENIA TAKICH SZKÓD. CAŁKOWITA ODPOWIEDZIALNOŚĆ PIOTRA NAROWSKIEGO NA PODSTAWIE JAKIEGOKOLWIEK POSTANOWIENIA NINIEJSZEJ UMOWY JEST W KAŻDYM WYPADKU OGRANICZONA DO SUMY PIENIĘŻNEJ, KTÓRĄ NABYWCA RZECZYWIŚCIE ZAPŁACIŁ ZA OPROGRAMOWANIE.

Program Kalkulator Audytora Energetycznego jest uniwersalnym narzędziem wspomagającym proces projektowania i analizy pracy wszelkich instalacji rurowych, w których występuje przepływ wody, pary wodnej lub wilgotnego powietrza. Funkcjonalnie jest on połączeniem wydajnego, wielofunkcyjnego kalkulatora inżynierskiego z programem konwersji jednostek miar, tablicami właściwości fizycznych wody, pary wodnej i wilgotnego powietrza oraz modułami analizy przepływu czynnika i analizy mocy cieplnej. Program może także zastąpić w pewnym zakresie wykres $I-x$ dla wilgotnego powietrza. Instrukcja przeznaczona jest dla użytkowników programu – inżynierów zatrudnionych w pracowniach projektowych oraz firmach z branży ciepłownictwa, ogrzewnictwa lub wentylacji, a także dla studentów szkół wyższych i słuchaczy studiów podyplomowych.

© Copyright by Piotr Narowski, Warszawa 1998.

Wydawca: Narodowa Agencja Poszanowania Energii S.A.

ISBN 83-86337-01-X

OD WYDAWCY

Program „Kalkulator Audytora Energetycznego” jest kolejną pozycją z cyklu narzędzi pracy przygotowanych, w ramach Biblioteki Fundacji Poszanowania Energii, dla audytorów energetycznych, inżynierów i studentów zajmujących się problemami związanymi z procesami wymiany ciepła i użytkowania energii.

W codziennej pracy specjalisty zajmującego się zagadnieniami transportu ciepła i masy zachodzi konieczność wykonania obliczeń, przy których niezbędne jest korzystanie ze współczynników określających parametry fizyczne i termodynamiczne mediów energetycznych. Dotychczas wymagało to sięgania do niezliczonej liczby tablic, nomogramów i wykresów oraz żmudnego odczytywania wartości. Niniejszy program umożliwia wykonanie tych obliczeń wielokrotnie szybciej, bez konieczności sięgania na półkę z książkami.

Zamierzaliśmy początkowo wydać tę pozycję pod nazwą „Kalkulator Inżyniera Środowiska”, jednak nazwa ta mogłaby wydać się myląca, gdyż przedstawiona pierwsza wersja programu nie obejmuje szeregu zagadnień z inżynierii środowiska m.in. związanych z obliczeniami emisji zanieczyszczeń. W następnych wersjach programu postaramy się je uwzględnić. Ponadto wybrana nazwa jest ukłonem w stronę dotychczasowych użytkowników naszych programów serii „Audytor ...”, do których w pierwszej kolejności kierujemy nasz nowy produkt.

Wdzięczni będziemy za przekazywanie nam spostrzeżeń i uwag dotyczących korzystania z programu, jak również sugestii co do kierunków jego rozwoju.

PRZEDMOWA

W działalności inżynierskiej i badawczej, związanej z szeroko pojętą ochroną i inżynierią środowiska oraz energetyką cieplną, obejmującą procesy termodynamiczne i przepływowe jak i fizykę budowli, przeprowadza się wiele obliczeń o charakterze operacji jednostkowych. W obliczeniach tych, z jednej strony występują zbiory danych określających własności fizyczne czynników termodynamicznych czy własności materiałów a z drugiej elementarne kroki obliczeniowe powtarzane wielokrotnie np. w kolejnych pętlach iteracyjnych. Tak więc, do większości obliczeń tego typu wprowadzać musimy dane charakteryzujące stany termodynamiczne czy materiałowe co w wielu przypadkach, postępując w sposób tradycyjny, jest czynnością uciążliwą. Uciążliwość tą powoduje zarówno konieczność korzystania z wielu materiałów źródłowych tj. poradników, wykresów czy tablic własności fizycznych, często wydanych w odległych latach, jak i prowadzenie rachunków związanych z wyznaczeniem ich średnich wartości dla określonych zakresów parametrów czy przemian termodynamicznych.

Z tych to powodów, uważam, że pomysł wydania „Kalkulatora Audytora Energetycznego” będącego informatycznym narzędziem wspomaganie obliczeń inżynierskich oraz prac badawczych jest znakomity. Wprowadzenie do programu zakładki wielofunkcyjnego inżynierskiego kalkulatora nie występującego w normalnych oprogramowaniach np. Microsoft Office dla Windows jest dla tej pozycji bardzo istotne gdyż w znaczący sposób ułatwia prowadzenie obliczeń oraz rozszerza zakres zastosowań oprogramowania.

Drugim czynnikiem poszerzającym krąg potencjalnych odbiorców oprogramowania „Kalkulatora Audytora Energetycznego” jest fakt powstania społecznego i gospodarczego procesu racjonalizacji użytkowania energii, w którym biorą udział coraz liczniejsi specjaliści np. audytorzy energetyczni z różnych dziedzin techniki, często, z przyczyn oczywistych, nie dysponujący niezbędnymi materiałami źródłowymi. Umieszczenie w książce opisów podstaw teoretycznych algorytmów oraz przykładów obliczeniowych powoduje wzrost jej wartości o charakterze dydaktycznym co jest istotne np. dla studentów korzystających z oprogramowania oraz stwarza możliwości śledzenia toku przeprowadzanych obliczeń, wykonywania analiz wrażliwości czy określania przedziałów ufności otrzymywanych wyników. Na podkreślenie zasługuje logiczny układ i czytelność poszczególnych instrukcji dzięki czemu nawet początkujący w technikach informatycznych, użytkownik programów nie będzie miał kłopotów z ich obsługą. Mam nadzieję, że w następnych wydaniach programu będzie on uzupełniony o kolejne obszary działalności inżynierskiej, zmierzającej do racjonalizacji użytkowania energii i ochrony środowiska.

Prof. dr hab. inż. Stanisław Mańkowski

Spis treści

UKŁAD INSTRUKCJI OBSŁUGI	7
INSTALACJA PROGRAMU	7
KALKULATOR	8
Opis zakładki kalkulatora	8
Wprowadzanie wyrażeń algebraicznych	13
Obliczanie prostych wyrażeń algebraicznych	15
Obliczanie złożonych wyrażeń algebraicznych z użyciem nawiasów	15
Zmiana wartości liczbowej w obliczonym wyrażeniu algebraicznym	17
Zmiana operatora w obliczonym wyrażeniu algebraicznym	18
Wykorzystanie wyniku poprzedniego wyrażenia algebraicznego	19
Obliczanie prostych wyrażeń z wykorzystaniem funkcji matematycznych kalkulatora	20
Obliczanie złożonych wyrażeń z wykorzystaniem funkcji kalkulatora	21
Zmiana funkcji w obliczonym wyrażeniu	22
Używanie klawisza wyniku pośredniego	23
Wykorzystanie możliwości kopiowania i wklejania wartości liczbowych	24
Wyświetlanie wartości nieokreślonych	25
PRZELICZANIE JEDNOSTEK	27
Przeliczanie jednostek	27
Przykłady przeliczania jednostek	29
Przeliczanie wartości ciśnienia	29
Przeliczanie mocy	29
Przeliczanie energii	30
Przeliczanie temperatury	30
Przeliczanie strumienia masy	31
WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE WODY	32
Znajdowanie właściwości fizycznych wody	32
Zapamiętywanie stanu początkowego wody	33
Zapamiętywanie stanu końcowego wody	33
Analiza przepływu wody	33
Analiza energii przemiany termodynamicznej wody	34
Podstawowe wiadomości z mechaniki płynów i termodynamiki wody	34
Przykłady dotyczące przepływu wody	43
WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE PARY WODNEJ	60
Znajdowanie właściwości fizycznych pary wodnej	60
Zapamiętywanie stanu początkowego pary wodnej	61
Zapamiętywanie stanu końcowego pary wodnej	61
Analiza przepływu pary wodnej	61
Podstawowe wiadomości z termodynamiki pary wodnej	62

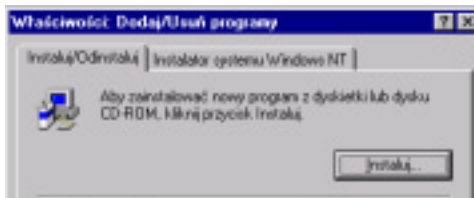
Przykłady dotyczące przepływu pary wodnej	70
WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE WILGOTNEGO POWIETRZA	84
Znajdowanie właściwości fizycznych wilgotnego powietrza	84
Zapamiętywanie stanu początkowego wilgotnego powietrza	85
Zapamiętywanie stanu końcowego wilgotnego powietrza	85
Analiza przepływu wilgotnego powietrza	85
Analiza energii przemiany termodynamicznej wilgotnego powietrza	86
Podstawowe wiadomości z termodynamiki wilgotnego powietrza	86
Przykłady dotyczące przepływu wilgotnego powietrza	92
ANALIZA ENERGII PRZEMIANY	119
Bilans cieplny przemiany termodynamicznej czynnika	120
Określanie czasu wydatkowania energii i energii przemiany termodynamicznej czynnika	120
ANALIZA PRZEPŁYWU CZYNNIKA	121
Bilansowanie równania ciągłości przepływu	122
Określanie pola przekroju poprzecznego przewodu	122
Charakterystyka przewodu do określania jednostkowego spadku ciśnienia	123
Określanie strat ciśnienia w przewodzie przy przepływie danego czynnika	123
Określanie czasu przepływu i masy czynnika	123



Układ instrukcji obsługi

1. **Kalkulator** – opis funkcji i możliwości zakładki z kalkulatorem wraz z przykładami wykonywania obliczeń.
2. **Przeliczanie jednostek miar** – opis zakładki pozwalającej na przeliczanie jednostek miar wybranych wielkości fizycznych wraz z przykładami.
3. **Właściwości fizyczne wody** – opis zakładki z właściwościami fizycznymi wody oraz przykłady rozwiązywania zadań z dziedziny mechaniki płynów, ciepłownictwa i ogrzewnictwa.
4. **Właściwości fizyczne pary wodnej** – opis zakładki z właściwościami fizycznymi pary wodnej wraz z przykładami rozwiązywania zadań z zakresu termodynamiki pary wodnej.
5. **Właściwości fizyczne wilgotnego powietrza** – opis zakładki z właściwościami fizycznymi wilgotnego powietrza wraz z przykładowymi zadaniami z dziedziny wentylacji.

Instalacja programu

- Włożyć dyskietkę instalacyjną do napędu dyskietek w komputerze.
- Uruchomić **Panel sterowania** z menu klawisza **Start** → **Ustawienia**.
- W **Panelu sterowania** dwukrotnie kliknąć myszą na ikonę **Dodaj/Usuń programy**.
- Nacisnąć przycisk **Instaluj...** – system Windows wyszuka program instalacyjny **Setup.exe** na dyskietce instalacyjnej Kalkulatora Audytora Energetycznego.



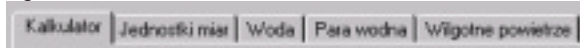
- Nacisnąć przycisk  aby system rozpoczął wyszukiwanie programu instalacyjnego.
- Nacisnąć przycisk  jeżeli w oknie edycyjnym dialogu znajduje się tekst a:\setup.exe (a: jest przykładową nazwą napędu dyskietek 1.44 MB) aby uruchomić program instalacyjny.
- Postępować zgodnie z kolejnymi krokami programu instalacyjnego: ostrzeżenie o prawach autorskich, akceptacja umowy licencyjnej, wybór folder docelowy na dysku dla programu, wybór folder programu w menu Start → Programy systemu Windows, instalacja programu na dysku, zakończenie instalacji.

Kalkulator

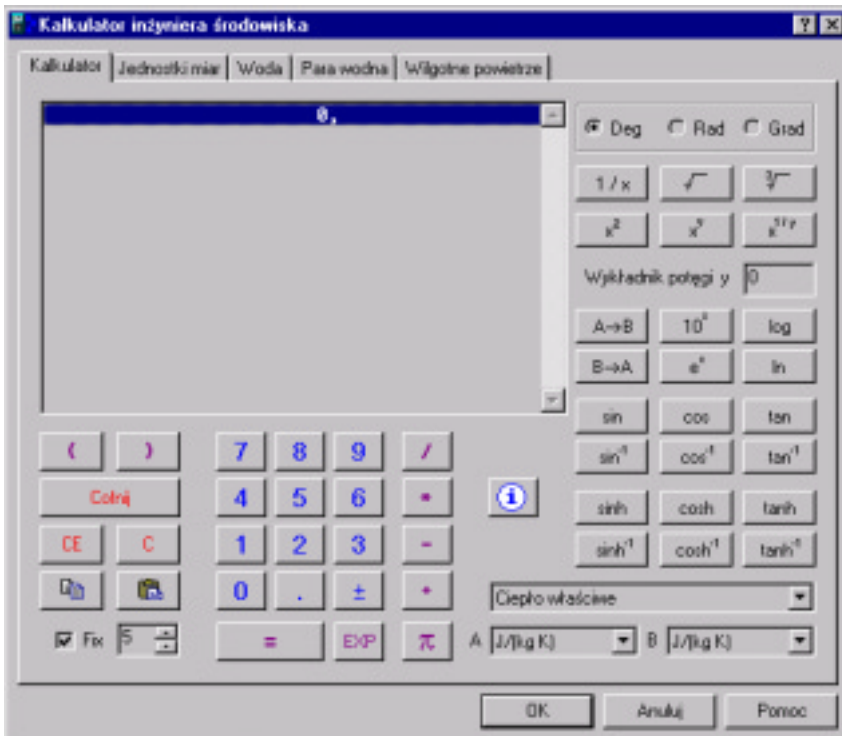
Opis zakładki kalkulatora

Zakładka ta jest wielofunkcyjnym kalkulatorem inżynierskim. Posiada on unikalną właściwość zapamiętywania przeprowadzanych obliczeń z możliwością ich późniejszej edycji w czasie pracy.

Z dowolnego miejsca w programie można przejść do kalkulatora wskazując lewym klawiszem myszy odpowiednią zakładkę:











Główną cechą kalkulatora jest wyświetlacz posiadający wiele linii, w których pokazywane są poszczególne elementy wprowadzanego wyrażenia. Wyświetlacz ten pamięta także wyrażenia, które były wcześniej wprowadzone. Pozwala to na elastyczną pracę z kalkulatorem. Można bowiem edytować poszczególne wartości wyrażenia, zmieniać operatory algebraiczne w wyrażeniu, zamieniać funkcje matematyczne wprowadzone do wyrażenia. Kalkulator posiada wiele innych możliwości, które zostaną opisane w następujących rozdziałach.



UWAGA: Każdy element zakładki posiada pomoc kontekstową dostępną poprzez klawisz? w prawym górnym rogu aplikacji lub kombinację klawiszy Shift-F1, a następnie wskazanie odpowiedniego elementu zakładki. Dodatkowo dostęp do tej pomocy można uzyskać poprzez wskazanie prawym klawiszem myszy elementu zakładki (oprócz pól edycyjnych).

Poniżej w tabeli podano opis poszczególnych elementów sterujących zakładką z kalkulatorem.

Opis elementów sterujących zakładką kalkulatora

Element sterujący kalkulatora	Opis	Odpowiednik klawiatury komputera
 0 do 9	Wprowadza cyfrę do wartości liczbowej	klawisze od 0 do 9
	Wstawia separator dziesiętny. Kalkulator wyświetla taki separator dziesiętny jaki jest aktualnie ustawiony w systemie komputera w Ustawieniach regionalnych systemu operacyjnego (Panel sterowania -> Ustawienia regionalne -> Liczba).	Odpowiednik na klawiaturze: (kropka) lub, (przecinek)
	Zmienia znak wstawianej lub edytowanej liczby lub wykładnika potęgowego EXP	Odpowiednik na klawiaturze: F9
	Operator ilorazu.	Odpowiednik na klawiaturze: /
	Wprowadzenie po znaku = kopiuje wartość wyniku poprzedniego wyrażenia.	
	Operator iloczynu. Wprowadzenie po znaku = kopiuje wartość wyniku poprzedniego wyrażenia.	Odpowiednik na klawiaturze: *
	Operator różnicy. Wprowadzenie po znaku = kopiuje wartość wyniku poprzedniego wyrażenia.	Odpowiednik na klawiaturze: -
	Operator sumy. Wprowadzenie po znaku = kopiuje wartość wyniku poprzedniego wyrażenia.	Odpowiednik na klawiaturze: +

Kalkulator

	Oblicza wartość wprowadzonego wyrażenia algebraicznego i wyświetla wartość wyniku. W przypadku edytowanego wyrażenia znajduje jego koniec, ponowne naciśnięcie klawisza wyświetli wartość wyrażenia. Polecenie wyniku wstawia i usuwa niezbędne nawiasy.	Odpowiednik na klawiaturze: Enter ↵
	Pozwala na stosowanie notacji wykładniczej wprowadzanej liczby. Możliwa maksymalna wartość wykładnika wynosi 290 .	Odpowiednik na klawiaturze: x
	Wprowadza wartość pi (3.1415...) do wyrażenia	Odpowiednik na klawiaturze: Ctrl+p
	Lewy nawias otwierający. Nawiasy można zagłębiać bez ograniczeń. Każdy następny poziom nawiasu jest wyświetlany z przesunięciem o jeden znak.	Odpowiednik na klawiaturze: (
	Prawy nawias zamykający. Każdy nawias domyka swój odpowiednik. Nawiasy nie domknięte zostaną automatycznie domknięte po naciśnięciu klawisza =. Następujące po sobie, niepotrzebne nawiasy otwierające i zamykające zostaną usunięte.	Odpowiednik na klawiaturze:)
	Pozwala na cofanie wprowadzanych wartości liczbowych, operatorów i funkcji. W przypadku edycji zamkniętych wyrażen (ze znakiem =) klawisz ten obsługuje jedynie wartości liczbowe.	Odpowiednik na klawiaturze: Backspace ←
	Kasuje zawartość wyświetlacza i wszystkie wyrażenia z pamięci operacyjnej komputera.	Odpowiednik na klawiaturze: Delete
	Zeruje aktualnie wprowadzaną lub edytowaną wartość liczbową.	Odpowiednik na klawiaturze: Esc
	Pozwala na skopiowanie do schowka wartości liczbowej ze wskazanej na wyświetlaczu liczby	Odpowiednik na klawiaturze: Ctrl-C
	Pozwala na wklejenie ze schowka wartości liczbowej do wskazanej na wyświetlaczu linii z wartością liczbową. Jeżeli ostatnią wskazywaną linią wyświetlacza jest operator lub funkcja wstawiana jest	Odpowiednik na klawiaturze: Ctrl-V

Kalkulator

nowa wartość liczbową równą zapamiętanej w schowku.



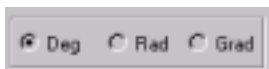
Pozwala na przełączanie pomiędzy wyświetlaniem wyników w postaci dziesiętnej i wykładniczej.

Odpowiednik na klawiaturze: **f**



Służy do ustalenia liczby wyświetlanych miejsc dziesiętnych w postaci dziesiętnej i wykładniczej wyniku obliczeń.

Odpowiednik na klawiaturze **↑** i **↓** po ustaleniu ogniska wprowadzania przy pomocy myszy lub klawiszem **Tab**



Zmienia miarę kątów na stopnie (w systemie dziesiętnym). Dotyczy funkcji trygonometrycznych, cyklometrycznych, hiperbolicznych i odwrotnych hiperbolicznych. Miarą kątów powinna być ustalona **przed** użyciem funkcji, których to dotyczy. Pozwala na zmianę miary kątów w funkcji aktualnie edytowanej, której to dotyczy.

Odpowiednik na klawiaturze: **Ctrl+d** dla stopni (Deg)

Odpowiednik na klawiaturze: **Ctrl+r** dla radianów (Rad)

Odpowiednik na klawiaturze: **Ctrl+g** dla gradów (Grad)



Funkcja obliczająca odwrotność danej liczby.

Odpowiednik na klawiaturze: **r**



Funkcja obliczająca pierwiastek kwadratowy z danej liczby.

Odpowiednik na klawiaturze: **p**



Funkcja obliczająca pierwiastek sześcienny z danej liczby.

Odpowiednik na klawiaturze: **Shift+p**



Funkcja obliczająca kwadrat danej liczby.

Odpowiednik na klawiaturze: **@**



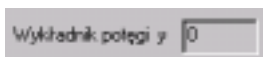
Funkcja obliczająca wartość danej liczby x podniesioną do potęgi y . Wykładnik potęgi y należy ustalić w polu edycyjnym poniżej.

Odpowiednik na klawiaturze: **y**



Funkcja obliczająca wartość pierwiastka stopnia y z danej liczby x . Stopień pierwiastka (wykładnik y) należy ustalić w polu edycyjnym poniżej.

Odpowiednik na klawiaturze: **Shift+y**



Pole edycyjne, w którym należy ustalić wartość wykładnika potęgi y lub stopień pierwiastka y . Wartość powinna być ustalona przed użyciem funkcji korzystającej z tej wartości. Można jednak zmienić wartość y w funkcjach, których to dotyczy ustawiając kursor wyświetlacza na danej funkcji i zmieniając wartość wykładnika y .

Należy użyć klawiszy od **0** do **9** po ustaleniu ogniska wprowadzania przy pomocy myszy lub klawisza **Tab**

Kalkulator



Pozwala na obliczenie wartości z danej liczby przy konwersji jednostki A na jednostkę B. Miary i jednostki można ustalić w rozwijalnych listach poniżej. Jednostki A i B powinny być ustalona **przed** użyciem funkcji konwersji.

Można zmieniać jednostki A i B w czasie edycji funkcji konwersji

Odpowiednik na klawiaturze:
a



Pozwala na obliczenie wartości z danej liczby przy konwersji jednostki B na jednostkę A. Miary i jednostki można ustalić w rozwijalnych listach poniżej. Jednostki A i B powinny być ustalona **przed** użyciem funkcji konwersji.

Można zmieniać jednostki A i B w czasie edycji funkcji konwersji

Odpowiednik na klawiaturze:
b



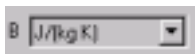
Pozwala na wybranie miar dla funkcji konwersji jednostek.

Należy użyć klawiszy \uparrow i \downarrow lub pierwszej litery nazwy miary po ustaleniu ogniska wprowadzania przy użyciu myszy lub klawisza **Tab**



Umożliwia wybranie jednostki A, z której będzie dokonywana konwersja

Należy użyć klawiszy \uparrow i \downarrow lub pierwszej litery nazwy jednostki po ustaleniu ogniska wprowadzania przy użyciu myszy lub klawisza **Tab**



Umożliwia wybranie jednostki B, do której będzie dokonywana konwersja

Należy użyć klawiszy \uparrow i \downarrow lub pierwszej litery nazwy jednostki po ustaleniu ogniska wprowadzania przy użyciu myszy lub klawisza **Tab**



Pozwala na obliczanie wartości 10 podniesionej do danej potęgi x.

Odpowiednik na klawiaturze:
d



Oblicza logarytm dziesiętny z danej liczby.

Odpowiednik na klawiaturze: **l**



Pozwala na obliczenie wartości e podniesionej do danej potęgi x.

Odpowiednik na klawiaturze:
e














Oblicza logarytm naturalny z danej liczby.

Odpowiednik na klawiaturze:
n



Oblicza wartość sinus z danej liczby.

Odpowiednik na klawiaturze:
s

	Oblicza wartość cosinus z danej liczby.	Odpowiednik na klawiaturze: o
	Oblicza wartość tangens z danej liczby.	Odpowiednik na klawiaturze: t
	Oblicza wartość arcsinus z danej liczby.	Odpowiednik na klawiaturze: Shift+s
	Oblicza wartość arccosinus z danej liczby.	Odpowiednik na klawiaturze: Shift+o
	Oblicza wartość arctangens z danej liczby.	Odpowiednik na klawiaturze: Shift+t
	Oblicza wartość sinus hiperboliczny z danej liczby.	Odpowiednik na klawiaturze: Ctrl+s
	Oblicza wartość cosinus hiperboliczny z danej liczby.	Odpowiednik na klawiaturze: Ctrl+o
	Oblicza wartość tangens hiperboliczny z danej liczby.	Odpowiednik na klawiaturze: Ctrl+t
	Oblicza wartość area sinus hiperboliczny z danej liczby.	Odpowiednik na klawiaturze: Ctrl+Shift+s
	Oblicza wartość area cosinus hiperboliczny z danej liczby.	Odpowiednik na klawiaturze: Ctrl+Shift+o
	Oblicza wartość area tangens hiperboliczny z danej liczby.	Odpowiednik na klawiaturze: Ctrl+Shift+t
	Pozwala na wyświetlenie wyniku pośredniego obliczeń danego wyrażenia. Stosuje się do aktualnie wskazywanego na wyświetlaczu elementu wyrażenia.	Odpowiednik na klawiaturze: i

Wprowadzanie wyrażeń algebraicznych

Kalkulator posiada wielowierszowy wyświetlacz. Każda linia wyświetlacza reprezentuje pojedynczą wartość liczbową, operator algebraiczny, nawias otwierający lub zamykający oraz funkcje algebraiczne liczb rzeczywistych.

Wyrażenia budowane są w układzie pionowym podobnie do kalkulatorów z taśmą papierową z tą różnicą, że wartości w poszczególnych wierszach wyrażenia można edytować.

Wartości liczbowe można wprowadzać przy pomocy klawiatury bądź klawiszy cyfr w kalkulatorze.

Separator dziesiętny można wprowadzić przy pomocy klawiszy (.) kropka lub (,) przecinek. Kalkulator wyświetla jako separator znak, który jest przyjęty jako separator dziesiętny liczb w systemie operacyjnym (Ustawienia regionalne).

Zmiana znaku wartości liczbowej następuje po naciśnięciu klawisza +/- na ekranie lub klawisza **F9** na klawiaturze komputera.

Notację wykładniczą liczby uzyskuje się poprzez naciśnięcie klawisza **EXP** lub klawisza **x** klawiatury komputera.

Edycja wyrażenia polega na naciskaniu klawisza Cofnij na klawiaturze lub klawisza **Backspace** klawiatury komputera. Spowoduje to cofanie wprowadzonych cyfr wartości liczbowej oraz operatorów i funkcji.

Jeżeli równanie zostanie zamknięte (wprowadzono polecenie obliczenia wartości klawiszem =) wówczas edycja sprowadza się do zamieniania wartości liczbowych w wyrażeniu lub zamieniania operatorów i funkcji. Nie można natomiast wprowadzać nowych i usuwać istniejących elementów wyrażenia.

Kalkulator w czasie sesji mieści taką ilość wyrażen na jaką pozwoli dostępna dla procesu kalkulatora pamięć operacyjna komputera.

Kalkulator nie przechowuje między sesjami (uruchomieniami całego programu) wprowadzonych wyrażen. Oznacza to, że przełączanie pomiędzy zakładkami nie niszczy zawartości pamięci kalkulatora.

Kalkulator pozwala na nieograniczoną liczbę zagnieżdżeń nawiasów i funkcji.

Aby obliczyć wartość funkcji należy najpierw wywołać funkcję a następnie wprowadzić wyrażenie algebraiczne jako argument funkcji. Aby zamknąć funkcję należy wprowadzić nawias zamykający.

Wskazówka: Jeżeli zostanie wywołane polecenie obliczenia wartości wyrażenia algebraicznego bez domkniętych nawiasów kalkulator automatycznie uzupełni brakujące nawiasy i poda wynik. W przypadku istnienia pustych par nawiasów typu () lub ln() elementy te zostaną usunięte z wyrażenia.

Wszystkie dodatkowe parametry funkcji jak np. miary kątów, wykładnik dowolnej potęgi x^y , dowolny stopień pierwiastka $x^{1/y}$ lub jednostki A i B funkcji konwersji jednostek A -->B i B-->A powinny być ustalone przed wywołaniem funkcji, których to dotyczy.

Istnieje możliwość zmiany tych parametrów w funkcjach, których to dotyczy poprzez ustawienie kursora wyświetlacza na odpowiedniej funkcji i zmianie danego parametru.

Kalkulator posiada obsługę kopiowania i wklejania poprzez schowek systemowy. Klawisze kopiuj Ctrl-C i wklej Ctrl-V kopiują i wklejają wartości liczbowe w dowolne elementy liczbowe dowolnego wyrażenia przedstawianego na wyświetlaczu. W przypadku ustawienia kursora na ostatnim elemencie wyświetlanym na wyświetlaczu (jeżeli jest on operatorem lub funkcją) wklejenie wartości powoduje utworzenie nowej wartości liczbowej wyrażenia.













Edycja jakiegokolwiek elementu istniejącego i zamkniętego wyrażenia powoduje bieżące przeliczenie tego wyrażenia. Wprowadzenie znaku = w dowolnym punkcie wyrażenia przenosi kursor wyświetlacza albo na koniec wyrażenia albo do najbliższego elementu z wynikiem.

Obliczanie prostych wyrażen algebraicznych

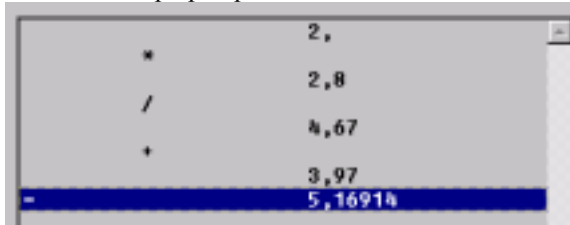
Obliczyć wartość wyrażenia przedstawionego poniżej:

$$2 \cdot \frac{2,8}{4,67} + 3,97 = ?$$

Sekwencja wprowadzanych danych:

- Wprowadzić wartość 2 przy pomocy klawiszy  do 
- Wprowadzić operator mnożenia przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić wartość 2,8 przy pomocy klawiszy  do  i 
- Wprowadzić operator dzielenia przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić wartość 4,67 przy pomocy klawiszy  do  i 
- Wprowadzić operator dodawania przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić operator wyniku przy pomocy klawisza 

Widok wyświetlacza kalkulatora po przeprowadzeniu obliczeń.






Wynik wyrażenia wynosi 5,16914.





















Obliczanie złożonych wyrażen algebraicznych z użyciem nawiasów

Obliczyć wartość wyrażenia przedstawionego poniżej:

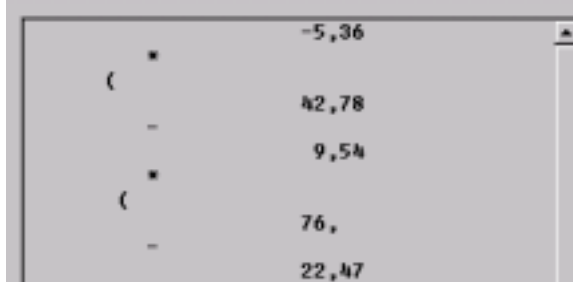
$$-5,36 \cdot (42,78 - 9,54 \cdot (76 - 22,47)) = ?$$

Sekwencja wprowadzanych danych:

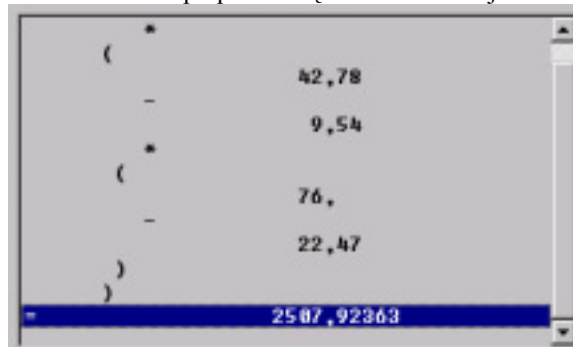
- Wprowadzić wartość 5,36 przy pomocy klawiszy  do  i 

- Zmienić znak liczby 5,36 przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić operator mnożenia przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić lewy nawias otwierający przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić wartość 42,78 przy pomocy klawiszy  do  i 
- Wprowadzić operator odejmowania przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić wartość 9,54 przy pomocy klawiszy  do  i 
- Wprowadzić operator mnożenia przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić lewy nawias otwierający przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić wartość 76 przy pomocy klawiszy  do 
- Wprowadzić operator odejmowania przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić wartość 22,47 przy pomocy klawiszy  do  i 
- Wprowadzić dwa prawe nawiasy zamykające przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić operator wyniku przy pomocy klawisza 

Widok wyświetlacza kalkulatora po wprowadzeniu początkowej sekwencji wyrażenia.



Poniżej przedstawiono widok okna po przewinięciu do końcowej sekwencji wyrażenia.



Wynik obliczeń wynosi 2507,92363

Uwaga: Aby przyspieszyć obliczenia kalkulator posiada analizator niedomkniętych nawiasów, który pozwala na wprowadzanie operatora wyniku « \Rightarrow » bez domykania nawiasów. W takim przypadku kalkulator doda odpowiednią liczbę nawiasów na końcu wyrażenia i poda wynik obliczenia wyrażenia.

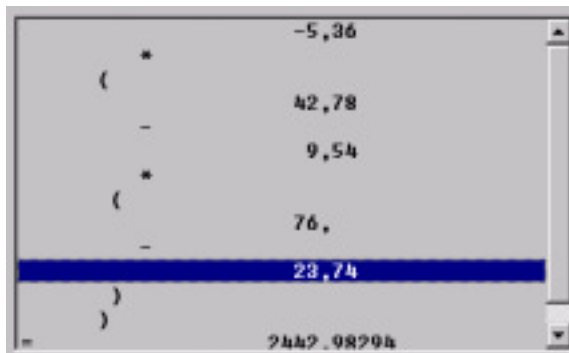
Wyświetlacz kalkulatora posiada automatycznie uaktywniający się pasek przewijania w momencie, gdy liczba wierszy w wyrażeniach jest większa od liczby wierszy wyświetlacza.

Zmiana wartości liczbowej w obliczonym wyrażeniu algebraicznym

Kalkulator posiada możliwość zmiany wartości dowolnej liczby w obliczonym wyrażeniu. Pozwala to na poprawianie błędnie wprowadzonych wartości liczbowych lub na stosowanie prostych obliczeń iteracyjnych przy pomocy zmiany danej wartości liczbowej w wyrażeniu.


Jeżeli np. w poprzednim wyrażeniu popełniliśmy błąd i wartość 22,47 powinna być zastąpiona wartością 23,74 wówczas należy poprawić tą wartość. W wyniku wprowadzenia poprawnej wartości kalkulator dokonuje aktualizacji wyniku na bieżąco. Naciśnięcie klawisza operatora wyniku przenosi zaznaczenie linii wyświetlacza do wartości wynikowej wyrażenia.

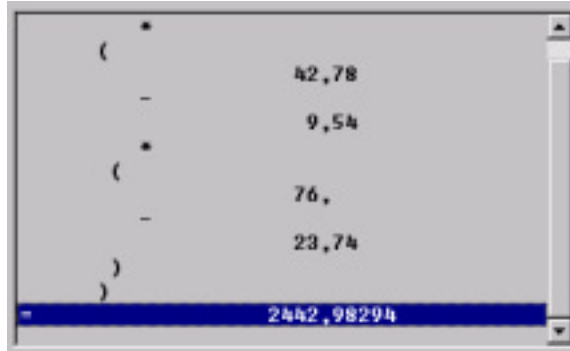
Zamienić w istniejącym wyrażeniu wartość 22,47 na wartość 23,74.



Sekwencja postępowania:

- Przenieść zaznaczenie linii wyświetlacza do wartości 22,47 przy pomocy myszy wskazując tą wartość lub przy pomocy klawiszy \uparrow i / lub \downarrow .
- Naciskając klawisz usunąć błędnie wprowadzone cyfry
- Przy pomocy klawiszy do i wprowadzić prawidłową wartość 23,74 – w tym momencie kalkulator zaktualizował wynik wyrażenia.

- Nacisnąć klawisz operatora wyniku  co spowoduje przeniesienie zaznaczenia linii wyświetlacza do wyniku wyrażenia.



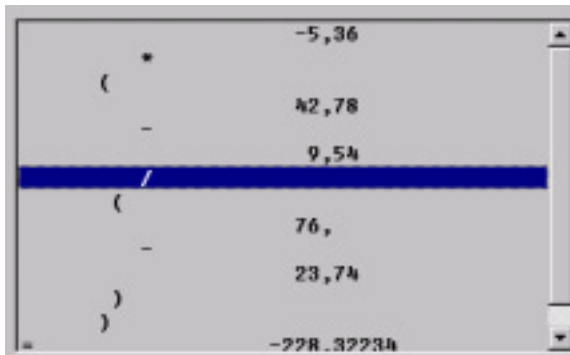
Wynik poprawionego wyrażenia wynosi 2442,98294.

Zmiana operatora w obliczonym wyrażeniu algebraicznym

Kalkulator posiada możliwość zmiany dowolnego istniejącego operatora w obliczonym wyrażeniu. Pozwala to na poprawianie błędnie wprowadzonych operatorów.

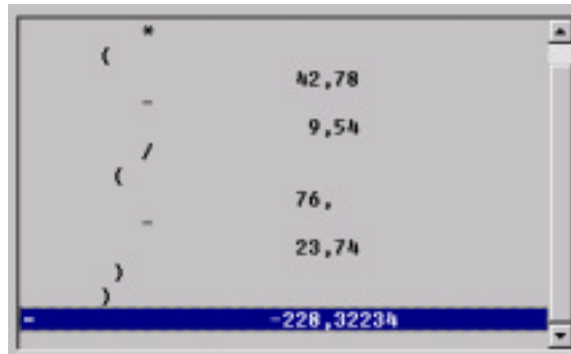
Jeżeli np. w analizowanym poprzednio wyrażeniu zamiast drugiego operatora mnożenia w wyrażeniu powinien znajdować się operator dzielenia wystarczy zmienić operator a kalkulator automatycznie obliczy aktualną wartość wyrażenia bez potrzeby przepisywania całego wyrażenia od początku.

Zamienić w istniejącym wyrażeniu operator mnożenia operatorem dzielenia.



Sekwencja postępowania:

- Przenieść zaznaczenie linii wyświetlacza do drugiego operatora mnożenia przy pomocy myszy wskazując tą wartość lub przy pomocy klawiszy \uparrow i / lub \downarrow .
- Przy pomocy klawisza \div wprowadzić operator dzielenia w miejscu operatora mnożenia – w tym momencie kalkulator zaktualizował wynik wyrażenia.
- Nacisnąć klawisz operatora wyniku $=$ co spowoduje przeniesienie zaznaczenia linii wyświetlacza do wyniku wyrażenia.

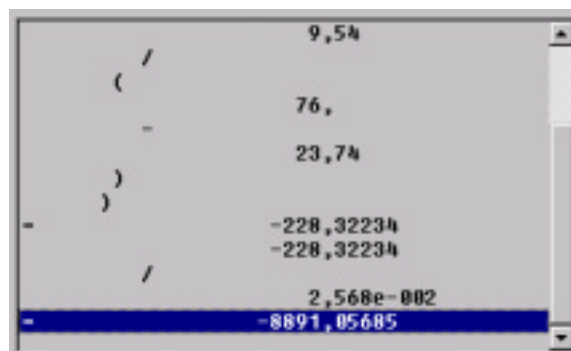


Wynik poprawionego wyrażenia wynosi -228,32234.









Wykorzystanie wyniku poprzedniego wyrażenia algebraicznego

Jeżeli pierwsza wartość liczbową następnego wyrażenia obliczanego przy pomocy zakładki z kalkulatorem jest wynikiem poprzedniego wyrażenia, można uprościć sekwencję wprowadzania danych. Aby wykorzystać tę możliwość należy wprowadzić jakikolwiek operator algebraiczny w momencie gdy zaznaczona linia wyświetlacza jest wynikiem ostatniego wyrażenia w kalkulatorze.

Podzielić wynik ostatniego obliczenia z poprzedniego przykładu przez $2,568 \cdot 10^{-2}$



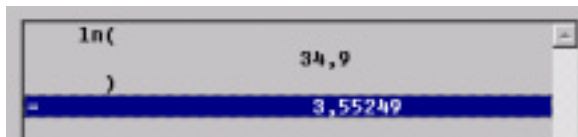
Sekwencja postępowania:

- Upewnić się, że zaznaczona linia wyświetlacza kalkulatora jest wynikiem ostatniego wyrażenia w kalkulatorze.
- Wprowadzić operator dzielenia przy pomocy klawisza  - w tym momencie kalkulator przepisuje wynik ostatniego do pierwszej wartości liczbowej nowego wyrażenia.
- Wprowadzić wartość 2,586 przy pomocy klawiszy  do  i 
- Wprowadzić znak wykładnika dziesiętnego przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić wartość 2 do wykładnika potęgowego wprowadzanej liczby przy pomocy klawiszy  do 
- Wprowadzić operator wyniku przy pomocy klawisza 






Wynik dzielenia wartości wynikowej poprzedniego wyrażenia przez $2,568 \cdot 10^{-2}$ wynosi -8891,05685

Obliczanie prostych wyrażen z wykorzystaniem funkcji matematycznych kalkulatora

Obliczyć wartość następującego wyrażenia: $\ln(34,9) = ?$



Sekwencja postępowania:

- Wprowadzić operator funkcyjny logarytmu naturalnego przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić wartość 34,9 przy pomocy klawiszy  do  i 
- Wprowadzić operator wyniku przy pomocy klawisza  - kalkulator automatycznie dodaje prawy nawias zamykający i oblicza wynik wyrażenia.

Wynik wyrażenia wynosi 3,55249

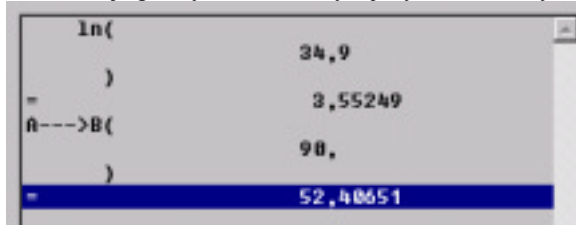
Wyrazić wartość prędkości 90 km/h w milach na godzinę.

Sekwencja postępowania:

- Wybrać wielkość fizyczną oraz jednostki A i B prędkości jak na rysunku poniżej.



- Wprowadzić operator funkcyjny konwersji jednostki A na jednostkę B przy pomocy klawisza **A→B**
- Wprowadzić wartość 90 przy pomocy klawiszy **0** do **9** i **.**
- Wprowadzić operator wyniku przy pomocy klawisza **=** - kalkulator automatycznie dodaje prawy nawias zamykający i oblicza wynik wyrażenia.



Wynik zamiany jednostek prędkości wynosi 52,40651.

Obliczanie złożonych wyrażeń z wykorzystaniem funkcji kalkulatora

Obliczyć wartość wyrażenia przedstawionego poniżej:

$$\left(\frac{\sin(60,48^\circ)}{2} \right)^{\ln(35)} = ?$$

Sekwencja postępowania:

- Obliczyć wartość wykładnika potęgi.

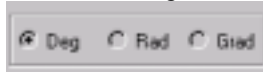


- Wprowadzić operator funkcyjny logarytmu naturalnego przy pomocy klawisza **ln**
- Wprowadzić wartość 35 przy pomocy klawiszy **0** do **9** i **.**
- Wprowadzić operator wyniku przy pomocy klawisza **=** - kalkulator automatycznie dodaje prawy nawias zamykający i oblicza wynik wyrażenia.

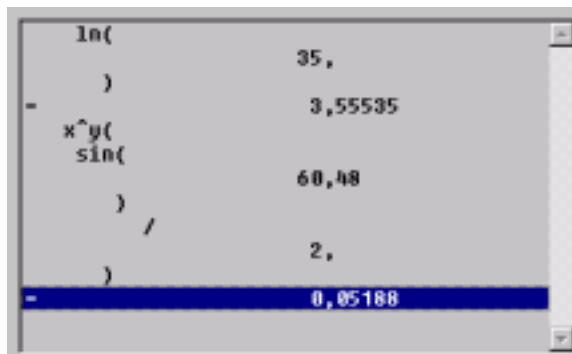
- Wprowadzić obliczoną wartość wykładnika potęgi do pola edycyjnego funkcji wykładniczych



- Ustalić jednostkę miar kątów na stopnie:



- Wprowadzić operator funkcji wykładniczej przy pomocy klawisza x^y
- Wprowadzić operator funkcji sinus przy pomocy klawisza \sin
- Wprowadzić wartość 60,48 przy pomocy klawiszy 0 do 9 i .
- Wprowadzić prawy nawias zamykający przy pomocy klawisza $)$
- Wprowadzić operator dzielenia przy pomocy klawisza $/$
- Wprowadzić wartość 2 przy pomocy klawiszy 0 do 9 i .
- Wprowadzić operator wyniku przy pomocy klawisza $=$ - kalkulator automatycznie dodaje prawy nawias zamykający i oblicza wynik wyrażenia.



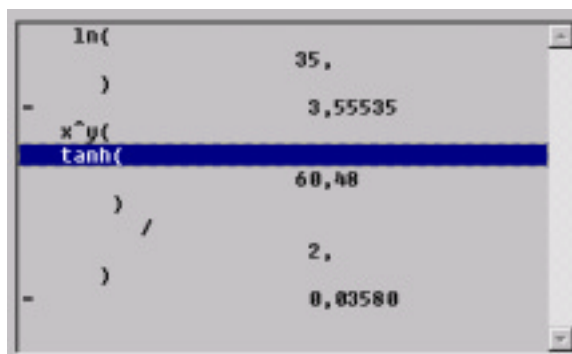
Wynik obliczeń wynosi 0,05188.

Zmiana funkcji w obliczonym wyrażeniu

Kalkulator posiada możliwość zmiany dowolnej funkcji zastosowanej w obliczonym wyrażeniu. Pozwala to na poprawianie błędnie wprowadzonych funkcji lub na obliczanie wyrażenia z różnymi funkcjami bez zbędnego przepisywania.

Jeżeli np. w analizowanym poprzednio wyrażeniu zamiast funkcji sinus w wyrażeniu powinna znajdować się funkcja tangens hiperboliczny wystarczy zmienić funkcję a kalkulator automatycznie obliczy aktualną wartość wyrażenia bez potrzeby przepisywania całego wyrażenia od początku.

Zamienić w istniejącym wyrażeniu funkcję sinus na tangens hiperboliczny.



Sekwencja postępowania

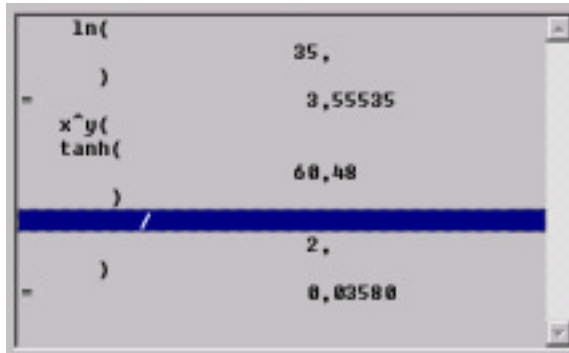
- Przenieść zaznaczenie linii wyświetlacza do linii wyświetlacza z operatorem funkcji sinus przy pomocy myszy wskazując ten operator lub przy pomocy klawiszy \uparrow i / lub \downarrow .
- Przy pomocy klawisza wprowadzić operator funkcji tangens hiperboliczny w miejscu operatora funkcji sinus – w tym momencie kalkulator zaktualizował wynik wyrażenia.
- Nacisnąć klawisz operatora wyniku co spowoduje przeniesienie zaznaczenia linii wyświetlacza do wyniku wyrażenia.

Wynik wyrażenia po zamianie funkcji sinus na funkcję tangens hiperboliczny wynosi 0,03580.


Używanie klawisza wyniku pośredniego

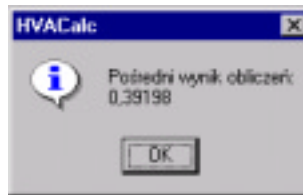
Kalkulator posiada mechanizm, dzięki któremu można oglądać wynik pośredni w obliczonym wyrażeniu algebraicznym. Aby zobaczyć wynik pośredni obliczeń należy zaznaczyć dowolną linię obliczonego wyrażenia na wyświetlaczu kalkulatora i nacisnąć klawisz wyniku pośredniego.

Sprawdzić wartość dzielenia w poprzednio edytowanym wyrażeniu algebraicznym.



Sekwencja postępowania:

- Przenieść zaznaczenie linii wyświetlacza do drugiego operatora mnożenia przy pomocy myszy wskazując tą wartość lub przy pomocy klawiszy \uparrow i / lub \downarrow .
- Naciśnięcie klawisz wyniku pośredniego 
- Kalkulator wyświetlił okno dialogowe, w którym będzie podana wartość wyniku pośredniego.



Wykorzystanie możliwości kopiowania i wklejania wartości liczbowych





Kalkulator posiada funkcje kopiowania do schowka oraz wklejania ze schowka. Obydwie funkcje wykorzystują schowek systemu Windows co pozwala na wymianę informacji pomiędzy dowolnymi programami a Kalkulatorem Audytora Energetycznego. Funkcje te pozwalają także na wymianę informacji pomiędzy liniami wyświetlacza kalkulatora a także pomiędzy polami edycyjnymi w pozostałych zakładkach Kalkulatora Audytora Energetycznego.

Kopiowanie wartości liczbowej wewnątrz wyświetlacza kalkulatora.

Utworzyć wyrażenie $4583,25689 + 4583,25689 = ?$ bez wpisywania dwukrotnie argumentu.

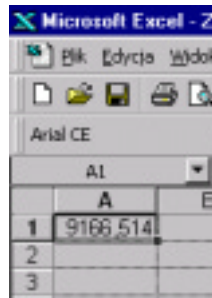
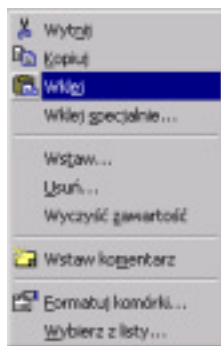


Sekwencja postępowania:

- Wprowadzić wartość 4583,25689 przy pomocy klawiszy 0 do 9 i .
- Zapamiętać wartość w schowku przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić operator dodawania przy pomocy klawisza 
- Wkleić wartość zapamiętaną w schowku przy pomocy klawisza 
- Wprowadzić operator wyniku przy pomocy klawisza 

Wynik wyrażenia wynosi 9166,51378 (ta wielkość została do tego tekstu wklejona z kalkulatora przy pomocy opisanego przed chwilą mechanizmu)

Wklejenie wyniku do arkusza kalkulacyjnego.





Wyświetlanie wartości nieokreślonych

Kalkulator wyświetla wartość INF w przypadku, gdy wynik obliczeń jest nieskończonością lub IND gdy wartość wyrażenia nie może być określona.

Obliczyć wartość 1/0 i 0/0.

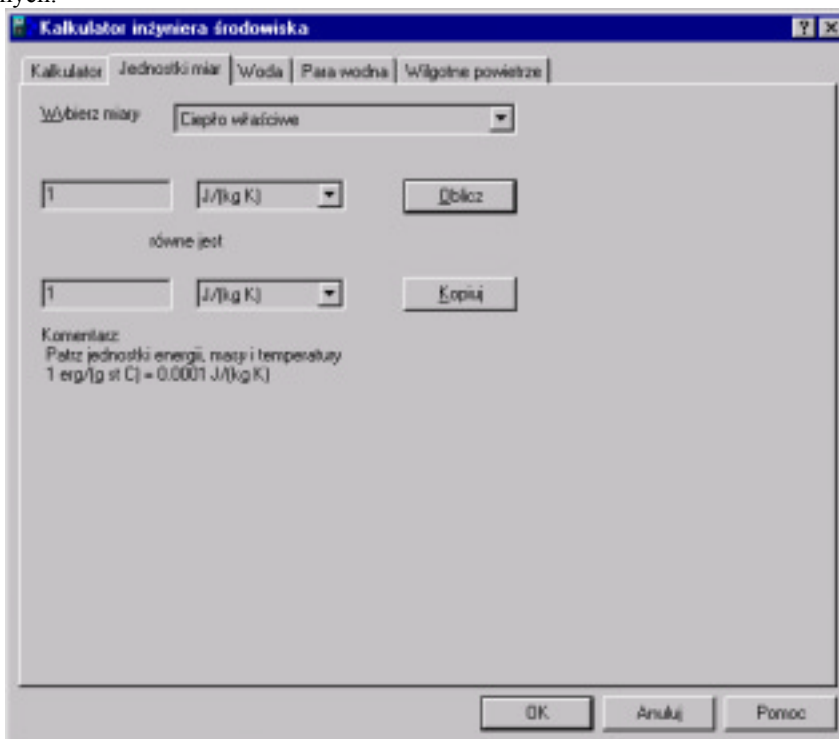
Poniżej przedstawiono wynik wyrażenia 1 / 0 oraz wyrażenia 0 / 0.



UWAGA: Klawisz  umożliwia cofanie wszelkich operacji tworzenia wyrażenia do momentu wprowadzenia operatora wyniku przy pomocy klawisza . Pozwala to na edycję wprowadzanych wartości liczbowych a także usuwanie błędnie wprowadzonych operatorów algebraicznych i funkcyjnych.

Przeliczanie jednostek

W zakładce tej można dokonywać przeliczeń wybranych jednostek miar wielkości fizycznych.



UWAGA: Każdy element zakładki posiada pomoc kontekstową dostępną poprzez klawisz? w prawym górnym rogu aplikacji lub kombinację klawiszy Shift-F1, a następnie wskazanie odpowiedniego elementu zakładki. Dodatkowo dostęp do tej pomocy można uzyskać poprzez wskazanie prawym klawiszem myszy elementu zakładki (oprócz pól edycyjnych).

Przeliczanie jednostek

Sekwencja postępowania:

- Wybrać miary z rozwijalnej listy.
- Wybrać jednostkę, z której będziesz dokonywać przeliczenia.
- Wybrać jednostkę, do której będziesz dokonywać przeliczenia.
- W polu edycji jednostki początkowej wpisać wartość.
- W polu edycji jednostki końcowej obliczana jest na bieżąco wartość przeliczona.

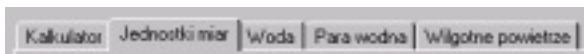
Właściwości fizyczne wody

Wskazówka: Pola wartości początkowej i końcowej obsługują prawy klawisz myszy oraz kopiowanie Ctrl-C do schowka i wklejanie Ctrl-V ze schowka. Pole wartości końcowej jest tylko do odczytu.

Poniżej w tabeli przedstawiono dostępne w całym programie miary wielkości fizycznych i ich jednostki.

Miara	Jednostka miary
Długość	m, mm, cm, km, in, ft, yd, mile, n mile
Pole powierzchni	m ² , mm ² , cm ² , ar, ha, km ² , sq in, sq ft, sq yd, acre, sq mile
Objętość	m ³ , dm ³ , ml, l, hl, cu in, cu ft, cu yd, UK gallon, US gallon, UK bushel, US bushel
Prędkość	m/s, ft/s, ft/min, km/h, mile/h, kn
Masa	kg, mg, g, dkg, q, Mg, (kp s ²)/m, dr, oz, lb, cwt, t, UK ton, US short ton
Strumień masy	kg/s, kg/h, t/h, t/d, lb/h, UK ton/h, US short ton/h
Strumień objętości	m ³ /s, m ³ /h, l/s, l/min, cu ft/h, cu ft/min, UK gal/min, US gal/min
Siła	N, dyn, kp, kG, lbf, pdl
Moment	Nm, kpm, kGm, lbf ft, lbf in
Ciśnienie	Pa, hPa, kPa, MPa, mbar, bar, kbar, dyn/cm ² , kp/m ² , kG/m ² , kp/cm ² , kG/cm ² , lbf/sq in, psi, atm, at, Tr, m H ₂ O, in H ₂ O, ft H ₂ O, mm Hg, cm g, in Hg
Gęstość	kg/m ³ , g/cm ³ , lb/cu in, lb/cu ft
Lepkość kinematyczna	m ² /s, St, m ² /h, sq ft/s, sq ft/h
Lepkość dynamiczna	Pa*s, P, (kp s)/m ² , (kG s)/m ² , (kp h)/m ² , (kG h)/m ² , kg/(m h), (lbf s)/sq ft, lb/(ft s)
Energia	J, kJ, MJ, GJ, TJ, cal, kcal, Mcal, Gcal, Tcal, Wh, kWh, MWh, GWh, TWh, kpm, kGm, ft lbf, BTU, cal 15, cal termochem, erg, KMh, eV
Moc	W, kW, MW, GW, TW, J/h, kJ/h, MJ/h, GJ/h, TJ/h, cal/h, kcal/h, Mcal/h, Gcal/h, Tcal/h, cal/s, BTU/h, (ft lbf)/s, (kp m)/s, (kG m)/s, KM, h.p.
Entalpia	J/kg, kJ/kg, MJ/kg, cal/g, kcal/kg, BTU/lb, (kG m)/kg, (ft lbf)/lb, kWh/kg
Ciepło właściwe	J/(kg K), kJ/(kg K), cal/(g °C), kcal/(kg °C), BTU/(lb °F)
Przewodność cieplna	w W/(m K), W/(cm K), kcal/(m h °C), cal/(cm s °C), kJ/(m h K), BTU/(ft h °F), (BTU in)/(sq ft h °F)
Współczynnik przenikania ciepła	W/(m ² K), W/(cm ² K), kcal/(m ² h °C), cal/(cm ² s °C), BTU/(sq ft h °F)
Współczynnik przejmowania ciepła	W/(m ² K), W/(cm ² K), kcal/(m ² h °C), cal/(cm ² s °C), BTU/(sq ft h °F)
Dyfuzyjność cieplna	m ² /s, cm ² /s, m ² /h, sq ft/s, sq ft/h
Temperatura	K, °C, °F, °R
Rozszerzalność objętościowa	1/K
Napięcie powierzchniowe	N/m
Objętość właściwa	m ³ /kg, cm ³ /g, cu in/lb, cu ft/lb
Różnica temperatur	K, st C, st F, st Rank
Czas	s, ms, min, h, dni, m-c30, m-c31, rok360, rok365
Jednostkowa strata ciśnienia	Pa/m
Kąt płaski	rad, st, min, sec, grad
Prędkość kątowna	rad/s, obr/s, obr/min, rps, rpm
Zawartość wilgoci	kg/kg, g/kg

Poniższe przykłady dotyczą zakładki **Jednostki miar**, która została przedstawiona na rysunku poniżej.

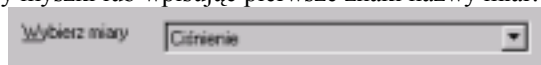


Przykłady przeliczania jednostek

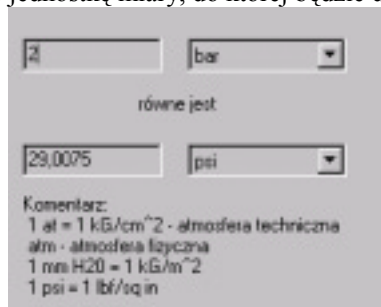
Przeliczanie wartości ciśnienia

Wyznaczyć wartość ciśnienia 2 bary w jednostkach psi

- W rozwijalnej liście rodzaju miar wybierz **Ciśnienie**. Można to zrobić przy pomocy myszki lub wpisując pierwsze znaki nazwy miar.



- W polu edycyjnym należy wpisać liczbę jednostek, która będzie przeliczana tzn. 2. W sąsiadującej liście jednostek należy wybrać tę jednostkę miary, z której dokonywane jest przeliczenie - **bar**. Poniżej w liście rozwijalnej należy wybrać jednostkę miary, do której będzie dokonane przeliczenie - **psi**.

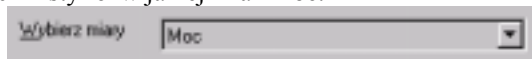


W podanym powyżej przykładzie przeliczono 2 bary na 29,0075 psi.

Przeliczanie mocy

Obliczyć ile kcal/h odpowiada mocy 250 kW.

- Wybrać z listy rozwijalnej miar **Moc**.



- W polu edycyjnym jednostki początkowej wpisać wartość 250. W liście rozwijalnej jednostki początkowej wybrać **kW** natomiast w liście rozwijalnej jednostki końcowej wybrać **kcal/h**. Odczytać wartość przeliczonej mocy.

250 kW

równie jest

214961 kcal/h

Komentarz:
Patrz jednostki energii
KM - metryczne korze mechaniczne
h.p. - korze mechaniczne

W podanym przykładzie przeliczono 250 kW na 214961 kcal/h.

Przeliczanie energii

Wyrzucić 458 GJ w kWh.

- Wybrać z listy rozwijalnej miar **Energia**.

Wybierz miarę Energia

- W polu edycyjnym jednostki początkowej wpisać wartość 458. W liście rozwijalnej jednostki początkowej wybrać **GJ** natomiast w liście rozwijalnej jednostki końcowej wybrać **kWh**. Odczytać wartość przeliczonej energii.

458 GJ

równie jest

127222 kWh

Komentarz:
BTU - brytyjska jednostka ciepła
1 cal = 4.1868 J - kaloria międzynarodowa
1 cal 15 = 4.1855 J - kaloria piętnastostopniowa
1 cal termochem. = 4.1840 J - kaloria termochem.

W podanym przykładzie przeliczono 458 GJ na 127222 kWh.

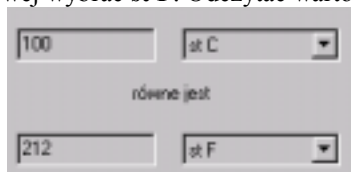
Przeliczanie temperatury

Obliczyć jaka temperatura w skali Fahrenheita odpowiada temperaturze 100 °C.

- Wybrać z listy rozwijalnej miar **Temperatura**.

Wybierz miarę Temperatura

- W polu edycyjnym jednostki początkowej wpisać wartość 100. W liście rozwijalnej jednostki początkowej wybrać **st C** natomiast w liście rozwijalnej jednostki końcowej wybrać **st F**. Odczytać wartość przeliczonej temperatury.

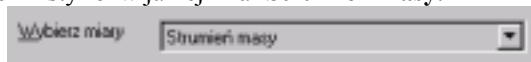


W podanym przykładzie przeliczono 100 °C na 212 °F.

Przeliczanie strumienia masy

Obliczyć jaki strumień masy wyrażony w t/h odpowiada przepływowi 0,259 kg/s.

- Wybrać z listy rozwijalnej miar **Strumień masy**.



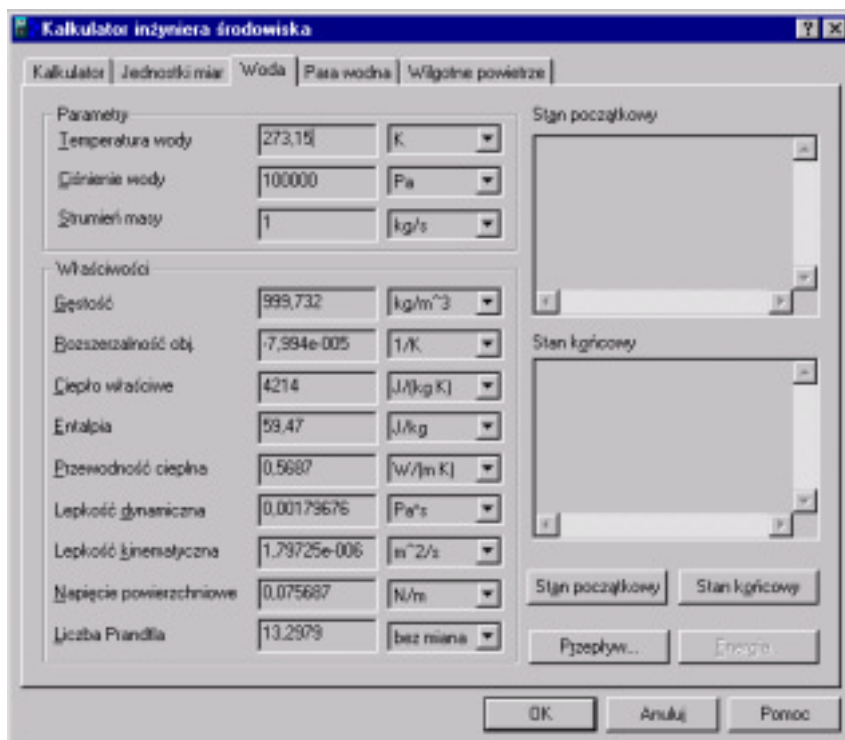
- W polu edycyjnym jednostki początkowej wpisać wartość 0,259. W liście rozwijalnej jednostki początkowej wybrać **kg/s** natomiast w liście rozwijalnej jednostki końcowej wybrać **t/h**. Odczytać wartość przeliczonego strumienia masy.



W podanym przykładzie przeliczono 0,259 kg/s na 0,9324 t/h.

Właściwości fizyczne wody

Przy pomocy tej zakładki można określać właściwości fizyczne wody zależne od temperatury wody w zakresie od 0 st. C do 150 st. C, obliczać zagadnienia związane z przepływem wody oraz analizować zagadnienia związane z energią i mocą cieplną przenoszoną przez wodę



UWAGA: Każdy element zakładki posiada pomoc kontekstową dostępną poprzez klawisz? w prawym górnym rogu aplikacji lub kombinację klawiszy Shift-F1, a następnie wskazanie odpowiedniego elementu zakładki. Dodatkowo dostęp do tej pomocy można uzyskać poprzez wskazanie prawym klawiszem myszy elementu zakładki (oprócz pól edycyjnych).

Znajdowanie właściwości fizycznych wody

- Przy pomocy rozwijalnej listy określić jednostki temperatury wody.
- W polu edycyjnym temperatury wprowadzić wartość temperatury wody w wybranych wcześniej jednostkach.

- Wartości poszczególnych parametrów wody są obliczane na bieżąco w trakcie wprowadzania wartości temperatury.
- Aby zmienić jednostkę dla danego parametru wody o podanej temperaturze wybierz ją z sąsiadującej rozwijalnej listy.

Zapamiętywanie stanu początkowego wody

Aby zapamiętać stan początkowy wody o podanej temperaturze naciśnij klawisz <**Stan początkowy**>. Wszystkie parametry wody zostaną przepisane do okna edycyjnego Stan początkowy. Parametry te mogą być wykorzystane później do analizy energii.

Zapamiętywanie stanu końcowego wody

Po zmianie temperatury wody można zapamiętać jej stan końcowy.

Aby zapamiętać stan końcowy wody o podanej temperaturze naciśnij klawisz <**Stan końcowy**>. Wszystkie parametry wody zostaną przepisane do okna edycyjnego Stan końcowy. Parametry te mogą być wykorzystane później do analizy energii.

Wskazówka: Okna edycyjne <**Stan początkowy**> i <**Stan końcowy**> obsługują prawy klawisz myszy oraz kopiowanie do schowka Ctrl-C. Skopiowane wartości można wykorzystać w innych programach. Okna te są tylko do odczytu.

Analiza przepływu wody

Po ustaleniu temperatury wody oraz strumienia masy wody można przeprowadzić dla wody o tej temperaturze analizę przepływu.

W analizie przepływu można określić:

- wymiar przewodu,
- strumień objętości,
- prędkość przepływu,
- masę przepływającej wody,
- czas przepływu,
- liczbę Reynoldsa,
- charakter przepływu,
- promień hydrauliczny,
- chropowatość względną i bezwzględną przewodu,
- jednostkowe straty ciśnienia,
- długość przewodu,
- współczynnik oporów liniowych,
- liniowe straty ciśnienia,
- współczynnik oporów miejscowych lub współczynnik przepływu K_v ,
- miejscowe straty ciśnienia.

Aby uruchomić analizę przepływu dla wody o podanej temperaturze należy wcisnąć klawisz <Przepływ...>

UWAGA: Program nie rozwiązuje zagadnień wytrzymałościowych przewodów znajdujących się pod ciśnieniem.

Analiza energii przemiany termodynamicznej wody

Po ustaleniu stanu początkowego oraz stanu końcowego wody można przeprowadzić dla takiej przemiany analizę energii.

W analizie energii można określić:

- moc cieplną,
- strumień masy,
- czas,
- ilość energii,
- różnicę entalpii,
- różnicę temperatur,
- entalpię końcową,
- temperaturę końcową

Aby uruchomić analizę przepływu dla zapamiętanego stanu początkowego i końcowego należy wcisnąć klawisz <Energia...>

Podstawowe wiadomości z mechaniki płynów i termodynamiki wody

Gęstość płynu jednorodnego określamy stosunkiem jego masy m do objętości V , czyli:

$$\rho = \frac{m}{V} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ciężar właściwy płynu jednorodnego określony jest stosunkiem ciężaru G do jego objętości V , czyli:

$$\gamma = \frac{G}{V} \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

lub

$$\gamma = \rho \cdot g$$

Objętość właściwa płynu jednorodnego określona jest jako stosunek jego objętości V do masy m , czyli:

$$v = \frac{V}{m} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

lub

$$v = \frac{1}{\rho}$$

Rozszerzalnością objętościową cieczy nazywamy jej zdolność do zmiany objętości pod wpływem zmian temperatury. Rozszerzalnością objętościową określamy przy pomocy współczynnika β_t wyrażającego stosunek względnej zmiany objętości do przyrostu temperatury, który tę zmianę wywołał.

$$\beta_t = \frac{1}{dT} \cdot \frac{dV}{V} \frac{1}{K}$$

Lepkością nazywamy zdolność płynów do przenoszenia naprężeń stycznych przy wzajemnym przemieszczaniu elementów poruszających się z różnymi prędkościami. Powstają przy tym siły styczne do kierunku przemieszczenia, które noszą nazwę sił stycznych lub sił tarcia. Siły te są tym większe im większa jest lepkość płynu i im większe są różnice prędkości między sąsiednimi elementami płynu.

Współczynnik lepkości dynamicznej jest miarą lepkości i jest to współczynnik proporcjonalności pomiędzy wartością naprężeń stycznych pomiędzy elementami płynu a gradientem prędkości w kierunku normalnym naprężeń stycznych.

$$\mu = \tau \cdot \frac{dn}{dv} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

Współczynnik lepkości kinematycznej to stosunek współczynnika lepkości dynamicznej do gęstości płynu.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \frac{m^2}{s}$$

Ciepło właściwe jest to liczbowo ilość ciepła Q pobierana lub oddawana przez jednostkę masy m danej substancji przy zmianie temperatury Δt o jeden Kelwin lub jeden stopień Celsjusza.

$$c_w = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$$

Napięcie powierzchniowe jest to wielkość charakteryzująca stan na granicy dwóch faz zależna od cieczy i od sąsiadującego z nią ośrodka. Wartość liczbową α napięcia powierzchniowego jest miarą energii powierzchniowej cieczy tj. miarą pracy $dE = \alpha \, dS$ potrzebnej do izotermicznego zwiększenia powierzchni cieczy o ds . Napięcie powierzchniowe można również określić jako stosunek siły rozrywającej F , działającej stycznie do powierzchni cieczy w kierunku prostopadłym do liniowego przekroju powierzchni, do długości l tego przekroju.

$$\alpha = \frac{\vec{F}}{l} \frac{N}{m}$$

Entalpia jedna z funkcji stanu termodynamicznego substancji. Jest potencjałem termodynamicznym w procesach przebiegających bez zmian entropii i ciśnienia. W procesach odwracalnych zachodzących pod stałym ciśnieniem (izobarycznych) zmiana entalpii jest równa ilości ciepła dostarczonej substancji. Entalpię definiuje równanie Gibbsa:

$$h = u + p \cdot v \quad \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

u - energia wewnętrzna właściwa $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$

p - ciśnienie Pa

v - objętość właściwa $\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$

Przewodność cieplna określa zdolność substancji do przewodzenia ciepła. Im większa wartość przewodności cieplnej tym większa jest ilość przewodzonego ciepła w tych samych warunkach. Liczbowo przewodność cieplna λ jest równa natężeniu strumienia ciepła przewodzonego przez daną substancję o grubości 1 m przy różnicy temperatur na przeciwnych powierzchniach substancji równej 1 K lub 1 °C. Przewodzenie ciepła odbywa się zgodnie z prawem Fouriera:

$$q = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx} \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Liczba Prandtla jest stosunkiem współczynnika lepkości kinematycznej ν do współczynnika wyrównania temperatur a . Liczbę Prandtla można traktować jako miarę stosunku przenoszenia ilości ruchu w płynie lepkiem do ilości ciepła w płynie.

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{a}$$

Masowe natężenie przepływu jest to masa płynu m przepływająca w jednostce czasu przez przekrój poprzeczny F strugi.

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} \quad \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Objętościowe natężenie przepływu jest to objętość płynu V przepływająca w jednostce czasu przez przekrój poprzeczny F strugi.

$$\dot{V} = \frac{dV}{dt} \quad \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Równanie ciągłości przepływu

Dla płynu ściśliwego:

$$\rho_1 \cdot F_1 \cdot v_1 = \rho_2 \cdot F_2 \cdot v_2 = \dots = \rho \cdot F \cdot v$$

ρ - gęstość płynu $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

F - pole przekroju m^2

v - średnia prędkość przepływu w przekroju $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Dla płynu nieściśliwego:

$$F_1 \cdot v_1 = F_2 \cdot v_2 = \dots = F \cdot v$$

F - pole przekroju m^2

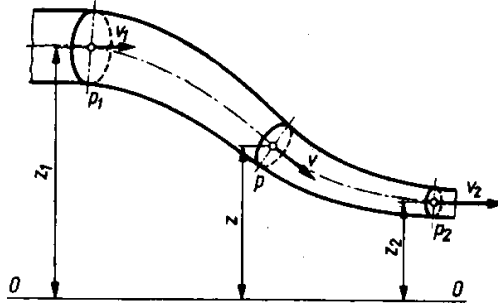
v - średnia prędkość przepływu w przekroju $\frac{m}{s}$

czyli

$$\dot{V} = F \cdot v$$

Twierdzenie Bernoulliego

W ruchu ustalonym cieczy doskonałej odbywającym się pod wyłącznym wpływem siły ciężkości *energia jednostki masy*, stanowiąca sumę energii położenia, energii ciśnienia i energii kinetycznej, jest w każdym punkcie danej strugi stała.



Wysokość hydrauliczna jest sumą wysokości geometrycznej, wysokości ciśnienia statycznego oraz ciśnienia dynamicznego.

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2 \cdot g} = const$$

z - wysokość położenia m

p - ciśnienie Pa

v - prędkość w danym punkcie strugi $\frac{m}{s}$

W ruchu cieczy lepkich wysokość hydrauliczna maleje w kierunku przepływu o wysokość Δh_s , która odpowiada stratom ciśnienia pomiędzy przekrojami 1 i 2 strugi.

$$\frac{v_1}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{v_2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \Delta h_s$$

Liczba Reynoldsa liczba podobieństwa będąca miarą sił bezwładności do sił lepkości w przepływającym płynie lepkiem. Wartość liczby Reynoldsa odpowiadająca przejściu

przepływu laminarnego w turbulentny nazywamy krytyczną liczbą Reynoldsa, która równą jest w przybliżeniu $Re_{kr} = 2320$.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} = \frac{v \cdot d}{\vartheta}$$

$$\rho - \text{gęstość } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

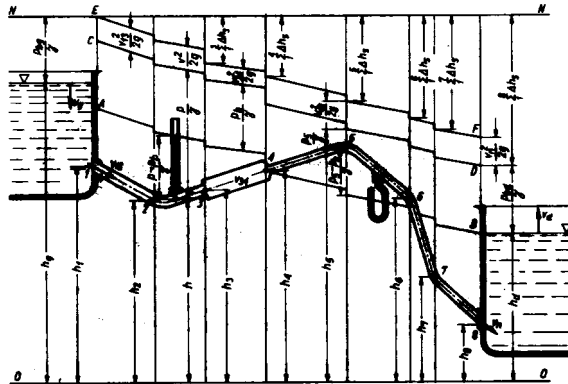
$$v - \text{prędkość } \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$d - \text{średnica m}$$

$$\mu - \text{lepkość dynamiczna } \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$\vartheta - \text{lepkość kinematyczna } \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Na straty ciśnienia składają się liniowe straty ciśnienia oraz miejscowe straty ciśnienia.



Liniowe straty ciśnienia wyznacza się przy pomocy równania Darcy-Weisbacha, które można zapisać w następującej postaci:

$$h_l = \frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v_{sr}^2}{2 \cdot g}$$

h_l - wysokość liniowych strat ciśnienia m

p_1, p_2 - ciśnienie początkowe i końcowe Pa

γ - ciężar właściwy płynu $\frac{N}{m^3}$

λ - współczynnik oporów liniowych

l - długość przewodu m

d - średnica wewnętrzna przewodu m

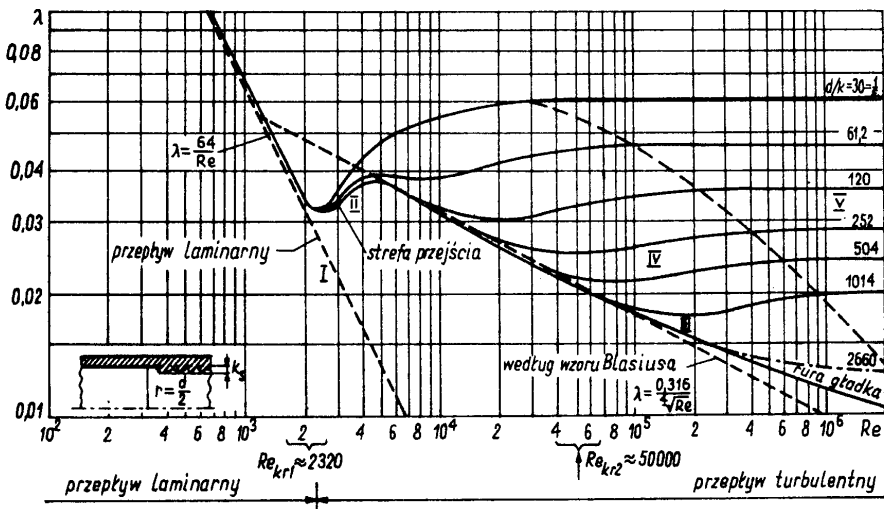
v_{sr} - średnia prędkość w przewodzie $\frac{m}{s}$

g - przyspieszenie ziemskie $\frac{m}{s^2}$

Współczynnik oporów liniowych

Współczynnik oporów liniowych jest w ogólnym przypadku funkcją liczby Reynoldsa i chropowatości względnej ε wewnętrznych ścianek przewodu.

$$\lambda = \lambda(Re, \varepsilon)$$



Chropowatość względną określamy jako stosunek chropowatości bezwzględnej k do średnicy przewodu d .

$$\varepsilon = \frac{k}{d}$$

k - chropowatość bezwzględna przewodu m

d - średnica wewnętrzna przewodu m

Wartości współczynników k w zależności od materiału i wewnętrznych powierzchni przewodów zestawiane są w tablicy poniżej.

Rodzaj rur	Stan powierzchni wewnątrz przewodu	k [mm]
Rury walcowane z miedzi lub mosiądzu	gładkie	0,0015 – 0,01
Rury walcowane aluminium	Gładkie	0,015 – 0,6
Rury stalowe walcowane	nowe nie używane	0,02 – 0,1
	Bitumizowane	Do 0,04
	Ciepłownicze pary przegrzanej	0,10
	Nieznacznie skorodowane	0,4
	Gazociągi po roku eksploatacji	0,12
	Wodociągi w eksploatacji	1,2 – 1,5
	Przewody z większymi osadami kamienia	3,0
	Przewody z powierzchnią w złym stanie	5,0
Rury stalowe ocynkowane	Nowe, czysto ocynkowane	0,07 – 0,10
	Zwyczajnie ocynkowane	0,1 – 0,15
Rury żeliwne	Nowe	0,25 – 1,0
	Nowe, bitumizowane	0,10 – 0,15
	Asfaltowane	0,12 – 0,30
	Wodne w eksploatacji	1,4
	Z osadami	1,0 – 1,5
	Silnie skorodowane	Do 3,0
Rury betonowe	Średnie warunki gładkości	2,5
Rury azbesto-cementowe	Nowe	0,05 – 0,1
	używane	0,6

Wzór Darcy-Weisbacha może być stosowany do obliczania strat liniowych w przewodach o kołowym przekroju poprzecznym. Dla obliczania liniowych strat ciśnienia w przewodach o niekołowym przekroju poprzecznym należy do wzoru Darcy-Weisbacha podstawić wartość średnicy obliczonej na podstawie tzw. **promienia hydraulicznego**, który określa się jako stosunek przekroju czynnego F do obwodu zwilżonego U .

$$R_h = \frac{F}{U}$$

Współczynnik oporów liniowych określa się w zależności od zakresu przepływu. W programie zastosowano ostry podział między zakresem przepływu laminarnego a zakresem przepływu turbulentego. Jako kryterium przyjęto $Re_{kr} = 2320$. Dla zakresu laminarnego wartość współczynnika oporów liniowych określa się na podstawie wzoru Hagen – Poiseuille'a :

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

natomiast dla przepływów turbulentnych współczynniki oporów miejscowych określa się na podstawie zależności Colebrooka – White'a :

$$\frac{1}{\lambda} = -2 \cdot \lg \left(\frac{2,51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 \cdot d} \right)$$

Jednostkowe straty ciśnienia R określane są jako linowe straty ciśnienia przy przepływie znanego strumienia masy danego płynu przez przewód o znanej charakterystyce geometrycznej i długości jednego metra.

$$\Delta p = R \cdot l$$

Δp - liniowe straty ciśnienia Pa

R - jednostkowe straty ciśnienia przewodu $\frac{\text{Pa}}{\text{m}}$

l - długość przewodu m

Współczynniki oporów miejscowych

Przy przepływie cieczy lepkich oprócz strat liniowych na długości prostoosiowych przewodów o stałym przekroju poprzecznym uwzględnić należy również opory miejscowe związane z określonymi miejscami rurociągów, w których występują różnego rodzaju przeszkody jak np. załamania, zagięcia, zmiany przekrojów poprzecznych, armatura odcinająca i regulacyjna a także trójniki.

Wysokość strat miejscowych ciśnienia oblicza się ze wzoru:

$$h_m = \frac{\Delta p}{\gamma} = \xi \cdot \frac{v_{sr}^2}{2 \cdot g}$$

Δp - strata ciśnienia na oporze miejscowym Pa

γ - ciężar właściwy przepływającego płynu $\frac{\text{N}}{\text{m}^3}$

ξ - bezwymiarowy współczynnik oporu miejscowego

v_{sr} - prędkość płynu przepływającego przez opór miejscowy $\frac{\text{m}}{\text{s}}$

g - przyspieszenie ziemskie $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Wartości współczynników oporów miejscowych określa się z odpowiednich tabel dla konkretnych typów oporów miejscowych.

Energia i moc cieplna

Ilość ciepła dostarczonego do cieczy lub odebranego od cieczy określa się na podstawie wzoru bilansu cieplnego:

$$Q = m \cdot c_w \cdot \Delta t = m \cdot (i_2 - i_1)$$

Q - ilość ciepła J

m - masa cieczy kg

c_w - ciepło właściwe $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Δt - różnica temperatur K

i_1, i_2 - entalpia początkowa i końcowa $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$

Moc cieplną dostarczoną do cieczy lub od niej odebraną oblicza się analogicznie:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_w \cdot \Delta t = \dot{m} \cdot (i_2 - i_1)$$

\dot{Q} - moc cieplna W

\dot{m} - strumień masy cieczy $\frac{\text{kg}}{\text{s}}$

c_w - ciepło właściwe $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Δt - różnica temperatur K

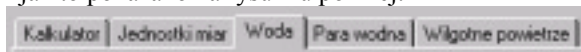
i_1, i_2 - entalpia początkowa i końcowa $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$

Współczynnik przepływu

Współczynnik przepływu K_v określony jest jako objętościowe natężenie przepływu w m^3/h przez zawór wody o ciężarze właściwym $1 \text{ kg}/\text{dm}^3$ przy spadku ciśnienia na zaworze $1 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Zgodnie z normą PN-79/M-42063 „Zawory regulacyjne. Normy i określenia” współczynnik przepływu K_v zdefiniowano jako strumień objętości wody w m^3/h o temperaturze od 5 do 40 °C płynącej przez zawór, przy spadku ciśnienia 0,1 MPa dla określonego skoku zaworu.

$$K_v = V \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p_r}} \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Wszystkie przykłady w tym rozdziale dotyczą zagadnień związanych z przepływem wody. Do wykonania przykładów należy wybrać zakładkę «**Woda**» w Kalkulatorze Audytora Energetycznego tak jak to pokazano na rysunku poniżej.



Przykłady dotyczące przepływu wody

Przykład 1 - Wyznaczyć parametry wody o temperaturze 77,3 °C.

Ustalić jednostkę temperatury na °C wybierając ją z listy rozwijalnej. W polu **Temperatura wody** wprowadzić wartość 77,3.

Temperatura wody	77,3	st C
------------------	------	------

Odczytać właściwości fizyczne wody o podanej temperaturze z pól w obszarze **Właściwości** poniżej w zakładce.

Właściwości		
Gęstość	973,364	kg/m ³
Rozszerzalność obj.	0,00186868	1/K
Ciepło właściwe	4195,56	J/(kg K)
Entalpia	323609	J/kg
Przewodność cieplna	0,667729	W/(m K)
Lepkość dynamiczna	0,000367557	Pa·s
Lepkość kinematyczna	3,77616e-007	m ² /s
Napięcie powierzchniowe	0,0630528	N/m
Liczba Prandtla	2,31284	bez miara


Przykład 2 - Wyznaczyć strumień objętości wody o temperaturze 198 °F przepływającej przez przewód o średnicy DN 200 z prędkością 1,23 m/s.

Ustalić jednostkę temperatury [°F] wybierając ją z listy rozwijalnej. W polu **Temperatura wody** wprowadzić wartość 198.

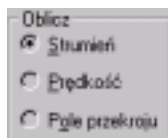
Parametry		
Temperatura wody	198	st F
Ciśnienie wody	100000	Pa
Strumień masy	1	kg/s

Woda o podanej temperaturze ma gęstość 963,758 kg/m³. Dla wody o takiej gęstości będzie poszukiwany strumień objętości.

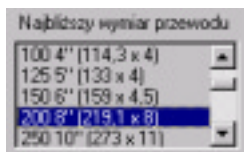
Gęstość	963,758	kg/m ³
---------	---------	-------------------

Po ustaleniu parametrów wody należy nacisnąć na klawisz 

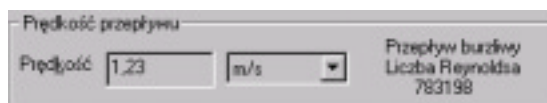
W oknie dialogowym **Analiza przepływu** należy wskazać obliczaną wartość, którą jest w tym przykładzie **Strumień**.



Z listy wymiarów handlowych przewodów należy wybrać 200 8'' (219,1 x 8) czyli przewód o średnicy nominalnej 200 mm.



W polu **Prędkość** należy ustalić jednostki [m/s] i podać wartość 1,23.



W grupie **Strumień** należy odczytać wartość strumienia masy 38,4 kg/s i / lub strumienia objętości 143,5 m³/h. Obliczane pola są w oknie dialogowym przedstawiane kolorem niebieskim. W programie można zmieniać jednostki obliczanych wartości.



Przykład 3 - Wyznaczyć średnicę przewodu tłoczego pompy jeżeli wiadomo, że strumień objętości wody o temperaturze 5 °C tłoczony przez pompę wynosi 1360 m³/h natomiast prędkość w przewodzie powinna wynosić 1,5 m/s. Podać rzeczywistą prędkość przepływu po dobraniu najbliższej średnicy handlowej przewodu.

Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej.
W polu **Temperatura wody** wprowadzić wartość 5.

Parametry		
Temperatura wody	5	st C
Ciśnienie wody	100000	Pa
Strumień masy	1	kg/s

Odczytać właściwości fizyczne wody o podanej temperaturze.

Właściwości		
Gęstość	999,922	kg/m ³
Rozszerzalność obj.	6,29823e-006	1/K
Ciepło właściwe	4204,02	J/(kg K)
Entalpia	21038,9	J/kg
Przewodność cieplna	0,578134	W/(m K)
Lepkość dynamiczna	0,00151982	Pa·s
Lepkość kinematyczna	1,51994e-006	m ² /s
Napięcie powierzchniowe	0,0750106	N/m
Liczba Prandla	11,0568	bez miara

Po ustaleniu parametrów wody należy nacisnąć na klawisz 

W oknie dialogowym **Analiza przepływu** należy wskazać obliczaną wartość, którą jest w tym przykładzie **Pole przekroju**.

Oblicz
<input type="radio"/> Strumień
<input type="radio"/> Prędkość
<input checked="" type="radio"/> Pole przekroju

W grupie **Strumień** należy wybrać jednostkę strumienia objętości [m³/h] wybierając ją z listy rozwijalnej oraz podać wartość 1360. W momencie podania wartości strumienia objętości zostaje ona przeliczona na wartość strumienia masy.

Strumień		
masy	377,748	kg/s
objętości	1360	m ³ /h

W grupie **Prędkość przepływu** należy ustalić jednostki prędkości [m/s] wybierając je z listy rozwijalnej oraz podać wartość 1,5 w polu edycyjnym prędkości.

Prędkość przepływu		
Prędkość	1,5	m/s
		Przepływ burzliwy Liczba Reynoldsa 31753

DN Średnica przewodu 566,275 mm

Obliczona średnica przewodu wynosi 566,3 mm

Aby znaleźć rzeczywistą prędkość w dobranym przewodzie o średnicy handlowej należy w grupie **Oblicz** ustalić **Prędkość** jako obliczaną wartość,

- Strumień
- Prędkość
- Pole przekroju

a następnie wybrać z listy przewodów handlowych przewód o średnicy najbliższej do obliczonej przed chwilą 566,3 mm czyli 500 20" (508 x 14,2). Dla tej średnicy handlowej średnica wewnętrzna wynosi 479,6 mm.

Charakterystyka przewodu

DN Średnica przewodu 479,6 mm

L x H 0,601089 x 0,300545 m

E Połg przekroju 0,180654 m²

Najbliższy wymiar przewodu

300 12" (323,9 x 12,5)
350 14" (355,6 x 12,5)
400 16" (406,4 x 12,5)
500 20" (508 x 14,2)
600 32" (632 x 16)

Promień hydrauliczny 119,9 mm

Chropowatość wzgl. 2,08507e-005

0,01 mm 0,01 mm 10 mm

Natomiast obliczona prędkość przepływu wynosi 2,09 m/s.

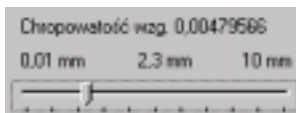
Prędkość przepływu

Prędkość 2,09116 m/s

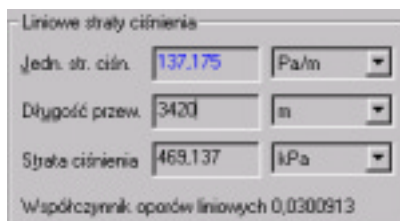
Przepływ burzliwy
Liczba Reynoldsa 659844

Przykład 4 - Wyznaczyć liniowe straty ciśnienia przy przepływie wody z poprzedniego przykładu przez przewód o długości 3420 m i o średnicy DN 500 mm. Przyjąć chropowatość bezwzględną równą 2,3 mm.

Przyjmując parametry wody oraz parametry przepływu z poprzedniego przykładu w oknie dialogowym **Przepływ** przy pomocy suwaka należy ustalić chropowatość bezwzględną przewodu jako 2,3 mm. Obliczona na bieżąco wartość chropowatości względnej wynosi 0,0048.



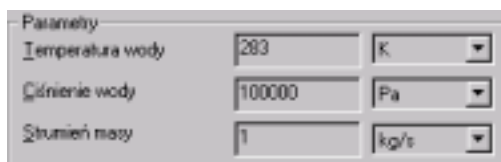
W grupie **Liniowe straty ciśnienia** należy wybrać jednostki długości przewodu w m wybierając je z rozwijalnej listy oraz podać wartość długości przewodu 3420.



Obliczona wartość współczynnika oporów liniowych dla przewodu o DN 500 i $k = 2,3$ mm przy przepływie obliczonym w poprzednim przykładzie wynosi 0,03. Jednostkowe straty przepływu wynoszą 137,2 Pa/m, natomiast obliczona liniowa strata ciśnienia przy przepływie wody z poprzedniego przykładu wynosi 469,2 kPa.

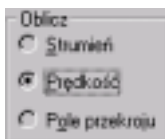
Przykład 5 - Określić średnicę przewodu o długości 470 m, który ma dostarczać wodę na plac budowy w ilości 3000 l/min. Maksymalna możliwa różnica wysokości ciśnień w przekrojach początkowym i końcowym przewodu równa jest 7 m H₂O. Przewód będzie zamontowany z równomiernie skorodowanych rur stalowych spawanych o chropowatości bezwzględnej 0,15 mm. Z oporów miejscowych uwzględnić tylko opory na dwóch zaworach zasuwowych równoprzelotowych o otwarciu 0,6 i dwóch łukach kołowych 90° i $r/D = 2$. Temperatura wody 283 K.

Ustalić jednostkę temperatury [K] wybierając ją z listy rozwijalnej.
W polu **Temperatura wody** wprowadzić wartość 283.



Po ustaleniu parametrów wody należy nacisnąć na klawisz Przepływ...

W oknie dialogowym **Analiza przepływu** należy wskazać obliczaną wartość, którą jest w tym przykładzie **Prędkość**.



W grupie **Strumień** należy ustalić jednostkę strumienia objętości [l/min] wybierając ją z rozwijalnej listy, oraz podać wartość strumienia objętości w polu edycyjnym 3000.



W grupie **Linowe straty ciśnienia** należy wybrać jednostki długości przewodu [m] wybierając je z rozwijalnej listy oraz podać wartość długości przewodu 470.



Następnie należy obliczyć wartość sumy oporów miejscowych ξ :

- zawór zasurowy równoprzelotowy o otwarciu 0,6 - $\xi = 2,8$
- łuk kołowy 90° i $r/D = 2$ - $\xi = 0,3$

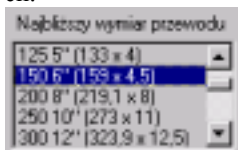
stąd

$$\Sigma \xi = 2 \times 2,8 + 2 \times 0,3 = 6,2$$

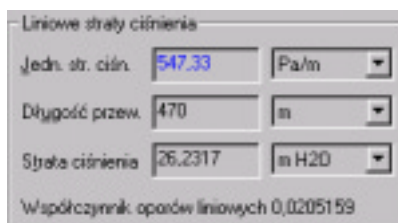
Obliczoną wartość 6,2 należy wstawić w pole edycyjne $\Sigma \xi$ grupy **Miejscowe straty ciśnienia**.



Następnie dobieramy wstępnie wartość średnicy przewodu np. DN 150, którą należy wskazać w liście średnic handlowych.



W grupach **Linowe straty ciśnienia** oraz **Miejscowe straty ciśnienia** dla pól edycyjnych **Strata ciśnienia** należy wybrać jednostki [m H₂O].



W chwili wybrania średnicy obliczane są liniowe straty ciśnienia, które wynoszą 26,2 m H₂O oraz

Miejscowe straty ciśnienia

Kv $\Sigma \zeta$ 6.2 bez miana

Strata ciśnienia 2.53 m H₂O

miejscowe straty ciśnienia, które wynoszą 2,5 m H₂O. Łączne straty ciśnienia przy wybranej średnicy DN 150 mm wynoszą 28,7 m H₂O i są większe od 7 m H₂O. Należy więc przyjąć większą średnicę przewodu. Następną średnicą handlową jest DN 200, którą należy wskazać w liście średnic handlowych.

Najbliższy wymiar przewodu

- 100 4" (114,3 x 4)
- 125 5" (133 x 4)
- 150 6" (159 x 4,5)
- 200 8" (219,1 x 8)
- 250 10" (273 x 11)

Linowe straty ciśnienia

Jedn. str. ciśn. 115.433 Pa/m

Długość przew. 470 m

Strata ciśnienia 5.53234 m H₂O

Współczynnik oporów liniowych 0,0196909

Miejscowe straty ciśnienia

Kv $\Sigma \zeta$ 6.2 bez miana

Strata ciśnienia 0.752743 m H₂O

Dla tej średnicy liniowe straty ciśnienia wynoszą 5,5 m H₂O, natomiast miejscowe straty ciśnienia wynoszą 0,75 m H₂O. Całkowite straty ciśnienia na tym przewodzie wyniosą więc 6,25 m H₂O i będą mniejsze od 7 m H₂O. Zatem średnica przewodu doprowadzająca wodę powinna wynosić 200 mm.

Przykład 6 - Obliczyć strumień masy wody przepływającej przez grzejnik konwekcyjny w instalacji centralnego ogrzewania o parametrach 90/70 °C o mocy 1060 W. Obliczyć jaka masa wody przepływa w ciągu godziny przez ten grzejnik.

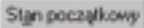
Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej. W polu **Temperatura wody** wprowadzić wartość 90.

Parametry

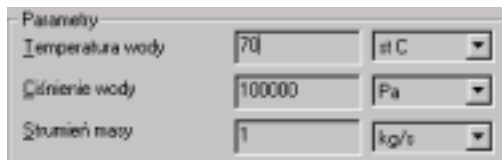
Temperatura wody 90 °C

Ciśnienie wody 100000 Pa

Strumień masy 1 kg/s


Zapamiętać stan początkowy wody naciskając klawisz 

W polu **Temperatura wody** wprowadzić wartość 70.

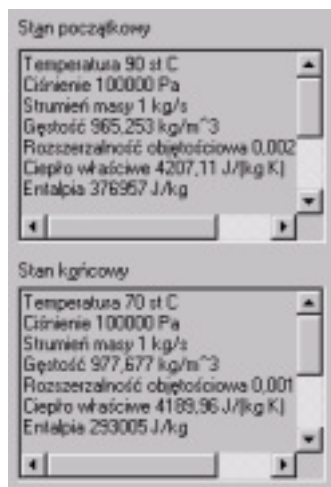


Panel parametrów wody z następującymi wartościami:

Temperatura wody	70	st C
Ciśnienie wody	100000	Pa
Strumień masy	1	kg/s

Zapamiętać stan początkowy wody naciskając klawisz 

W polach edycyjnych **Stan początkowy** i **Stan końcowy** można obejrzeć zapamiętane parametry wody. Tekst w tych oknach można przewijać używając poziomych i pionowych suwaków. Można także zaznaczyć tekst okna oraz skopiować go do schowka i wykorzystać w innym programie. Okna te odpowiadają na wskazanie prawym klawiszem myszki wyświetlając menu kontekstowe z pozycjami zaznaczania i kopiowania tekstu.




Okna dialogowe przedstawiające parametry wody:

Stan początkowy

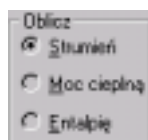
- Temperatura 90 st C
- Ciśnienie 100000 Pa
- Strumień masy 1 kg/s
- Gęstość 965,253 kg/m³
- Rozszerzalność objętościowa 0,002
- Ciepło właściwe 4207,11 J/(kg K)
- Entalpia 376957 J/kg

Stan końcowy

- Temperatura 70 st C
- Ciśnienie 100000 Pa
- Strumień masy 1 kg/s
- Gęstość 977,677 kg/m³
- Rozszerzalność objętościowa 0,001
- Ciepło właściwe 4189,36 J/(kg K)
- Entalpia 293005 J/kg

Po wybraniu stanu początkowego i końcowego należy wywołać okno dialogowe **Analizy energii** naciskając klawisz 

W oknie dialogowym **Analiza energii** należy wskazać obliczaną wartość, którą jest w tym przykładzie **Strumień**.



Menu wyboru rodzaju analizy:

- Oblicz
- Strumień
- Moc cieplną
- Entalpię

Jako jednostkę mocy cieplnej należy wybrać [W] z listy rozwijalnej, natomiast w polu edycyjnym **Moc cieplna** należy podać wartość -1060 . Wstawiana wartość jest ujemna ponieważ woda ochładzając się oddaje energię.

Strumień masy: 0.0126264 kg/s
Moc cieplna: -1060 W

Podana moc cieplna odpowiada przepływowi wody $0,013 \text{ kg/s}$ przy schłodzeniu z 90 °C do 70 °C . Jeżeli podana wartość strumienia masy ma być podana w $[\text{kg/h}]$ to należy wybrać tę jednostkę z rozwijalnej listy jednostek strumienia masy. Wartość zostanie przeliczona na bieżąco

Strumień masy: 45.4549 kg/h

i wyniesie $45,5 \text{ kg/h}$.

Naciskając klawisz **OK** okna dialogowego wartość strumienia masy zostanie przepisana do zakładki wywołującej to okno dialogowe.

Przykład 7 - Obliczyć straty ciśnienia w działce instalacji c.o. z grzejnikiem z poprzedniego przykładu. Instalacja c.o. dwururowa z rozdziałem dolnym. Długość działki $1,5 \text{ m}$, a jej średnica 10 mm . Opory miejscowe działki to trójnik - odnoga zasilanie i powrót, odsadzka, zawór przygrzejnikowy i grzejnik.

Wartość strumienia masy została przeniesiona z poprzedniego przykładu przy pomocy klawisza **OK**, okna dialogowego **Analiza energii**. Można ją także wpisać do pola edycyjnego **Strumień masy** po wcześniejszym wybraniu jednostek $[\text{kg/s}]$ strumienia masy z rozwijalnej listy.

Strumień masy: 0.0126264 kg/s

Uruchomić okno dialogowe **Analiza przepływu** przy pomocy klawisza **Przepływ...** W oknie dialogowym **Analiza przepływu** należy wskazać obliczaną wartość, którą jest w tym przykładzie **Prędkość**.

Oblicz
 Strumień
 Prędkość
 Pole przekroju

Wielkość przepływu jest przepisywana z zakładki wywołującej okno dialogowe. W liście przewodów handlowych wybrać średnicę przewodu określoną w treści przykładu, przez który płynie określona wcześniej ilość wody.

Długość działki grzejnika w instalacji dwururowej z rozdziałem dolnym jest łączną długością gałązki zasilającej i powrotnej przyłączających grzejnik do pionu instalacji c.o. . Stąd długość działki wynosi $2 \times 1,5 \text{ m} = 3 \text{ m}$. Wartość tą należy wpisać do pola **Długość przewodu** w grupie **Linowe straty ciśnienia**, po wcześniejszym wybraniu jednostek długości [m] z rozwijalnej listy.

Wartość liniowych strat ciśnienia na działce wynosi 43,7 Pa.

Suma oporów miejscowych typowej działki z grzejnikiem w instalacji dwururowej z rozdziałem dolnym wynosi $\Sigma \xi = 15,5$. Na opory miejscowe składa się:

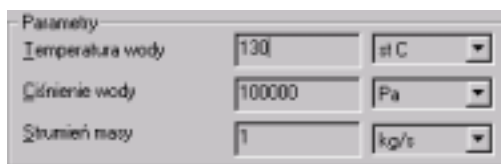
- trójnik odnoga zasilanie $\xi = 1,5$
- trójnik odnoga powrót $\xi = 0,5$
- odsadzka $\xi = 1,0$
- zawór przygrzejnikowy prosty $\xi = 4,5$
- grzejnik $\xi = 8,0$


Sumę współczynników oporów miejscowych należy podać w polu edycyjnym $\Sigma \xi$ grupy **Miejscowe straty ciśnienia**.

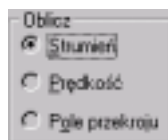
Strata ciśnienia na oporach miejscowych działki z grzejnikiem wynosi 67,5 Pa. Łączne straty ciśnienia na działce z grzejnikiem wynoszą $43,7 + 67,5 = 111,2$ Pa.

Przykład 8 - Obliczyć moc cieplną jaką transportuje odcinek magistralny o średnicy 800 mm wodnej sieci ciepłowniczej o parametrach 130/70 °C. Prędkość wody w odcinku wynosi 2 m/s.

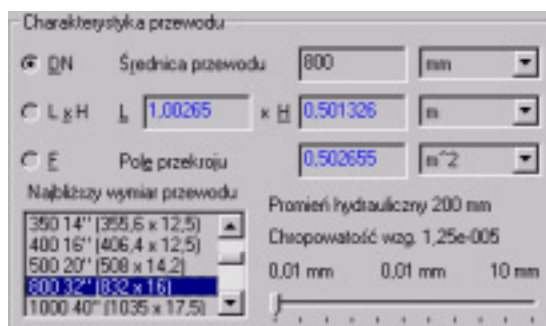
Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej.
W polu **Temperatura wody** wprowadzić wartość 130.



Uruchomić okno dialogowe **Analiza przepływu** przy pomocy klawisza .
W oknie dialogowym **Analiza przepływu** należy wskazać obliczaną wartość, którą jest w tym przykładzie **Strumień**.



Wybrać średnicę odcinka magistralnego DN 800 z listy handlowych średnic przewodów.



W grupie **Prędkość przepływu** należy ustalić jednostki prędkości [m/s] wybierając je z listy rozwijalnej oraz w polu edycyjnym **Prędkość** podać wartość 2.

Właściwości fizyczne wody

Prędkość przepływu

Prędkość: 2 m/s

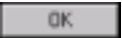
Przepływ burzowy
Liczba Reynoldsa
7024984

Obliczony strumień masy wynosi 939,8 kg/s co odpowiada strumieniowi objętości 3619,1 m³/s.

Strumień

masa: 939.787 kg/s

objętości: 3619.11 m³/s

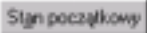
Obliczoną wartość strumienia masy należy przenieść do zakładki wywołującej okno dialogowe **Analiza przepływu** naciskając klawisz .

Parametry

Temperatura wody: 130 °C

Ciśnienie wody: 100000 Pa

Strumień masy: 939.787 kg/s

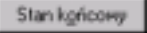
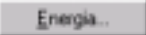
Zapamiętać stan początkowy wody naciskając klawisz . W polu **Temperatura wody** wprowadzić wartość 70.

Parametry

Temperatura wody: 70 °C

Ciśnienie wody: 100000 Pa

Strumień masy: 939.787 kg/s

Zapamiętać stan końcowy wody naciskając klawisz . Uruchomić okno dialogowe **Analiza energii** naciskając klawisz .

W oknie dialogowym **Analiza energii** wskazać obliczaną wartość, którą jest **Moc cieplna**, a następnie zmienić jednostkę mocy cieplnej na [MW] przy pomocy rozwijalnej listy.

Obliczona moc cieplna odcinka magistralnego sieci ciepłowniczej wynosi 238 MW.

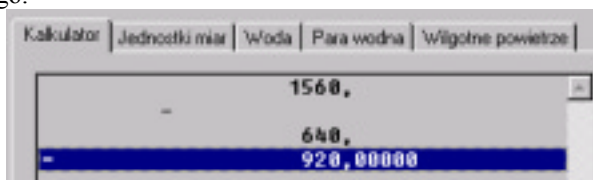
Przykład 9 - Obliczyć liniowe straty ciśnienia odcinka magistralnego wodnej sieci ciepłowniczej z poprzedniego przykładu o długości 2192 m. Przyjąć bezwzględną chropowatość rurociągu równą 2,3 mm.

Powrócić od okna dialogowego **Analiza przepływu** z poprzedniego przykładu a następnie w przy pomocy suwaka chropowatości bezwzględnej ustalić chropowatość bezwzględną 2,3 mm. W polu edycyjnym **Długość przewodu** grupy **Liniowe straty ciśnienia** podać wartość 2192 ustalając wcześniej jednostkę długości [m] w rozwijalnej liście. Jednostkę liniowych strat ciśnienia ustalić na [kPa]. Straty ciśnienia w odcinku magistralnym sieci ciepłowniczej wynoszą 142,5 kPa.



Przykład 10 - Obliczyć wartość współczynnika przepływu dla zaworu regulacyjnego dla układu regulacji temperatury w wymiennikowym węźle cieplnym centralnego ogrzewania mając następujące dane: nominalna moc cieplna wymiennika 600 kW, parametry wody sieciowej 130/80 °C, parametry instalacji centralnego ogrzewania 90/70 °C, nadciśnienie w rurociągu zasilającym sieci ciepłej 1560 kPa, nadciśnienie w rurociągu powrotnym sieci ciepłej 640 kPa. Opory przepływu w wymienniku, rurociągach oraz armaturze węzła wynoszą 180 kPa.

Przy pomocy zakładki z kalkulatorem obliczyć ciśnienie dyspozycyjne sieci ciepłowniczej dla węzła cieplnego.



Ciśnienie dyspozycyjne sieci ciepłowniczej dla węzła cieplnego wynosi 920 kPa i jest różnicą nadciśnienia w rurociągu zasilającym i powrotnym sieci ciepłowniczej.

Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej.
W polu **Temperatura wody** wprowadzić wartość 130.

Parametry		
Temperatura wody	130	st C
Ciśnienie wody	100000	Pa
Strumień masy	1	kg/s

Zapamiętać stan początkowy wody naciskając klawisz **Stan początkowy**. W polu **Temperatura** wody wprowadzić wartość 80.

Parametry		
Temperatura wody	80	st C
Ciśnienie wody	100000	Pa
Strumień masy	1	kg/s

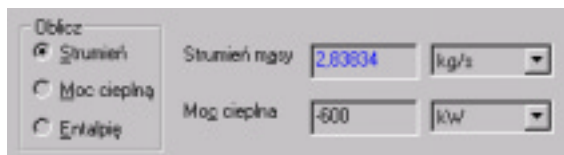
Zapamiętać stan końcowy wody naciskając klawisz **Stan końcowy**.
Sprawdzić parametry wody sieciowej w przewodzie zasilającym (stan początkowy) i przewodzie powrotnym (stan końcowy) sieci ciepłowniczej.

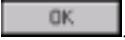
Stan początkowy	
Temperatura 130 st C	▲
Ciśnienie 100000 Pa	
Strumień masy 1 kg/s	
Gęstość 934,824 kg/m ³	
Rozszerzalność objętościowa 0,004	
Ciepło właściwe 4262,01 J/(kg K)	
Entalpia 546329 J/kg	▼

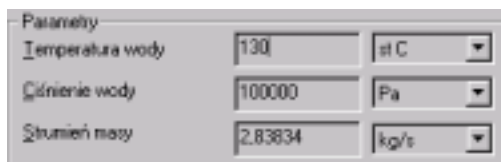
Stan końcowy	
Temperatura 80 st C	▲
Ciśnienie 100000 Pa	
Strumień masy 1 kg/s	
Gęstość 971,704 kg/m ³	
Rozszerzalność objętościowa 0,001	
Ciepło właściwe 4197,83 J/(kg K)	
Entalpia 334938 J/kg	▼

Uruchomić okno dialogowe **Analiza energii** naciskając klawisz **Energia...**


W oknie dialogowym **Analiza energii** wskazać obliczaną wartość, czyli **Strumień**, a następnie zmienić jednostkę mocy cieplnej na [kW] przy pomocy rozwijalnej listy. W polu edycyjnym **Moc cieplna** podać wartość -600, która odpowiada mocy cieplnej węzła cieplnego z treści przykładu. Po wprowadzeniu mocy cieplnej obliczona jest wartość strumienia masy wody sieciowej 2,83 kg/s, która przepływa przez węzeł cieplny o podanej mocy.



Wartość strumienia masy należy przenieść do zakładki wywołującej okno dialogowe **Analiza energii** przy pomocy klawisza .



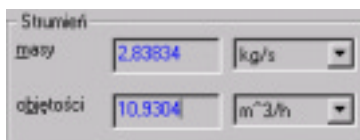
Obliczyć stratę ciśnienia dla zaworu automatycznej regulacji przy pomocy zakładki z kalkulatorem.



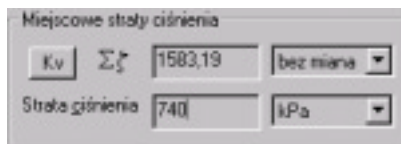
Strata ciśnienia dla zaworu automatycznej regulacji jest różnicą ciśnienia dyspozycyjnego sieci ciepłowniczej dla węzła cieplnego i strat ciśnienia na armaturze i rurociągach węzła i w tym przykładzie wynosi ona 740 kPa.

Uruchomić okno dialogowe **Analiza przepływu** naciskając klawisz .

Sprawdzić czy wprowadzony strumień masy jest wartością obliczoną w oknie dialogowym **Analiza energii**.

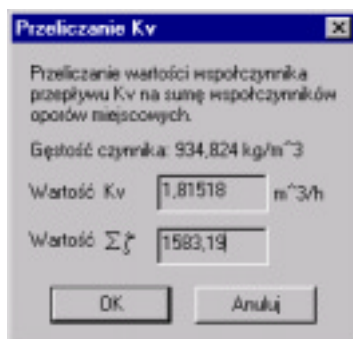


W grupie **Miejscowe straty ciśnienia** dla pola edycyjnego **Straty ciśnienia** wybrać jednostkę [kPa] z rozwijalnej listy. Polu edycyjnym **Strata ciśnienia** wpisać obliczoną poprzednio wartość 740, która jest wielkością strat ciśnienia na zaworze automatycznej regulacji.



Kv	$\Sigma \zeta$	1583,19	bez miary
Strata ciśnienia		740	kPa

Wpisana wielkość strat ciśnienia przy obliczonym uprzednio strumieniu masy przepływającym przez zawór odpowiada współczynnikowi oporów miejscowych 1583,19. Aby obliczyć współczynnik K_v zaworu należy otworzyć okno dialogowe **Przeliczenie K_v** przy pomocy klawisza **Kv**.



Przeliczenie wartości współczynnika przepływu K_v na sumę współczynników oporów miejscowych.

Gęstość czynnika: 934,824 kg/m³

Wartość K_v 1,81518 m³/h

Wartość $\Sigma \zeta$ 1583,19

OK Anuluj

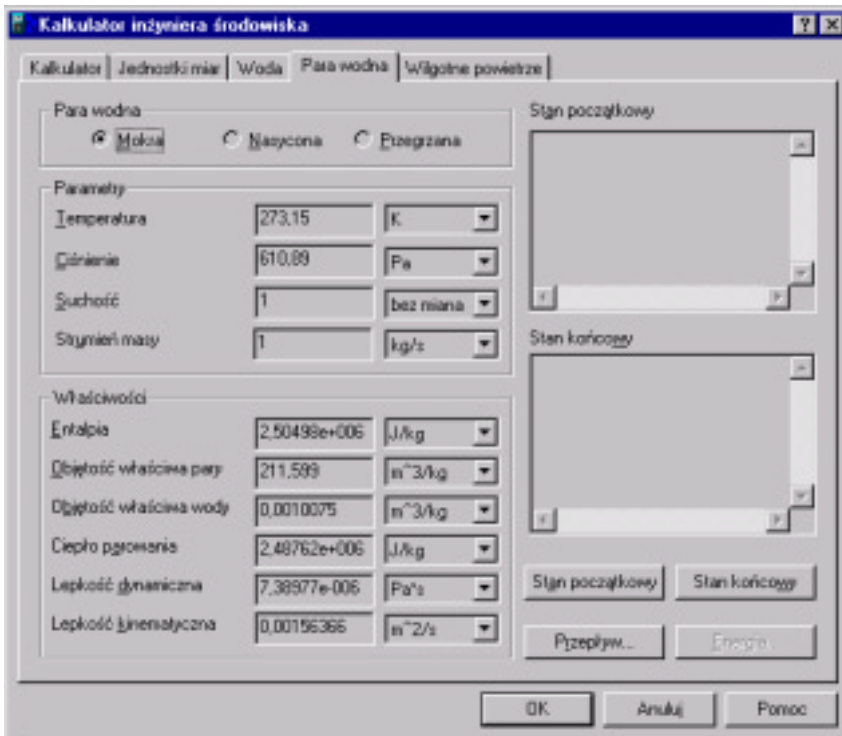
Obliczona wartość K_v zaworu wynosi 1,82 m³/h.

Właściwości fizyczne pary wodnej

Przy pomocy tej zakładki można określać właściwości fizyczne pary wodnej:

- nasyconej mokrej
- nasyconej suchej
- przegrzanej

w zakresie temperatury od 0 °C do 1000 °C i w zakresie ciśnienia od 611 Pa do 95 MPa.



UWAGA: Każdy element zakładki posiada pomoc kontekstową dostępną poprzez klawisz? w prawym górnym rogu aplikacji lub kombinację klawiszy Shift-F1, a następnie wskazanie odpowiedniego elementu zakładki. Dodatkowo dostęp do tej pomocy można uzyskać poprzez wskazanie prawym klawiszem myszy elementu zakładki (oprócz pól edycyjnych).

Znajdowanie właściwości fizycznych pary wodnej

- Określić rodzaj pary wodnej przy pomocy klawiszy radiowych.
- Przy pomocy rozwijalnej listy określić jednostki temperatury pary wodnej.

- Przy pomocy rozwijalnej listy określić jednostki ciśnienia pary wodnej.
- W polu edycyjnym temperatury wprowadzić wartość temperatury pary wodnej w wybranych wcześniej jednostkach.
- W przypadku pary nasyconej mokrej określić jej suchość w odpowiednim polu edycyjnym
- W przypadku pary przegrzanej wprowadzić wartość ciśnienia aby jednoznacznie określić parametry pary przegrzanej.
- Wartości poszczególnych parametrów pary wodnej są obliczane na bieżąco w trakcie wprowadzania wartości temperatury lub ciśnienia.
- Aby zmienić jednostkę dla danego parametru pary wodnej o podanej temperaturze i (lub) ciśnieniu wybierz ją z sąsiadującej rozwijalnej listy.

Wskazówka: Dla pary wodnej nasyconej podanie temperatury nasycenia (wrzenia wody) jest jednoznaczne z określeniem ciśnienia nasycenia (wrzenia) i na odwrót. Program w tym przypadku na bieżąco określa oba parametry. W przypadku pary przegrzanej należy podać temperaturę i ciśnienie aby określić pozostałe parametry pary wodnej.

Zapamiętywanie stanu początkowego pary wodnej

Aby zapamiętać stan początkowy pary wodnej o podanych parametrach naciśnij klawisz <Stan początkowy>. Wszystkie parametry pary wodnej zostaną przepisane do okna edycyjnego Stan początkowy. Parametry te mogą być wykorzystane później do analizy energii.

Zapamiętywanie stanu końcowego pary wodnej

Po zmianie parametrów pary wodnej można zapamiętać jej stan końcowy. Aby zapamiętać stan końcowy pary wodnej o podanych parametrach naciśnij klawisz <Stan końcowy>. Wszystkie parametry pary wodnej zostaną przepisane do okna edycyjnego Stan końcowy. Parametry te mogą być wykorzystane później do analizy energii.

Wskazówka: Okna edycyjne <Stan początkowy> i <Stan końcowy> obsługują prawy klawisz myszy oraz kopiowanie do schowka Ctrl-C. Skopiowane wartości można wykorzystać w innych programach. Okna te są tylko do odczytu.

Analiza przepływu pary wodnej

Po ustaleniu parametrów pary wodnej oraz jej strumienia masy można przeprowadzić analizę przepływu.

W analizie przepływu można określić:

- wymiar przewodu,
- strumień objętości,
- prędkość przepływu,
- masę przepływającej wody,

- czas przepływu,
- liczbę Reynoldsa,
- charakter przepływu,
- promień hydrauliczny,
- chropowatość względną i bezwzględną przewodu,
- jednostkowe straty ciśnienia,
- długość przewodu,
- współczynnik oporów liniowych,
- liniowe straty ciśnienia,
- współczynnik oporów miejscowych lub współczynnik przepływu K_v ,
- miejscowe straty ciśnienia.

Aby uruchomić analizę przepływu dla pary wodnej o podanych parametrach należy wcisnąć klawisz <Przepływ...>

UWAGA: Program nie rozwiązuje zagadnień wytrzymałościowych przewodów znajdujących się pod ciśnieniem.

Analiza energii przemiany termodynamicznej pary wodnej

Po ustaleniu stanu początkowego oraz stanu końcowego pary wodnej można przeprowadzić dla takiej przemiany analizę energii.

W analizie energii można określić:

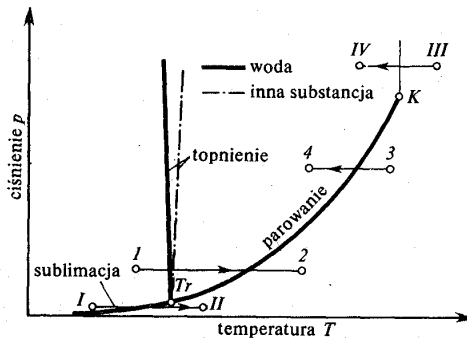
- moc cieplną,
- strumień masy,
- czas,
- ilość energii,
- różnicę entalpii,
- różnicę temperatur,
- entalpię końcową,
- temperaturę końcową

Aby uruchomić analizę przepływu dla zapamiętanego stanu początkowego i końcowego należy wcisnąć klawisz <Energia...>

Podstawowe wiadomości z termodynamiki pary wodnej

- **Punkt potrójny** – punkt, w którym istnieją obok siebie w równowadze trzy fazy: stała ciekła i gazowa danej substancji.
- **Punkt krytyczny** – punkt, w którym zanika różnica gęstości pomiędzy cieczą i parą na krzywej parowania. Zwiększenie gęstości substancji przebiega w sposób ciągły bez przejścia przez stan, w którym występują dwie różne fazy substancji.
- **Wrzenie** – powstanie fazy gazowej w całej objętości cieczy w postaci pęcherzyków pary podczas podgrzewania cieczy przy stałym ciśnieniu. Temperatura, w której zachodzi wrzenie zależy wyłącznie od ciśnienia.

- **Punkt pęcherzyków** – stan początkowy cieczy wrzącej, w której pojawiają się pierwsze pęcherzyki pary w temperaturze nasycenia (wrzenia).
- **Para nasycona** – para będąca w równowadze z cieczą w stanie wrzenia.
- **Para nasycona sucha** – para nasycona oddzielona od cieczy wrzącej (bez kropeł cieczy).
- **Para nasycona mokra** – układ dwufazowy złożony z pary nasyconej suchej i cieczy wrzącej w punkcie pęcherzyków.
- **Para przegrzana** – para nasycona sucha, do której dostarczono dodatkową ilość ciepła i podgrzano powyżej temperatury nasycenia. Jej temperatura i ciśnienie są parametrami wzajemnie niezależnymi. Parę przegrzaną nazywamy gazem jeżeli jej temperatura jest dużo wyższa od temperatury nasycenia.
- **Stopień suchości pary nasyconej** – stosunek ilości pary nasyconej suchej do całkowitej ilości substancji w układzie dwufazowym w stanie wrzenia. Ciecz wrząca w stanie pęcherzyków ma stopień suchości $x = 0$, natomiast stopień suchości pary nasyconej suchej wynosi $x = 1$.
- **Punkt rosy** – punkt przejścia pomiędzy parą nasyconą mokrą a parą nasyconą suchą. Jest to punkt, w którym znikają (lub pojawiają się) ostatnie (pierwsze) krople cieczy przy danym ciśnieniu wrzenia. Punkt rosy odpowiada temperaturze nasycenia przy danym ciśnieniu wrzenia.
- **Entalpia parowania** – przyrost entalpii 1 kg substancji przy przejściu od punktu pęcherzyków do punktu rosy lub ilość ciepła, którą trzeba dostarczyć do 1 kg cieczy wrzącej w punkcie pęcherzyków aby doprowadzić tą ciecz do punktu rosy. Entalpia parowania zależy od temperatury parowania czyli od ciśnienia nasycenia.



Krzywe przemian fazowych wody w funkcji ciśnienia i temperatury

Krzywa topnienia – przejście ciała stałego w ciecz

Krzywa parowania – przejście cieczy w parę

Krzywa sublimacji – przejście ciała stałego w parę

Dla wody:

Punkt potrójny – $p_{Tr} = 610,7 \text{ Pa}$ $t_{Tr} = 0,0098 \text{ }^\circ\text{C}$

Punkt krytyczny – $p_K = 221,29 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ $t_K = 374,15 \text{ }^\circ\text{C}$

Oznaczenia:

v – objętość właściwa, m^3/kg

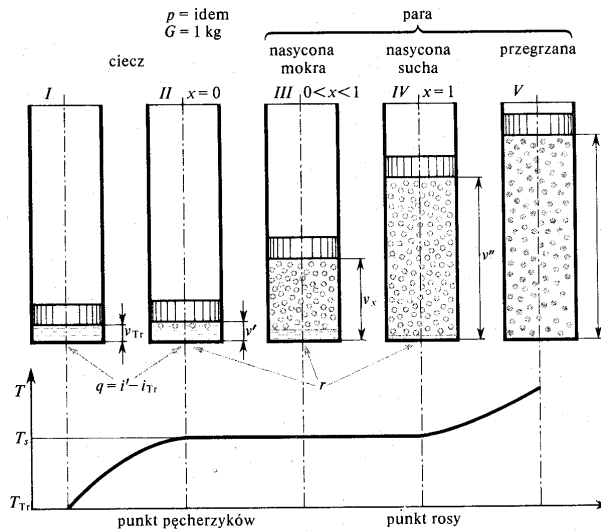
q – ciepło pochłonięte przez ciecz od temperatury $0^\circ C$ do temperatury nasycenia, kJ/kg

r – entalpia parowania, kJ/kg

T_s – temperatura nasycenia, $^\circ C$

x – stopień suchości pary, kg/kg

Proces izobarycznego podgrzewania wody wraz z przejściem fazowym przedstawiono na rysunku poniżej.



I – ciecz w temperaturze t_0

II – w cieczy pojawiają się pierwsze pęcherzyki pary tzw. punkt pęcherzyków - wielkości oznaczane « δ »

III – para mokra nasycona – układ dwufazowy - wielkości oznaczane indeksem dolnym « x »

IV – para sucha nasycona – układ jednofazowy w stanie nasycenia - wielkości oznaczane « δ '»

V – para przegrzana – układ jednofazowy powyżej linii nasycenia - wielkości oznaczane « δ '»

Stopień suchości pary:

Para nasycona sucha – parametry pary nasyconej i wody w stanie wrzenia wyznacza się doświadczalnie. Parametry te w zależności od ciśnienia nasycenia lub temperatury nasycenia podawane są często w postaci tabelarycznej. W programie do wyznaczania ciśnienia i temperatury nasycenia wykorzystano równanie aproksymacyjne wyprowadzone z równania Clapeyron'a oraz zależności dla gazów idealnych. Równanie to ma następującą postać:

$$x = \frac{m''}{m' + m''} = \frac{m_s}{m} \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

m'' , m_s - masa pary suchej nasyconej zawartej w parze wilgotnej, kg

m - masa pary wilgotnej, kg

$$\ln \frac{p_s}{p_K} = \left[\frac{T_K}{T_s} - 1 \right] \cdot \sum_{i=1}^8 F_i \cdot [a \cdot (T_s - T_p)]^{i-1}$$

p_s - ciśnienie nasycenia, Pa

T_s - temperatura nasycenia, K

p_K - ciśnienie krytyczne, Pa

T_K - temperatura krytyczna, K

F_i, a, T_p - wielkości aproksymujące

Para nasycona wilgotna

$$v_x = v' + x \cdot (v'' - v'), \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$i_x = i' + x \cdot (i'' - i'), \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$s_x = s' + x \cdot (s'' - s'), \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$r = i'' - i', \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Para przegrzana

$$i''' = i'' + c_p \Big|_{t_s}^{t_p} \cdot (t_p - t_s)$$

$$s''' = s'' + c_p \Big|_{t_s}^{t_p} \cdot \ln \frac{T_p}{T_s}$$

Przemiany termodynamiczne pary wodnej

Przy określaniu przemian pary wodnej wykorzystuje się następujące zależności:

Pierwsza zasada termodynamiki

$$q = u_2 - u_1 + l \quad \text{gdzie } l = \int_{v_1}^{v_2} p \cdot dv \quad \text{lub}$$

$$q = i_2 - i_1 + l_t \quad \text{gdzie } l_t = - \int_{p_1}^{p_2} v \cdot dp$$

Druga zasada termodynamiki

$$ds = \frac{dq}{T}$$

Równanie Gibbsa

$$i = u + p \cdot v$$

Przemiana izotermiczna ($t = \text{const}$ czyli $dt = 0$)

Przemiana ta w zakresie pary nasyconej pokrywa się z przemianą izobaryczną. W obszarze pary przegrzanej stosuje się wzory:

Ciepło przemiany

$$q = T \cdot (s_2 - s_1)$$

Praca właściwa przemiany

$$l = T \cdot (s_2 - s_1) - \Delta u$$

Przyrost energii wewnętrznej

$$\Delta u = i_1 - i_2 - (p_2 \cdot v_2 - p_1 \cdot v_1)$$

Przemiana izobaryczna ($p = \text{const}$ czyli $dp = 0$)

Ciepło przemiany

$$q = i_2 - i_1$$

Jeżeli przemiana zachodzi w obszarze pary nasyconej słuszne są wzory

$$q = T \cdot (s_2 - s_1)$$

$$q = r \cdot (x_2 - x_1)$$

$$Q = m \cdot q$$

Praca bezwzględna właściwa przemiany

$$l = p \cdot (v_1 - v_2)$$

$$L = m \cdot l$$

Przyrost energii wewnętrznej właściwej

$$\Delta u = q - l$$

$$\Delta U = m \cdot \Delta U$$

Przemiana izocoryczna ($v = \text{const}$ czyli $dv = 0$)

Ciepło przemiany

$$q = u_2 - u_1$$

$$q = i_1 - i_2 + v \cdot (p_2 - p_1)$$

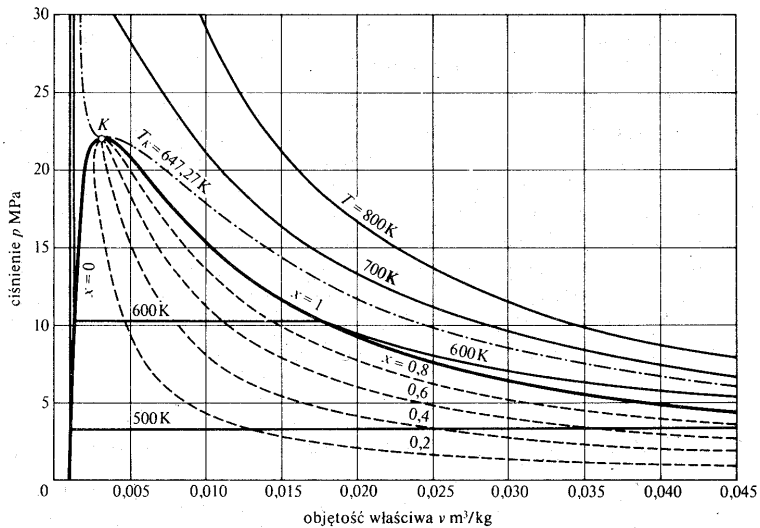
Praca bezwzględna przemiany

$$l = 0$$

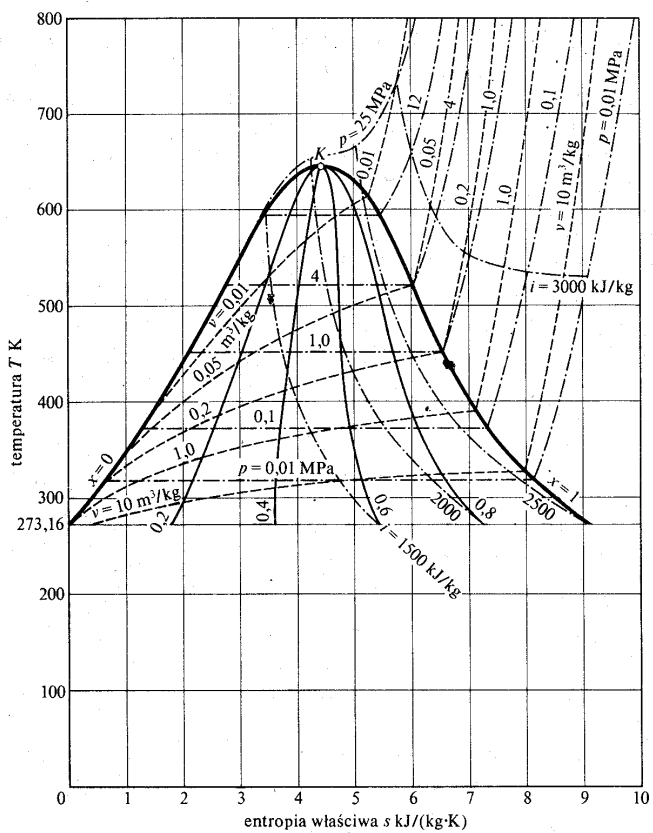
Przemiana izoentalpowa ($i = \text{const}$ czyli $di = 0$)

Przy dławieniu izoentalpowym zakłada się, że wartość entalpii przed i po dławieniu pozostaje taka sama

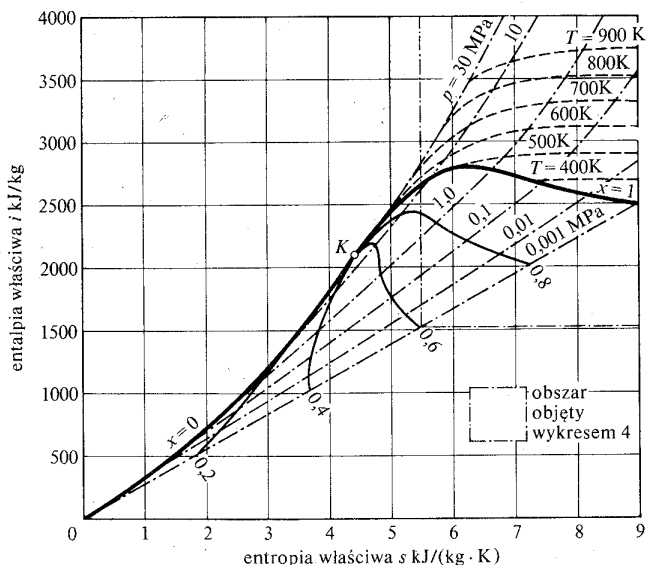
$$i_1 = i_2$$



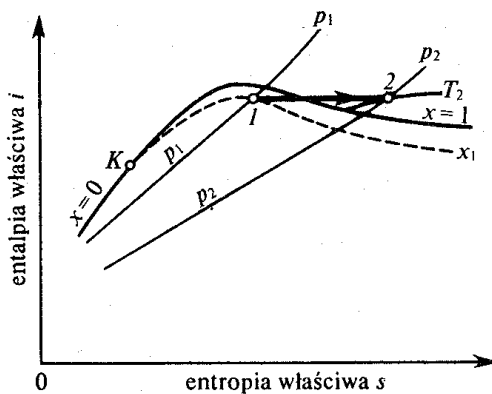
Wykres p-v – zależność ciśnienia pary od jej objętości właściwej.



Wykres T-s – zależność temperatury pary w zależności od entropii właściwej.

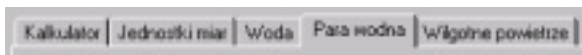


Wykres i - s – zależność entalpii pary od entropii właściwej.



Przebieg dławienia izentalpowego na wykresie i - s

Wszystkie przykłady w tym rozdziale dotyczą zagadnień związanych z przepływem pary wodnej. Do wykonania przykładów należy wybrać zakładkę «Para wodna» w Kalkulatorze Audytora Energetycznego tak jak to pokazano na rysunku poniżej.



Przykłady dotyczące przepływu pary wodnej

Przykład 1 - Podać parametry pary nasyconej suchej o temperaturze 180 °C.

Wybrać rodzaj pary wodnej tj. parę wodną nasyconą.

Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej.

W polu Temperatura wprowadzić wartość 180.

Temperaturze nasycenia 180 °C dla pary wodnej odpowiada ciśnienie nasycenia równe 1,002 MPa.

Pozostałe parametry pary wodnej nasyconej o podanej temperaturze można odczytać z pól edycyjnych grupy Właściwości. Można zmieniać jednostki poszczególnych wielkości przy pomocy list rozwijalnych odpowiadających poszczególnym polom edycyjnym.

Przykład 2 - Podać parametry pary nasyconej suchej o ciśnieniu 0,35 MPa.

Wybrać rodzaj pary wodnej tj. parę wodną nasyconą.

Ustalić jednostkę ciśnienia [MPa] wybierając ją z listy rozwijalnej.

W polu Ciśnienie wprowadzić wartość 0,35.

Ciśnieniu nasycenia 0,35 MPa dla pary wodnej odpowiada temperatura nasycenia równa 138,9 °C.

Pozostałe parametry pary wodnej nasyconej o podanym ciśnieniu można odczytać z pól edycyjnych grupy Właściwości. Można zmieniać jednostki poszczególnych wielkości przy pomocy list rozwijalnych odpowiadających poszczególnym polom edycyjnym.

Parametry		
Temperatura	<input type="text" value="138,882"/>	<input type="text" value="st C"/>
Ciśnienie	<input type="text" value="0,35"/>	<input type="text" value="MPa"/>
Suchość	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="bez miara"/>
Stężenie masy	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="kg/s"/>
Właściwości		
Entalpia	<input type="text" value="2732,44"/>	<input type="text" value="kJ/kg"/>
Objętość właściwa pary	<input type="text" value="0,518981"/>	<input type="text" value="m<sup>3</sup>/kg"/>
Objętość właściwa wody	<input type="text" value="0,00107737"/>	<input type="text" value="m<sup>3</sup>/kg"/>
Ciepło pgrzewania	<input type="text" value="2145,62"/>	<input type="text" value="kJ/kg"/>
Lepkość dynamiczna	<input type="text" value="1,19383e-005"/>	<input type="text" value="Pa*s"/>
Lepkość kinematyczna	<input type="text" value="5,19575e-006"/>	<input type="text" value="m<sup>2</sup>/s"/>

Przykład 3 - Wyznaczyć parametry pary wodnej mokrej o ciśnieniu 7 bar i suchości 0,85.

Wybrać rodzaj pary wodnej tj. parę wodną mokrą.

Para wodna
 Mokra
 Nasycona
 Przegrzana

Ustalić jednostkę ciśnienia [bar] wybierając ją z listy rozwijalnej.

W polu Ciśnienie wprowadzić wartość 7.

W polu edycyjnym Suchość wprowadzić wartość 0,85.

Odczytać temperaturę nasycenia pary wodnej oraz jej właściwości z odpowiednich pól edycyjnych grup Parametry oraz Właściwości.

Parametry		
Temperatura	164,973	st C
Ciśnienie	7	bar
Suchość	0,85	bez miara
Strumień masy	1	kg/s

Właściwości		
Entalpia	2453,37	kJ/kg
Objętość właściwa pary	0,230189	m ³ /kg
Objętość właściwa wody	0,00110757	m ³ /kg
Ciepło parowania	2066,66	kJ/kg
Lepkość dynamiczna	1,27826e-005	Pa·s
Lepkość kinematyczna	2,94243e-006	m ² /s

Przykład 4 - Wyznaczyć objętość właściwą wody wrzącej w temperaturze 240 °C.

Zakładka z właściwościami wody pozwala na określenie jej właściwości w zakresie od 0 do 150 °C.

Wybrać rodzaj pary wodnej tj. parę wodną moką.

Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej.

W polu Temperatura wprowadzić wartość 240.

W polu edycyjnym Suchość wprowadzić wartość 0. Odpowiada ona wodzie wrzącej.

Para wodna		
<input checked="" type="radio"/> Mokra	<input type="radio"/> Nasycona	<input type="radio"/> Przewieszona

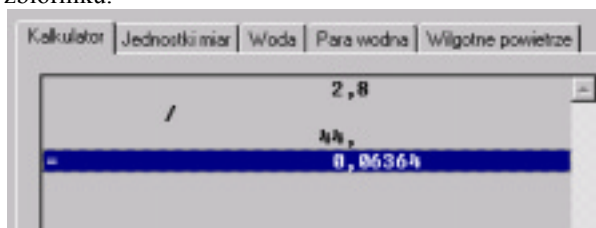
Parametry		
Temperatura	240	st C
Ciśnienie	3,34419	MPa
Suchość	0	bez miara
Strumień masy	1	kg/s

Odczytać objętość właściwą wody wrzącej.

Objętość właściwa pary	0,00122984	m ³ /kg
Objętość właściwa wody	0,00122984	m ³ /kg

Przykład 5 - W zbiorniku objętości $V = 2,8 \text{ m}^3$ znajduje się $m = 44 \text{ kg}$ pary nasyconej mokrej o ciśnieniu $1,2 \text{ MPa}$. Obliczyć suchość pary.

Przy pomocy zakładki z kalkulatorem obliczyć objętość właściwą pary wodnej mokrej znajdującej się w zbiorniku.



Obliczona objętość właściwa pary wodnej mokrej znajdującej się w zbiorniku wynosi $0,06364 \text{ m}^3/\text{h}$.

Wybrać rodzaj pary wodnej tj. parę wodną nasyconą.

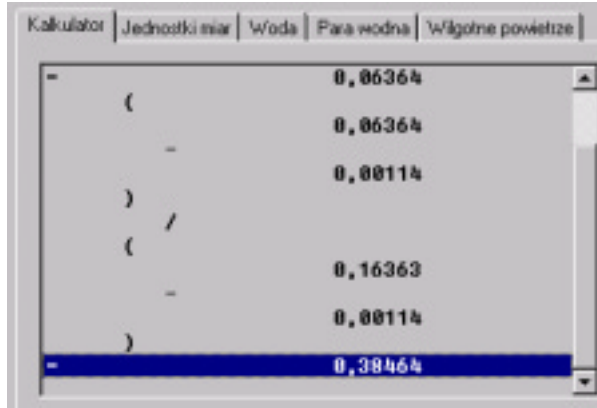
Ustalić jednostkę ciśnienia na [MPa] wybierając ją z listy rozwijalnej.



W polu Ciśnienie wprowadzić wartość 1,2.

Odczytać objętość właściwą pary nasyconej suchej $0,16363 \text{ m}^3/\text{kg}$ oraz objętość właściwą wody wrzącej $0,00114 \text{ m}^3/\text{kg}$ przy podanym ciśnieniu $1,2 \text{ MPa}$.

Ze wzoru definicyjnego objętości właściwej pary nasyconej mokrej wyznaczyć suchości pary wodnej mokrej zawartej w zbiorniku.

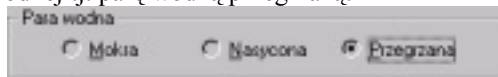
$$x = \frac{\vartheta_x - \vartheta'}{\vartheta'' - \vartheta'}$$



Przy wykorzystywaniu zakładki z kalkulatorem można wykorzystywać schowek systemowy oraz klawisze  i  kalkulatora. (opis wykorzystania tych klawiszy znajduje się w części poświęconej zakładce z kalkulatorem).

Przykład 6 - Wyznaczyć parametry pary przegrzanej wytwarzanej w kotle parowym o nadciśnieniu 10 MPa i temperaturze 600 K.

Wybrać rodzaj pary wodnej tj. parę wodną przegrzaną.



Dla pary przegrzanej w celu wyznaczenia jej właściwości należy podać dwa parametry termodynamiczne. W programie można ustalić temperaturę i ciśnienie pary wodnej przegrzanej.

Ustalić jednostkę temperatury [K] wybierając ją z listy rozwijalnej. W polu Temperatura wprowadzić wartość 600.

Ustalić jednostkę ciśnienia [MPa] wybierając ją z listy rozwijalnej. W polu Ciśnienie wprowadzić wartość 10.

Parametry		
Temperatura	<input type="text" value="600"/>	<input type="text" value="K"/>
Ciśnienie	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="MPa"/>
Strumień masy	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="kg/s"/>

Pozostałe parametry pary wodnej przegrzanej o określonej temperaturze i podanym ciśnieniu można odczytać z pól edycyjnych grupy Właściwości. Można zmieniać jednostki poszczególnych wielkości przy pomocy list rozwijalnych odpowiadających poszczególnym polom edycyjnym.

Właściwości		
Entalpia	<input type="text" value="2876,37"/>	<input type="text" value="kJ/kg"/>
Objętość właściwa pary	<input type="text" value="0,021689"/>	<input type="text" value="m³/kg"/>
Objętość właściwa wody	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="m³/kg"/>
Ciepła przewodzenia	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="kJ/kg"/>
Lepkość dynamiczna	<input type="text" value="1,73955e-005"/>	<input type="text" value="Pa·s"/>
Lepkość kinematyczna	<input type="text" value="3,76942e-007"/>	<input type="text" value="m²/s"/>

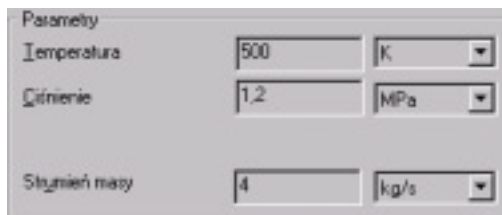
Przykład 7 - Obliczyć straty ciepła przewodzenia parowego, który transportuje 4 kg/s pary wodnej. Parametry pary na początku rurociągu wynoszą $p_1 = 1,2 \text{ MPa}$ i $T_1 = 500 \text{ K}$, natomiast parametry pary na końcu rurociągu wynoszą odpowiednio $p_2 = 1,03 \text{ MPa}$ i $T_2 = 468 \text{ K}$.

Wybrać rodzaj pary wodnej poprzez wybranie pary wodnej przegrzanej.

Para wodna		
<input type="radio"/>	Mokła	
<input type="radio"/>	Nasycona	
<input checked="" type="radio"/>	Przegrzana	

Ustalić parametry początkowe pary wodnej wprowadzając temperaturę pary 500 K oraz ciśnienie pary 1,2 MPa w odpowiednie pola edycyjne grupy Parametry ustalając uprzednio odpowiednie jednostki temperatury [K] i ciśnienia [MPa] z poszczególnych list rozwijalnych.

W polu edycyjnym Strumień masy grupy Parametry wpisać wartość 4 przy ustalonych jednostkach strumienia [kg/s] z rozwijalnej listy.




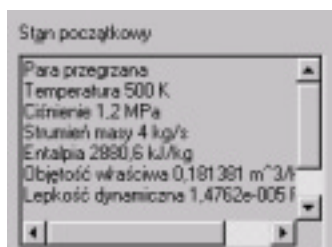
Parametry

Temperatura 500 K

Ciśnienie 1,2 MPa

Stromień masy 4 kg/s

Zapamiętać stan początkowy pary wodnej naciskając klawisz 



Stan początkowy

Para przegrzana

Temperatura 500 K

Ciśnienie 1,2 MPa

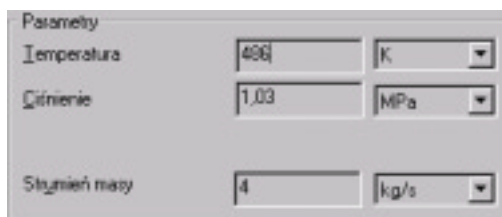
Stromień masy 4 kg/s

Entalpia 2880,6 kJ/kg

Objętość właściwa 0,181381 m³/kg

Lepkość dynamiczna 1,4762e-005

Ustalić parametry końcowe pary wodnej, wprowadzając temperaturę pary 500 K oraz ciśnienie pary 1,2 MPa w odpowiednie pola edycyjne grupy Parametry ustalając uprzednio odpowiednie jednostki temperatury [K] i ciśnienia [MPa] z poszczególnych list rozwijalnych.




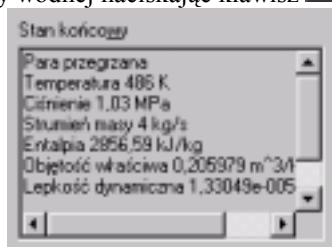
Parametry

Temperatura 406 K

Ciśnienie 1,03 MPa

Stromień masy 4 kg/s

Zapamiętać stan końcowy pary wodnej naciskając klawisz 



Stan końcowy

Para przegrzana

Temperatura 406 K


Ciśnienie 1,03 MPa

Stromień masy 4 kg/s

Entalpia 2856,59 kJ/kg

Objętość właściwa 0,205979 m³/kg

Lepkość dynamiczna 1,33049e-005

Uruchomić okno dialogowe Analiza energii naciskając klawisz 

Ustalić jednostki mocy cieplnej [kW] wybierając je z odpowiedniej listy rozwijalnej.

Odczytane straty ciepła rurociągu parowego wynoszą 96,06 kW. Znak minus w wyniku oznacza, że para wodna oddaje ciepło.

Przykład 8 - Obliczyć suchość pary nasyconej w rurociągu parowym, w którym panuje nadciśnienie 4 bar, jeżeli wskazania kalorymetru dławiącego podłączonego do tego rurociągu są następujące: nadciśnienie 0,5 bar, temperatura 120 °C. Przyjąć wartość ciśnienia atmosferycznego 1000 hPa.

Działanie kalorymetru dławiącego oparte jest na zjawisku dławienia izentalpowego. Wynika z tego, że entalpia pary wodnej w tej przemianie nie ulega zmianie.

Ustalić rodzaj pary wodnej poprzez wybranie pary wodnej przegrzanej.

Podać parametry pary wodnej przegrzanej wprowadzając temperaturę pary 120 °C oraz ciśnienie pary 0,6 bar w odpowiednie pola edycyjne grupy Parametry ustalając uprzednio odpowiednie jednostki temperatury [°C] i ciśnienia [bar] z poszczególnych list rozwijalnych.

Para wodna
 Mokra Nasycona Przegrzana

Parametry
 Temperatura: 120 [st C]
 Ciśnienie: 0,6 [bar]
 Strumień masy: 1 [kg/s]

Właściwości
 Entalpia: 2721,26 [kJ/kg]

Odczytana wartość entalpii pary wodnej w kalorymtrze dławiącym wynosi 2721,26 kJ/kg. Para wodna mokra znajdująca się w rurociągu ma tą samą wartość entalpii, tak więc należy poszukiwać takiej pary wodnej mokrej o nadciśnieniu 4 bar, której entalpia ma wartość 2721,26 kJ/kg. Można to zrobić metodą iteracyjną zmieniając suchość pary wodnej mokrej o nadciśnieniu 4 bar lub obliczając suchość ze wzoru definicyjnego entalpii pary nasyconej mokrej.

$$x = \frac{i_x - i'}{i'' - i'}$$

Wybrać rodzaj pary wodnej poprzez wybranie pary wodnej przegrzanej.

Ustalić jednostkę ciśnienia na [bar] wybierając ją z listy rozwijalnej.

W polu Ciśnienie wprowadzić wartość 5. Ciśnienie całkowite pary znajdującej się w rurociągu równe jest sumie ciśnienia atmosferycznego 1000 hPa = 1 bar i nadciśnienia panującego w rurociągu 4 bar.

W polu edycyjnym Suchość podać wartość 1. Odpowiada to parze nasyconej suchej.

Para wodna
 Mokra Nasycona Przegrzana

Parametry
 Temperatura: 151,856 [st C]
 Ciśnienie: 5 [bar]
 Suchość: 1 [bez miara]
 Strumień masy: 1 [kg/s]

Właściwości
 Entalpia: 2748,63 [kJ/kg]

Odczytana entalpia pary nasyconej suchej wynosi 2748,63 kJ/kg.

W polu edycyjnym Suchość podać wartość 0 przy nie zmienionej wartości ciśnienia 5 bar. Odpowiada to wodzie wrzącej przy ciśnieniu całkowitym 5 bar.



The screenshot shows a software window titled "Para wodna" (Steam). It has three radio buttons: "Mokra" (checked), "Nasycona", and "Przeznaczona". Below are input fields for "Temperatura" (151,856 st C), "Ciężnienie" (5 bar), "Suchość" (0), and "Stężenie masy" (1 kg/s). At the bottom, the "Właściwości" (Properties) section shows "Entalpia" (640,955 kJ/kg).

Odczytana entalpia wody wrzącej wynosi 640,955 kJ/kg.

Przy pomocy zakładki z kalkulatorem wykonać obliczenia zgodnie z podanym powyżej wzorem.

The screenshot shows a calculator window with tabs: "Kalkulator", "Jednostki miar", "Woda", "Para wodna", and "Wilgotne powietrze". The calculator display shows the following calculation: $(2721,26888 - 640,95588) / (2748,63888 - 640,95588) = 0,98781$.

Obliczona suchość pary wodnej przepływającej w rurociągu wynosi 0,987.

Przy wykorzystywaniu zakładki z kalkulatorem można wykorzystywać schowek systemowy oraz klawisze  i  kalkulatora. (opis wykorzystania tych klawiszy znajduje się w części poświęconej zakładce z kalkulatorem).


Przykład 9 - Para wodna wytwarzana w kotle o nadciśnieniu 5 bar i suchości 1 zasila instalację ogrzewczą. Straty przesyłu pary między kotłem a odbiornikiem pary wynoszą 250 kW i powodują spadek wartości suchości pary do 0,96. Obliczyć średnicę przewodu zasilającego odbiornik ciepła jeżeli prędkość przepływu pary w tym przewodzie wynosi 45 m/s. Ciśnienie barometryczne wynosi 0,1 MPa. Założyć, że ciśnienie pary przy odbiorniku ciepła jest takie samo jak w kotle parowym.

Wybrać rodzaj pary wodnej wskazując parę wodną mokrą.


Ustalić jednostkę ciśnienia [bar] wybierając ją z listy rozwijalnej.


W polu Ciśnienie wprowadzić wartość 6. Ciśnienie całkowite pary w instalacji jest sumą ciśnienia barometrycznego 0,1 MPa = 1 bar i nadciśnienia panującego w rurociągu 5 bar. W polu edycyjnym Suchość podać wartość 1. Odpowiada to parze nasyconej suchej.

Podane parametry odpowiadają stanowi początkowemu pary wodnej w instalacji.

Zapamiętać stan początkowy pary wodnej naciskając klawisz 

W polu edycyjnym Suchość podać wartość 0,96 przy niezmienionej wartości ciśnienia całkowitego. Parametry te odpowiadają stanowi końcowemu pary wodnej.

Zapamiętać stan końcowy pary wodnej naciskając klawisz 

Uruchomić okno dialogowe Analiza energii naciskając klawisz 

W grupie Oblicz okna dialogowego Analiza energii ustalić wartość obliczaną, którą jest w tym przypadku Strumień.

W polu edycyjnym Moc cieplna wpisać wartość -250 , po wcześniejszym ustaleniu jednostek mocy cieplnej [kW] z rozwijalnej listy.

The screenshot shows a dialog box with the following fields and values:

Oblicz	Wartość	Jednostka
<input checked="" type="radio"/> Strumień	2,99607	kg/s
<input type="radio"/> Moc cieplną	-250	kW
<input type="radio"/> Entalpię		
Entalpia		
Różnica entalpii	83,4427	kJ/kg
Entalpia końcowa	2673,27	kJ/kg

Obliczony strumień masy pary zasilającej instalację wynosi 2,996 kg/s.

Obliczoną wartość strumienia masy pary należy przenieść do zakładki wywołującej aktualne okno dialogowe naciskając klawisz **OK**.

Otworzyć okno dialogowe Analiza przepływu naciskając klawisz **Przepływ...** w zakładce Para wodna. W oknie dialogowym Analiza przepływu należy wskazać obliczoną wartość, którą jest w tym przykładzie Pole przekroju.

The screenshot shows the 'Oblicz' section with the following options:

- Strumień
- Prędkość
- Pole przekroju

W polu edycyjnym grupy Prędkość przepływu należy wpisać wartość 45 przy ustalonej jednostce prędkości [m/s], którą można wybrać z rozwijalnej listy.

The screenshot shows the 'Prędkość przepływu' (Flow velocity) field with the value 45 m/s. The Reynolds number is displayed as 190042.

The screenshot shows the flow analysis dialog with the following fields and values:

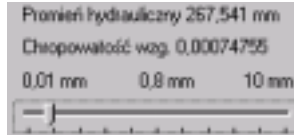
Oblicz	Wartość	Jednostka
<input type="radio"/> Strumień		
<input type="radio"/> Prędkość		
<input checked="" type="radio"/> Pole przekroju	0,899476	m ² /s
Charakterystyka przewodu		
<input checked="" type="radio"/> DN	Średnica przewodu	159,53 mm

Obliczona średnica wewnętrzna przewodu wynosi 159,53 mm.

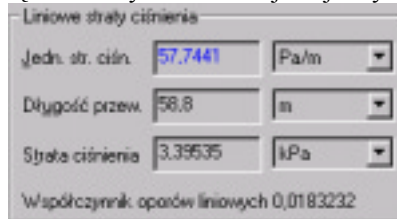
Przykład 10 - Obliczyć straty ciśnienia przy przepływie pary wodnej z poprzedniego przykładu przy założeniu, że przewód parowy o obliczonej średnicy ma długość 58,8 m natomiast jego chropowatość bezwzględna wynosi 0,8 mm.

Nie zmieniając parametrów przepływu w oknie dialogowym Analiza przepływu z poprzedniego przykładu należy zmienić chropowatość i długość przewodu parowego zgodnie z danymi zawartymi w treści przykładu.

Przy pomocy suwaka należy ustalić chropowatość bezwzględną przewodu parowego na 0,8 mm.



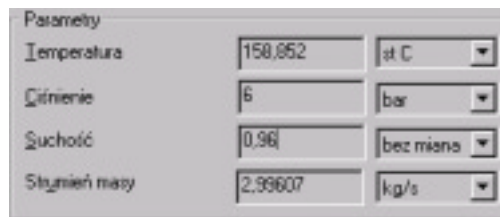
W polu edycyjnym Długość przewodu należy wpisać wartość 58,8 przy ustawionej jednostce długości [m], którą można wybrać z rozwijalnej listy.



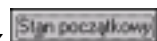
Obliczona wartość strat ciśnienia wynosi 3,4 kPa.

Przykład 11 - Obliczyć moc cieplną odbiornika pary wodnej z poprzedniego przykładu oraz średnicę przewodu odprowadzającego skropliny.

Parametry końcowe pary z poprzedniego przykładu czyli ciśnienie całkowite 6 bar, suchość 0,96 oraz strumień masy 2,99607 kg/s są parametrami początkowymi pary zasilającej odbiornik ciepła.

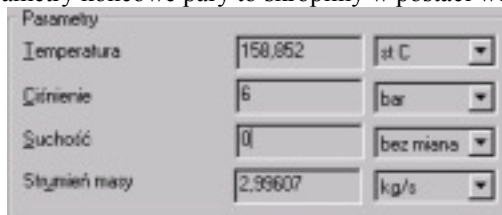


Zapamiętać stan początkowy pary wodnej naciskając klawisz

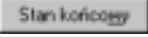


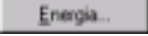
Właściwości fizyczne pary wodnej

Przy nie zmienionym ciśnieniu całkowitym oraz przy nie zmienionej wartości strumienia masy pary należy zmienić suchość pary na 0. Odpowiada to wodzie wrzącej przy ciśnieniu całkowitym 6 bar. Parametry końcowe pary to skropliny w postaci wody wrzącej.

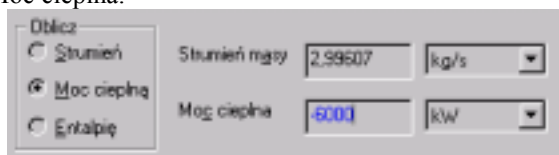


Parametry		
Temperatura	158,852	st C
Ciężnienie	6	bar
Suchość	0	bez miar
Strumień masy	2,99607	kg/s

Zapamiętać stan końcowy pary wodnej naciskając klawisz 

Uruchomić okno dialogowe Analiza energii naciskając klawisz 

W grupie Oblicz okna dialogowego Analiza energii ustalić wartość obliczaną, którą jest w tym przypadku Moc cieplna.

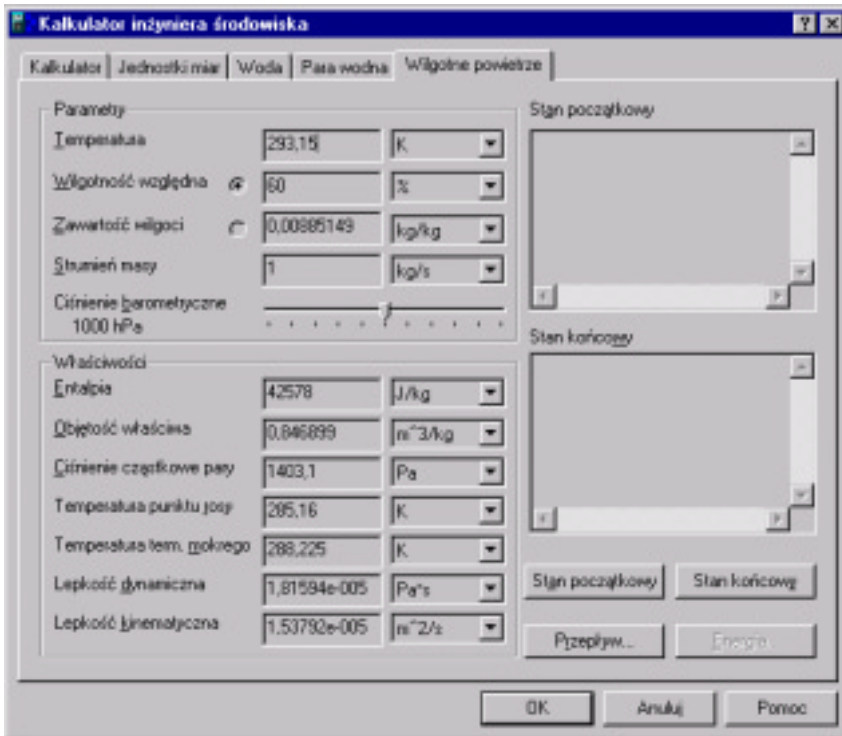


Oblicz		
<input type="radio"/> Strumień	Strumień masy	2,99607 kg/s
<input checked="" type="radio"/> Moc cieplną	Moc cieplna	-6000 kW
<input type="radio"/> Entalpię		

Obliczona moc cieplna odbiornika to 6000 kW czyli 6 MW. Znak minus oznacza, że para wodna oddała ciepło podczas przemiany jej parametrów.

Właściwości fizyczne wilgotnego powietrza

Przy pomocy tej zakładki można znajdować właściwości fizyczne wilgotnego powietrza w zakresie temperatury od -20 °C do 100 °C, w zakresie wilgotności względnej od 0 do 100 % i w zakresie ciśnienia barometrycznego od 960 hPa do 1040 hPa.



UWAGA: Każdy element zakładki posiada pomoc kontekstową dostępną poprzez klawisz? w prawym górnym rogu aplikacji lub kombinację klawiszy Shift-F1, a następnie wskazanie odpowiedniego elementu zakładki. Dodatkowo dostęp do tej pomocy można uzyskać poprzez wskazanie prawym klawiszem myszy elementu zakładki (oprócz pól edycyjnych).

Znajdowanie właściwości fizycznych wilgotnego powietrza

- Przy pomocy rozwijalnej listy określić jednostki temperatury wilgotnego powietrza.
- W polu edycyjnym temperatury wprowadzić wartość temperatury wilgotnego powietrza w wybranych wcześniej jednostkach.
- W polu edycyjnym wilgotności względnej wprowadzić wartość wilgotności względnej wilgotnego powietrza.

- Przy pomocy suwaka określić ciśnienie barometryczne powietrza.
- Wartości poszczególnych parametrów wilgotnego powietrza są obliczane na bieżąco w trakcie wprowadzania wartości temperatury, wilgotności względnej lub ciśnienia barometrycznego.
- Aby zmienić jednostkę dla danego parametru wilgotnego powietrza o podanej temperaturze, wilgotności względnej i ciśnieniu barometrycznym wybierz ją z sąsiadującej rozwijalnej listy.

Wskazówka: Dla bardzo suchego powietrza o niskiej temperaturze może się zdarzyć, że wartość temperatury punktu rosy i temperatury termometru mokrego będzie poniżej -20°C . W takim przypadku w odpowiednich polach edycyjnych pojawi się wartość $<253.15\text{ K}$.

Zapamiętywanie stanu początkowego wilgotnego powietrza

Aby zapamiętać stan początkowy wilgotnego powietrza o podanych parametrach naciśnij klawisz **<Stan początkowy>**. Wszystkie parametry wilgotnego powietrza zostaną przepisane do okna edycyjnego Stan początkowy. Parametry te mogą być wykorzystane później do analizy energii.

Zapamiętywanie stanu końcowego wilgotnego powietrza

Po zmianie parametrów wilgotnego powietrza można zapamiętać jej stan końcowy. Aby zapamiętać stan końcowy wilgotnego powietrza o podanych parametrach naciśnij klawisz **<Stan końcowy>**. Wszystkie parametry wilgotnego powietrza zostaną przepisane do okna edycyjnego Stan końcowy. Parametry te mogą być wykorzystane później do analizy energii.

Wskazówka: Okna edycyjne **<Stan początkowy>** i **<Stan końcowy>** obsługują prawy klawisz myszy oraz kopiowanie do schowka Ctrl-C. Skopiowane wartości można wykorzystać w innych programach. Okna te są tylko do odczytu.

Analiza przepływu wilgotnego powietrza

Po ustaleniu parametrów wilgotnego powietrza oraz strumienia masy można przeprowadzić dla wilgotnego powietrza o tych parametrach analizę przepływu.

W analizie przepływu można określić:

- wymiar przewodu,
- strumień objętości,
- prędkość przepływu,
- masę przepływającej wody,
- czas przepływu,
- liczbę Reynoldsa,
- charakter przepływu,

- promień hydrauliczny,
- chropowatość względną i bezwzględną przewodu,
- jednostkowe straty ciśnienia,
- długość przewodu,
- współczynnik oporów liniowych,
- liniowe straty ciśnienia,
- współczynnik oporów miejscowych lub współczynnik przepływu K_v ,
- miejscowe straty ciśnienia.

Aby uruchomić analizę przepływu dla wilgotnego powietrza o podanych parametrach należy wcisnąć klawisz <Przeływ...>

Analiza energii przemiany termodynamicznej wilgotnego powietrza

Po ustaleniu stanu początkowego oraz stanu końcowego wilgotnego powietrza można przeprowadzić dla takiej przemiany analizę energii.

W analizie energii można określić:

- moc cieplną,
- strumień masy,
- czas,
- ilość energii,
- różnicę entalpii,
- różnicę temperatur,
- entalpię końcową,
- temperaturę końcową

Aby uruchomić analizę przepływu dla zapamiętanego stanu początkowego i końcowego należy wcisnąć klawisz <Energia...>

Podstawowe wiadomości z termodynamiki wilgotnego powietrza

Wilgotne powietrze (szczególny przypadek wilgotnego gazu) to mieszanina pary wodnej i suchego powietrza.

Przy niezbyt wysokich ciśnieniach wilgotny gaz można traktować jak gaz doskonały, spełniający prawo Daltona:

$$p = p_g + p_p$$

- p - całkowite ciśnienie wilgotnego powietrza
 p_g - ciśnienie cząstkowe suchego powietrza
 p_p - ciśnienie cząstkowe pary wodnej

Parametry wilgotnego powietrza

Wilgotność bezwzględna powietrza ρ_p - masa pary wodnej zawartej w 1 m³ wilgotnego powietrza; wartość równa gęstości pary wodnej przy ciśnieniu cząstkowym p_p i temperaturze wilgotnego powietrza.

Wilgotność względna powietrza φ - stosunek wilgotności bezwzględnej powietrza do wilgotności bezwzględnej nasyconego powietrza przy tej samej temperaturze.

$$\varphi = \frac{\rho_p}{\rho_{p \max}} = \frac{p_p}{p_s}$$

$\rho_{p \max}$ - maksymalna wilgotność bezwzględna powietrza przy tej samej temperaturze co ρ_p i maksymalnym ciśnieniu cząstkowym $p_{p \max}$ równym ciśnieniu pary nasyconej

p_s - ciśnienie pary nasyconej, Pa

$$\rho_{p \max} = \rho_s \quad \rho_{p \max} = \rho''$$

wg prawa Boyle'a - Mariotte'a :

$$\frac{p_p}{\rho_p} = \frac{p_s}{\rho''} \Rightarrow \frac{\rho_p}{\rho''} = \frac{p_p}{p_s} \Rightarrow \varphi = \frac{p_p}{p_s}$$

p_s - ciśnienie pary nasyconej

W zależności od ilości wilgoci zawartej w wilgotnym powietrzu rozróżnia się:

powietrze niedosycone - wilgoć w powietrzu jest parą przegrzaną

$$\rho_p < \rho''; \quad p_p < p_s; \quad t > t_s; \quad \varphi < 1$$

t - temperatura wilgotnego powietrza

t_s - temperatura pary nasyconej

powietrze nasycone - wilgoć w powietrzu jest parą suchą nasyconą

$$\rho_p = \rho''; \quad p_p = p_s; \quad t = t_s; \quad \varphi = 1$$

powietrze zamglone - w powietrzu poza wilgocią w postaci pary suchej nasyconej występuje wilgoć w postaci cieczy (mgła wodna), ciała stałego (mgła śnieżna) lub obu jednocześnie

Zawartość wilgoci w powietrzu x - masa wody przypadająca na jednostkę masy suchego powietrza w mieszaninie.

$$x = \frac{m_p}{m_g} = \frac{\rho_p}{\rho_g}, \text{ kg} \left(\frac{\text{wilgoci}}{\text{suchego gazu}} \right)$$

m_p - masa pary wodnej, kg

m_g - masa suchego gazu, kg

ρ_g - gęstość suchego gazu, kg/m³

- dla wilgotnego powietrza niedosyconego

$$x = 0,622 \cdot \frac{\varphi \cdot p_s}{p - \varphi \cdot p_s} \cdot \frac{kg}{kg} \left(\frac{\text{wilgoci}}{\text{suchego gazu}} \right)$$

- dla wilgotnego powietrza nasyconego

$$x_{\max} = 0,622 \cdot \frac{p_s}{p - p_s} \cdot \frac{kg}{kg} \left(\frac{\text{wilgoci}}{\text{suchego gazu}} \right)$$

- dla powietrza zamglonego

$$x = x_{\max} + x_m$$

x_m - zawartość mgły wodnej lub lodowej

Stopień nasycenia powietrza

$$\psi = \frac{x}{x_{\max}} = \varphi \cdot \frac{p - p_s}{p - p_p}$$

Objętość właściwa wilgotnego powietrza

- powietrze niedosycone

$$v_{wp} = 462 \cdot \frac{(0,622 + x)}{(1 + x)} \cdot \frac{T}{p}, \frac{m^3}{kg}$$

- powietrze nasycone

$$v_{wp} = 462 \cdot \frac{(0,622 + x_{\max})}{(1 + x_{\max})} \cdot \frac{T}{p}, \frac{m^3}{kg}$$

Entalpia wilgotnego powietrza - odnosi się do jednostki masy suchego powietrza

- powietrze niedosycone

$$I = i_g + x \cdot i_p$$

$$I = 1,006 \cdot t + (2500 + 1,86 \cdot t) \cdot x \quad \frac{kJ}{kg}$$

t - temperatura powietrza, °C

- powietrze nasycone

$$I = i_g + x_{\max} \cdot i_p$$

$$I = 1,006 \cdot t + (2500 + 1,86 \cdot t) \cdot x_{\max} \quad \frac{kJ}{kg}$$

- powietrze zamglone - mgła wodna

$$I = 1,006 \cdot t + (2500 + 1,86 \cdot t) \cdot x_{\max} + 4,186 \cdot x_{mw} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

x_{mw} - zawartość wilgoci w powietrzu w postaci mgły wodnej

- powietrze zamglone - mgła lodowa

$$I = 1,006 \cdot t + (2500 + 1,86 \cdot t) \cdot x_{\max} - (332,4 - 2,135 \cdot t) \cdot x_{ml} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

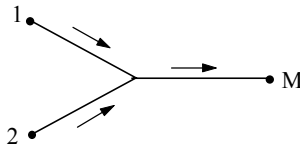
x_{ml} - zawartość wilgoci w powietrzu w postaci mgły lodowej

WYKRES I -x DLA WILGOTNEGO POWIETRZA

Wykres Molliera I -x zbudowany jest dla określonego ciśnienia tzn. $p = \text{const}$.

IZOBARYCZNE PRZEMIANY WILGOTNEGO POWIETRZA

Zmieszanie dwóch strunieni wilgotnego powietrza



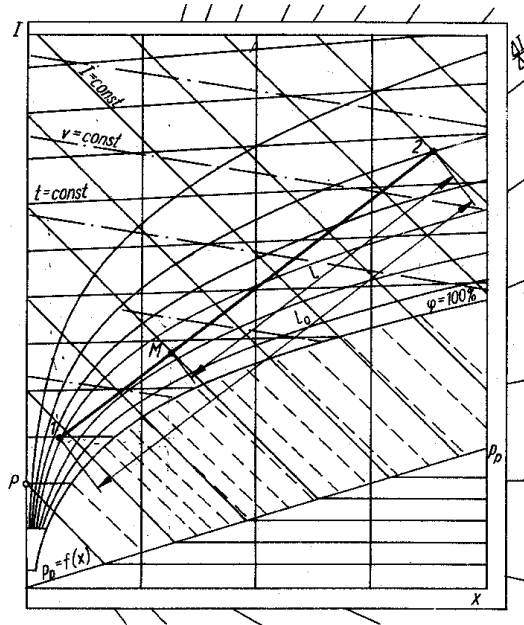
analityczne wyznaczenie parametrów powietrza po zmieszaniu

$$x_M \cdot (m_{g1} + m_{g2}) = x_1 \cdot m_{g1} + x_2 \cdot m_{g2}$$

$$I_M \cdot (m_{g1} + m_{g2}) = I_1 \cdot m_{g1} + I_2 \cdot m_{g2}$$

m_{g1}, m_{g2} - masa suchego powietrza

wyznaczenie parametrów powietrza po zmieszaniu za pomocą wykresu I -x przedstawiono na następnym rysunku.



Położenie punktu mieszania określa się za pomocą wzoru (reguła dźwigni):

$$l = l_o \cdot \frac{m_{g1}}{m_{g1} + m_{g2}}$$

Nawilżanie powietrza

analityczne wyznaczenie parametrów powietrza po nawilżeniu

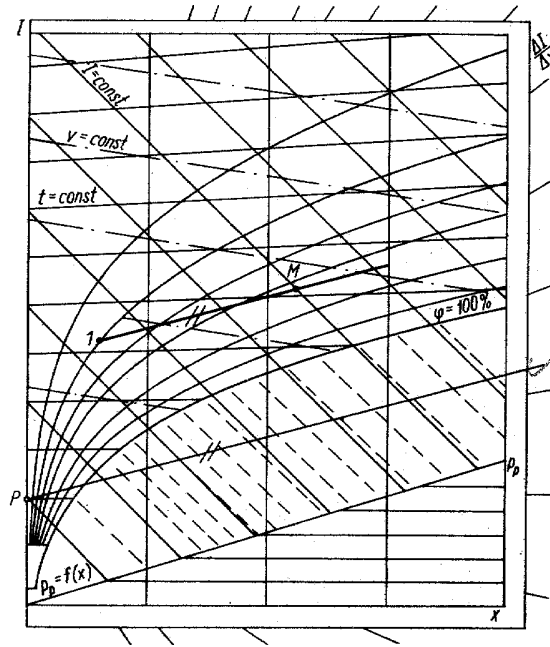
$$x_M = \frac{m_{wp}}{m_{g1}} + x_1$$

$$I_m = \frac{m_{wp}}{m_{g1}} \cdot i + I_1$$

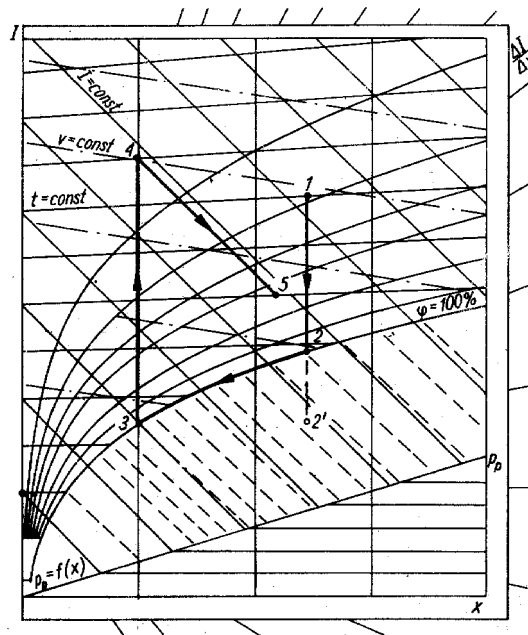
m_{wp} - masa pary lub wody wchłoniętej przez powietrze

i - entalpia pary lub wody, którą nawilżono powietrze

wyznaczenie parametrów powietrza po nawilżeniu za pomocą wykresu I -x



Izobaryczne procesy wilgotnego powietrza na wykresie I - x



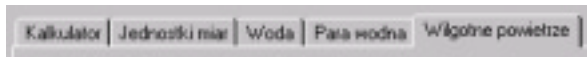
Proces izobarycznego ogrzewania pośredniego w wymienniku powierzchniowym (linia 3-4)

Proces izobarycznego oziębiania po linii 1-2 do punktu rosy (2), dalsze oziębianie ze skraplaniem pary w postaci:

- mgły - proces przebiega po linii 1-2'
- wykroplonej pary na ściankach - proces przebiega po linii 1-2-3, jest to zarazem osuszanie powietrza

Proces izentalpowego suszenia w suszarniach po linii 4-5

Wszystkie przykłady w tym rozdziale dotyczą zagadnień związanych z przepływem wilgotnego powietrza. Do wykonania przykładów należy wybrać zakładkę «Wilgotne powietrze» w Kalkulatorze Audytora Energetycznego tak jak to pokazano na rysunku poniżej.



Przykłady dotyczące przepływu wilgotnego powietrza

Przykład 1 - Wyznaczyć parametry wilgotnego powietrza o temperaturze 22 °C i wilgotności względnej 42 %.

Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej. W polu Temperatura wprowadzić wartość 22.

Zaznaczyć przycisk radiowy Wilgotność względna oznaczając w ten sposób, że wielkością wiodącą dotyczącą pary wodnej w wilgotnym powietrzu będzie wilgotność względna.

W polu edycyjnym Wilgotność względna wprowadzić wartość 42.

Zrzutek ekranowy z formularzem parametrów wilgotnego powietrza. Formularz zawiera następujące pola i wartości:

- Temperatura: 22 [°C]
- Wilgotność względna: 42 [%] (zaznaczony przycisk radiowy)
- Zawartość wilgoci: 0,00698609 [kg/kg]
- Stwierni masy: 1 [kg/s]
- Ciśnienie barometryczne: 1000 hPa (z suwaczkiem)

Odczytać obliczoną zawartość wilgoci, która wynosi 0,006986 kg/kg oraz pozostałe parametry wilgotnego powietrza w grupie Właściwości. Można zmieniać jednostki

poszczególnych wielkości przy pomocy list rozwijalnych odpowiadających poszczególnym polom edycyjnym.

Właściwości		
Entalpia	39,8831	kJ/kg
Długość właściwa	0,851731	m ³ /kg
Ciepłota cząstkowa pary	1,11069	kJ/kg
Temperatura punktu rosy	8,51576	st C
Temperatura term. górnego	14,1025	st C
Lepkość dynamiczna	1,82583e-005	Pa·s
Lepkość kinematyczna	1,55512e-005	m ² /s

Przykład 2 - Wyznaczyć parametry wilgotnego powietrza o temperaturze 37 °C i zawartości wilgoci 36,52 g/kg.

Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej.
W polu Temperatura wprowadzić wartość 37.

Zaznaczyć przycisk radiowy Zawartość wilgoci oznaczając w ten sposób, że wielkością wiodącą dotyczącą pary wodnej w wilgotnym powietrzu będzie zawartość wilgoci.

Ustalić jednostkę zawartości wilgoci na [g/kg] wybierając ją z listy rozwijalnej.
W polu edycyjnym Zawartość wilgoci wprowadzić wartość 36,52.

Parametry		
Temperatura	37	st C
Wilgotność względna	<input type="radio"/> 88,2923	%
Zawartość wilgoci	<input checked="" type="radio"/> 36,52	g/kg
Strumień masy	1	kg/s
Ciepłota barometryczna	1000 hPa	

Odczytać obliczoną wartość wilgotności względnej, która wynosi 88,3 % oraz pozostałe parametry wilgotnego powietrza w grupie Właściwości. Można zmieniać jednostki poszczególnych wielkości przy pomocy list rozwijalnych odpowiadających poszczególnym polom edycyjnym.

Właściwości		
Entalpia	131,035	kJ/kg
Objętość właściwa	0,910343	m ³ /kg
Ciepłota cząstkowa pary	5,54577	kJ/kg
Temperatura punktu rosy	34,7343	K
Temperatura term. zgodnego	35,1015	st C
Lepkość dynamiczna	1,89944e-005	Pa·s
Lepkość kinematyczna	1,72914e-005	m ² /s

Przykład 3 - Wyznaczyć parametry powietrza z poprzedniego przykładu przyjmując, że ciśnienie barometryczne wynosi 972 hPa.

Przy przyjętych parametrach powietrza z poprzedniego przykładu zmienić przy pomocy suwaka wartość ciśnienia barometrycznego ustalając jego wartość na 972 hPa.

Parametry		
Temperatura	37	st C
Wilgotność względna	<input type="checkbox"/> 85,8201	%
Zawartość wilgoci	<input checked="" type="checkbox"/> 36,52	g/kg
Strumień masy	1	kg/s
Ciepłota barometryczna	972 hPa	

Odczytać obliczoną wartość wilgotności względnej, która wynosi 85,8 % oraz pozostałe parametry wilgotnego powietrza w grupie Właściwości. Można zmieniać jednostki poszczególnych wielkości przy pomocy list rozwijalnych odpowiadających poszczególnym polom edycyjnym.

Właściwości		
Entalpia	131,035	kJ/kg
Objętość właściwa	0,936567	m ³ /kg
Ciepłota cząstkowa pary	5,39049	kJ/kg
Temperatura punktu rosy	34,2228	K
Temperatura term. zgodnego	34,6707	st C
Lepkość dynamiczna	1,89944e-005	Pa·s
Lepkość kinematyczna	1,77895e-005	m ² /s

Przykład 4 -Do kotła opalanego paliwem gazowym dostarczane jest $1,23 \text{ m}^3/\text{s}$ wilgotnego powietrza o temperaturze $291,15 \text{ K}$ i wilgotności względnej 73% . Obliczyć pole przekroju kanału doprowadzającego powietrze do kotła przy założeniu, że prędkość przepływu w kanale wynosi $8,7 \text{ m/s}$. Przyjąć, że długość przekroju poprzecznego kanału wynosi 500 mm .

Ustalić jednostkę temperatury [K] wybierając ją z listy rozwijalnej.
W polu Temperatura wprowadzić wartość $291,15$.


Zaznaczyć przycisk radiowy Wilgotność względna oznaczając w ten sposób, że wielkością wiodącą dotyczącą pary wodnej w wilgotnym powietrzu będzie wilgotność względna.

W polu edycyjnym Wilgotność względna wprowadzić wartość 73 .

Parametry		
Temperatura	291,15	K
Wilgotność względna	73	%
Zawartość wilgoci	9,51494	g/kg
Strumień masy	1	kg/s
Ciśnienie barometryczne	1000 hPa	

Odczytać parametry powietrza zasilającego kocioł gazowy.

Właściwości		
Entalpia	42,2139	kJ/kg
Objętość właściwa	0,841453	m^3/kg
Ciśnienie cząstkowe pary	1,50668	kPa
Temperatura punktu rosy	13,0944	K
Temperatura tem. górnego	14,946	°C
Lepkość dynamiczna	1,80604e-005	Pa*s
Lepkość kinematyczna	1,5197e-005	m^2/s

Otworzyć okno dialogowe Analiza przepływu naciskając klawisz  w zakładce Wilgotne powietrze.

W oknie dialogowym Analiza przepływu należy wskazać obliczaną wartość, którą jest w tym przykładzie Pole przekroju.

W polu edycyjnym grupy Strumień należy podać wartość strumienia objętości 1,23 po wcześniejszym ustaleniu jednostek strumienia na [m³/s]. Wartość strumienia objętości przeliczana jest na wartość strumienia masy wilgotnego powietrza.

W polu edycyjnym Prędkość należy wpisać wartość prędkości powietrza w kanale równą 8,7 przy ustalonej jednostce prędkości [m/s], którą można wybrać z rozwijalnej listy.

W grupie Charakterystyka przewodu wskazać przycisk radiowy L x H co oznacza, że obliczany będzie przewód o przekroju prostokątnym. Wybrać jednostki długości [mm] z rozwijalnej listy. W polu edycyjnym L podać długość przekroju poprzecznego dobieranego przewodu.

Obliczona wysokość przekroju poprzecznego przewodu H wynosi 287,8 mm. Najbliższy przewód o wymiarach normowych o zbliżonym przekroju to 315 x 400 mm.

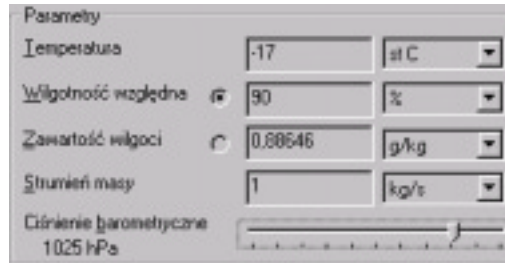
Przykład 5 - Przez nagrzewnicę powietrza przepływa wilgotne powietrze, którego strumień objętości wynosi 923 m³/h. Temperatura powietrza dopływającego do nagrzewnicy wynosi -17 °C natomiast wilgotność względna 90 %. Obliczyć minimalną moc cieplną nagrzewnicy przy założeniu, że ogrzane powietrze będzie miało temperaturę 20 °C oraz podać wilgotność względną powietrza po ogrzaniu. Przyjąć ciśnienie barometryczne 1025 hPa.


Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej. W polu Temperatura wprowadzić wartość -17.

Zaznaczyć przycisk radiowy Wilgotność względna oznaczając w ten sposób, że wielkością wiodącą dotyczącą pary wodnej w wilgotnym powietrzu będzie wilgotność względna.

W polu edycyjnym Wilgotność względna wprowadzić wartość 90.

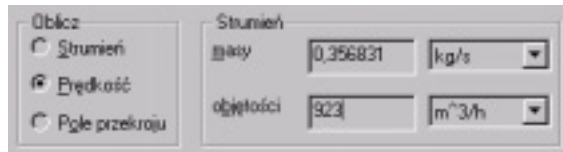
Ustalić wartość ciśnienia barometrycznego na 1025 hPa przy pomocy suwaka zakładki.

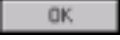



Otworzyć okno dialogowe Analiza przepływu naciskając klawisz  w zakładce Wilgotne powietrze.

W oknie dialogowym Analiza przepływu należy wskazać obliczoną wartość, którą jest w tym przykładzie Prędkość.

W polu edycyjnym grupy Strumień należy podać wartość strumienia objętości 923 po wcześniejszym ustaleniu jednostek strumienia na [m³/h]. Wartość strumienia objętości przeliczana jest na wartość strumienia masy wilgotnego powietrza.



Obliczoną wartość strumienia masy wilgotnego powietrza należy przenieść do zakładki wywołującej aktualne okno dialogowe naciskając klawisz .

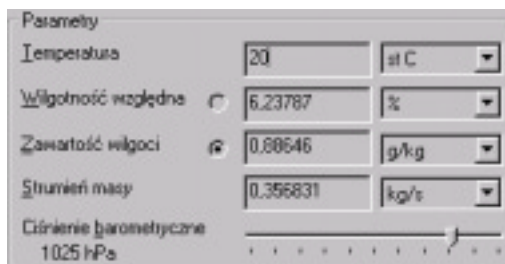
Zapamiętać stan początkowy wilgotnego powietrza naciskając klawisz .

Ogrzewanie powietrza w nagrzewnicy, która jest przepływowym wymiennikiem ciepła, nie zmienia zawartości wilgoci w ogrzewany powietrzu. Należy więc zaznaczyć przycisk radiowy Zawartość wilgoci oznaczając w ten sposób, że wielkością wiodącą dotyczącą pary wodnej w wilgotnym powietrzu będzie zawartość wilgoci i nie należy zmieniać wartości w tym polu edycyjnym. Zawartość wilgoci została wyznaczona podczas ustalania parametrów początkowych powietrza dopływającego do nagrzewnicy.

Powietrze w nagrzewnicy będzie ogrzane do 20 °C.

Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej.
W polu Temperatura wprowadzić wartość 20.

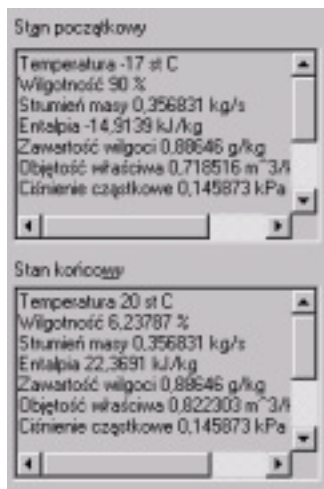
Wilgotność względna ogrzanego powietrza będzie wynosiła 6,2 %.



Parametry		
Temperatura	20	st C
Wilgotność względna	6.23787	%
Zawartość wilgoci	0.88646	g/kg
Strumień masy	0.356831	kg/s
Ciśnienie barometryczne	1025 hPa	

Zapamiętać stan początkowy wilgotnego powietrza naciskając klawisz Stan końcowy

Sprawdzić parametry początkowe i końcowe ogrzewanego powietrza pamiętając, że zawartość wilgoci w ogrzewanym powietrzu powinna być stała.



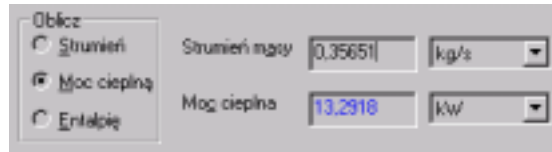
Stan początkowy	
Temperatura	-17 st C
Wilgotność	90 %
Strumień masy	0.356831 kg/s
Entalpia	-14.9139 kJ/kg
Zawartość wilgoci	0.88646 g/kg
Objętość właściwa	0.718516 m ³ /l
Ciśnienie cząstkowe	0.145873 kPa

Stan końcowy	
Temperatura	20 st C
Wilgotność	6.23787 %
Strumień masy	0.356831 kg/s
Entalpia	22.3691 kJ/kg
Zawartość wilgoci	0.88646 g/kg
Objętość właściwa	0.822303 m ³ /l
Ciśnienie cząstkowe	0.145873 kPa

Uruchomić okno dialogowe Analiza energii naciskając klawisz Energia...

W grupie Oblicz okna dialogowego Analiza energii ustalić wartość obliczaną, którą jest w tym przypadku Moc cieplna.

Ustalić jednostki mocy cieplnej [kW] przy pomocy rozwijalnej listy.



The screenshot shows a software window with a 'Oblicz' (Calculate) button and three radio buttons: 'Strumień' (Flow), 'Moc cieplną' (Heat power), and 'Entalpię' (Enthalpy). The 'Moc cieplną' option is selected. To the right, there are two input fields: 'Strumień masy' (Mass flow) with the value '0,35651' and unit 'kg/s', and 'Moc cieplna' (Heat power) with the value '13,2918' and unit 'kW'.

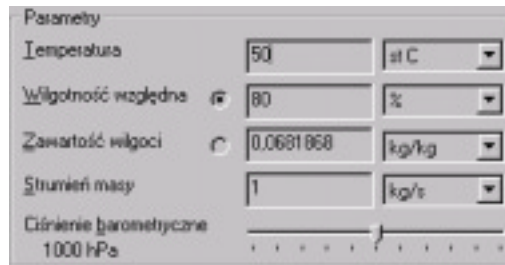
Moc cieplna netto nagrzewnicy powinna wynosić 13,3 kW.

Przykład 6 -Strumień wilgotnego powietrza o objętości 25000 m³/h o ciśnieniu 1 bar, temperaturze 50 °C i wilgotności względnej 80 % poddano procesom chłodzenia do temperatury 30 °C, a następnie podgrzania do temperatury 60 °C. Określić parametry powietrza po podgrzaniu oraz ilość wykroplonej pary wodnej w chłodnicy.

Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej.
W polu Temperatura wprowadzić wartość 50.

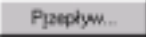
Zaznaczyć przycisk radiowy Wilgotność względna oznaczając w ten sposób, że wielkością wiodącą dotyczącą pary wodnej w wilgotnym powietrzu będzie wilgotność względna.

W polu edycyjnym Wilgotność względna wprowadzić wartość 80.



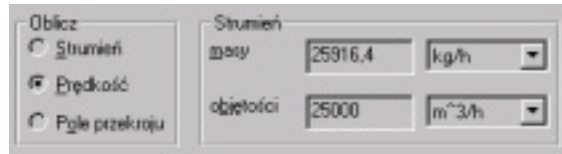
The screenshot shows a 'Parametry' (Parameters) dialog box with the following fields: 'Temperatura' (Temperature) set to 50 with unit 'st C'; 'Wilgotność względna' (Relative humidity) set to 80 with unit '%'; 'Zawartość wilgoci' (Moisture content) set to 0,0681868 with unit 'kg/kg'; 'Strumień masy' (Mass flow) set to 1 with unit 'kg/s'; and 'Ciśnienie barometryczne' (Barometric pressure) set to 1000 hPa with a slider control.


Zawartość wilgoci w powietrzu o podanych parametrach wynosi 0,0681868 kg wilgoci na kg suchego powietrza.

Otworzyć okno dialogowe Analiza przepływu naciskając klawisz  w zakładce Wilgotne powietrze.

W oknie dialogowym Analiza przepływu należy wskazać obliczaną wartość, którą jest w tym przykładzie Prędkość.

W polu edycyjnym grupy Strumień należy podać wartość strumienia objętości 25000 po wcześniejszym ustaleniu jednostek strumienia na [m³/h]. Wartość strumienia objętości przeliczana jest na wartość strumienia masy wilgotnego powietrza. W przykładzie zmieniono jednostkę strumienia masy wilgotnego powietrza na [kg/h], którą można wybrać z rozwijalnej listy.



Obliczoną wartość strumienia masy wilgotnego powietrza należy przenieść do zakładki wywołującej aktualne okno dialogowe naciskając klawisz .

Przy pomocy zakładki z kalkulatorem należy obliczyć strumień masy suchego powietrza przepływającego przez chłodnicę wykorzystując wzór:

$$m_g = \frac{m_{wp}}{1+x}$$

wyprowadzoną z zależności:

$$m_{wp} = m_g + m_p \text{ oraz}$$

$$x = \frac{m_p}{m_g}$$



Obliczona masa suchego powietrza przepływająca przez chłodnicę wynosi 24262 kg/h.

Po powrocie do zakładki Wilgotne powietrze należy ustalić jednostkę masy [kg/h] przy pomocy rozwijalnej listy.

Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej.

W polu Temperatura wprowadzić wartość 30.

Zaznaczyć przycisk radiowy Wilgotność względna oznaczając w ten sposób, że wielkością wiodącą dotyczącą pary wodnej w wilgotnym powietrzu będzie wilgotność względna.

W polu edycyjnym Wilgotność względna wprowadzić wartość 100.

Ochłodzenie powietrza poniżej punktu rosy dla stanu początkowego powietrza powoduje, że na ściankach chłodnicy wykrapla się para wodna a powietrze opuszczające chłodnicę znajduje się w stanie nasycenia czyli jego wilgotność względna wynosi 100 % przy temperaturze powietrza opuszczającej chłodnicę.

Parametry		
Temperatura	30	°C
Wilgotność względna	100	%
Zawartość wilgoci	0,0275814	kg/kg
Strumień masy	25916,4	kg/h
Ciepnota barometryczna	1000 hPa	

Zawartość wilgoci w powietrzu o podanych powyżej parametrach wynosi 0,0275814 kg wilgoci na kg suchego powietrza.

Przy pomocy zakładki z kalkulatorem można obliczyć ilość pary wodnej wykroplonej w chłodnicy. Wykorzystana do tego będzie zależność:

$$m_w = m_g \cdot (x_1 - x_2)$$

gdzie m_w to masa wody wykroplonej w chłodnicy, m_g to masa suchego powietrza przepływającego przez chłodnicę natomiast x_1 i x_2 to zawartość wilgoci w wilgotnym powietrzu przed i za chłodnicą. Wartości wykorzystane w tym wzorze zostały określone powyżej.

Kalkulator	
Jednostki miar Woda Para wodna Wilgotne powietrze	
1,	
+	0,06819
)	
-	24261,97587
	24261,97587
*	
(0,06819
-	0,02758
)	
=	985,27884

Właściwości fizyczne wilgotnego powietrza

Sposób wykorzystania kalkulatora został podany w części opisującej zakładkę z kalkulatorem.

Obliczony strumień masy skroplin odprowadzanych z chłodnicy wynosi 958,3 kg/h.

Ogrzewanie powietrza przebiega analogicznie jak w poprzednim przykładzie.

Ogrzewanie powietrza w nagrzewnicy, która jest przeponowym wymiennikiem, ciepła nie zmienia zawartości wilgoci w ogrzewany powietrze. Należy więc zaznaczyć przycisk radiowy Zawartość wilgoci oznaczając w ten sposób, że wielkością wiodącą dotyczącą pary wodnej w wilgotnym powietrze będzie zawartość wilgoci i nie należy zmieniać wartości w tym polu edycyjnym. Zawartość wilgoci została wyznaczona podczas ustalania parametrów początkowych powietrza dopływającego do nagrzewnicy.

Ustalić jednostkę temperatury [$^{\circ}\text{C}$] wybierając ją z listy rozwijalnej. W polu Temperatura wprowadzić wartość 60.

Wilgotność względna ogrzanego powietrza będzie wynosiła 21,3 %.

Parametry		
Temperatura	60	[$^{\circ}\text{C}$]
Wilgotność względna	21,2936	%
Zawartość wilgoci	0,0275814	kg/kg
Strumień masy	25916,4	kg/h
Ciepłota barometryczna 1000 hPa		

Pozostałe właściwości powietrza po podgrzaniu można określić z odpowiednich pól edycyjnych, dla których można zmieniać jednostki z odpowiednich list rozwijalnych.


Właściwości		
Entalpia	132,392	kJ/kg
Gęstość właściwa	0,972969	m^3/kg
Ciepłota cząstkowa pary	4246,03	Pa
Temperatura punktu rosy	30	[$^{\circ}\text{C}$]
Temperatura tem. glob. (gł.)	35,2982	[$^{\circ}\text{C}$]
Lepkość dynamiczna	2,00984e-005	$\text{Pa}\cdot\text{s}$
Lepkość kinematyczna	1,95551e-005	m^2/s

Przykład 7 - Obliczyć moc cieplną chłodnicy i nagrzewnicy z poprzedniego przykładu

Ustalić parametry początkowe dla chłodnicy jak w poprzednim przykładzie.

The screenshot shows a 'Parametry' (Parameters) window with the following values:


Parameter	Value	Unit
Temperatura	50	st C
Wilgotność względna	80	%
Zawartość wilgoci	0.0681868	kg/kg
Strumień masy	1	kg/s
Ciśnienie barometryczne	1000	hPa

Zapamiętać stan początkowy wilgotnego powietrza naciskając klawisz 

Ustalić parametry końcowe dla chłodnicy analogicznie jak w poprzednim przykładzie.

The screenshot shows a 'Parametry' (Parameters) window with the following values:

Parameter	Value	Unit
Temperatura	30	st C
Wilgotność względna	100	%
Zawartość wilgoci	0.0275814	kg/kg
Strumień masy	25916.4	kg/h
Ciśnienie barometryczne	1000	hPa

Zapamiętać stan końcowy wilgotnego powietrza naciskając klawisz 

Sprawdzić zapamiętane parametry początkowe i końcowe powietrza przepływającego przez chłodnicę.

Stan początkowy

Temperatura 50 st C
Wilgotność 80 %
Strumień masy 25916,4 kg/h
Entalpia 227,108 kJ/kg
Zawartość wilgoci 0,0681968 kg/kg
Objętość właściwa 0,964641 m³/ł
Ciśnienie cząstkowe 9,87947 kPa

Stan końcowy

Temperatura 30 st C
Wilgotność 100 %
Strumień masy 25916,4 kg/h
Entalpia 100,673 kJ/kg
Zawartość wilgoci 0,0275814 kg/kg
Objętość właściwa 0,885354 m³/ł
Ciśnienie cząstkowe 4,24602 kPa

Uruchomić okno dialogowe Analiza energii naciskając klawisz

Energia ..

W grupie Oblicz okna dialogowego Analiza energii ustalić wartość obliczaną, którą jest w tym przypadku Moc cieplna.

Ustalić jednostkę strumienia masy [kg/h] przy pomocy rozwijalnej listy.

W polu edycyjnym Strumień masy wpisać obliczony w poprzednim przykładzie strumień masy suchego powietrza czyli 24262.

Ustalić jednostki mocy cieplnej [kW] przy pomocy rozwijalnej listy.

Oblicz

Strumień

Moc cieplną

Entalpię

Strumień masy 24262 kg/h

Moc cieplna -852,108 kW

Obliczona moc cieplna netto chłodnicy wynosi 852,1 kW.

Ustalić parametry początkowe dla nagrzewnicy – powietrze wpływające do nagrzewnicy ma parametry powietrza opuszczającego chłodnicę.

Parametry		
Temperatura	30	st C
Wilgotność względna	100	%
Zawartość wilgoci	0.0275814	kg/kg
Strumień masy	25816,4	kg/h
Ciśnienie barometryczne 1000 hPa	<input type="text"/>	

Zapamiętać stan początkowy wilgotnego powietrza naciskając klawisz Stan początkowy

Ogrzewanie powietrza w nagrzewnicy, która jest przepływowym wymiennikiem ciepła, nie zmienia zawartości wilgoci w ogrzewany powietrzu. Należy więc zaznaczyć przycisk radiowy Zawartość wilgoci oznaczając w ten sposób, że wielkością wiodącą dotyczącą pary wodnej w wilgotnym powietrzu będzie zawartość wilgoci i nie należy zmieniać wartości w tym polu edycyjnym. Zawartość wilgoci została wyznaczona podczas ustalania parametrów początkowych powietrza dopływającego do nagrzewnicy.

Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej.
W polu Temperatura wprowadzić wartość 60.

Wilgotność względna ogrzanego powietrza będzie wynosiła 21,3 %.

Parametry		
Temperatura	60	st C
Wilgotność względna	21.2936	%
Zawartość wilgoci	0.0275814	kg/kg
Strumień masy	25816,4	kg/h
Ciśnienie barometryczne 1000 hPa	<input type="text"/>	

Zapamiętać stan końcowy wilgotnego powietrza naciskając klawisz Stan końcowy

Stan początkowy

Temperatura 30 st C
Wilgotność 100 %
Strumień masy 25916,4 kg/h
Entalpia 100,673 kJ/kg
Zawartość wilgoci 0,0275814 kg/kg
Objętość właściwa 0,885354 m³/kg
Ciśnienie cząstkowe 4,24602 kPa

Stan końcowy

Temperatura 60 st C
Wilgotność 21,2936 %
Strumień masy 25916,4 kg/h
Entalpia 132,352 kJ/kg
Zawartość wilgoci 0,0275814 kg/kg
Objętość właściwa 0,972969 m³/kg
Ciśnienie cząstkowe 4,24603 kPa

Uruchomić okno dialogowe Analiza energii naciskając klawisz

Energia...

W grupie Oblicz okna dialogowego Analiza energii ustalić wartość obliczaną, którą jest w tym przypadku Moc cieplna.

Ustalić jednostkę strumienia masy [kg/h] przy pomocy rozwijalnej listy.

W polu edycyjnym Strumień masy wpisać obliczony w poprzednim przykładzie strumień masy suchego powietrza czyli 24262.

Ustalić jednostki mocy cieplnej [kW] przy pomocy rozwijalnej listy.

Oblicz

Strumień

Moc cieplną

Entalpię

Strumień masy 24262 kg/h

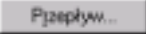
Moc cieplna 213,769 kW

Obliczona moc cieplna netto nagrzewnicy wynosi 213,8 kW.

Przykład 8 - Obliczyć liniowe straty ciśnienia dla kanału o długości 20 m i wymiarach przekroju poprzecznego 800 x 800 mm łączącego nagrzewnicę z poprzedniego przykładu z pozostałym fragmentem instalacji wentylacyjnej. Chropowatość bezwzględną przyjąć jako 0,01 mm. Określić prędkość przepływu powietrza w przewodzie.

Ustalić parametry wilgotnego powietrza z poprzedniego przykładu opuszczającego nagrzewnicę.

Parametry		
Temperatura	60	°C
Wilgotność względna	21.2936	%
Zawartość wilgoci	0.0275814	kg/kg
Strumień masy	25816.4	kg/h
Ciśnienie barometryczne	1000 hPa	

Otworzyć okno dialogowe Analiza przepływu naciskając klawisz  w zakładce Wilgotne powietrze.

W oknie dialogowym Analiza przepływu należy wskazać obliczaną wartość, którą jest w tym przykładzie Prędkość.

Ustalić jednostkę wymiarów [mm] przy pomocy rozwijalnej listy.

W grupie Charakterystyka przewodu wskazać klawisz radiowy L x H. Z listy przewodów wybrać kanał o wymiarach 800 x 800 mm.

Ustalić chropowatość bezwzględną 0,01 mm przy pomocy suwaka.

Ustalić jednostkę długości na [m] przy pomocy rozwijalnej listy.

W polu edycyjnym Długość przewodu w grupie Liniowe straty ciśnienia podać długość kanału 20 m.

Obliczone liniowe straty ciśnienia przy przepływie strumienia wilgotnego wynoszą 18,1 Pa.

Obliczona prędkość przepływu przez kanał o podanych wymiarach wynosi 10,9 Pa.

Przykład 9 - Do komory zraszania doprowadza się powietrze zewnętrzne o parametrach: temperatura 35 °C, wilgotność względna 30 % w ilości 10000 m³/h, a następnie kieruje się je do pomieszczenia. Strumień masy wody o temperaturze 10 °C doprowadzanej do komory zraszania wynosi 0,015 kg/s. Obliczyć wilgotność względną powietrza doprowadzanego do pomieszczenia.

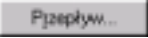
Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej.

W polu Temperatura wprowadzić wartość 35.

Zaznaczyć przycisk radiowy Wilgotność względna oznaczając w ten sposób, że wielkością wodną dotyczącą pary wodnej w wilgotnym powietrzu będzie wilgotność względna.

W polu edycyjnym Wilgotność względna wprowadzić wartość 30.

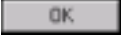
Obliczona zawartość wilgoci w powietrzu o podanych parametrach wynosi 0,0106821 kg/kg.

Otworzyć okno dialogowe Analiza przepływu naciskając klawisz  w zakładce Wilgotne powietrze.

W oknie dialogowym Analiza przepływu należy wskazać obliczaną wartość, którą jest w tym przykładzie Prędkość.

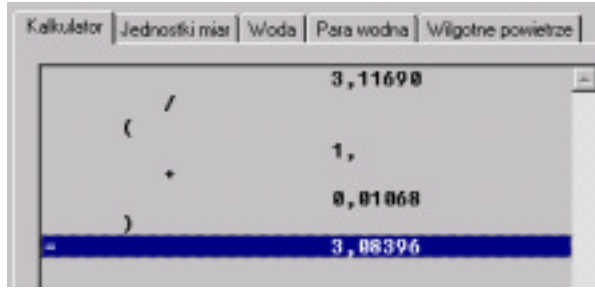
W grupie Oblicz okna dialogowego Analiza przepływu ustalić wartość obliczaną, którą jest w tym przypadku Prędkość.

W polu edycyjnym grupy Strumień należy podać wartość strumienia objętości 10000 po wcześniejszym ustaleniu jednostek strumienia na [m³/h]. Wartość strumienia objętości przeliczana jest na wartość strumienia masy wilgotnego powietrza. W przykładzie zmieniono jednostkę strumienia masy wilgotnego powietrza na [kg/s], którą można wybrać z rozwijalnej listy.

Obliczoną wartość strumienia masy wilgotnego powietrza należy przenieść do zakładki wywołującej aktualne okno dialogowe naciskając klawisz .

Przy pomocy zakładki z kalkulatorem należy obliczyć strumień masy suchego powietrza przepływającego przez chłodnicę wykorzystując zależność:

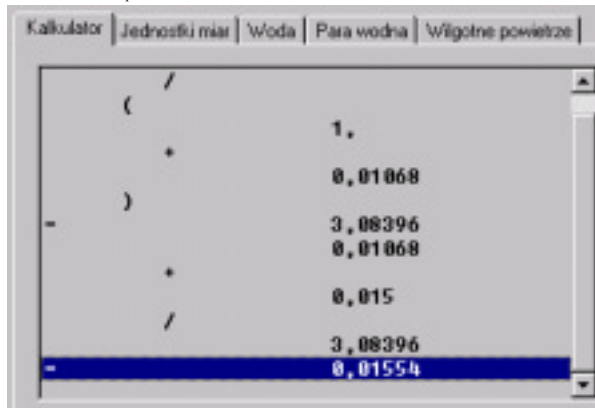
$$m_g = \frac{m_{wp}}{1 + x}$$



Obliczona wartość strumienia suchego powietrza wynosi 3,08 kg/s.

Przy pomocy zakładki z kalkulatorem, kontynuując obliczenia, obliczyć zawartość wilgoci w powietrzu doprowadzanym do pomieszczenia. Zawartość wilgoci w tym powietrzu jest równa sumie zawartości wilgoci powietrza przed nagrzewnicą i zawartości wilgoci doprowadzonej w komorze zraszania.

$$x_2 = x_1 + \frac{m_w}{m_p}$$



Aby określić wilgotność względną powietrza za komorą zraszania należy obliczyć entalpię wilgotnego powietrza za komorą zraszania a następnie metodą iteracyjną przy znanej zawartości wilgoci zmieniając temperaturę powietrza znaleźć taką temperaturę aby entalpia powietrza była równa wartości obliczonej.

Entalpia wilgotnego powietrza przed nagrzewnicą wynosi 62,61 kJ/kg.

Właściwości		
Entalpia	62,6107	kJ/kg
Gęstość właściwa	0,8912	m ³ /kg
Ciepłota cząstkowa pary	1,68839	kJ/kg
Temperatura punktu rosy	287,998	K
Temperatura term. dynamicznej	294,481	K
Lepkość dynamiczna	1,88969e-005	Pa·s
Lepkość kinematyczna	1,68409e-005	m ² /s

Entalpia wody o temperaturze 10 °C wynosi 41,999 kJ/kg.

Kalkulator Jednostki miar Woda Para wodna Wilgotne powietrze		
Parametry		
Temperatura wody	10	st C
Ciepłota wody	100000	Pa
Strumień masy	1	kg/s
Właściwości		
Gęstość	999,724	kg/m ³
Rozszerzalność obj.	9,36697e-005	1/K
Ciepłota właściwa	4195,94	J/(kg K)
Entalpia	41,999	kJ/kg

Entalpia nawilżonego powietrza za komorą zraszania jest sumą entalpii powietrza przed komorą i entalpii wody nawilżającej powietrze:

$$I_2 = I_1 + x_2 \cdot i_w$$

Kalkulator		Jednostki miar	Woda	Para wodna	Wilgotne powietrze
+					0,015
/					3,08396
=					0,01554
					62,61070
+					0,01500
/					3,08396
*					41,99900
=					62,81498

Entalpia powietrza opuszczającego komorę zraszania wynosi 62,81 kJ/kg.

Metodą iteracyjną zmieniając temperaturę powietrza przy ustalonej zawartości wilgoci 0,01554 kg/kg należy znaleźć taką temperaturę powietrza aby wartość entalpii była zbliżona do wartości 62,82 kJ/kg.

Parametry	
Temperatura	23 [st C]
Wilgotność względna	86,7368 [%]
Zawartość wilgoci	0,01554 [kg/kg]
Strumień masy	3,08396 [kg/s]
Ciśnienie barometryczne 1000 hPa	
Właściwości	
Entalpia	62,6528 [kJ/kg]

Znaleziona wartość temperatury powietrza wynosi 23 °C co odpowiada wilgotności względnej 86,7 %. Wartość entalpii powietrza o takich parametrach wynosi 62,65 kJ/kg i jest w przybliżeniu równa obliczonej analitycznie wartości entalpii 62,82 kJ/kg.

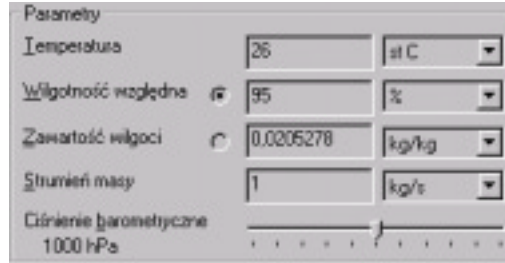
Przykład 10 - Parowa nagrzewnica powietrza ogrzewa wilgotne powietrze o temperaturze 26 °C i wilgotności względnej 95 % do temperatury 52 °C. Strumień masy suchego gazu przepływający przez nagrzewnicę wynosi 35,3 kg/s. Określić strumień masy pary wodnej nasyconej mokrej o nadciśnieniu 9 bar i suchości 99 % zasilającej nagrzewnicę powietrza. Przyjąć ciśnienie barometryczne 1 bar.

Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej.

W polu Temperatura wprowadzić wartość 26.

Zaznaczyć przycisk radiowy Wilgotność względna oznaczając w ten sposób, że wielkością wiodącą dotyczącą pary wodnej w wilgotnym powietrzu będzie wilgotność względna.

W polu edycyjnym Wilgotność względna wprowadzić wartość 95.



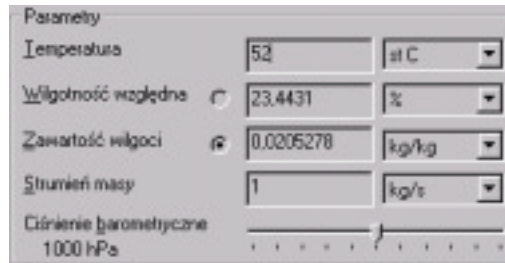
Parametry		
Temperatura	26	[°C]
Wilgotność względna	95	[%]
Zawartość wilgoci	0.0205278	[kg/kg]
Strumień masy	1	[kg/s]
Ciśnienie barometryczne 1000 hPa	[Slider]	

Zapamiętać stan początkowy wilgotnego powietrza naciskając klawisz [Stan początkowy](#)

Ogrzewanie powietrza w nagrzewnicy, która jest przepływowym wymiennikiem ciepła, nie zmienia zawartości wilgoci w ogrzewany powietrzu. Należy zaznaczyć przycisk radiowy Zawartość wilgoci oznaczając w ten sposób, że wielkością wiodącą dotyczącą pary wodnej w wilgotnym powietrzu będzie zawartość wilgoci i nie należy zmieniać wartości w tym polu edycyjnym. Zawartość wilgoci została wyznaczona podczas ustalania parametrów początkowych powietrza dopływającego do nagrzewnicy.

Ustalić jednostkę temperatury [°C] wybierając ją z listy rozwijalnej.

W polu Temperatura wprowadzić wartość 52.



Parametry		
Temperatura	52	[°C]
Wilgotność względna	23.4431	[%]
Zawartość wilgoci	0.0205278	[kg/kg]
Strumień masy	1	[kg/s]
Ciśnienie barometryczne 1000 hPa	[Slider]	

Zapamiętać stan końcowy wilgotnego powietrza naciskając klawisz [Stan końcowy](#)

Sprawdzić parametry początkowe i końcowe wilgotnego powietrza zwracając uwagę czy zawartość wilgoci nie jest zmieniona.

Stan początkowy

Temperatura 26 st C
Wilgotność 95 %
Strumień masy 1 kg/s
Entalpia 78,4682 kJ/kg
Zawartość wilgoci 0,0205278 kg/kg
Objętość właściwa 0,870158 m³/l
Ciśnienie cząstkowe 3,19485 kPa

Stan końcowy

Temperatura 52 st C
Wilgotność 23,4431 %
Strumień masy 1 kg/s
Entalpia 105,617 kJ/kg
Zawartość wilgoci 0,0205278 kg/kg
Objętość właściwa 0,945786 m³/l
Ciśnienie cząstkowe 3,19485 kPa

Uruchomić okno dialogowe Analiza energii naciskając klawisz

Energia...

W grupie Oblicz okna dialogowego Analiza energii ustalić wartość obliczaną, którą jest w tym przypadku Moc cieplna.

Ustalić jednostkę strumienia masy [kg/s] przy pomocy rozwijalnej listy.

W polu edycyjnym Strumień masy wpisać wartość strumienia masy suchego powietrza czyli 35,3.

Ustalić jednostki mocy cieplnej [kW] przy pomocy rozwijalnej listy.

Analiza energii

Oblicz

Strumień

Moc cieplną

Entalpię

Strumień masy 35,3 kg/s

Moc cieplna 958,351 kW

Entalpia

Różnica entalpi 27,1488 kJ/kg

Entalpia końcowa 105,617 kJ/kg

Obliczona moc cieplna netto nagrzewnicy powietrza wynosi 958,4 kW.

Właściwości fizyczne wilgotnego powietrza

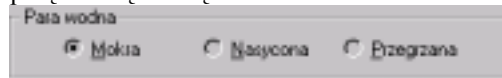
Klawiszem OK, przepisać wartość strumienia masy do zakładki wywołującej okno. Wartość strumienia masy suchego powietrza jest przeliczana na strumień masy wilgotnego powietrza przy aktualnej zawartości wilgoci.

W celu obliczenia strumienia masy pary wodnej zasilającej nagrzewnicę przyjęto założenie, że sprawność nagrzewnicy wynosi 100 %.

Obliczenie strumienia masy pary wodnej przy znanej mocy cieplnej nagrzewnicy przeprowadza się analogicznie jak w przykładach dotyczących pary wodnej.

Zmienić zakładkę w programie na Para wodna.

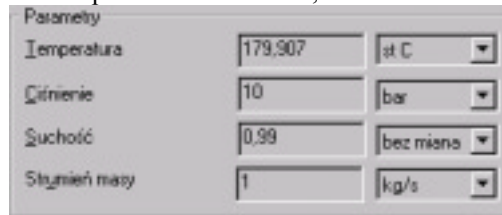
Ustalić rodzaj pary na parę wodną moką.




Ustalić jednostkę ciśnienia na [bar] wybierając ją z listy rozwijalnej.

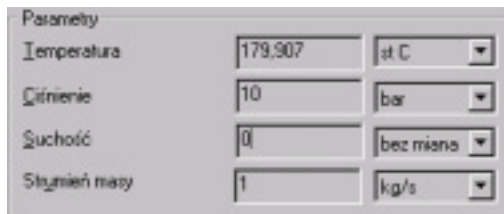
W polu Ciśnienie wprowadzić wartość 10, która jest wartością ciśnienia całkowitego.

W polu edycyjnym Suchość wprowadzić wartość 0,99.



Zapamiętać stan początkowy wilgotnego powietrza naciskając klawisz 

W polu edycyjnym Suchość wprowadzić wartość 0. Odpowiada to wodzie wrzącej (skroplinom) przy podanym ciśnieniu całkowitym




Zapamiętać stan końcowy wilgotnego powietrza naciskając klawisz 

Sprawdzić parametry początkowe i końcowe przemiany pary wodnej.

The image shows a software dialog box with two sections: 'Stan początkowy' (Initial state) and 'Stan końcowy' (Final state). Each section contains a list of physical properties for steam. The initial state shows saturated steam at 179.907 °C, 10 bar, with a humidity of 0.99, a mass flow rate of 1 kg/s, an enthalpy of 2757.71 kJ/kg, and a specific volume of 0.191976 m³/kg. The final state shows saturated steam at the same temperature and pressure, but with a humidity of 0, a mass flow rate of 1 kg/s, an enthalpy of 761.22 kJ/kg, and a specific volume of 0.0011277 m³/kg. The dialog box has standard scroll bars and navigation buttons.

Stan początkowy	Stan końcowy
Para nasycona mokra	Para nasycona mokra
Temperatura 179.907 st C	Temperatura 179.907 st C
Ciśnienie 10 bar	Ciśnienie 10 bar
Suchość 0.99 bez miara	Suchość 0 bez miara
Strumień masy 1 kg/s	Strumień masy 1 kg/s
Entalpia 2757.71 kJ/kg	Entalpia 761.22 kJ/kg
Objętość właściwa 0.191976 m ³ /kg	Objętość właściwa 0.0011277 m ³ /kg

Uruchomić okno dialogowe Analiza energii naciskając klawisz .

W grupie Oblicz okna dialogowego Analiza energii ustalić wartość obliczaną, którą jest w tym przypadku Strumień.

Ustalić jednostkę strumienia masy [kg/s] przy pomocy rozwijalnej listy.

Ustalić jednostki mocy cieplnej [kW] przy pomocy rozwijalnej listy.

W polu edycyjnym Moc cieplna wpisać wartość mocy cieplnej netto nagrzewnicy obliczonej w poprzedniej części przykładu czyli -958,351 kW.

Analiza energii

Oblicz

Strumień Strumień masy 0,480017 kg/s

Moc cieplną Moc cieplna -958,351 kW

Entalpię

Entalpia

Różnica entalpii -1996,49 kJ/kg

Entalpia końcowa 761,22 kJ/kg

Różnica temperatury K

Temperatura końcowa K

Energia

Czas 1 s

Energia -1996,49 kJ

OK

Anuluj

Pomoc

Obliczony strumień masy pary wodnej zasilającej nagrzewnicę wynosi 0,48 kg/s.

Przykład 11 - Wyznaczyć straty ciśnienia przy przepływie wilgotnego powietrza przez kanał za nagrzewnicą powietrza z poprzedniego przykładu o długości 83 m i wymiarach przekroju poprzecznego 1600 x 1600 mm. Suma współczynników oporów miejscowych w kanale wynosi 7.

Ustalić parametry wilgotnego powietrza za nagrzewnicą powietrza z poprzedniego przykładu.

Parametry


Temperatura 52 st C

Wilgotność względna 23,4431 %

Zawartość wilgoci 0,0205278 kg/kg

Strumień masy 1 kg/s

Ciśnienie barometryczne
1000 hPa

Otworzyć okno dialogowe Analiza przepływu naciskając klawisz  w zakładce Wilgotne powietrze.

W grupie Oblicz okna dialogowego Analiza przepływu ustalić wartość obliczaną, którą jest w tym przypadku Prędkość.

W polu edycyjnym grupy Strumień należy podać wartość strumienia masy 36,0246 po wcześniejszym ustaleniu jednostek strumienia na [kg/s]. Wartość strumienia masy przeliczana jest na wartość strumienia objętości wilgotnego powietrza. W przykładzie zmieniono jednostkę strumienia masy wilgotnego powietrza na [m³/h], którą można wybrać z rozwijalnej listy.

Wybrać wielkość kanału 1600 x 1600 r rozwijalnej listy.

Ustalić chropowatość bezwzględną na 0,5 mm.

W polu edycyjnym Długość przewodu wpisać wartość 83 m.

W polu edycyjnym $\Sigma\xi$ wpisać wartość 7.

Obliczona wartość oporów liniowych wynosi 65,79 Pa.

Obliczona wartość oporów miejscowych wynosi 655,5 Pa.

Analiza energii przemiany

Dialog ten pozwala na analizę energii przemiany termodynamicznej czynnika od stanu początkowego do stanu końcowego. Można określić następujące wartości charakteryzujące przemianę termodynamiczną czynnika:

- strumień masy,
- moc cieplną,
- różnicę entalpii,
- entalpię końcową,
- różnicę temperatur (tylko dla wody),
- temperaturę końcową (tylko dla wody),
- czas wydatkowania energii,
- ilość energii przemiany w danym czasie.

The image shows a software dialog box titled "Analiza energii". It contains several input fields and buttons. The "Oblicz" section has three radio buttons: "Strumień" (selected), "Moc cieplną", and "Entalpię". The "Strumień" section has a text box with "1" and a dropdown menu with "kg/s". The "Moc cieplna" section has a text box with "83951,3" and a dropdown menu with "W". The "Entalpia" section has four rows: "Różnica entalpii" (83951,3 J/kg), "Entalpia końcowa" (376957 J/kg), "Różnica temperatury" (20 K), and "Temperatura końcowa" (363,15 K). The "Energia" section has "Czas" (1 s) and "Energia" (83951,3 J). There are three buttons: "OK", "Anuluj", and "Pomoc".

UWAGA: Każdy element zakładki posiada pomoc kontekstową dostępną poprzez klawisz? w prawym górnym rogu aplikacji lub kombinację klawiszy Shift-F1, a następnie wskazanie odpowiedniego elementu zakładki. Dodatkowo dostęp do tej pomocy można uzyskać poprzez wskazanie prawym klawiszem myszy elementu zakładki (oprócz pól edycyjnych).

Klawisz OK przepisuje wartość strumienia masy do zakładki wywołującej dialog.

Bilans cieplny przemiany termodynamicznej czynnika

Dialog dokonuje na bieżąco bilansu cieplnego przemiany termodynamicznej czynnika przy założeniu, że jeden ze składników równania jest obliczany.

Możliwe jest obliczenie:

- strumienia masy,
- mocy cieplnej,
- entalpii.

Wybrany parametr jest obliczany na podstawie pozostałych dwóch.

Dla wody obliczana jest różnica temperatur i temperatura końcowa ponieważ, entalpia wody zależy tylko od temperatury. W przypadku pary wodnej entalpia jest o ogólnym przypadku funkcją ciśnienia, temperatury i suchości, natomiast entalpia wilgotnego powietrza zależy od temperatury, wilgotności względnej i ciśnienia barometrycznego.

Określanie czasu wydatkowania energii i energii przemiany termodynamicznej czynnika

Na podstawie wartości mocy cieplnej podając czas można określić ilość energii przemiany czynnika. Można także dokonać obliczenia odwrotnego podając ilość energii potrzebnej do przemiany termodynamicznej czynnika określić czas wydatkowania tej energii. Równanie jest bilansowane na bieżąco.

Analiza przepływu czynnika

Dialog ten pozwala na analizę przepływu dowolnego czynnika przez dowolny przewód. Można określić następujące wielkości charakteryzujące przepływ:

- strumień masy lub objętości,
- prędkość przepływu,
- czas przepływu,
- masę czynnika, która przepłynęła w danym czasie,
- jednostkowe liniowe straty ciśnienia,
- współczynnik oporów liniowych,
- jednostkowe straty ciśnienia,
- liniowe straty ciśnienia,
- współczynnik oporów liniowych,
- współczynnik oporów miejscowych lub współczynnik przepływu K_v ,
- miejscowe straty ciśnienia,

przy znanej charakterystyce przewodu, na którą składa się:

- pole powierzchni poprzecznej określone poprzez DN lub $L \times H$,
- kształt przekroju poprzecznego,
- długość przewodu,
- chropowatość bezwzględna.

Analiza przepływu dla wody o gęstości 965,253 kg/m³.

Oblicz

- Strumień
- Prędkość
- Pole przekroju

Strumień

masy: 1 [kg/s]

objętości: 0.001036 [m³/s]

Masa

Czas przepływu: 1 [s]

Masa: 1 [kg]

Charakterystyka przewodu

- DN Średnica przewodu: 0.036319 [m]
- L x H L: 0.0455192 x H: 0.0227596 [m]
- E Pole przekroju: 0.001036 [m²]

Najbliższy wymiar przewodu: 20 3/4" (26,9 x 2,3)

Przebieg hydrauliczny: 9,07976 mm

Chropowatość wg: 0,000275338

0,01 mm 0,01 mm 10 mm

Linowe straty ciśnienia

jedn. str. ciśn.: 252,935 [Pa/m]

Długość przew.: 1 [m]

Strata ciśnienia: 252,935 [Pa]

Współczynnik oporów liniowych: 0,0190341

Miejscowe straty ciśnienia

K_v Σ: 1 [bez miar]

Strata ciśnienia: 482,627 [Pa]

Prędkość przepływu

Prędkość: 1 [m/s]

Przepływ turbulencyjny
Liczba Reynoldsa: 111207

OK Anuluj Pomoc

UWAGA: Każdy element zakładki posiada pomoc kontekstową dostępną poprzez klawisz? w prawym górnym rogu aplikacji lub kombinację klawiszy Shift-F1, a następnie wskazanie odpowiedniego elementu zakładki. Dodatkowo dostęp do tej pomocy można uzyskać poprzez wskazanie prawym klawiszem myszy elementu zakładki (oprócz pól edycyjnych).

Klawisz OK przepisuje wartość strumienia masy do zakładki wywołującej dialog.

Bilansowanie równania ciągłości przepływu

Dialog dokonuje obliczeń na bieżąco bilansując równanie ciągłości dla danego czynnika przy założeniu, że jeden ze składników równania jest obliczany.

Możliwe jest obliczenie:

- strumienia masy (objętości),
- pola przekroju przewodu (charakteryzowanego średnicą lub szerokością i wysokością dla przewodów o przekroju prostokątnym),
- prędkości przepływu.

Wybrany parametr jest obliczany na podstawie pozostałych dwóch.

Dodatkowo określana jest liczba Reynoldsa oraz charakter przepływu (laminarny lub burzliwy). Jako wartość graniczną przepływu laminarnego przyjęto wartość $Re = 2320$.

Określanie pola przekroju poprzecznego przewodu

Pole przekroju poprzecznego można określić poprzez:

- średnicę wewnętrzną,
- szerokość i wysokość przekroju poprzecznego,
- pole przekroju.

Wszystkie sposoby są dozwolone, przy czym następuje bieżące przeliczenie geometrii przewodu na pozostałe postacie. W przypadku podania średnicy domyślnym stosunkiem H/L jest 2/1. Przy podawaniu bezpośrednio pola przekroju należy określić kształt - informacja ta jest wykorzystywana do obliczenia promienia hydraulicznego przewodu.

Po określeniu pola przekroju (na jeden z trzech sposobów) w liście z wymiarami przewodów znormalizowanych znajdujemy ten, który ze swoim polem przekroju jest najbliższy do wartości podanej. Jeżeli zostanie wskazany element tej listy wówczas do obliczeń zostanie przyjęty wskazany przewód.

Charakterystyka przewodu do określania jednostkowego spadku ciśnienia

W celu określenia jednostkowego spadku ciśnienia przy przepływie znanego strumienia masy przez przewód, konieczne jest podanie chropowatości bezwzględnej przewodu. Można tego dokonać poprzez ustawienie tej wielkości suwakiem. Zakres ustawianej chropowatości bezwzględnej dla przewodów wynosi od **0.01 mm** do **10 mm**. Wraz ze zmianą chropowatości bezwzględnej pokazywana jest wartość chropowatości względnej, która zależy od wartości promienia hydraulicznego przewodu.

Określanie strat ciśnienia w przewodzie przy przepływie danego czynnika

Na podstawie strumienia masy, prędkości, gęstości czynnika i charakterystyki geometrycznej przewodu na bieżąco określone są straty ciśnienia w przewodzie.

Współczynnik oporów liniowych (λ) obliczany jest ze wzoru Hagen -Poiseuille'a dla przepływu laminarnego, natomiast dla przepływu burzliwego ze wzoru Colebrook'a i White'a . Wartość współczynnika λ jest wyświetlana w dialogu. Jest ona wykorzystywana do obliczania jednostkowych strat przepływu. Po podaniu długości przewodu określana jest liniowa strata ciśnienia przy przepływie czynnika przez przewód.

Do określenia miejscowych strat ciśnienia należy podać sumaryczną wartość współczynników oporów miejscowych w przewodzie. Wartość ta może być przeliczona na wartość współczynnika przepływu K_v , odniesionej do rozpatrywanej średnicy hydraulicznej przewodu. Można dokonać konwersji odwrotnej. Na podstawie znajomości współczynnika oporów miejscowych oraz prędkości i gęstości czynnika obliczana jest wartość miejscowych strat ciśnienia przewodu. Zależność ta jest na bieżąco bilansowana. Można więc zmieniać straty ciśnienia i obliczać wielkość oporów miejscowych i K_v . Klawisz OK dialogu konwersji K_v przepisuje wartość współczynnika oporów miejscowych do pola edycyjnego dialogu analizy przepływu..

Określanie czasu przepływu i masy czynnika

Na podstawie wartości strumienia masy (lub objętości) podając czas przepływu można określić masę czynnika, która przepłynęła w tym czasie przez przewód. Można także dokonać obliczenia odwrotnego podając masę czynnika określić czas przepływu. Równanie jest bilansowane na bieżąco.