

Kazimierz BIERNACKI

Marian JAROMIN

## OKREŚLENIE DOPŁYWU CIEPŁA I WILGOCI DO STRUMIENIA POWIETRZA W TYPOWYCH WYROBISKACH GÓRNICZYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono niektóre wyniki badań dotyczących wymiany ciepła i wilgoci w wyrobiskach górniczych. Badania przeprowadzone w typowych wyrobiskach górniczych były podstawą do określenia:

- współczynnika niestacjonarnej wymiany ciepła  $k_f$ ,
- cieplnego współczynnika wymiany wilgoci  $A$ ,
- współczynnika intensywności parowania wilgoci  $\beta$ .

W artykule przedstawiono zakres zmienności powyższych współczynników dla typowych rodzajów wyrobisk górniczych.

### 1. WSTĘP

W ramach prac wykonywanych przez Zespół Aerologii Górniczej Instytutu Techniki Eksploatacji Złóż prowadzone są od szeregu lat badania nad wymianą ciepła i wilgoci między strumieniem powietrza płynącym wyrobiskiem a otoczeniem.

W celu oceny czynników decydujących o występowaniu trudnych warunków klimatycznych w wyrobiskach ścianowych przeprowadzono dużą ilość pomiarów w kopalniach węgla. W sumie przeprowadzono pomiary w 84 wyrobiskach ścianowych. Dla każdego przypadku pomiarami objęto strumień przepływającego powietrza od zrębu szybu wdechowego aż do wylotu ze ściany. Mierzono temperaturę, wilgotność, ciśnienie oraz prędkość przepływającego powietrza, a także zbierano dane odnośnie wyrobiska, przez które przepływało powietrze.

Poniżej przedstawiono ocenę dopływu ciepła i wilgoci do strumienia przepływającego powietrza. Należało się spodziewać, a wstępna analiza to potwierdziła, że istotne znaczenie ma w tym przypadku charakter wyrobiska. Wszystkie wyrobiska pogrupowano więc i analizę przeprowadzono oddzielnie dla każdej grupy wyrobisk a następnie porównano ze sobą.

### 2. PARAMETRY OPISUJĄCE WYMIANĘ CIEPŁA I WILGOCI

Istnieją różne sposoby ujmowania procesów wymiany ciepła i wilgoci. Można rozpatrywać fizykalną stronę przebiegu zjawiska - co jest ściślej ale bardzo skomplikowane.

Można też rozpatrywać zjawisko od strony występujących skutków, to znaczy nie wnikać w mechanizm fizyczny zjawiska a tylko oceniać ilościową stronę zjawiska. Posiadanie materiału badawczego uzyskanego w warunkach naturalnych pozwala na ilościowy opis zjawiska. Całkowita ilość ciepła pochłoniętego przez strumień powietrza jest wynikiem dopływu ciepła z górotworu, procesów utleniania, z urządzeń energomechanicznych oraz innych źródeł. Decydujące znaczenie ma jednak ciepło dopływające z górotworu, szczególnie w przypadku występowania trudnych warunków klimatycznych. W niniejszych rozważaniach oceniano całkowity strumień ciepła dopływającego do powietrza bez próby oceny udziału poszczególnych źródeł. Do oceny ilości ciepła dopływającego z górotworu bez wnikania w mechanizm zjawiska używa się tzw. współczynnika niestacjonarnej wymiany ciepła  $k_z$

$$k_z = \frac{Q}{A_w (\vartheta_{00} - t)} \quad (1)$$

gdzie:

- $Q$  - ilość dopływającego ciepła z górotworu,
- $A_w$  - powierzchnia ociosów wyrobiska,
- $\vartheta_{00}$  - pierwotna temperatura górotworu,
- $t$  - temperatura powietrza w wyrobisku.

W przypadku gdy nie jest możliwe określenie udziału poszczególnych źródeł ciepła, to wprowadzić można tzw. zastępczy współczynnik niestacjonarnej wymiany ciepła  $k_{z2}$  określony identyczną zależnością, ale ujmuje się w nim całą ilość ciepła dopływającego do strumienia powietrza. Przeprowadzone pomiary nie pozwalają na oddzielenie poszczególnych źródeł, dlatego też możliwe było określenie i przeanalizowanie całkowitego strumienia ciepła wyrażonego zastępczym współczynnikiem  $k_{z2}$ .

Dopływ wilgoci do strumienia powietrza spowodowany jest parowaniem wody zawartej w górotworze a także wody technologicznej. Również w tym przypadku rozdzielenie tych źródeł było niemożliwe. Dopływ wilgoci oceniano za pomocą współczynnika  $\beta$ , to jest całkowitą ilością wody odparowanej w przeliczeniu na  $1 \text{ m}^2$  ociosów wyrobiska.

W procesie poznania mechanizmu przepływu z górotworu w rzeczywistych warunkach, a także w metodach prognozowania temperatury bardzo istotna jest znajomość udziału procesu parowania wody w transporcie ciepła. Udział procesów parowania ujmuje się najczęściej określając cieplny współczynnik wymiany wilgoci  $A$

$$A = \frac{q_{\text{jawne}}}{q_{\text{całkowite}}}, \quad (2)$$

gdzie:

- $q_{\text{jawne}}$  - przyrost entalpii właściwej powietrza suchego,
- $q_{\text{całkowite}}$  - przyrost całkowity entalpii,

a więc

$$A = \frac{c_p \cdot \Delta t}{\Delta l}, \quad (3)$$

Wykorzystanie powyżej przedstawionych współczynników do opisu przebiegu procesów wymiany ciepła i wilgoci pozwala na pokazanie ilościowej strony tego zjawiska. Wszystkie wyrobiska w celu przeprowadzenia analizy zostały podzielone na grupy wynikające z podobieństwa, a mianowicie: szyby wdechowe, przekopy i przecznice, pochylnie i dowerzchnie w pokładzie, chodniki poziome w pokładzie, wyrobiska ścianowe.

Posiadany materiał badawczy uzyskany był w różnych porach roku, co w przypadku szybów wdechowych musiało spowodować bardzo duże zmiany w przebiegu zjawisk. Uzyskane wyniki to potwierdzają, gdyż wystąpił bardzo duży rozrzut uzyskanych wartości współczynników wymiany ciepła i wilgoci. Nie wydawało się więc celowe szukanie zależności wiążących ze sobą te wielkości, ani też przytaczanie ich w niniejszej publikacji.

### 3. WYMIANA CIEPŁA

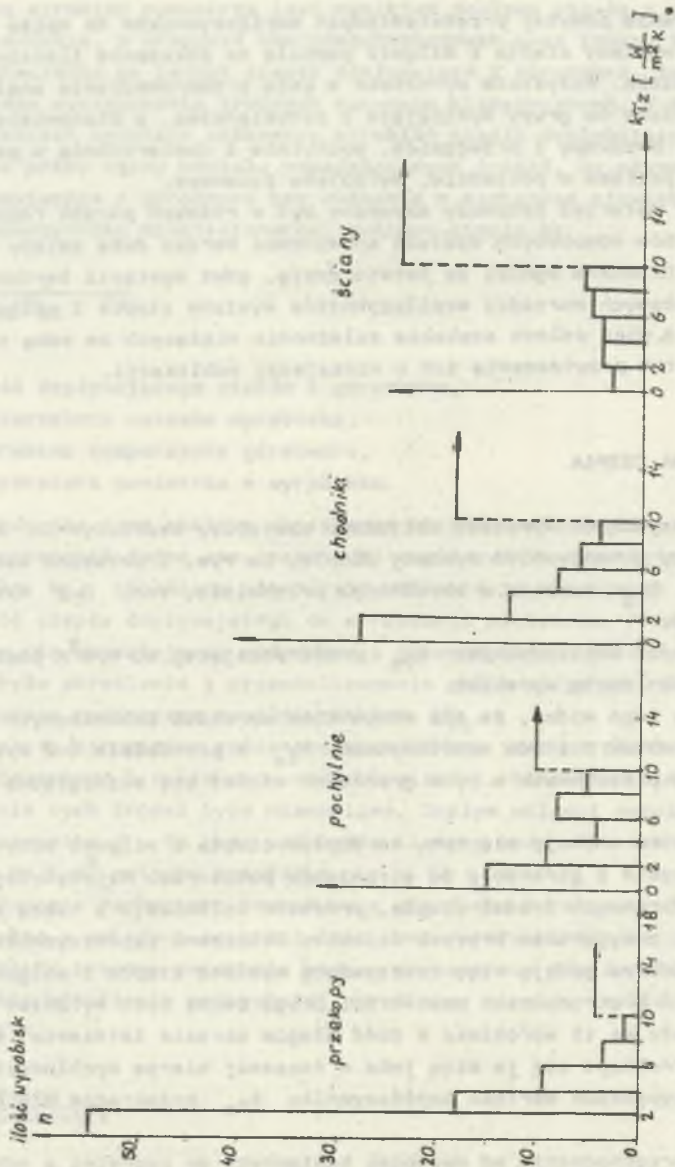
Dla wszystkich wyrobisk obliczono zastępczy współczynnik  $k_{\gamma z}$  odzwierciedlający intensywność wymiany ciepła. Na rys. 1 pokazano wartość współczynnika  $k_{\gamma z}$  zawartą w określonym przedziale, tzn. 0-2 W/m<sup>2</sup>K, 2 ≤ 4 W/m<sup>2</sup>K itd.

Dla wartości współczynnika  $k_{\gamma z}$  przekraczającej 10 W/m<sup>2</sup>K podano tylko sumaryczną liczbę wyrobisk.

Z wykresu tego widać, że dla wszystkich wyrobisk chodnikowych największa ilość wyrobisk posiada współczynnik  $k_{\gamma z}$  w przedziale 0-2 W/m<sup>2</sup>K. W przekopach i przecinkach w tych granicach mieści się bezwzględna większość wyrobisk.

Wyrobiska te cechują się tym, że dopływ ciepła i wilgoci odbywa się prawie wyłącznie z górotworu do strumienia powietrza. Najczęściej brak jest tutaj dodatkowych źródeł ciepła, procesów utleniania a także wody technologicznej z wyjątkiem krytych ścieków. Obliczone współczynniki  $k_{\gamma z}$  oraz  $\beta$  dość dobrze oddają więc rzeczywistą wymianę ciepła i wilgoci między górotworem i strumieniem powietrza. Drugą cechą tych wyrobisk jest to, że z reguły są to wyrobiska o dość długim okresie istnienia, często kilka lat. Traktuje się je więc jako w znacznej mierze wychłodzone. Tylko w kilku przypadkach wartość współczynnika  $k_{\gamma z}$  przekracza dla przekopów 10 W/m<sup>2</sup>K.

W miarę przechodzenia od wyrobisk kamiennych do pochylni a następnie chodników poziomych w węglu i w końcu do ścian systematycznie wzrasta intensywność wymiany ciepła, co jest odzwierciedlone we wzroście ilości wyro-



Rys. 1. Liczbowy udział wyrobisk w zależności od wartości współczynnika  $k_{Tz}$

bisk o dużej wartości  $k_{tz}$  a spadkiem ilości wyrobisk charakteryzujących się małą jego wartością. Dla wyrobisk ścianowych bezwzględna większość wyrobisk posiada wartość tego współczynnika powyżej  $10 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Obliczono również średnie arytmetyczne wartości  $k_{tz}$  dla poszczególnych typów wyrobisk i wynoszą one: dla przekopów i przecznic około  $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dla pochylni  $7,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dla chodników poziomych w węglu  $11,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  a dla wyrobisk ścianowych  $16,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Widać więc, że intensywność wymiany ciepła rośnie w miarę zbliżania się do wyrobiska ścianowego. Jest to oczywiste, gdyż w takiej kolejności są uszeregowane wyrobiska pod względem czasu ich przewietrzania, a także takie jest rozmieszczenie urządzeń energomechanicznych wydzielających ciepło.

#### 4. WYMIANA WILGOCI

W celu określenia intensywności procesów parowania wody obliczono dla wszystkich wyrobisk wartość współczynnika  $\beta$ , tzn. ilość gramów wody odparowującej w ciągu jednej godziny z  $1 \text{ m}^2$  powierzchni wyrobiska. Ujęte są w tym współczynniku wszystkie procesy parowania występujące w wyrobisku. Na rys. 2 przedstawiono w postaci wykresu słupkowego ilość wyrobisk posiadających określoną wartość  $\beta$ .

Uzyskane wyniki są jakościowo podobne do opisywanych przy wymianie ciepła. Najmniej intensywnie przebiega parowanie w przekopach i przecznicach, gdzie bezwzględna większość wyrobisk posiada wartość współczynnika mniejszą od  $20 \text{ g/m}^2\text{h}$

Wartość  $\beta$  powyżej  $100 \text{ g/m}^2\text{h}$  wystąpiła zaledwie w kilku przypadkach. Najintensywniej procesy parowania przebiegają w ścianach, gdzie znaczna część wyrobisk posiada dopływ pary wodnej przekraczający  $100 \text{ g/m}^2\text{h}$ .

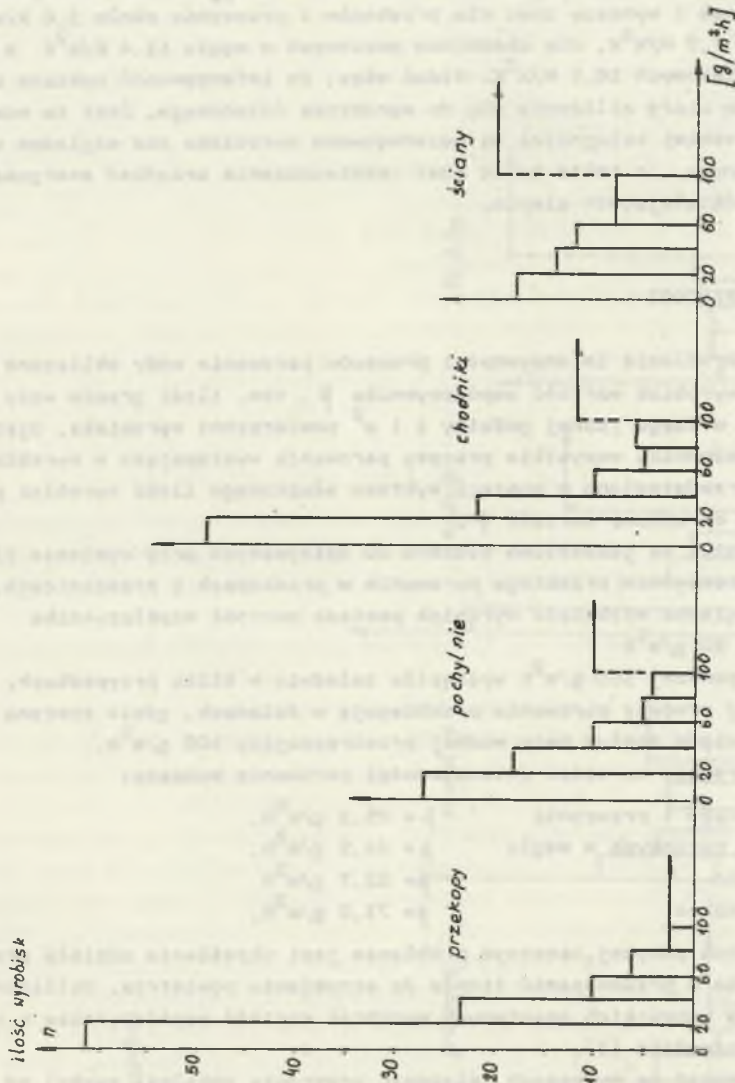
Obliczone średnie wartości intensywności parowania wynoszą:

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| - dla przekopów i przecznic   | $\beta = 25,3 \text{ g/m}^2\text{h}$ , |
| - chodników poziomych w węglu | $\beta = 44,9 \text{ g/m}^2\text{h}$ , |
| - dla pochylni                | $\beta = 52,7 \text{ g/m}^2\text{h}$   |
| oraz dla ścian                | $\beta = 73,2 \text{ g/m}^2\text{h}$ . |

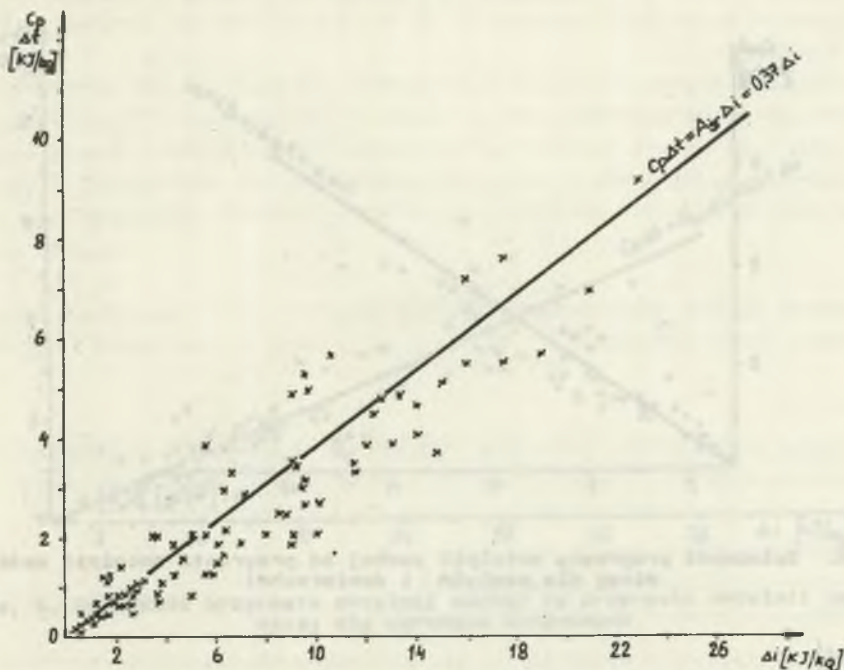
Jak zaznaczono powyżej, istotnym problemem jest określenie udziału procesów parowania w przenoszeniu ciepła do strumienia powietrza. Obliczono w tym celu dla wszystkich omawianych wyrobisk wartość współczynnika  $A$  określonego zależnością (3).

Pokazano również na wykresach zależność przyrostu entalpii suchej od przyrostu entalpii całkowitej.

Na rys. 3 zestawiono dla przekopów i przecznic wszystkie wartości przyrostów entalpii całkowitej oraz odpowiadające im przyrosty entalpii suchej, tzn. ilość ciepła pobranego z pominięciem procesów parowania. Zależność pomiędzy tymi wielkościami jest oczywista. Średnia wartość współczynnika  $A$  wynosi  $0,37$ , tzn. że



Rys. 2. Liczbowy udział wyrobisk w zależności od wartości współczynnika parowania  $\beta$ .



Rys. 3. Zależność przyrostu entalpii suchej od przyrostu entalpii całkowitej dla przekopów i przecznicy

$$\frac{c_p \cdot \Delta t}{\Delta i} = 0,37$$

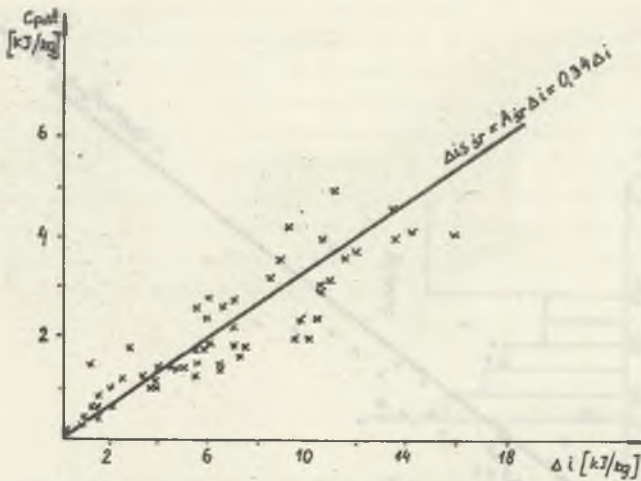
Tak więc dla przekopów i przecznicy około 63% ciepła jest przenoszone do strumienia powietrza przez odparowanie wody.

Na rys. 4 pokazano podaną zależność dla pochylni i dowerzchni. Średnia wartość współczynnika  $A$  wynosi dla tych wyrobisk 0,34, czyli 66% ciepła jest przenoszone wskutek parowania wody.

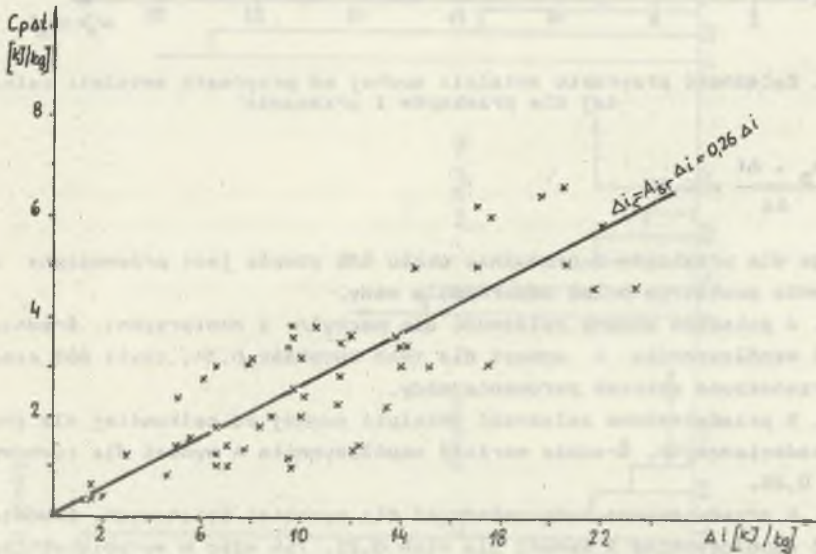
Na rys. 5 przedstawiono zależność entalpii suchej od całkowitej dla chodników podścianowych. Średnia wartość współczynnika  $A$  wynosi dla tych wyrobisk 0,26.

Na rys. 6 przedstawiono taką zależność dla wyrobisk ścianowych. Średnia wartość współczynnika  $A$  wynosi dla nich 0,21. Tak więc w wyrobiskach ścianowych aż 79% jest przenoszone do strumienia powietrza drogą parowania wody.

Dla wyrobisk ścianowych część pomiarów była również wykonywana w czasie postoju urządzeń a mimo to udział procesów parowania wody był w nich taki sam, malała tylko wyraźnie całkowita ilość ciepła dopływającego do strumienia powietrza.

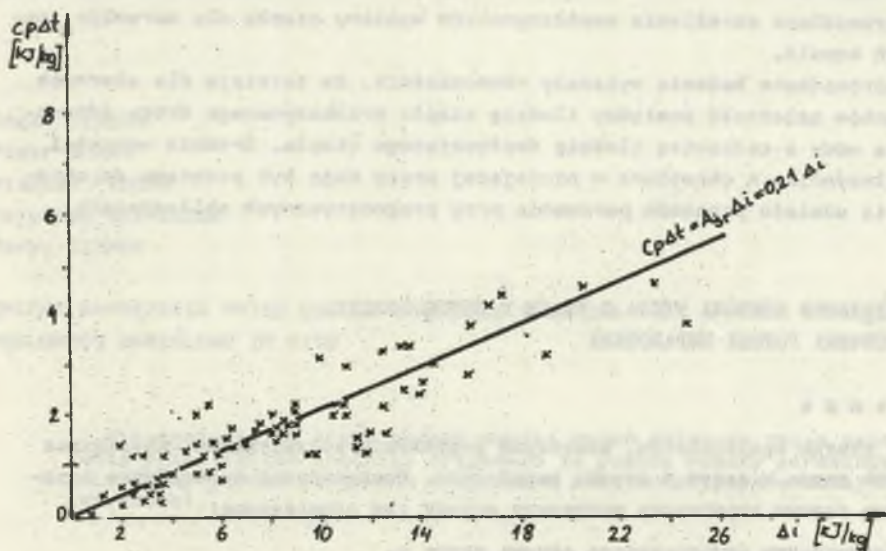


Rys. 4. Zależność przyrostu entalpii suchej od przyrostu entalpii całkowitej dla pochylń i dowiezchni



Rys. 5. Zależność przyrostu entalpii suchej od przyrostu entalpii całkowitej dla chodników podcicianowych





Rys. 6. Zależność przyrostu entalpii suchej od przyrostu entalpii całkowitej dla wyrobisk ścianowych

W kilku przypadkach mierzono ściany z podszatką hydrauliczną. Również dla nich wartość współczynnika  $A$  jest podobna jak dla ścian zawalowych. Powyższe dane wskazują, że im wyrobisko posiada dłuższy czas istnienia tym proces parowania odgrywa mniejszą rolę. Zmiana ta jednak jest niezbyt duża, bo z 79% w ścianach do 63% w przekopach i przecznicach.

## 5. PODSUMOWANIE

Przedstawione powyżej wyniki badań wskazują jak złożonymi są procesy przepływu ciepła i wilgoci do strumienia powietrza w wyrobisku górniczym. Zmienność uzyskanych wyników jest bardzo duża, co świadczy o wielu czynnikach decydujących o tej wymianie. Należy mieć na uwadze fakt, że dla dużej ilości obecnie istniejących wyrobisk, szczególnie wewnątrzrejonowych, temperatura powietrza jest zbliżona, a czasem nawet przekracza temperaturę pierwotną skał. W takich przypadkach proces przepływu ciepła zależy często od przypadkowych czynników i jego opis jest bardzo trudny. Widać to wyraźnie w uzyskanych wynikach, gdzie dla chodników przyścianowych i ścian zmienność współczynników wymiany ciepła i wilgoci jest największa. Rozkład tych wartości wygląda wręcz na przypadkowy, od bardzo małych do bardzo dużych.

Wydaje się więc, że dopiero badania przeprowadzone w wyrobiskach, gdzie temperatura skał będzie wyraźnie wyższa od temperatury powietrza, pozwolą

na prawidłowe określenie współczynników wymiany ciepła dla warunków naszych kopalń.

Przeprowadzone badania wykazały równocześnie, że istnieje dla obecnych warunków zależność pomiędzy ilością ciepła przekazywanego drogą odparowania wody a całkowitą ilością dopływającego ciepła. Średnie wartości współczynnika  $A$  określone w niniejszej pracy mogą być podawane do określenia udziału procesów parowania przy prognostycznych obliczeniach.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИТОКА ТЕПЛА И ВЛАГИ К СТРЕМЕ ВОЗДУХА В ТИПИЧНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

##### Резюме

В статье представлены некоторые результаты исследований, касающихся обмена тепла и влаги в горных выработках. Исследования проведенные в типичных горных выработках составили основу для определения:

- коэффициента непостоянного обмена тепла  $k_T$ ,
- теплового коэффициента обмена влаги  $A$ ,
- коэффициента интенсивности испарения влаги  $\beta$ .

В статье даны пределы изменчивости в/у коэффициентов для типичных горных выработок.

#### DETERMINATION OF THE HEAT AND MOISTURE INFLUX INTO THE AIR STREAM IN A TYPICAL MINING EXCAVATION

##### Summary

In the paper are presented some test results on the heat and moisture exchange in mining excavations. The tests, carried out in typical mining headings, were the basis for the determination of:

- the coefficient of nonstationary heat exchange  $k_T$
- the thermal coefficient of moisture exchange  $A$
- the coefficient of intensity of moisture evaporation  $\beta$ .

The range of variations of the above coefficients for typical mining excavations is also presented in the paper.