



AGH

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE**

Generator magneto hydrodynamiczny (MHD)



Geneza

Głównym powodem podjęcia intensywnych prac badawczych nad generatorami MHD było dążenie do podwyższenia ogólnej sprawności wytwarzania energii elektrycznej w dużych elektrowniach parowych.

Procesy: spalanie – obieg parowy – turbina – generator zostały w ostatnich latach tak znacznie udoskonalone, że dalsze, nawet nieznaczne podwyższenie sprawności jest związane z dużymi kosztami i trudnościami technologicznymi.

Praktyczna granica sprawności przemiany w elektrowni parowej wynosi ok. 42%

Obliczenia wykazują, że zastosowanie tzw. urządzeń bezpośrednioj przemiany (energii cieplnej w elektryczną) czyli generatorów MHD umożliwia podwyższenie ogólnej sprawności wytwarzania do 50% a nawet więcej.

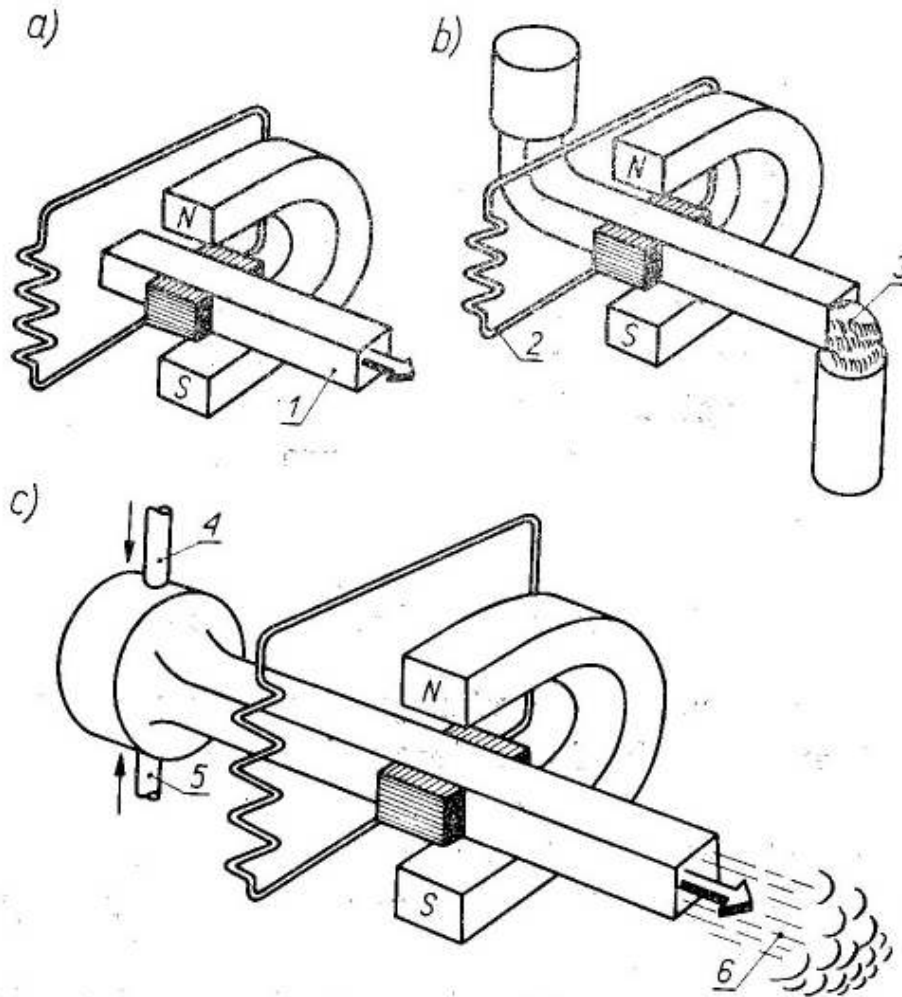
Przewiduje się współpracę generatorów MHD z reaktorami jądrowymi w obiegu zamkniętym.

W pierwszej połowie XIX wieku *Faraday* wykrył zjawisko powstawania prądu elektrycznego przy ruchu przewodnika w polu magnetycznym. Zjawisko to wykorzystano do budowy generatorów energii elektrycznej, ale zakres jego zastosowania nie jest ograniczony do ciał stałych.

Już sam *Faraday* próbował użyć cieczy jako przewodnika ruchomego: dwie przewodzące płyty wprowadził on do Tamizy na obu jej brzegach i usiłował mierzyć napięcie jakie powinno się pojawić między nimi. Był to pierwszy generator magnetohydrodynamiczny, rolę ruchomego przewodnika odgrywała płynąca woda rzeki, polem magnetycznym było natomiast pole magnetyzmu ziemskiego.

We współczesnych generatorach MHD ruchomym przewodnikiem jest z reguły zjonizowany gaz (plazma), przepływający z dużą prędkością w kanale umieszczonym w polu magnetycznym.

Generatory elektromagnetyczne



Czynnik roboczy pod postacią:

a) ciała stałego,

b) cieczy (rtęć, sól, potas),

c) gazu

1 – metal,

2 – odbiornik elektryczny,

3 – rtęć,

4 – paliwo + potas,

5 – utleniacz,

6 – strumień zjonizowanego gazu

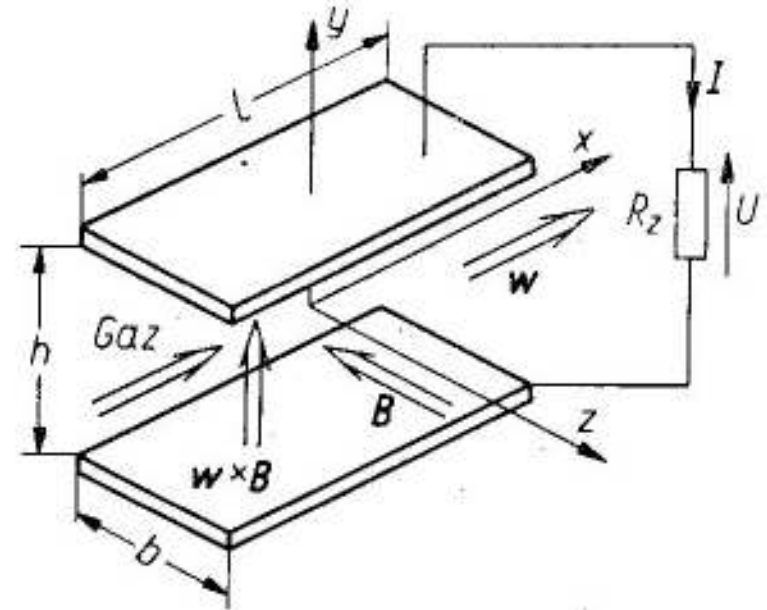
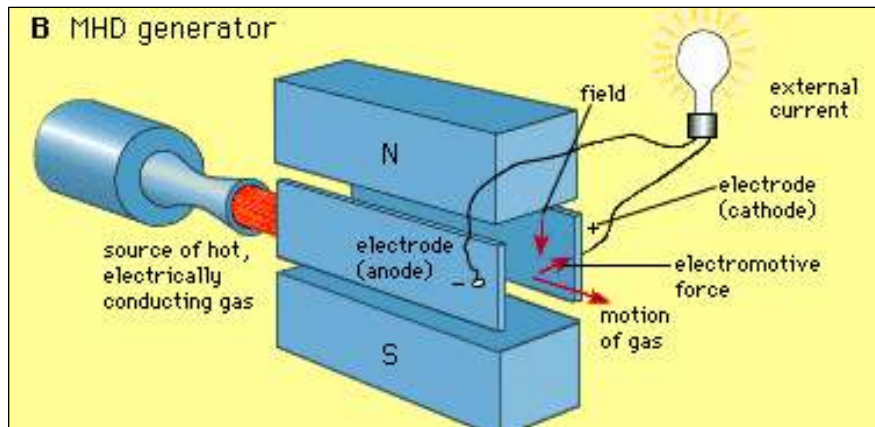


Zasada działania

Generator MHD jest maszyną cieplną, w której energia wewnętrzna czynnika roboczego przewodzącego elektryczność (plazma niskotemperaturowa), przekształca się w energię elektryczną w wyniku elektromagnetycznego hamowania cząstek naładowanych, przepływających w kanale generatora, w polu magnetycznym. Czynniki robocze – częściowo zjonizowany gaz (plazma) – przepływający z dużą prędkością, zużywa część swojej energii na pokonanie sił elektromagnetycznych, powstających w wyniku wzajemnego oddziaływania indukowanych prądów elektrycznych i zewnętrznego pola magnetycznego. Spadek entalpii całkowitej czynnika roboczego jest równy oddawanej do obwodu zewnętrznego energii elektrycznej oraz stratom ciepła do ścian kanału.

Hamowanie przepływu plazmy polega na tym, że na elektrony przelatujące wraz z gazem przez pole magnetyczne działa silnie je hamująca siła Lorentza. Elektrony z kolei oddziałują poprzez sprzężenia elektrostatyczne na jony dodatnie, które działając na cząstki neutralne przenoszą siły hamowania na całą plazmę.

Schemat



Gaz przewodzący płynie w kanale z prędkością w_x w kierunku prostopadłym do pola magnetycznego B_z . W wyniku oddziaływania ruchomego przewodnika i pola magnetycznego, indukuje się w gazie pole elektryczne $w \times B$ prostopadłe do wektorów w i B . Jeśli w kanale umieszczonych będzie kilka elektrod przewodzących w odstępnie h , pojawi się między nimi napięcie $U_0 = wBh$, które może być wykorzystane do zasilania odbiornika elektrycznego o oporze R_z .

Jest to generator MHD najprostszego typu.



Równanie przepływu

Po przyjęciu założeń tzw. przybliżenia magnetohydrodynamicznego przepływ plazmy i produktów spalania w kanale generatora MHD jest opisany za pomocą układu równań magnetohydrodynamiki i elektrodynamiki, który jest na tyle złożony, że stosowanie go w praktycznych zadaniach jest nieefektywne. Podstawą inżynierskich obliczeń parametrów elektrycznych i gazodynamicznych generatora MHD jest quasi-jednowymiarowy model przepływu plazmy w kanale.

Istota tego modelu polega na tym, że rzeczywistemu strumieniowi plazmy w kanale generatora przyporządkowuje się pewien idealny strumień o w pełni określonym rozkładzie parametrów w płaszczyźnie przekroju poprzecznego. Model pozwala uwzględnić niejednorodność rozkładu parametrów plazmy w kanale oraz związane z tym efekty, powodujące pogorszenie parametrów elektrycznych generatora.

$$\left\{ \begin{array}{l} u\rho A = G \\ \rho u \frac{du}{dx} + \frac{dp}{dx} = J_y B - F_{tr} \\ \rho u \frac{d}{dx} \left(i + \frac{u^2}{2} \right) = J_x E_x + J_y E_y - Q \end{array} \right.$$

gdzie:

ρ - gęstość gazu,

u - prędkość gazu,

G - wydatek masowy gazu,

J_y - składowa wektora gęstości prądu w kierunku osi y ,

B - indukcja magnetyczna,

F_{tr} - objętościowa siła tarcia gazu o ścianki kanału,

i - entalpia statyczna gazu,

J_x - składowa wektora gęstości prądu w kierunku osi x ,

E_x, E_y - składowe wektora natężenia pola elektrycznego,

Q - ciepło oddawane do ścian kanału odniesione do jednostki objętości,

A - przekrój poprzeczny kanału.

W równaniach opuszczono oznaczenia wartości średnich przy wielkościach gazodynamicznych i elektrycznych, zaś układ zamykają równania dodatkowe:

$$p = \rho RT; \quad R = R(p, T); \quad i = i(p, T); \quad A = A(x);$$

$$B = B(x); \quad F_{tr} = f(\rho, u, A); \quad Q = Q(i, G, u, A),$$

gdzie:

R - stała gazowa,

T - temperatura statyczna gazu.



Plazma

Plazma jest często określana mianem „czwartego stanu skupienia” materii. Plazma to zjonizowany gaz czyli mieszanina trzech rodzajów cząstek: elektronów, jonów i atomów neutralnych, jednak jako całość jest elektrycznie obojętna.

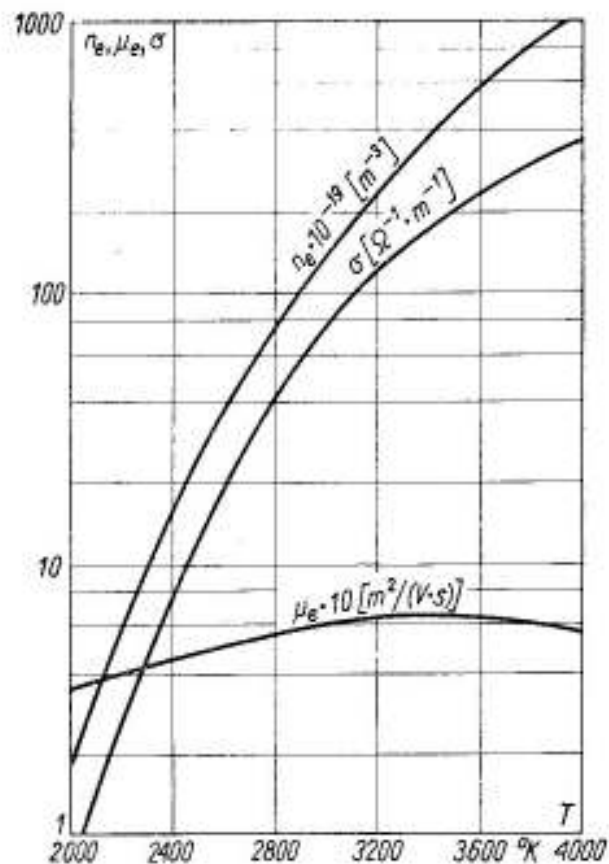
Aby wytworzyć plazmę trzeba zjonizować gaz. Znanych jest kilka sposobów jonizacji gazu, ale w generatorach MHD powszechna jest jonizacja powstająca na skutek nagrzania gazu do wysokiej temperatury.

Przewodność elektryczna plazmy wyraża się przybliżoną zależnością: $\sigma = en_e\mu_e$

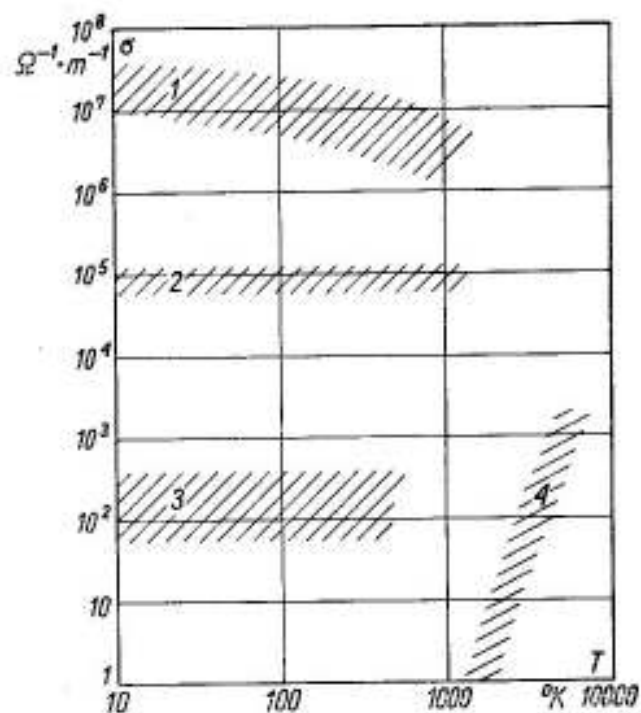
Zasadniczym warunkiem wytwarzania mocy elektrycznej w generatorze MHD jest odpowiednio duża wartość przewodności elektrycznej gazu. Najważniejszym czynnikiem w powyższym równaniu zmieniającym się w bardzo szerokich granicach jest gęstość przestrzenna elektronów n_e .

W celu zwiększenia przewodności elektrycznej plazmy wprowadza się tzw. „posiew” [1% zawartość (w stosunku molowym) w produktach spalania], czyli dodatek łatwo jonizujących metali takich jak lit, sód, potas, rubid i cez. Ze względu na cenę stosuje się głównie tanie związki potasu takie jak: K_2SO_4 , K_2CO_3 oraz KOH jako roztwór w alkoholu metylowym.

Wykorzystuje się również odzysk posiewu (cena!)



Rys. 2-3. Zmienność parametrów σ , n_e i μ_e w zależności od temperatury w produktach spalania z 1^{o/e}-wym dodatkiem K

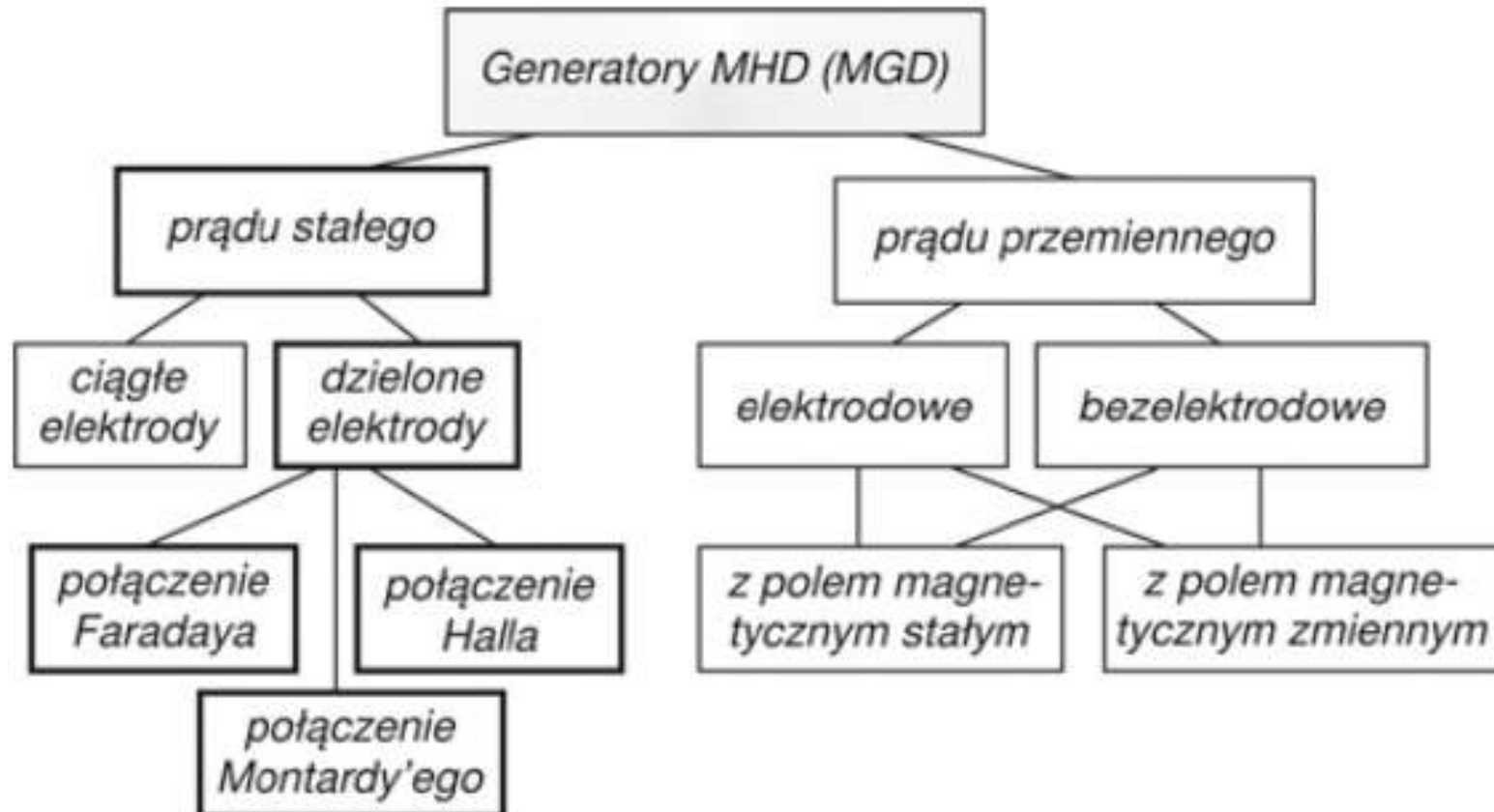


Rys. 2-4. Porównanie przewodności elektrycznej różnych materiałów; 1—metale, 2—grafit, 3—materiały półprzewodnikowe, 4—gaz z posiewem

Potencjały jonizacji

L. at.	Pierwiaszek	I		II		III		IV	
		$I \cdot 10^{-5}$ [J/mol]	I [eV]	$I \cdot 10^{-5}$ [J/mol]	I [eV]	$I \cdot 10^{-5}$ [J/mol]	I [eV]	$I \cdot 10^{-5}$ [J/mol]	I [eV]
1	H	13,12	13,59	-	-	-	-	-	-
2	He	23,72	24,58	52,2	54,1	-	-	-	-
3	Li	5,21	5,39	73,0	75,7	117,5	121,8	-	-
4	Be	8,99	9,32	17,6	18,2	148,5	153,9	209,0	216,6
5	B	8,01	8,30	24,2	25,1	36,6	37,9	250,2	259,3
6	C	10,87	11,26	23,9	24,8	46,2	47,9	62,2	64,5
7	N	14,02	14,53	28,6	29,6	45,7	47,4	74,7	77,4
8	O	13,13	13,61	34,0	35,2	53,0	54,9	74,7	77,4
9	F	16,81	17,42	33,7	34,9	60,5	62,7	84,2	87,3
10	Ne	20,81	21,56	39,5	40,9	61,7	63,9	93,0	96,4
11	Na	4,96	5,14	45,6	47,3	69,2	71,7	95,4	98,9
12	Mg	7,37	7,64	14,5	15,0	77,4	80,2	105,5	109,3
13	Al	5,77	5,98	18,1	18,8	27,5	28,5	115,8	120,0
17	Cl	12,55	13,01	22,9	23,7	38,5	39,9	51,6	53,5
18	Ar	15,21	15,76	26,5	27,5	39,3	40,7	(59)	(61)
19	K	4,19	4,34	30,6	31,7	43,9	45,5	58,5	60,6
20	Ca	5,90	6,11	11,5	11,9	49,2	51,0	65	67
21	Sc	6,31	6,54	12,4	12,8	23,9	24,8	71,0	73,6
28	Ni	7,36	7,63	17,55	18,15	34,92	36,16	-	-
35	Br	11,43	11,84	18,5	19,2	34,4	35,6	48,4	50,2
36	Kr	13,5	14,0	23,6	24,5	35,5	36,8	(50)	(52)
37	Rb	4,03	4,18	26,3	27,3	38,3	39,7	(51)	(53)
38	Sr	5,49	5,69	10,6	11,0	(41)	(43)	55,0	57,0
39	Y	6,16	6,38	11,9	12,3	19,7	20,4	(60)	(62)
53	I	10,08	10,45	18,3	19,0	(30)	(31)	(40)	(42)
54	Xe	11,71	12,13	20,5	21,2	31,0	32,1	(43)	(45)
55	Cs	3,75	3,89	22,6	23,4	(33)	(34)	(44)	(46)

Podział generatorów MHD





Podział generatorów MHD może być dokonany według różnych kryteriów, np. ze względów na:

Rodzaj wytwarzanego prądu

Z tego punktu widzenia rozróżnia się generatory wytwarzające prąd stały i przemienny.

Geometrię kanału

Kanał generatora może być: liniowy o przekroju prostokątnym lub okrągłym, koaksjalny, tarczowy, dyskowy z wirowym przepływem gazu itd.

Pole magnetyczne

Może być ono stałe lub zmienne.

Elektrody

Rozróżnia się generatory elektrodowe, zwane również kondukcyjnymi i bezelektrodowe (indukcyjne). Generatory elektrodowe dzieli się ze względu na: rodzaj elektrod (ciągłe, dzielone), materiał elektrod (metalowe, ceramiczne, półprzewodnikowe itd.), sposób ich pracy (zimne, gorące, półgorące), sposób elektrycznego połączenia elektrod dzielonych (układ Halla, Faradaya, Montardy'ego).

Czynnik roboczy

Może nim być gaz (spaliny, gazy szlachetne), ciekły metal.

Prędkość przepływu czynnika roboczego

Generatory poddźwiękowe ($M < 1$) oraz naddźwiękowe ($M > 1$, zwykle M nie przekracza 2,5)



Dziękuję za uwagę

Opracował: Synowiecki Mateusz