

## SPIS TREŚCI

Wstęp .....	7
Wykaz oznaczeń .....	7
1. Sformułowanie problemu .....	10
1.1. Druga zasada termodynamiki w ujęciu lokalnym i klasycznym .....	10
2. Termodynamiczne stany nieustalone .....	16
3. Grzanie gazu w układzie zbiornika otwartego będącego w równowadze mechanicznej ( $RM - p_1 = p_0$ ) i nierównowadze termicznej ( $NT - T_{1p} < T_0$ ) z otoczeniem .....	17
3.1. Opis modelu fizycznego układu zbiornika otwartego grzanego dla ( $NT - T_{1p} < T_0$ ) .....	17
3.2. Bilans zasobu masy gazu .....	19
3.3. Produkcja ilości ciepła w otoczeniu i w układzie zbiornika otwartego grzanego dla ( $NT - T_{1p} < T_0$ ) .....	19
3.4. Bilans zasobu energii wewnętrznej gazu w układzie zbiornika otwartego grzanego dla ( $NT - T_{1p} < T_0$ ) .....	21
3.5. Wymiana ilości ciepła między otoczeniem a układem zbiornika otwartego grzanego dla ( $NT - T_{1p} < T_0$ ) .....	23
3.6. Przyrost zasobu entropii gazu w układzie zbiornika otwartego grzanego i w otoczeniu dla ( $NT - T_{1p} < T_0$ ) .....	24
4. Chłodzenie gazu w układzie zbiornika otwartego będącego w równowadze mechanicznej ( $RM - p_1 = p_0$ ) i nierównowadze termicznej ( $NT - T_{1p} > T_0$ ) z otoczeniem .....	27
4.1. Opis modelu fizycznego układu zbiornika otwartego chłodzonego dla ( $NT - T_{1p} > T_0$ ) .....	27
4.2. Bilans zasobu masy gazu .....	29
4.3. Produkcja ilości ciepła w układzie zbiornika otwartego chłodzonego i w otoczeniu dla ( $NT - T_{1p} > T_0$ ) .....	29
4.4. Bilans zasobu energii wewnętrznej gazu w układzie zbiornika otwartego chłodzonego dla ( $NT - T_{1p} > T_0$ ) .....	30
4.5. Wymiana ilości ciepła między układem zbiornika otwartego chłodzonego a otoczeniem dla ( $NT - T_{1p} > T_0$ ) .....	32
4.6. Przyrost zasobu entropii gazu w układzie zbiornika otwartego chłodzonego i w otoczeniu dla ( $NT - T_{1p} > T_0$ ) .....	33
5. Opróżnianie z gazu układu zbiornika otwartego będącego w nierównowadze termodynamicznej ( $NT - p_1 > p_0, T_{1p} > T_0$ ) z otoczeniem .....	35
5.1. Opis modelu fizycznego układu zbiornika otwartego opróżnianego z gazu dla stanu nierównowagi termodynamicznej ( $NT - p_1 > p_0, T_{1p} > T_0$ ) z otoczeniem .....	35
5.2. Opis modelu fizycznego układu zbiornika otwartego opróżnianego z gazu dla stanu nierównowagi termodynamicznej ( $NT - p_1 > p_0, T_{1p} \leq T_0$ ) z otoczeniem .....	37
5.3. Bilans zasobu masy gazu w układzie zbiornika otwartego opróżnianego .....	39
5.4. Produkcja ilości ciepła w układzie zbiornika opróżnianego i w otoczeniu dla ( $NT - T_{1p} > T_0$ ) .....	39
5.5. Produkcja ilości ciepła w układzie zbiornika opróżnianego i w otoczeniu dla ( $NT - T_{1p} \leq T_0$ ) .....	40

5.6.	Bilans zasobu energii wewnętrznej gazu w układzie zbiornika opróżnianego dla $(NT - T_{1p} > T_0)$ .....	41
5.7.	Bilans zasobu energii wewnętrznej gazu w układzie zbiornika opróżnianego dla $(NT - T_{1p} \leq T_0)$ .....	42
5.8.	Określenie zasobu masy gazu w zbiorniku opróżnianym w funkcji temperatury i w funkcji ciśnienia.....	43
5.9.	Przyrost zasobu entropii gazu w układzie zbiornika opróżnianego i w jego otoczeniu dla stanu równowagi mechanicznej $(RM - p_1 = p_0)$ .....	45
5.10.	Przyrost zasobu entropii gazu w układzie zbiornika opróżnianego i w jego otoczeniu dla stanu równowagi termodynamicznej $(RT - p_1 = p_0, T_{1p} = T_0)$ .....	53
6.	Napełnianie gazem układu zbiornika otwartego będącego w nierównowadze termodynamicznej $(NT - p_1 > p_0, T_{1p} \neq T_0)$ z otoczeniem.....	55
6.1.	Opis modelu fizycznego układu zbiornika otwartego napełnianego gazem dla $(NT - p_1 > p_0, T_{1p} \leq T_0)$ .....	55
6.2.	Opis modelu fizycznego układu zbiornika otwartego napełnianego gazem dla $(NT - p_1 > p_0, T_{1p} > T_0)$ .....	57
6.3.	Bilans zasobu masy gazu dla układu zbiornika otwartego napełnianego.....	59
6.4.	Produkcja ilości ciepła w układzie zbiornika napełnianego i w otoczeniu dla $(NT - p_1 > p_0, T_{1p} \leq T_0)$ .....	60
6.5.	Produkcja ilości ciepła w układzie zbiornika napełnianego i w otoczeniu dla $(NT - p_1 > p_0, T_{1p} > T_0)$ .....	61
6.6.	Bilans zasobu energii wewnętrznej gazu w układzie zbiornika napełnianego dla $(NT - p_1 > p_0, T_{1p} < T_0)$ .....	62
6.7.	Bilans zasobu energii wewnętrznej gazu w układzie zbiornika napełnianego dla $(NT - p_1 > p_0, T_{1p} \geq T_0)$ .....	63
6.8.	Określenie parametrów stanu gazu w układzie zbiornika napełnianego w funkcji zasobu masy, w funkcji temperatury i w funkcji ciśnienia.....	64
6.9.	Przyrost zasobu entropii gazu w układzie zbiornika napełnianego i w jego otoczeniu dla stanu równowagi mechanicznej $(RM - p_1 = p_0)$ .....	67
6.10.	Przyrost zasobu entropii gazu w układzie zbiornika napełnianego i w jego otoczeniu dla stanu równowagi termodynamicznej $(RT - p_1 = p_0, T_{1p} = T_0)$ .....	74
7.	Układ zbiorników otwartych między sobą będących w równowadze mechanicznej $(RM - p_1 = p_2)$ i nierównowadze termicznej $(NT - T_{1p} < T_{2p})$ .....	77
7.1.	Bilans zasobu masy gazu w układzie zbiorników otwartych między sobą.....	78
7.2.	Bilans zasobu energii wewnętrznej gazu zawartego w zbiorniku pierwszym.....	79
7.3.	Bilans zasobu energii wewnętrznej gazu zawartego w zbiorniku drugim.....	82
7.4.	Wyznaczenie przyrostu masy gazu wymienionego między zbiornikami i jego temperatury w stanie równowagi termodynamicznej.....	83
7.5.	Wyznaczenie przyrostu ilości ciepła wymienionego między zbiornikami po osiągnięciu stanu równowagi termodynamicznej.....	84
7.6.	Wyznaczenie przyrostu zasobu entropii gazu w układach zbiorników pierwszego i drugiego.....	85
7.7.	Wyznaczenie przyrostu zasobu entropii gazu w układach zbiorników otwartych między sobą w stanie równowagi termodynamicznej.....	90
8.	Układ zbiorników otwartych między sobą będących w nierównowadze termodynamicznej $(NT - p_1 > p_2, T_{1p} \neq T_{2p})$ .....	90
8.1.	Bilans zasobu masy gazu w układzie zbiorników.....	92
8.2.	Bilans zasobu energii wewnętrznej gazu w układzie zbiornika pierwszego dla nierównowagi termodynamicznej $(NT - p_1 > p_2, T_{1p} > T_{2p})$ .....	93

8.3. Bilans zasobu energii wewnętrznej gazu w układzie zbiornika pierwszego dla nierównowagi termodynamicznej ( $NT - p_1 > p_2, T_{1p} \leq T_{2p}$ ) . . . . .	95
8.4. Wyznaczenie parametrów stanu gazu w układzie zbiornika pierwszego . . . . .	96
8.5. Bilans zasobu energii wewnętrznej gazu w układzie zbiornika drugiego dla nierównowagi termodynamicznej ( $NT - p_1 > p_2, T_{1p} > T_{2p}$ ) . . . . .	98
8.6. Wyznaczenie parametrów stanu gazu w układzie zbiornika drugiego . . . . .	99
8.7. Wyznaczenie wymiany zasobu masy gazu między zbiornikami dla stanu równowagi mechanicznej ( $RM - p_1 = p_2$ ) . . . . .	102
8.8. Wyznaczenie temperatur gazu w układach zbiornika pierwszego i drugiego w stanie równowagi mechanicznej ( $RM - p_1 = p_2 = p_r$ ) . . . . .	103
8.9. Wyznaczenie ciśnienia gazu w stanie równowagi mechanicznej ( $RM - p_1 = p_2 = p_r$ ) . . . . .	104
8.10. Wyznaczenie przyrostu zasobu entropii gazu w układach zbiorników otwartych między sobą w stanie nierównowagi termodynamicznej ( $NT - p_1 > p_2, T_1 \neq T_2$ ) . . . . .	104
8.11. Wyznaczenie przyrostu zasobu entropii gazu w układach zbiorników otwartych między sobą w stanie równowagi mechanicznej ( $RM - p_1 = p_2 = p_r$ ) i nierównowagi termicznej ( $NT - T_1 \neq T_2$ ) . . . . .	112
8.12. Wyznaczenie przyrostu zasobu entropii gazu w układach zbiorników otwartych między sobą w stanie równowagi termodynamicznej ( $RT - p_1 = p_2, T_1 = T_2$ ) . . . . .	114
9. Podsumowanie pracy i wnioski . . . . .	115
Bibliografia . . . . .	117
Summary . . . . .	119