

Termodynamické cykly

Spalovací turbíny

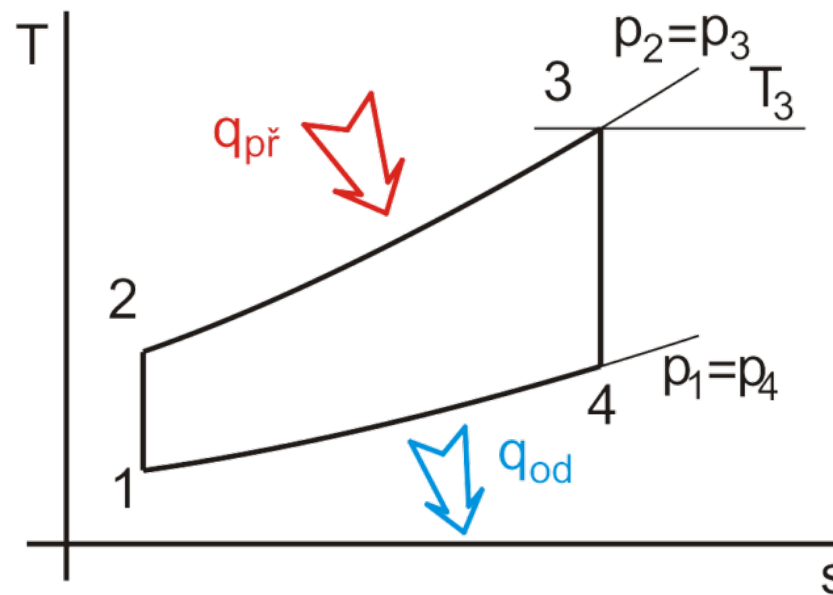
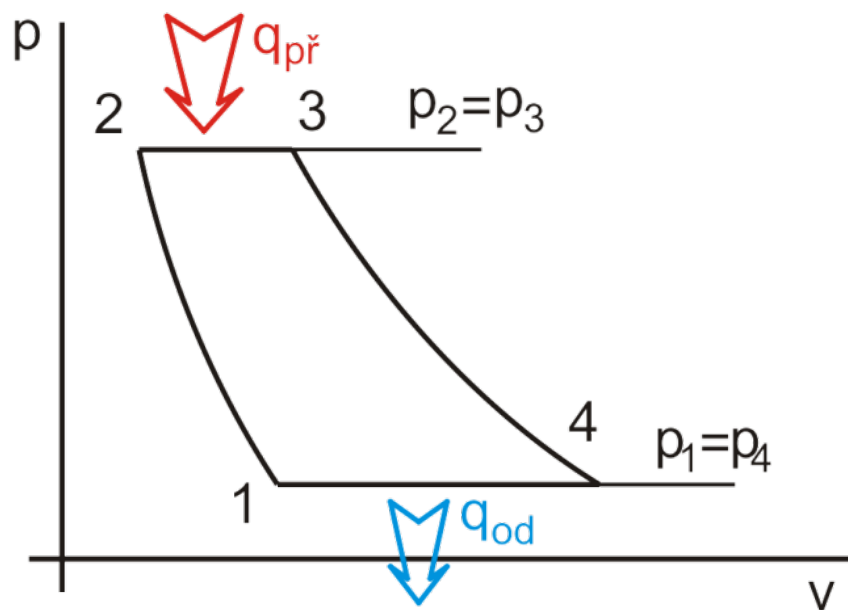
reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Ericsson – Braytonův cyklus



Stanovení tepelné účinnosti oběhu

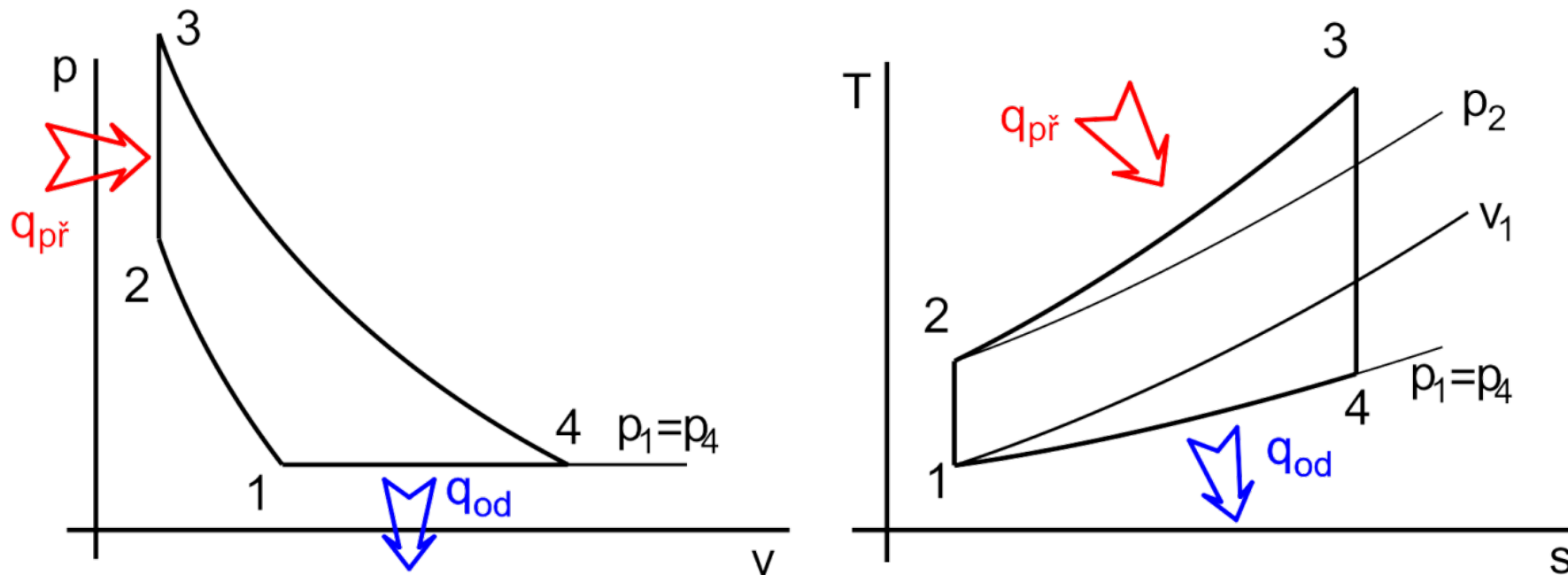
$$\eta = \frac{a}{q_{př}} = \frac{q_{př} - |q_{od}|}{q_{př}} = 1 - \frac{|q_{od}|}{q_{př}} = 1 - \frac{c_p \cdot (T_4 - T_1)}{c_p \cdot (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \cdot \left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{T_2 \cdot \left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)}$$

Z rovnice adiabaty:

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{p_3}{p_4}\right)^{\frac{\chi-1}{\chi}} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\chi-1}{\chi}} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \quad \eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\chi-1}{\chi}}$$



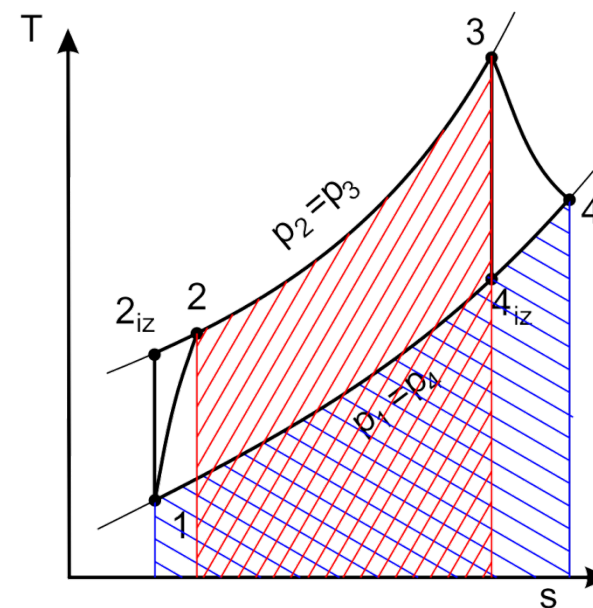
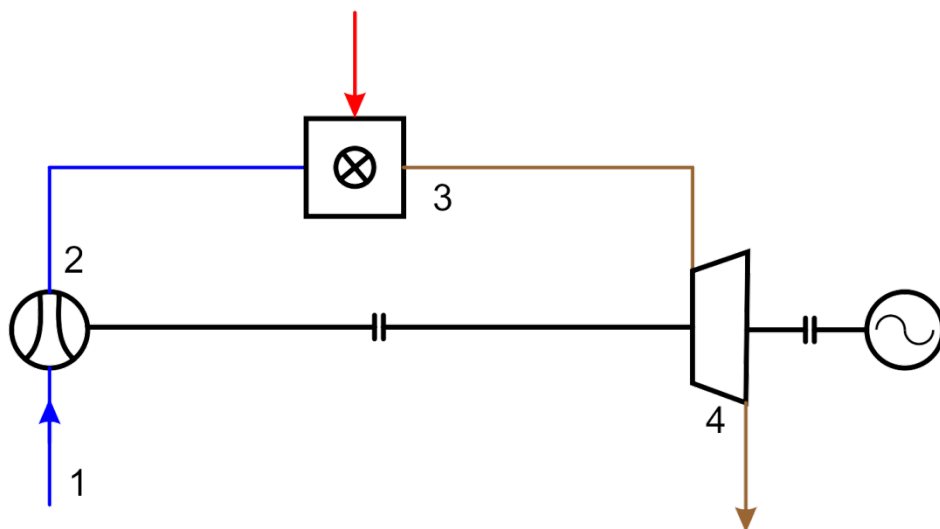
Humpreův cyklus



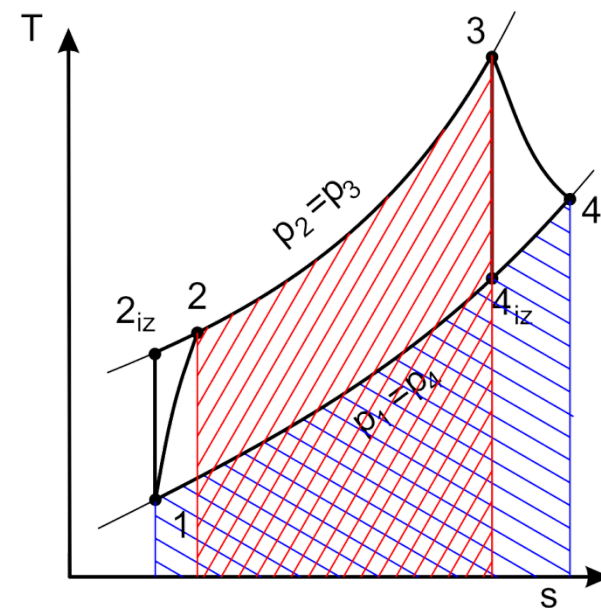
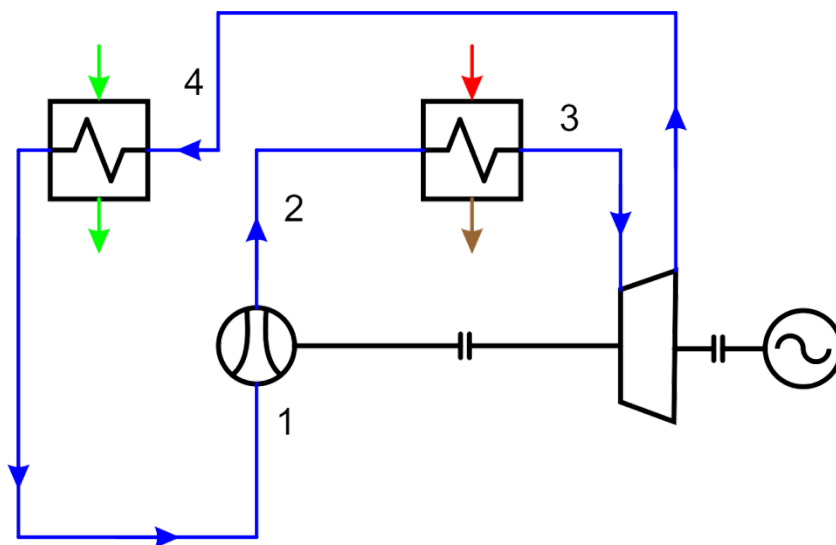
V praxi se v současné době Humphreyho cyklus nepoužívá, nadále se tedy budeme věnovat pouze Ericsson-Braytonovu cyklu



Otevřený cyklus



Uzavřený cyklus



Vliv použitého média na parametry cyklu

Porovnání hlavních parametrů cyklu se vzduchem a heliem při změně teploty plynu na vstupu do plynové turbíny

$$t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$$

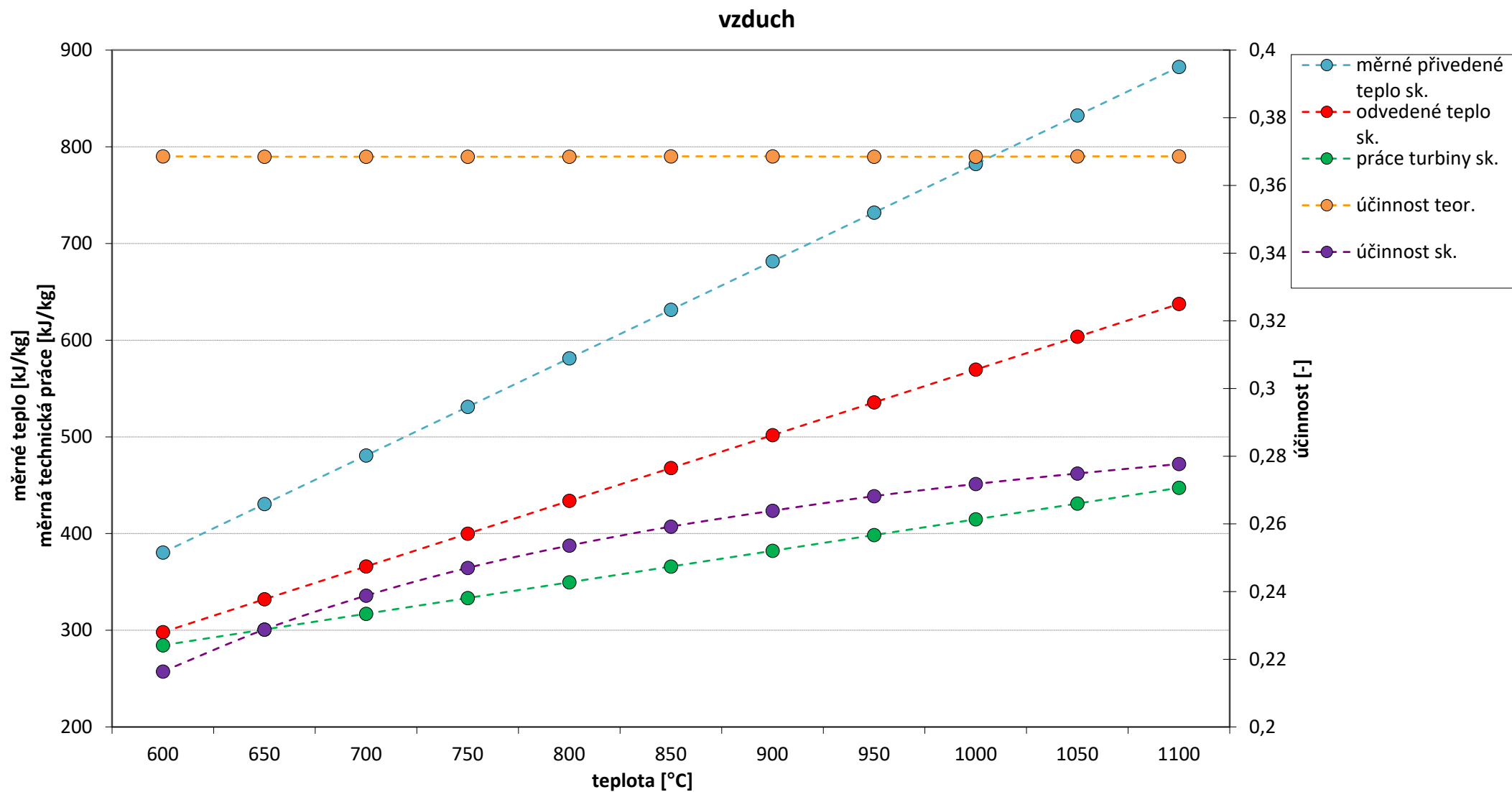
$$p_1 = 0,1\text{ MPa}$$

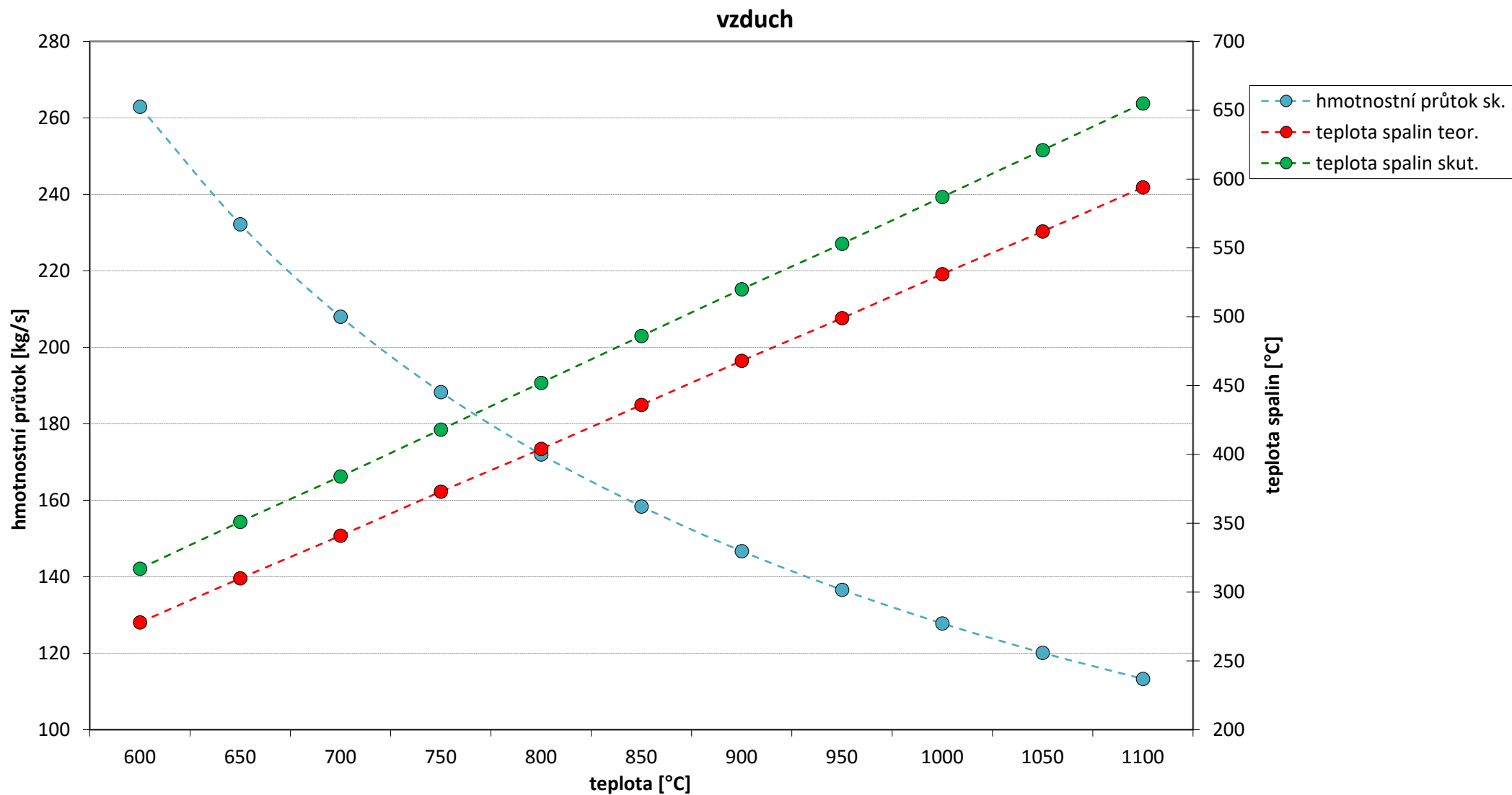
$$p_2 = 0,5\text{ Mpa}$$

$$t_3 = 600\text{ až }1200\text{ }^{\circ}\text{C}$$

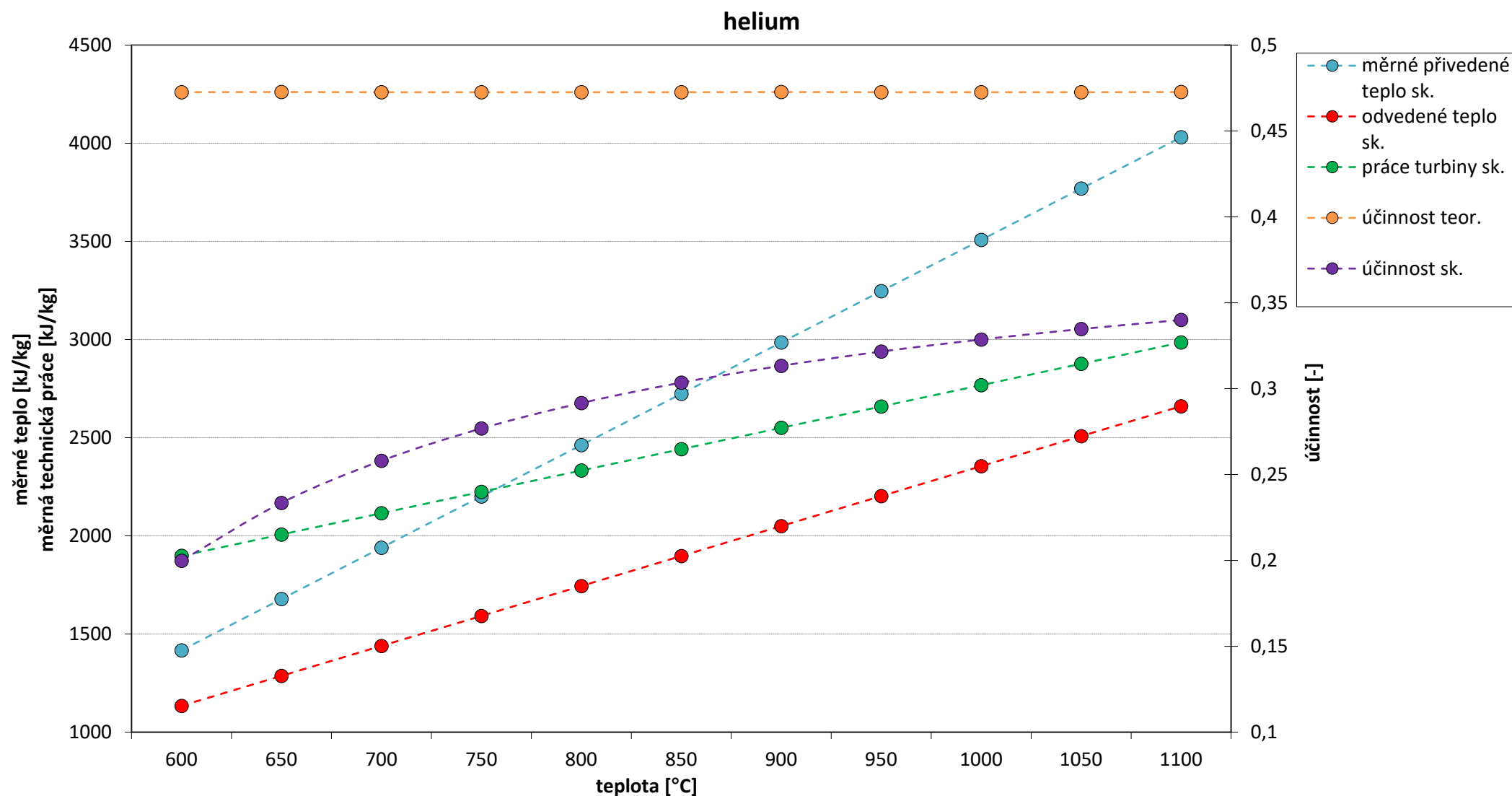
$$Q = 100\text{ MW}$$

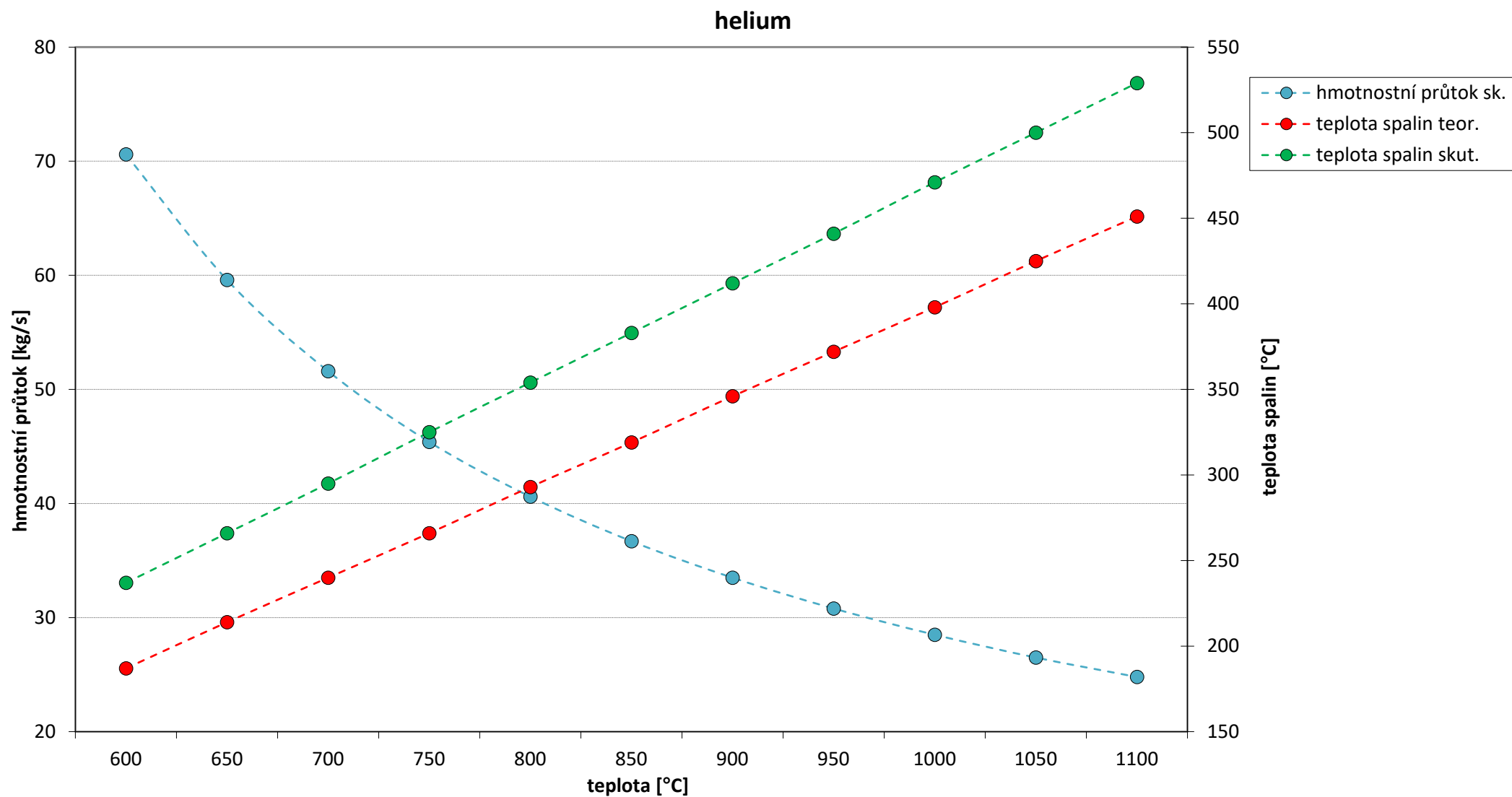


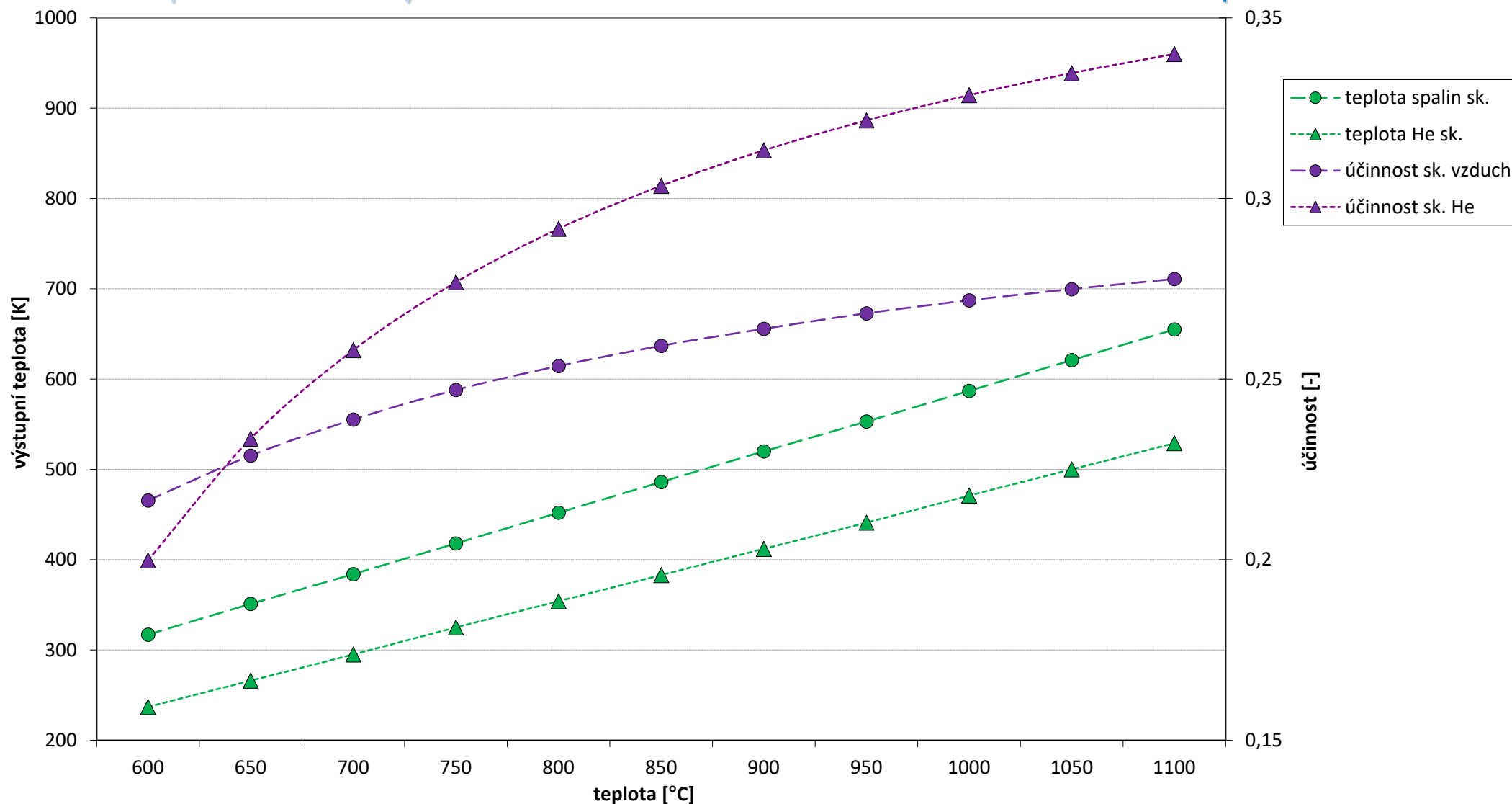




EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání







Porovnání účinnosti cyklu se vzduchem a heliem pro různé teploty

	beze ztrát			se ztrátami		
	600	800	1 200	600	800	1 200
vzduch	36,86	36,86	36,86	21,64	25,36	28,26
helium	47,26	47,26	47,26	19,98	29,16	34,87



Zvyšování účinnosti

Prostředky pro zvyšování účinnosti spalovací turbíny

1. Vyšší parametry spalin
 - tlak
 - teplota
2. Přejchod na izotermickou kompresy a expanzy
3. Využití výstupního tepla
 - vrácení tepla do oběhu
 - předání tepla termodynamicky výhodnější látce



Vliv stlačení vzduchu v kompresoru

$$t_1 = 20\text{ °C}$$

$$p_1 = 0,1\text{ MPa}$$

$$p_2 = 0,2\text{ až }1,2\text{ Mpa}$$

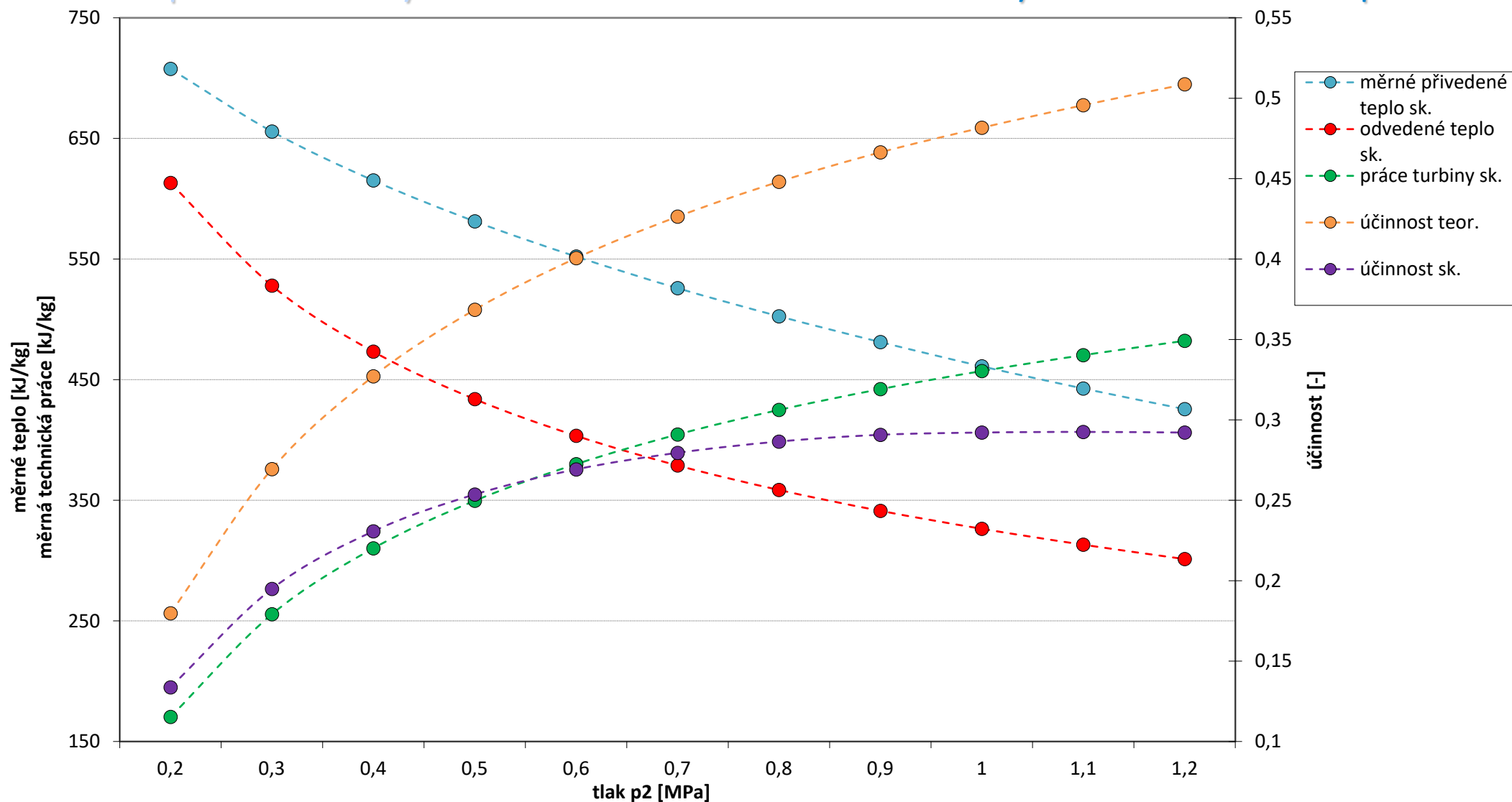
$$t_3 = 800\text{ °C}$$

$$Q = 100\text{ MW}$$



TTT – spalovací turbíny

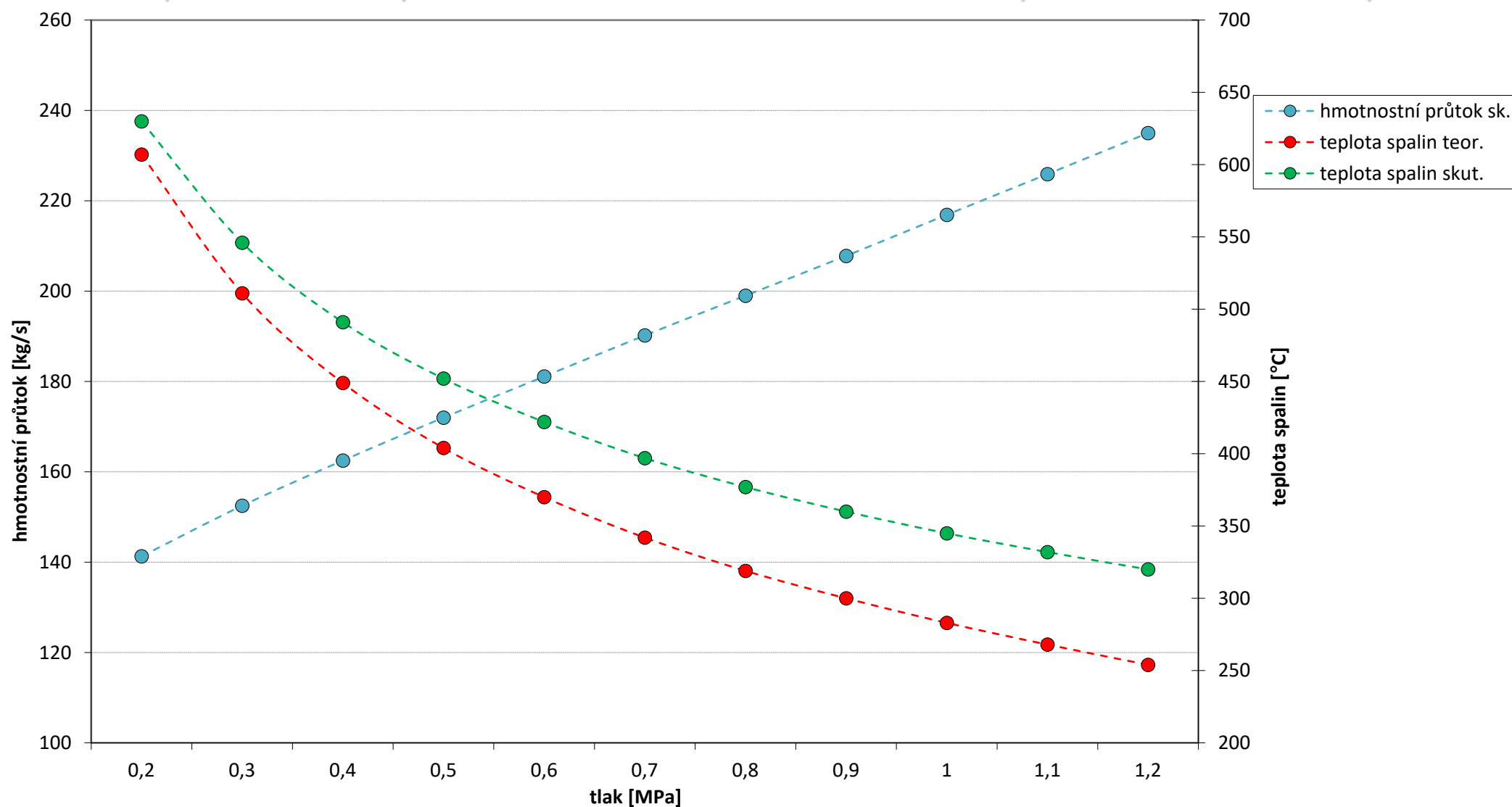
zvyšování stlačení v kompresoru



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

TTT – spalovací turbíny

zvyšování stlačení v kompresoru



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

	beze ztrát			se ztrátami		
	1	1,5	2	1	1,5	2
teplota	36,86	36,86	36,86	21,64	26,39	28,26
tlak	36,85	43,76	48,17	25,36	28,33	29,21

		1	1,5	2
teplota	°C	600	900	1 200
tlak	MPa	0,5	0,75	1



Vliv dělené komprese v závislosti na teplotě t_3

$$t_1 = 20\text{ °C}$$

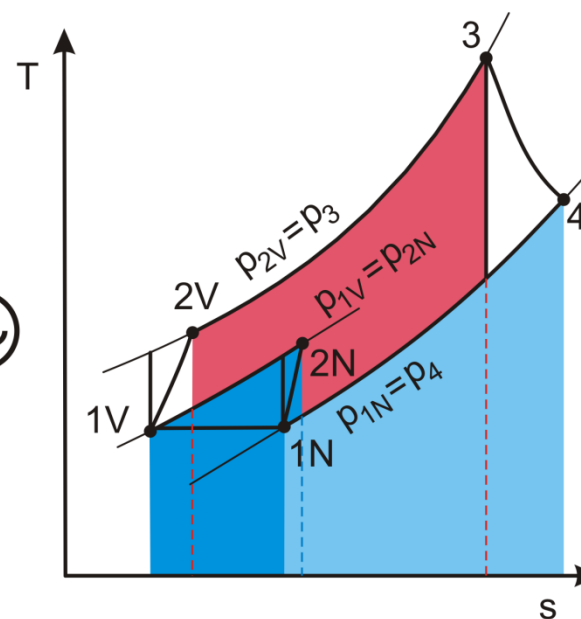
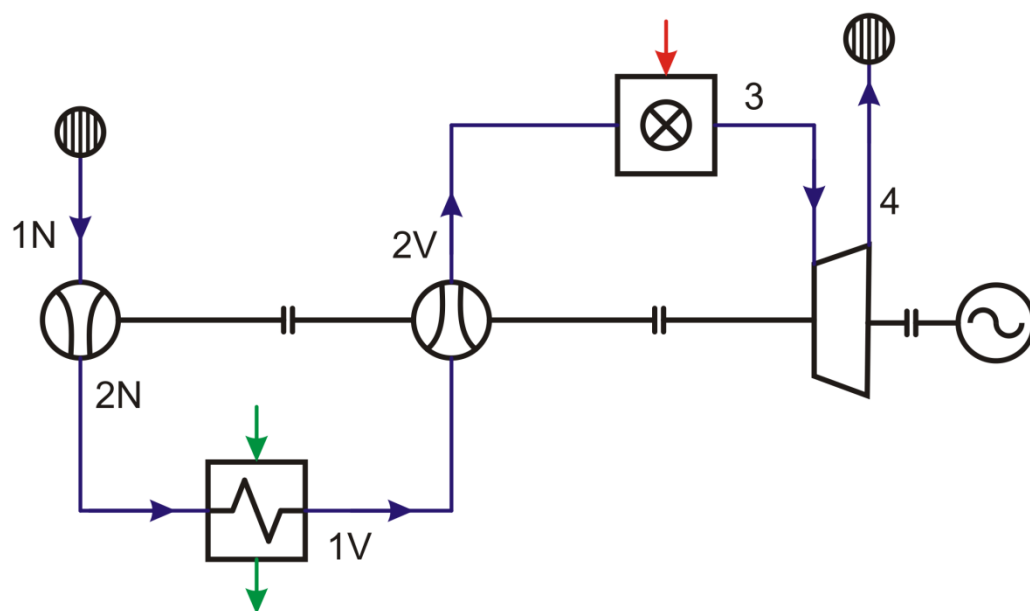
$$p_1 = 0,1\text{ MPa}$$

$$p_2 = 0,5\text{ Mpa}$$

$$t_3 = 600\text{ až }1200\text{ °C}$$

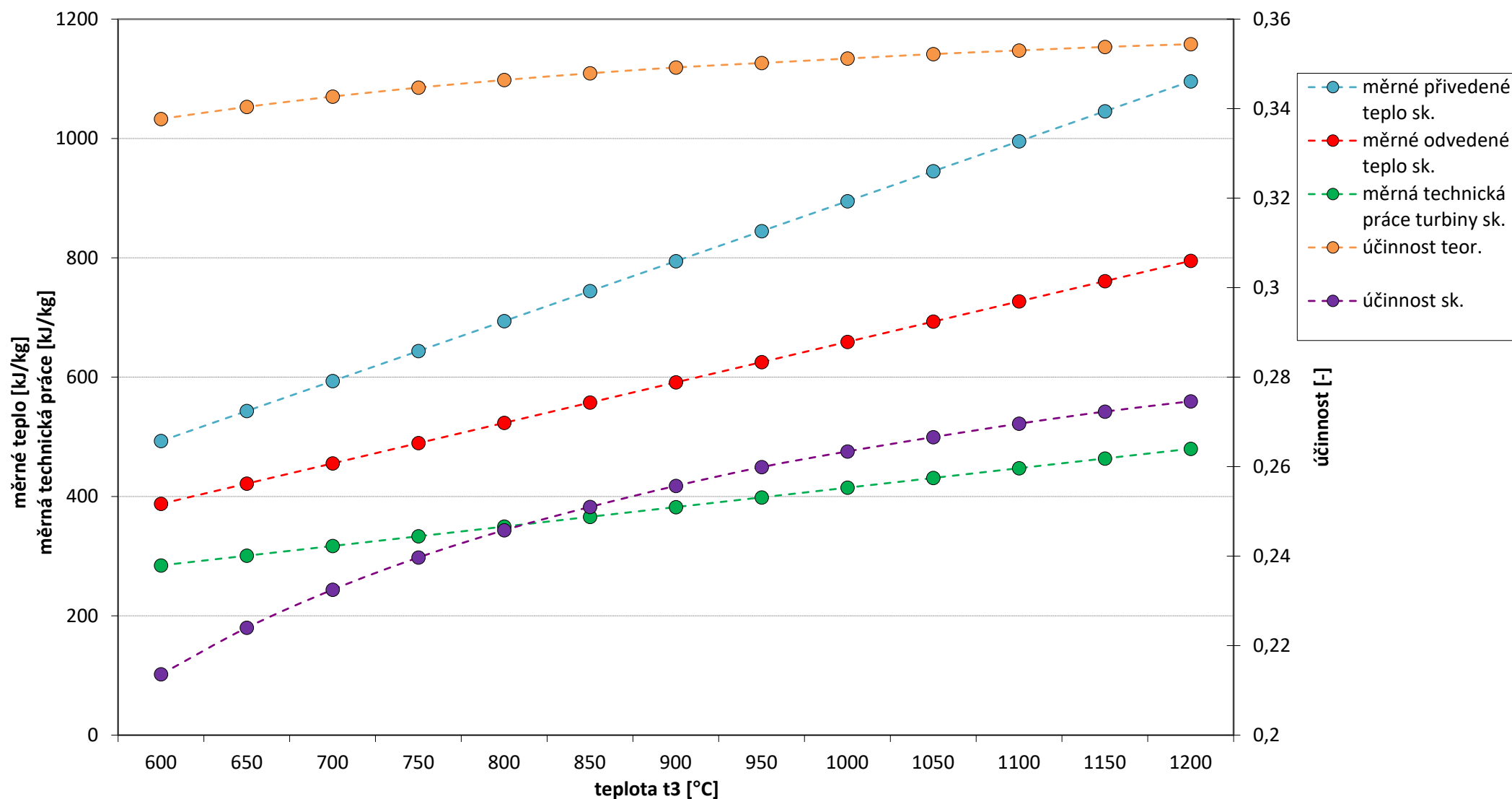
$$Q = 100\text{ MW}$$





TTT – spalovací turbíny

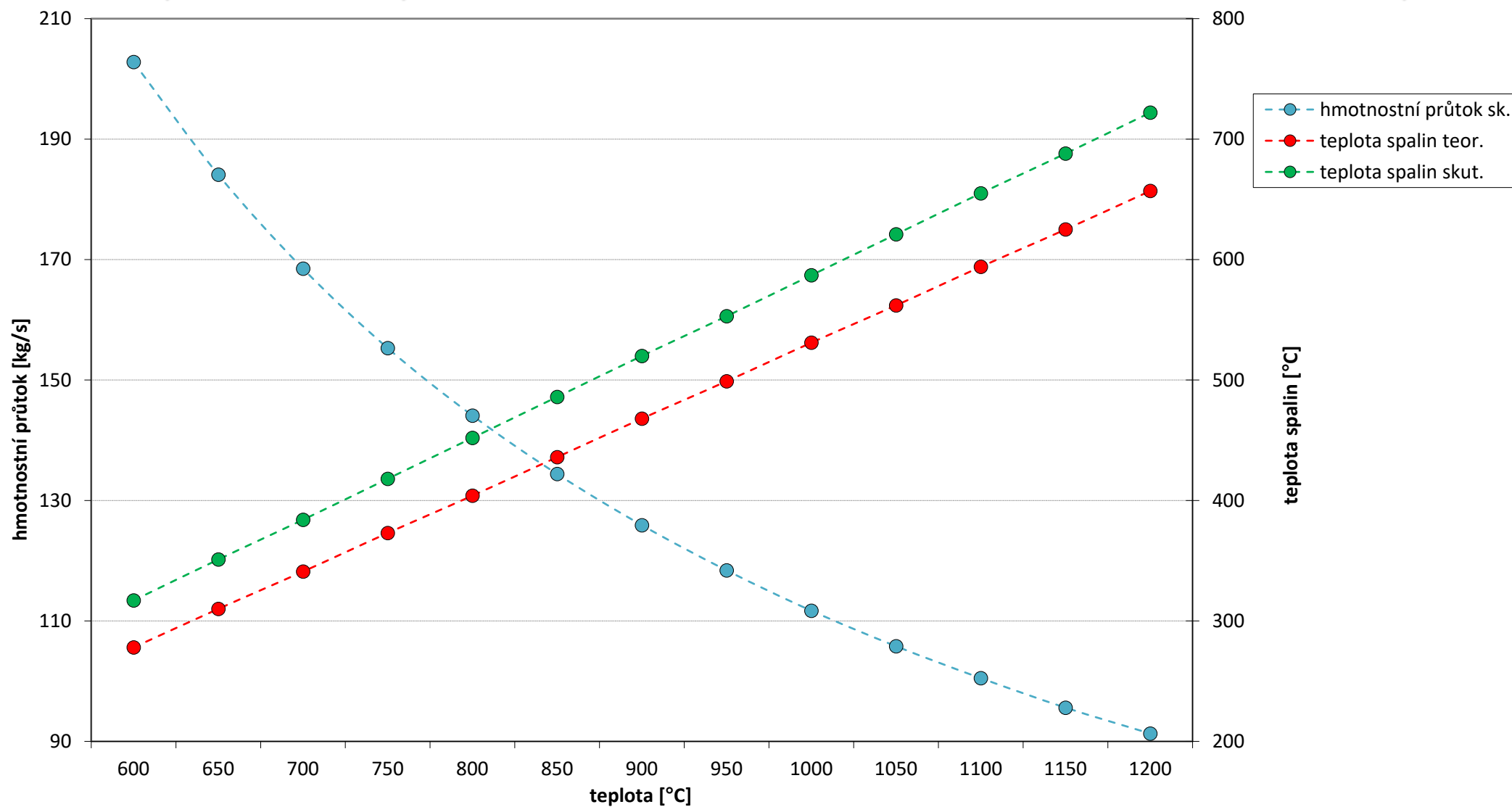
dělená komprese



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

TTT – spalovací turbíny

dělená komprese



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

	beze ztrát			se ztrátami		
teplota t_3	600	800	1 200	600	800	1 200
základní cyklus	36,86	36,86	36,86	21,64	25,36	28,26
dělená komprese	33,77	34,64	35,44	21,36	24,58	27,46



Vliv dělené expanze v závislosti na teplotě t_3

$$t_1 = 20\text{ °C}$$

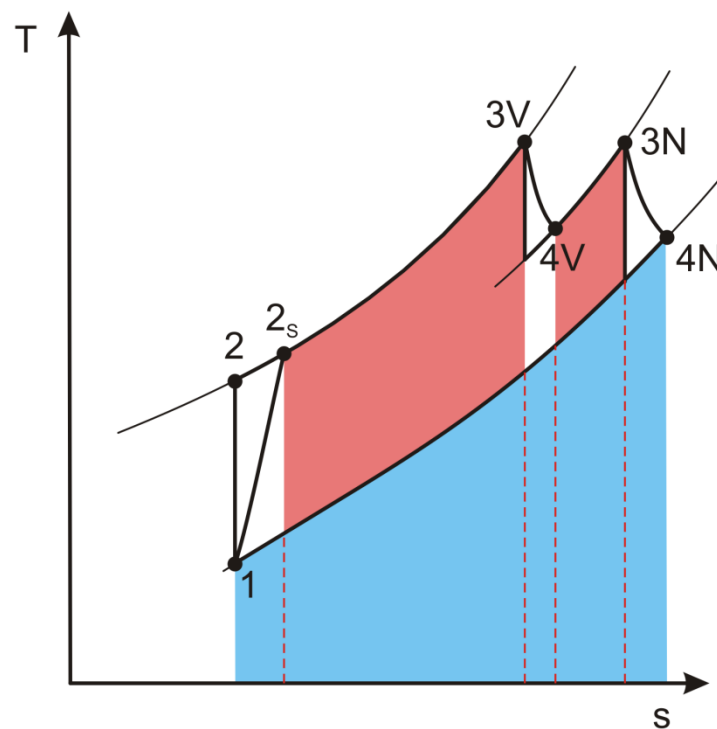
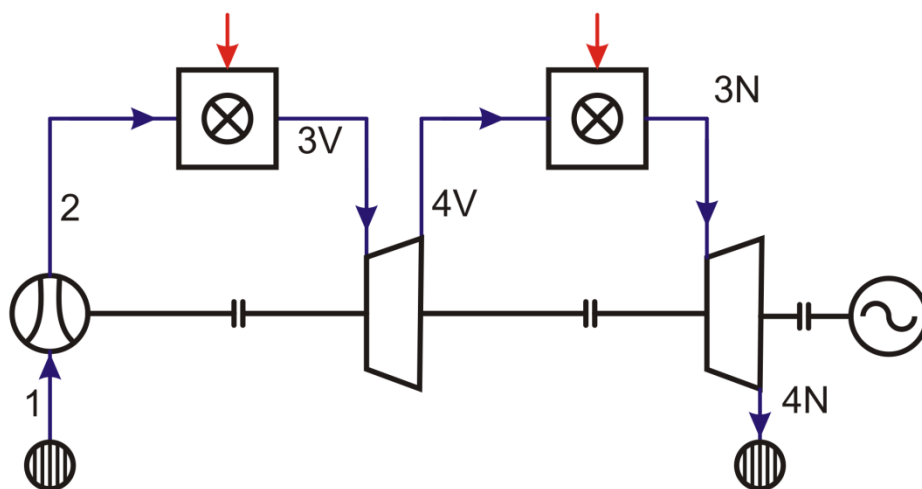
$$p_1 = 0,1\text{ MPa}$$

$$p_2 = 0,5\text{ Mpa}$$

$$t_3 = 600\text{ až }1200\text{ °C}$$

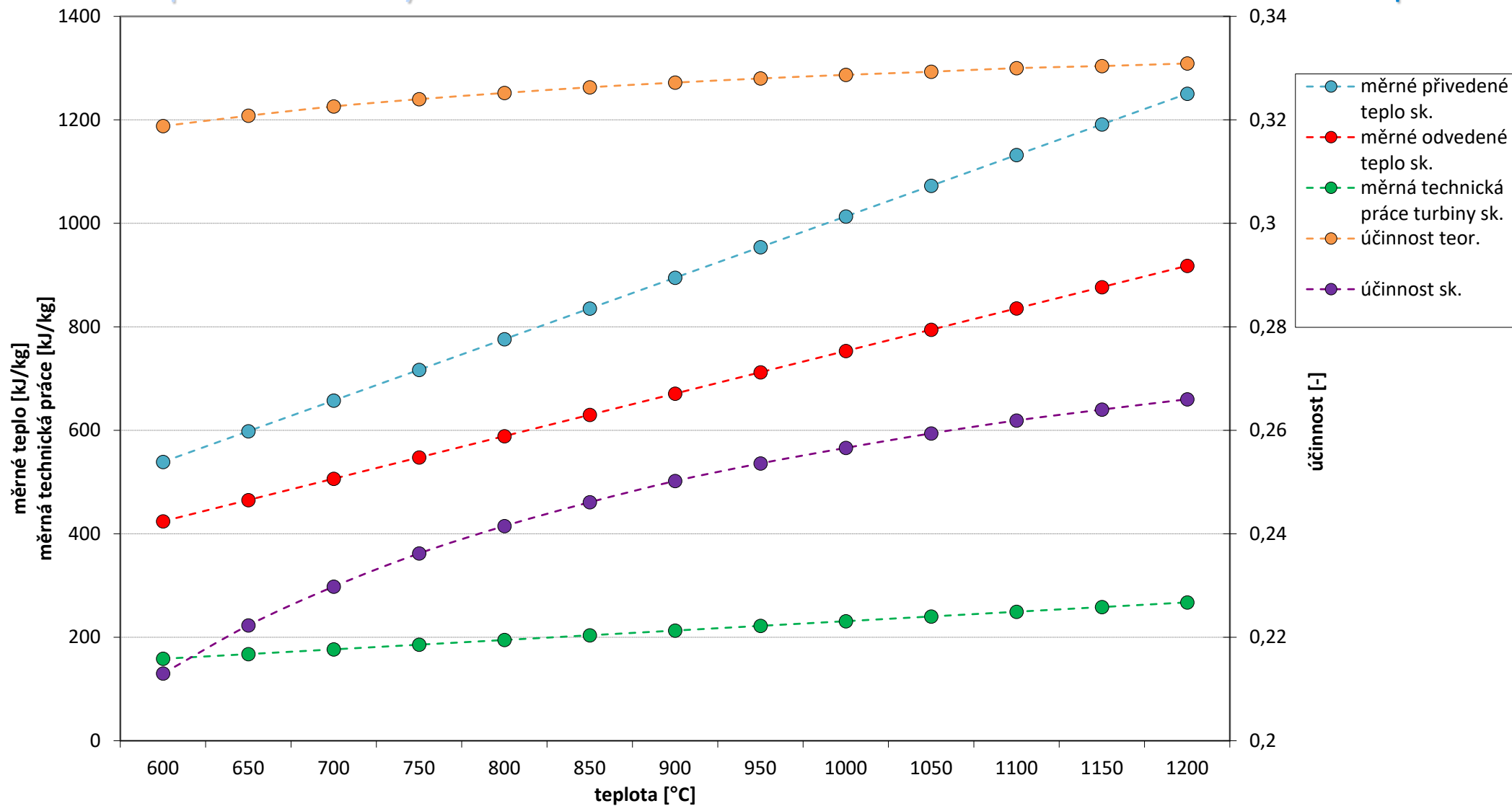
$$Q = 100\text{ MW}$$





TTT – spalovací turbíny

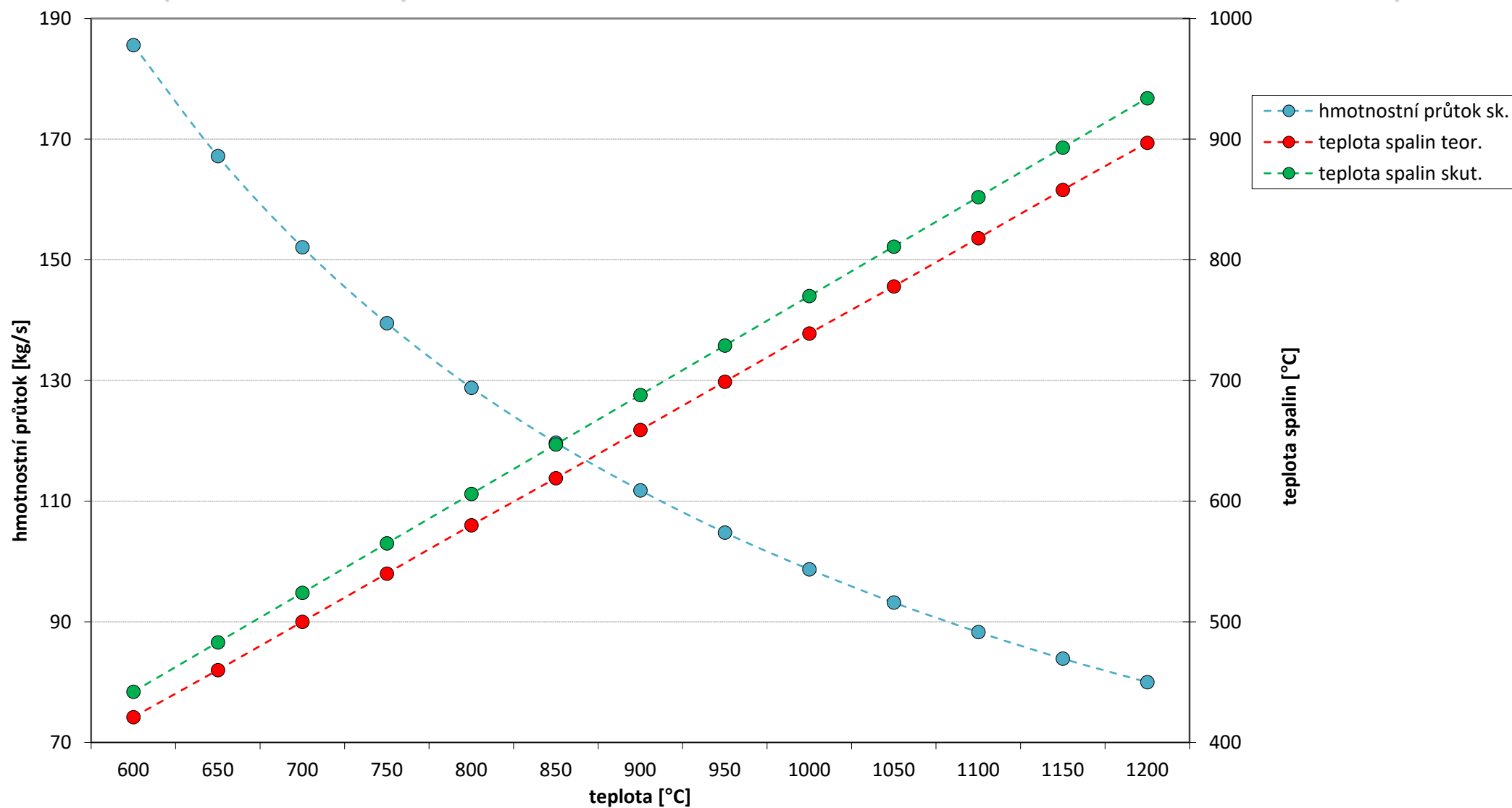
dělená expanze



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

TTT – spalovací turbíny

dělená expanze



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

	beze ztrát			se ztrátami		
teplota t_3	600	800	1 200	600	800	1 200
základní cyklus	36,86	36,86	36,86	21,64	25,36	28,26
dělená komprese	33,77	34,64	35,44	21,36	24,58	27,46
dělená expanze	31,88	32,52	33,09	21,30	24,15	26,60



Vliv dělené komprese a expanze v závislosti na teplotě t_3

$$t_1 = 20\text{ °C}$$

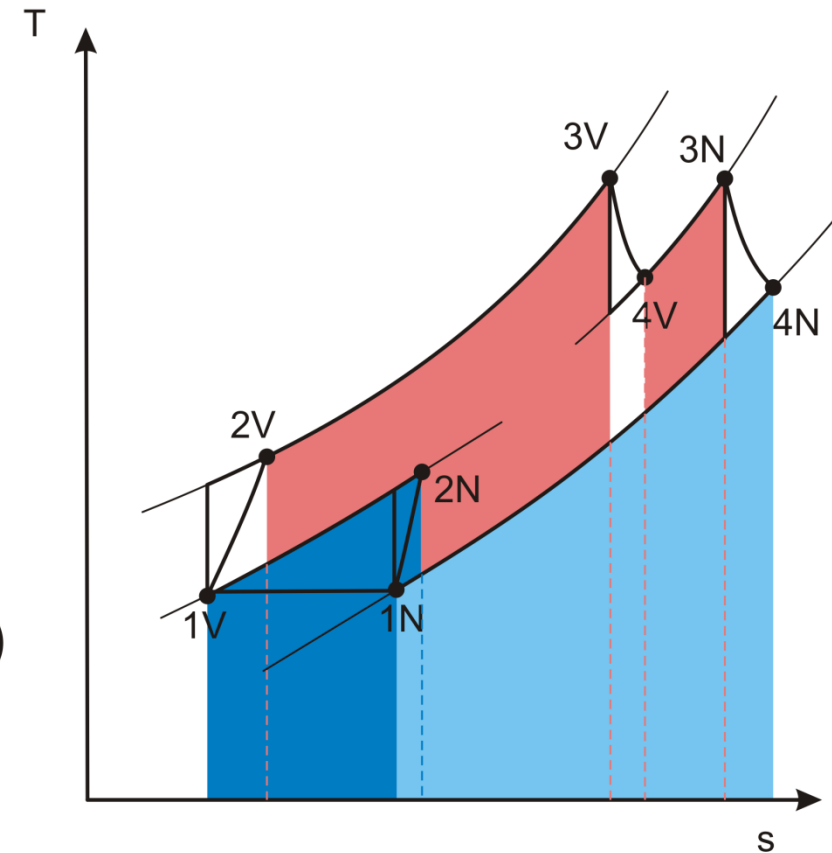
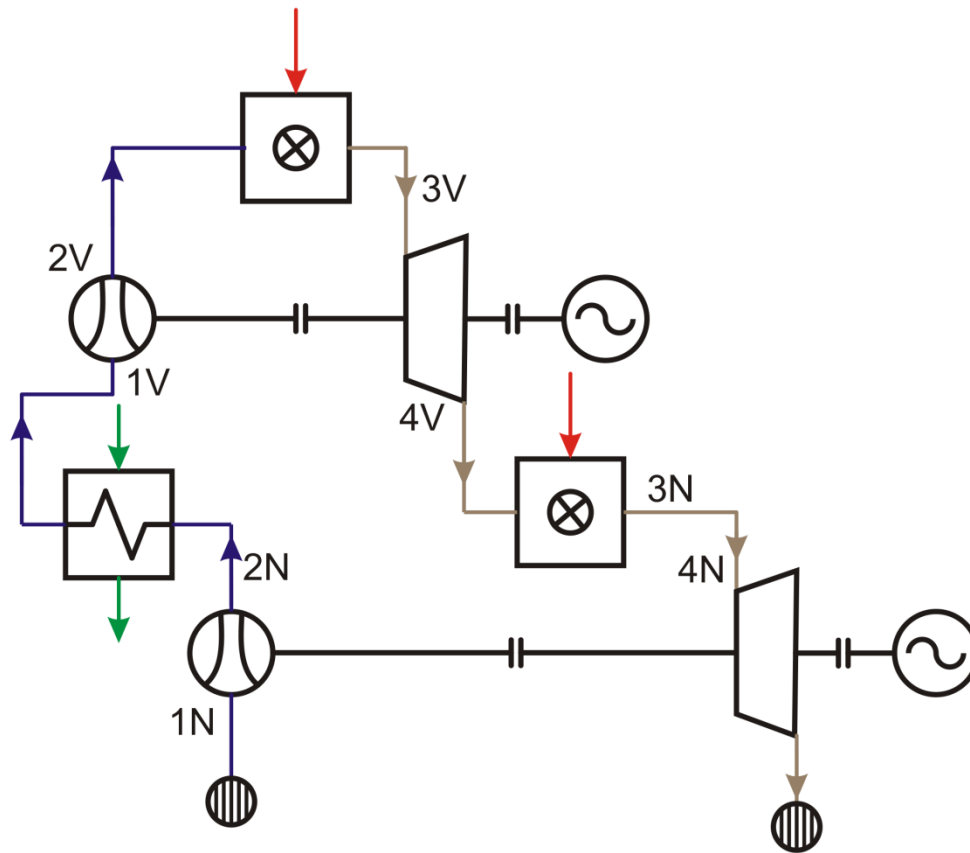
$$p_1 = 0,1\text{ MPa}$$

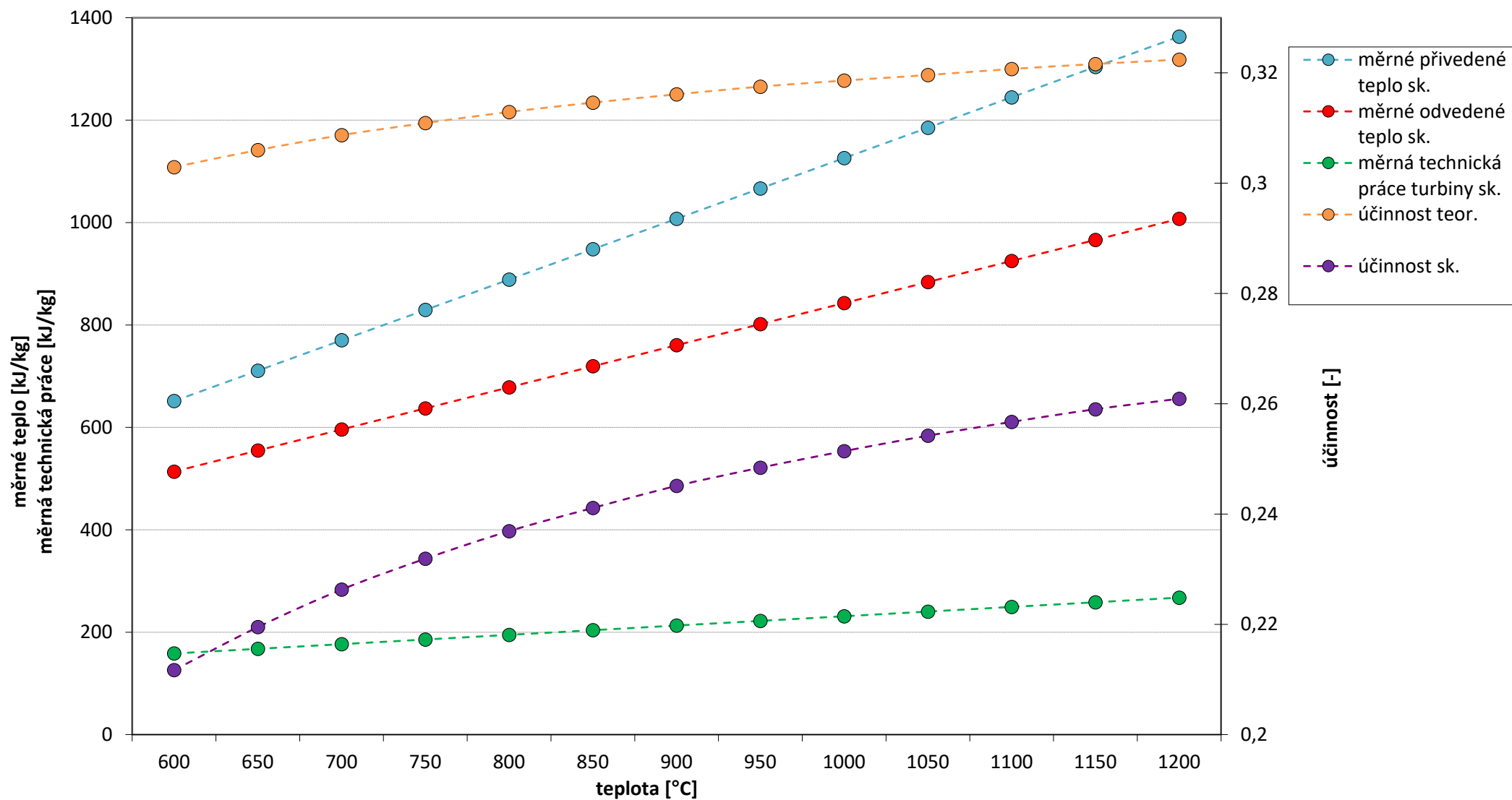
$$p_2 = 0,5\text{ Mpa}$$

$$t_3 = 600\text{ až }1200\text{ °C}$$

$$Q = 100\text{ MW}$$

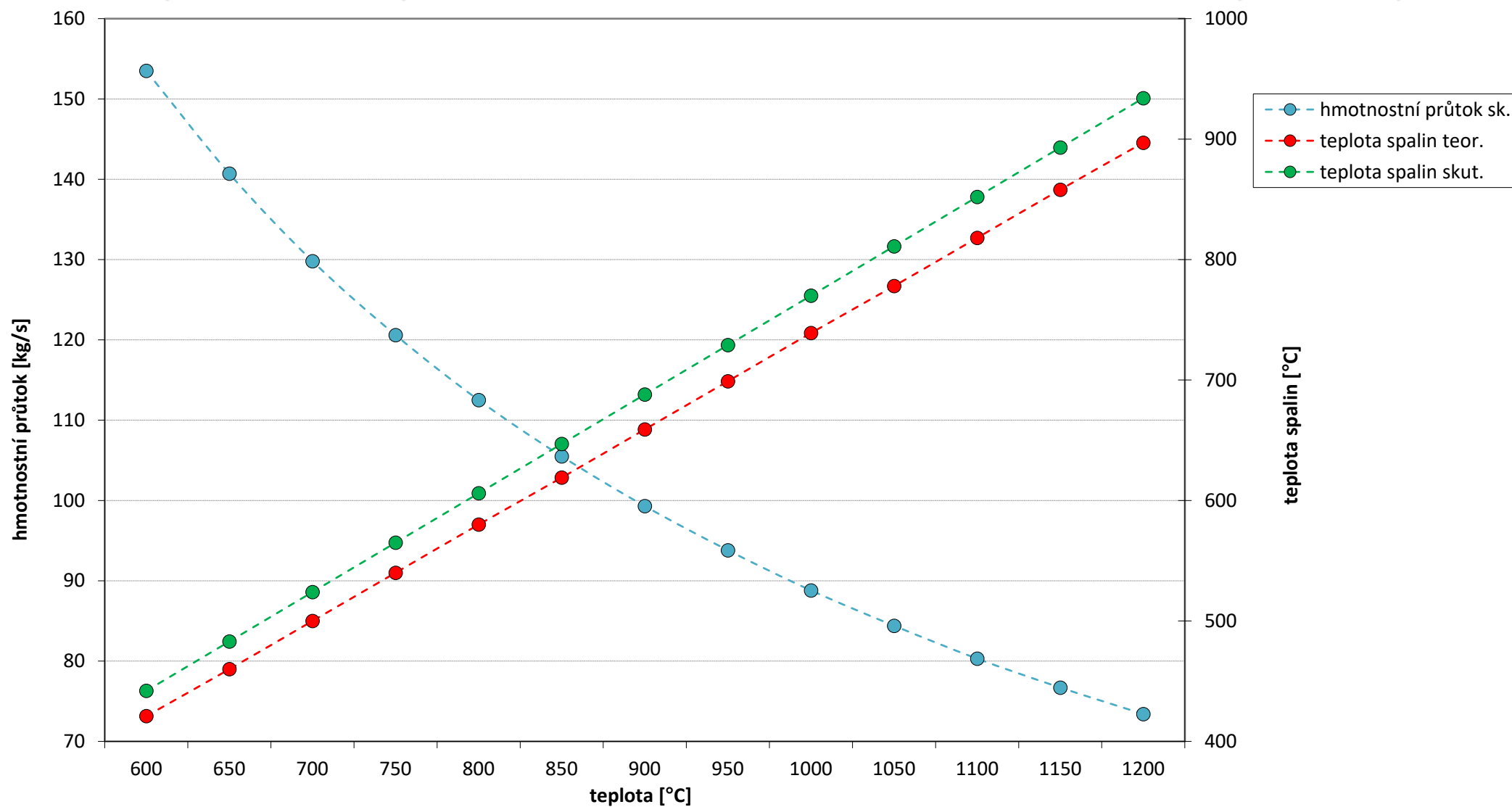






TTT – spalovací turbíny

dělená komprese a expanze



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

	beze ztrát			se ztrátami		
teplota t_3	600	800	1 200	600	800	1 200
základní cyklus	36,86	36,86	36,86	21,64	25,36	28,26
dělená komprese	33,77	34,64	35,44	21,36	24,58	27,46
dělená expanze	31,88	32,52	33,09	21,30	24,15	26,60
dělená kom. i exp.	30,29	31,29	32,24	21,17	23,69	26,09



Vliv regenerace v závislosti na teplotě t_3

$$t_1 = 20\text{ °C}$$

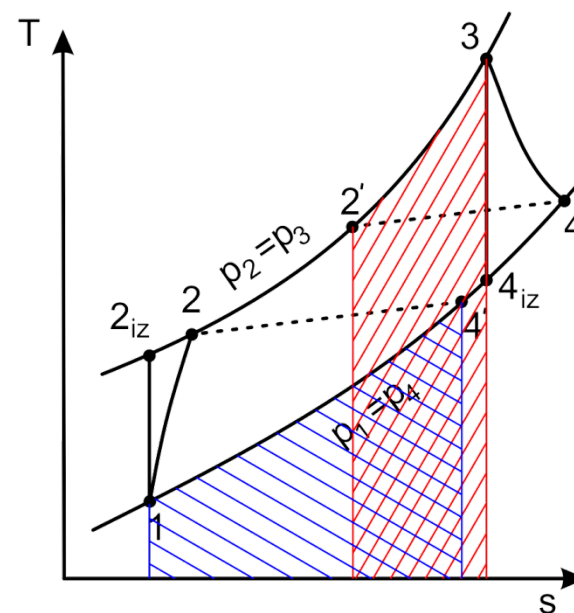
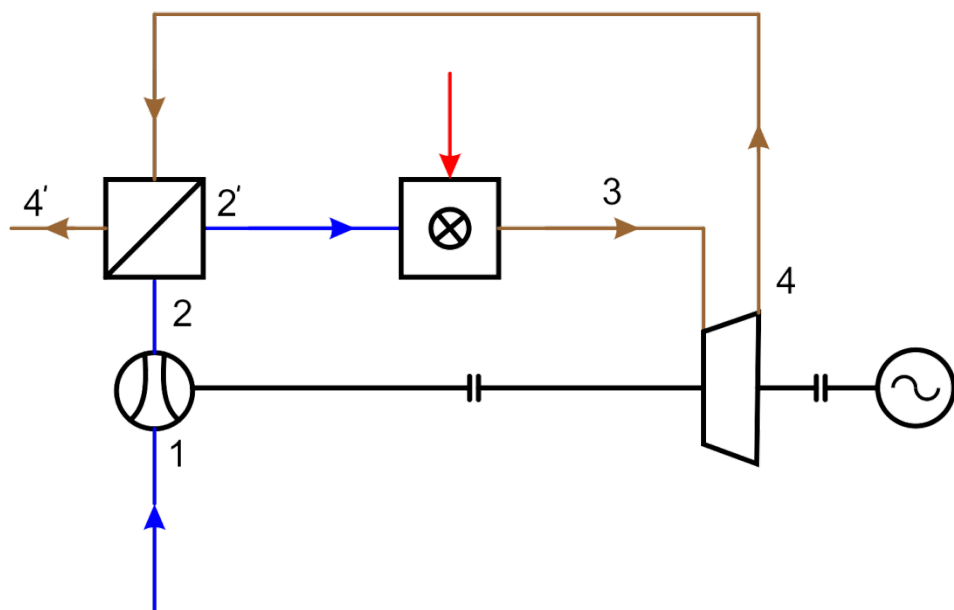
$$p_1 = 0,1\text{ MPa}$$

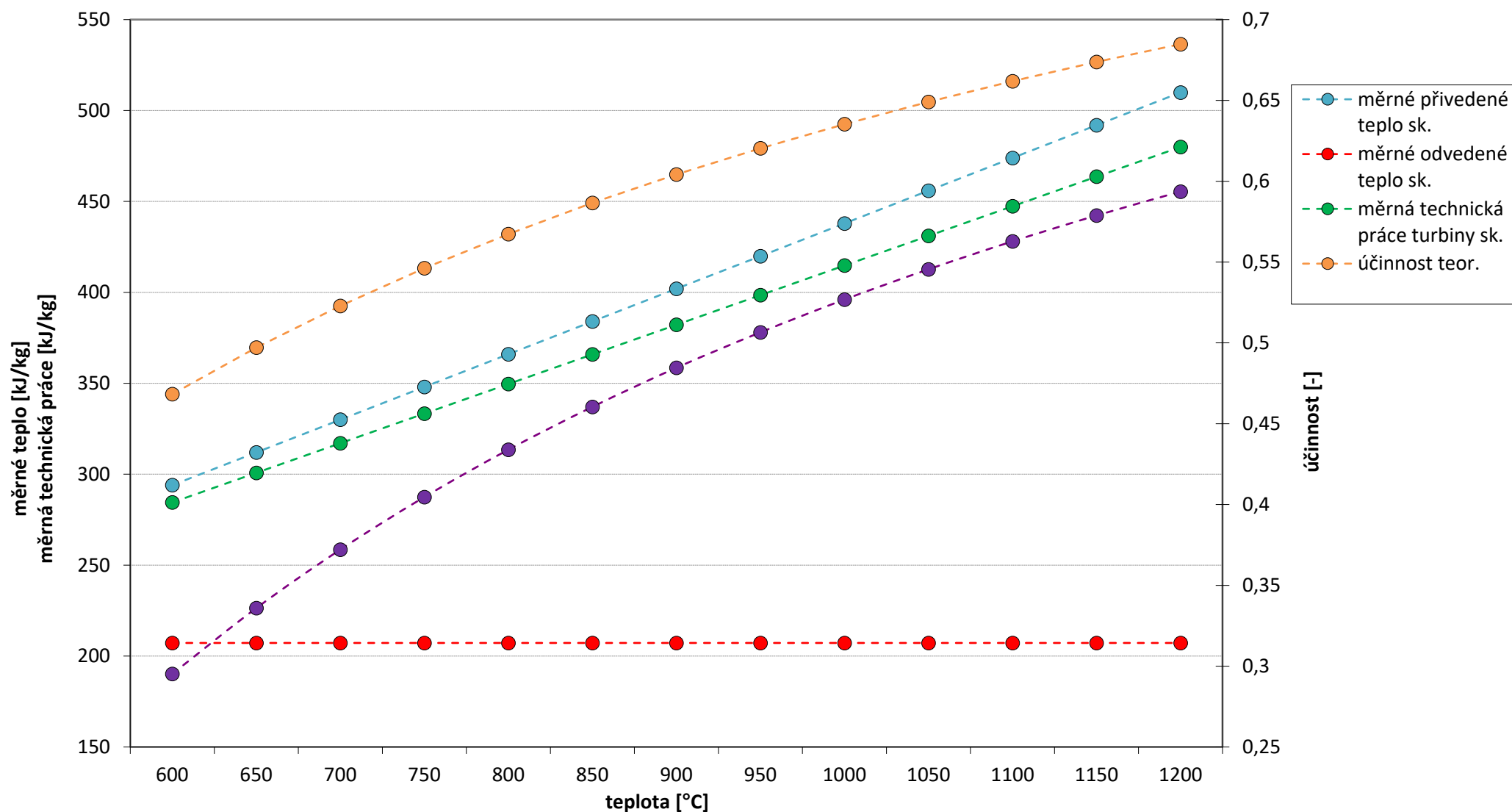
$$p_2 = 0,5\text{ Mpa}$$

$$t_3 = 600\text{ až }1200\text{ °C}$$

$$Q = 100\text{ MW}$$

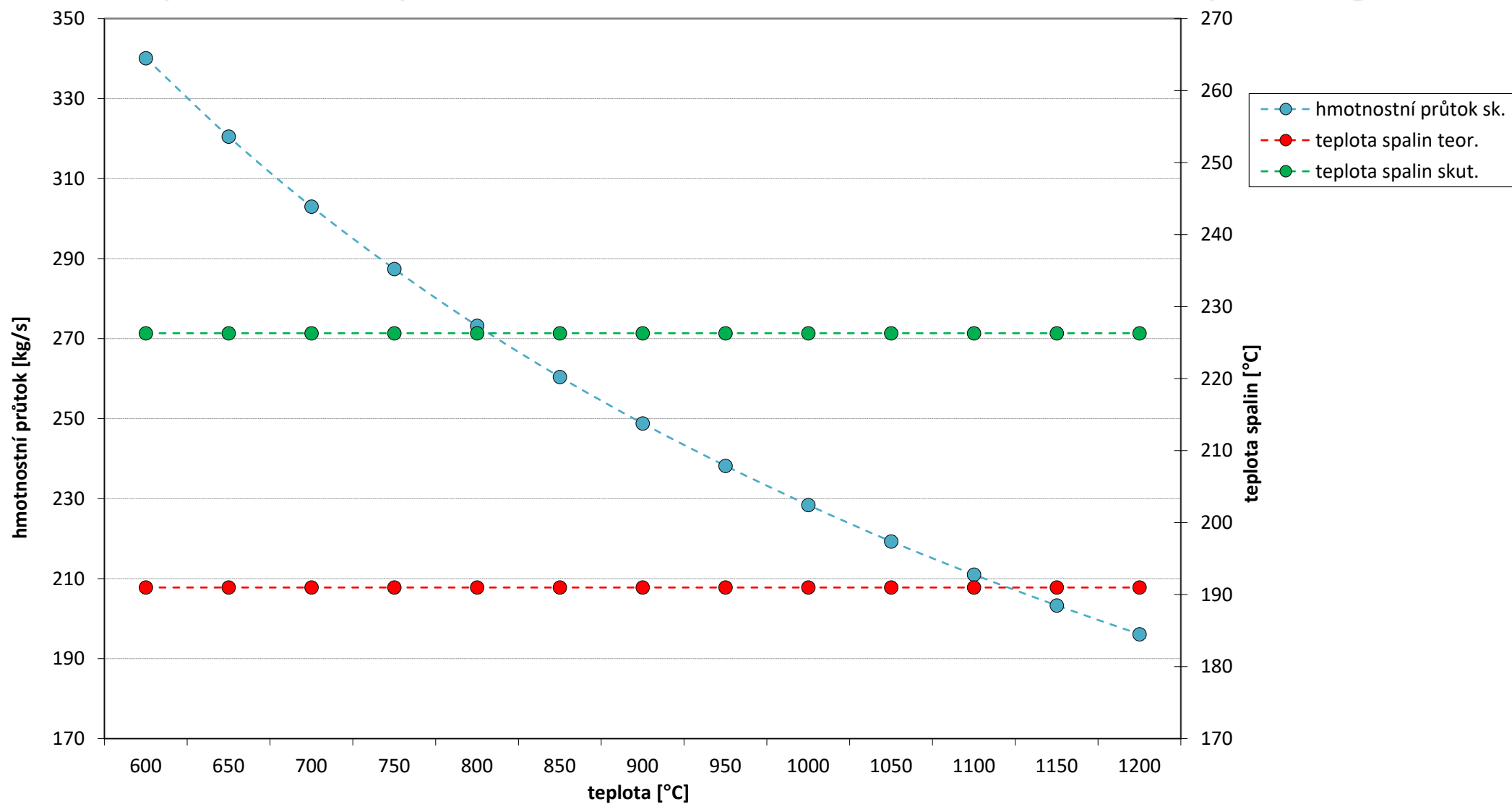






TTT – spalovací turbíny

základní cyklus s regenerací



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

	beze ztrát			se ztrátami		
teplota t_3	600	800	1 200	600	800	1 200
základní cyklus	36,86	36,86	36,86	21,64	25,36	28,26
dělená komprese	33,77	34,64	35,44	21,36	24,58	27,46
dělená expanze	31,88	32,52	33,09	21,30	24,15	26,60
dělená kom. i exp.	30,29	31,29	32,24	21,17	23,69	26,09
REGENERACE						
základní cyklus	46,83	56,73	68,48	29,52	43,39	59,36



Vliv dělené komprese a regenerace v závislosti na teplotě t_3

$$t_1 = 20\text{ °C}$$

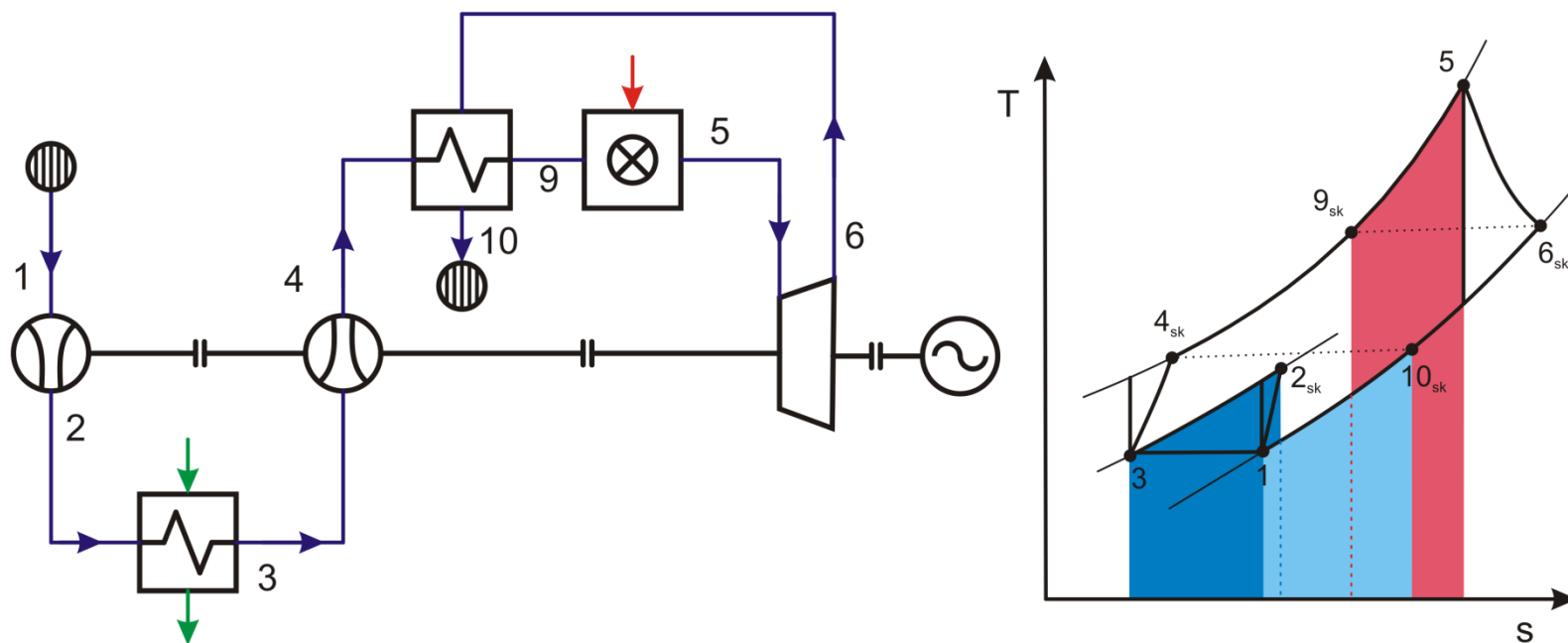
$$p_1 = 0,1\text{ MPa}$$

$$p_2 = 0,5\text{ Mpa}$$

$$t_3 = 600\text{ až }1200\text{ °C}$$

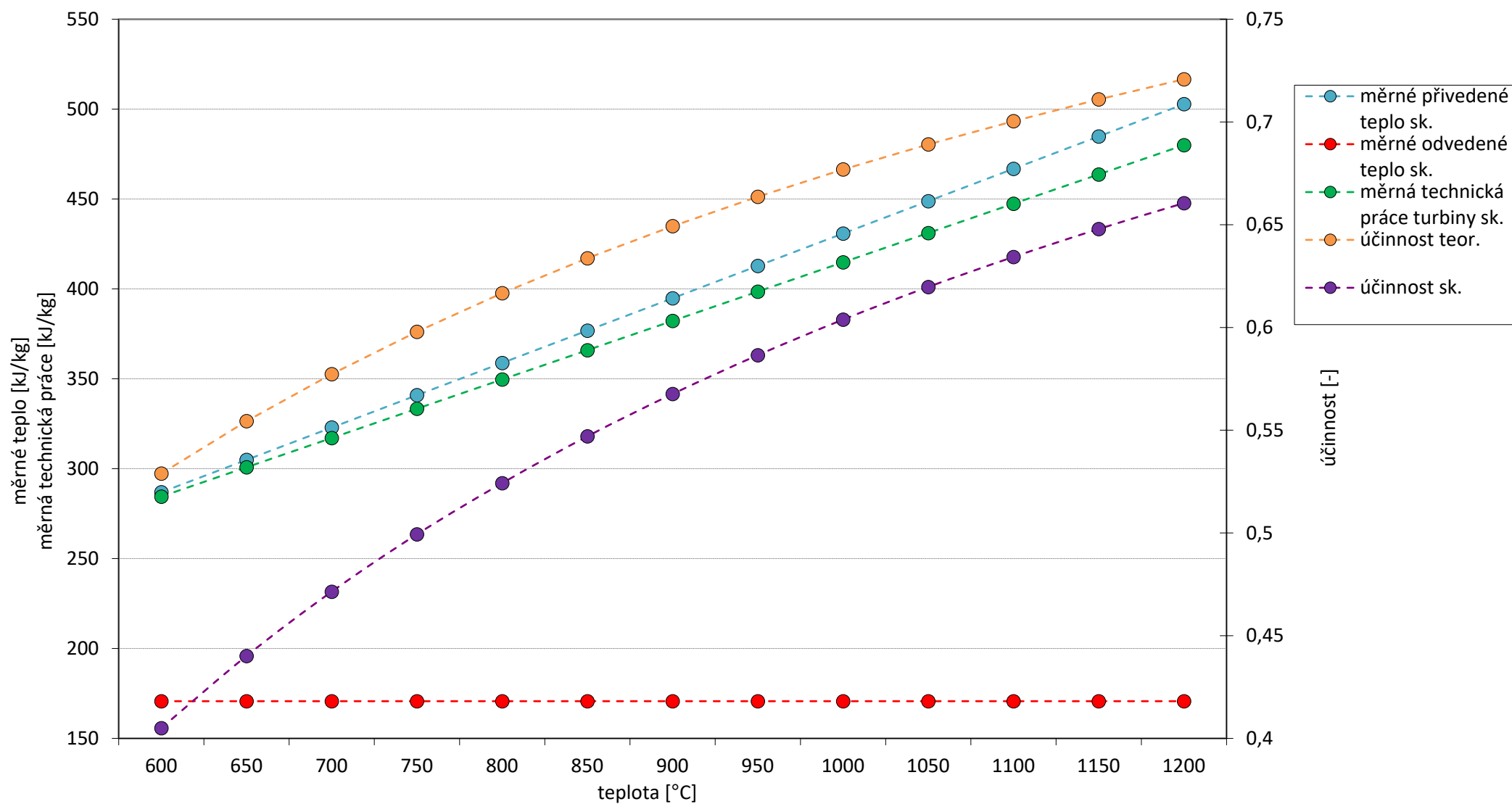
$$Q = 100\text{ MW}$$





TTT – spalovací turbíny

cyklus s dělenou kompresí a regenerací

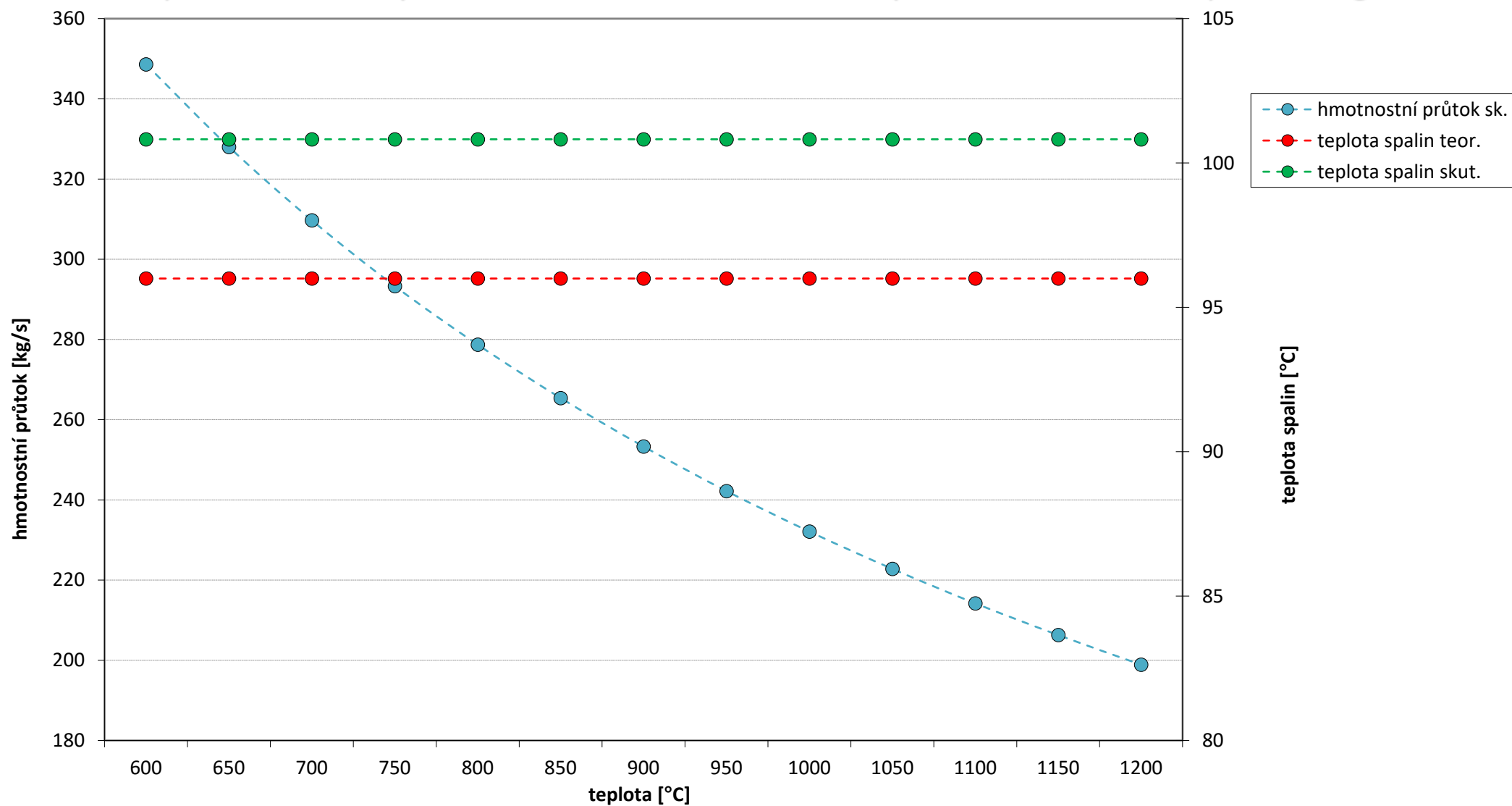


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

TTT – spalovací turbíny

cyklus s dělenou kompresí a regenerací



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

	beze ztrát			se ztrátami		
teplota t_3	600	800	1 200	600	800	1 200
základní cyklus	36,86	36,86	36,86	21,64	25,36	28,26
dělená komprese	33,77	34,64	35,44	21,36	24,58	27,46
dělená expanze	31,88	32,52	33,09	21,30	24,15	26,60
dělená kom. i exp.	30,29	31,29	32,24	21,17	23,69	26,09
REGENERACE						
základní cyklus	46,83	56,73	68,48	29,52	43,39	59,36
dělená komprese	52,89	61,67	72,08	40,50	52,42	66,05



Vliv dělené expanze a regenerace v závislosti na teplotě t_3

$$t_1 = 20\text{ °C}$$

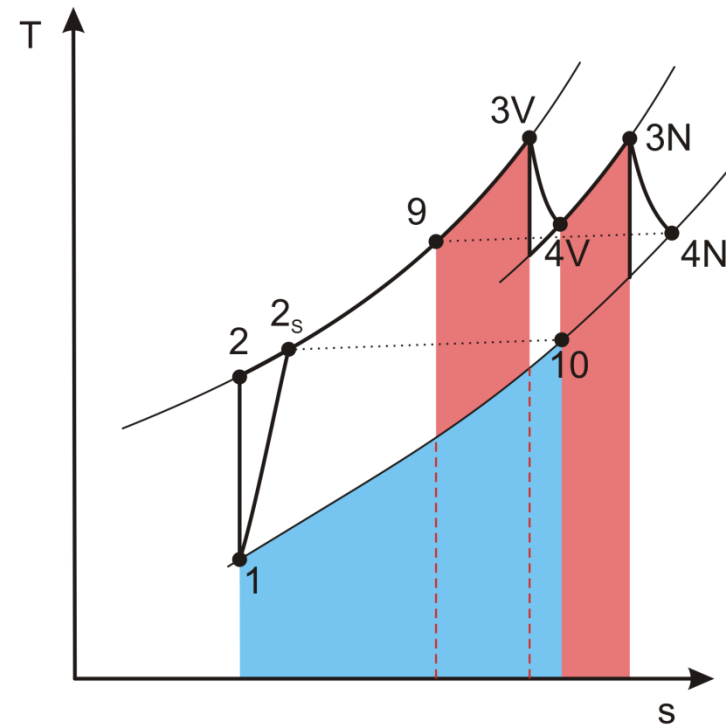
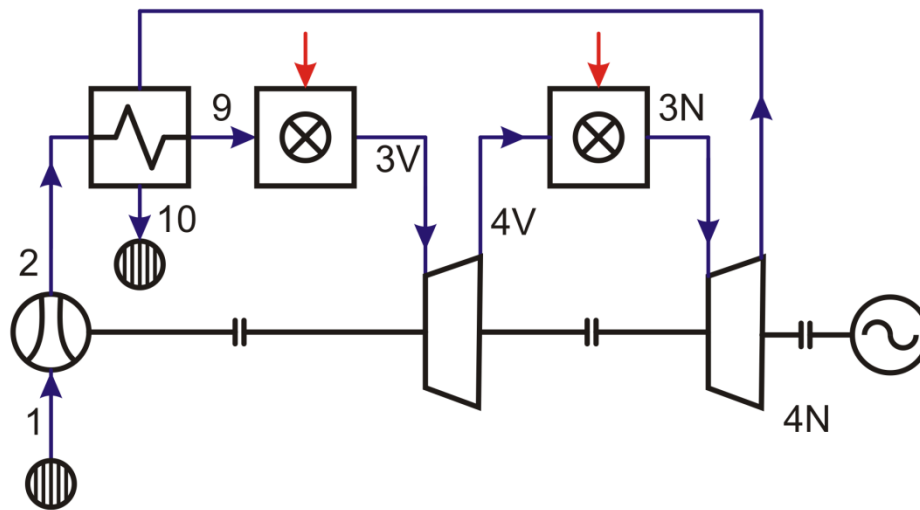
$$p_1 = 0,1\text{ MPa}$$

$$p_2 = 0,5\text{ Mpa}$$

$$t_3 = 600\text{ až }1200\text{ °C}$$

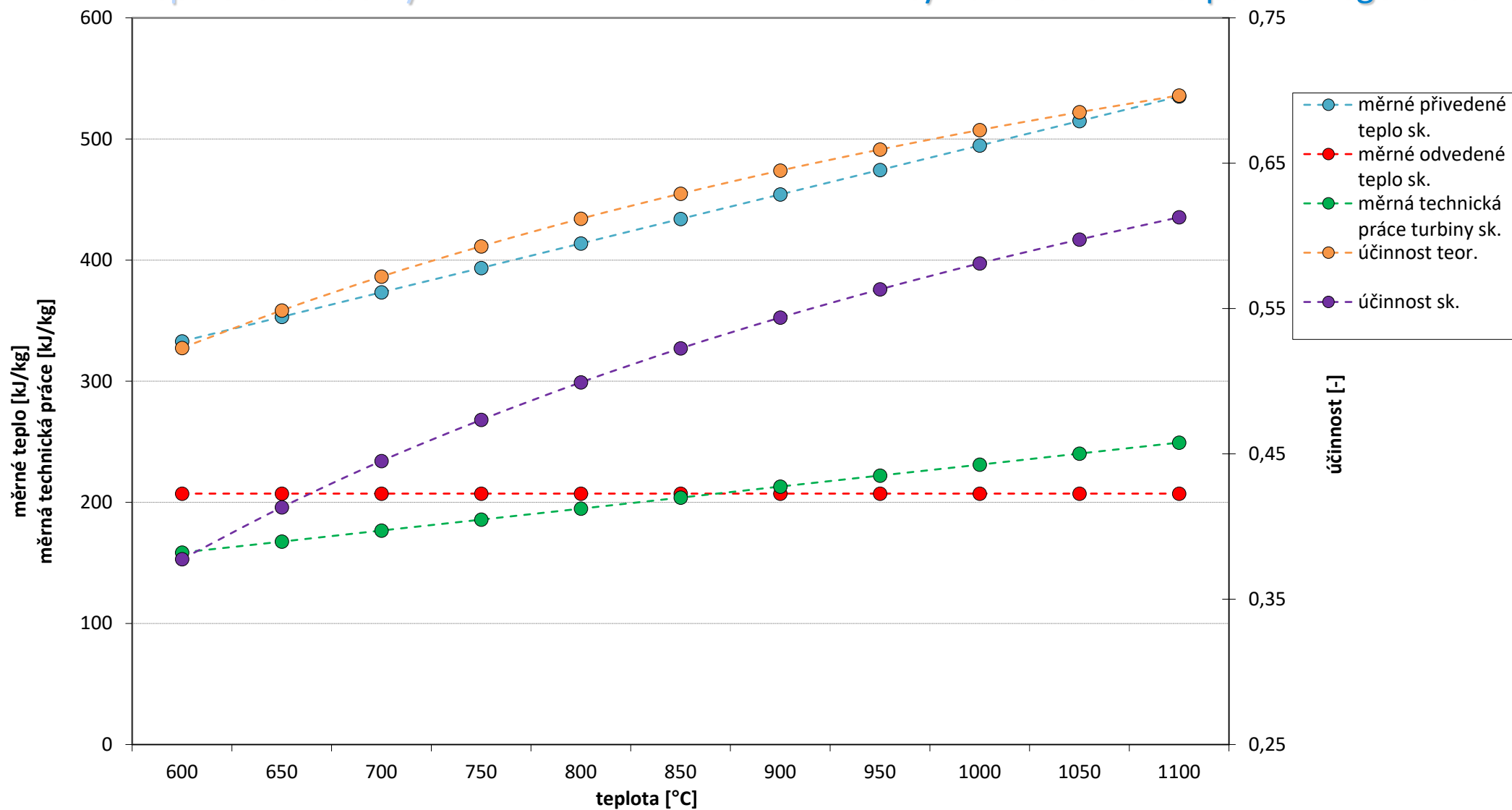
$$Q = 100\text{ MW}$$





TTT – spalovací turbíny

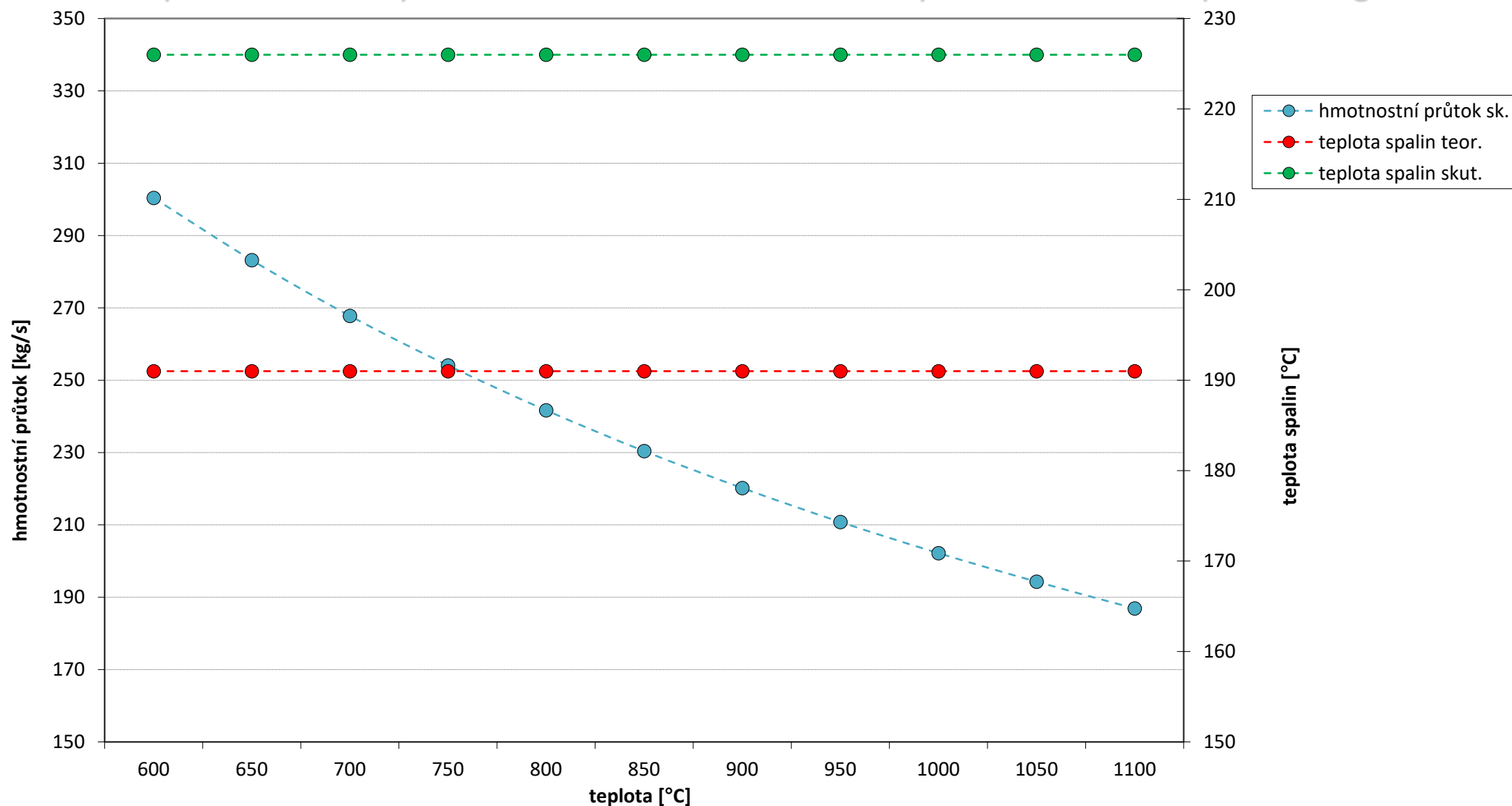
cyklus s dělenou expanzí a regenerací



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

TTT – spalovací turbíny

cyklus s dělenou expanzí a regenerací



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

	beze ztrát			se ztrátami		
teplota t_3	600	800	1 200	600	800	1 200
základní cyklus	36,86	36,86	36,86	21,64	25,36	28,26
dělená komprese	33,77	34,64	35,44	21,36	24,58	27,46
dělená expanze	31,88	32,52	33,09	21,30	24,15	26,60
dělená kom. i exp.	30,29	31,29	32,24	21,17	23,69	26,09
REGENERACE						
základní cyklus	46,83	56,73	68,48	29,52	43,39	59,36
dělená komprese	52,89	61,67	72,08	40,50	52,42	66,05
dělená expanze	52,29	61,18	71,72	37,76	49,92	63,99



Vliv dělené komprese i expanze a regenerace v závislosti na teplotě t_3

$$t_1 = 20\text{ °C}$$

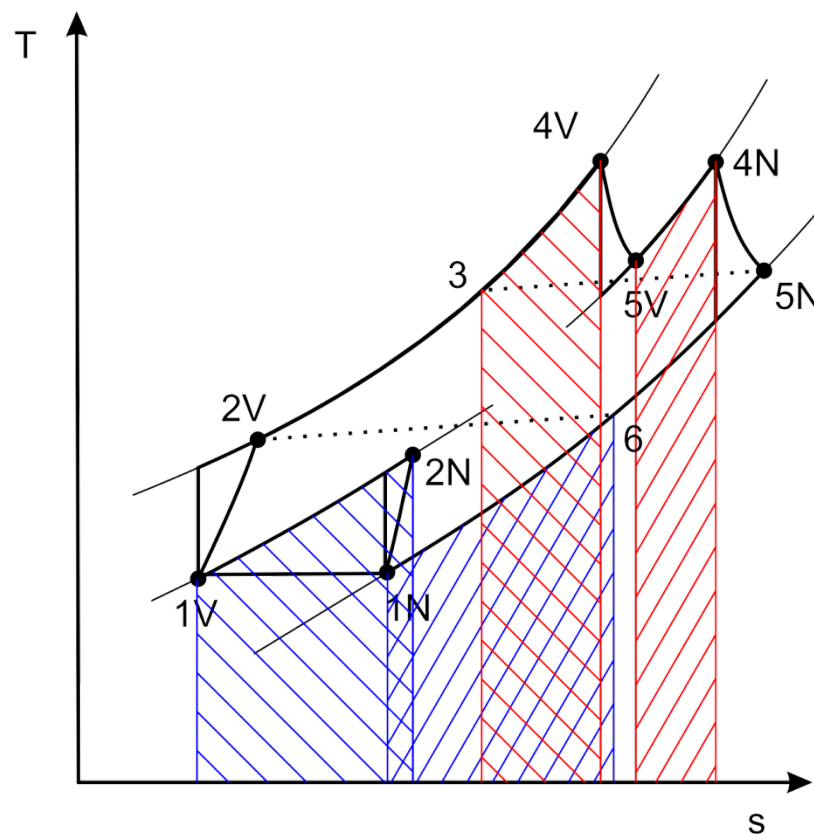
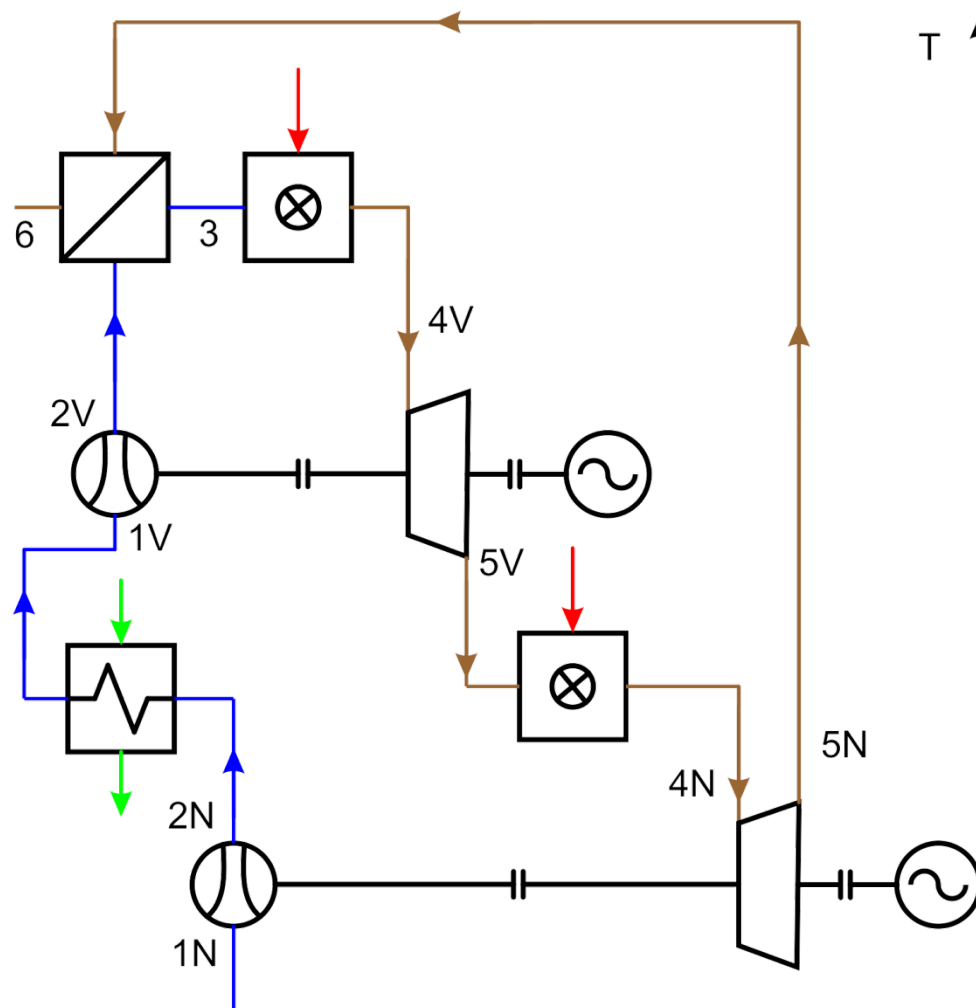
$$p_1 = 0,1\text{ MPa}$$

$$p_2 = 0,5\text{ Mpa}$$

$$t_3 = 600\text{ až }1200\text{ °C}$$

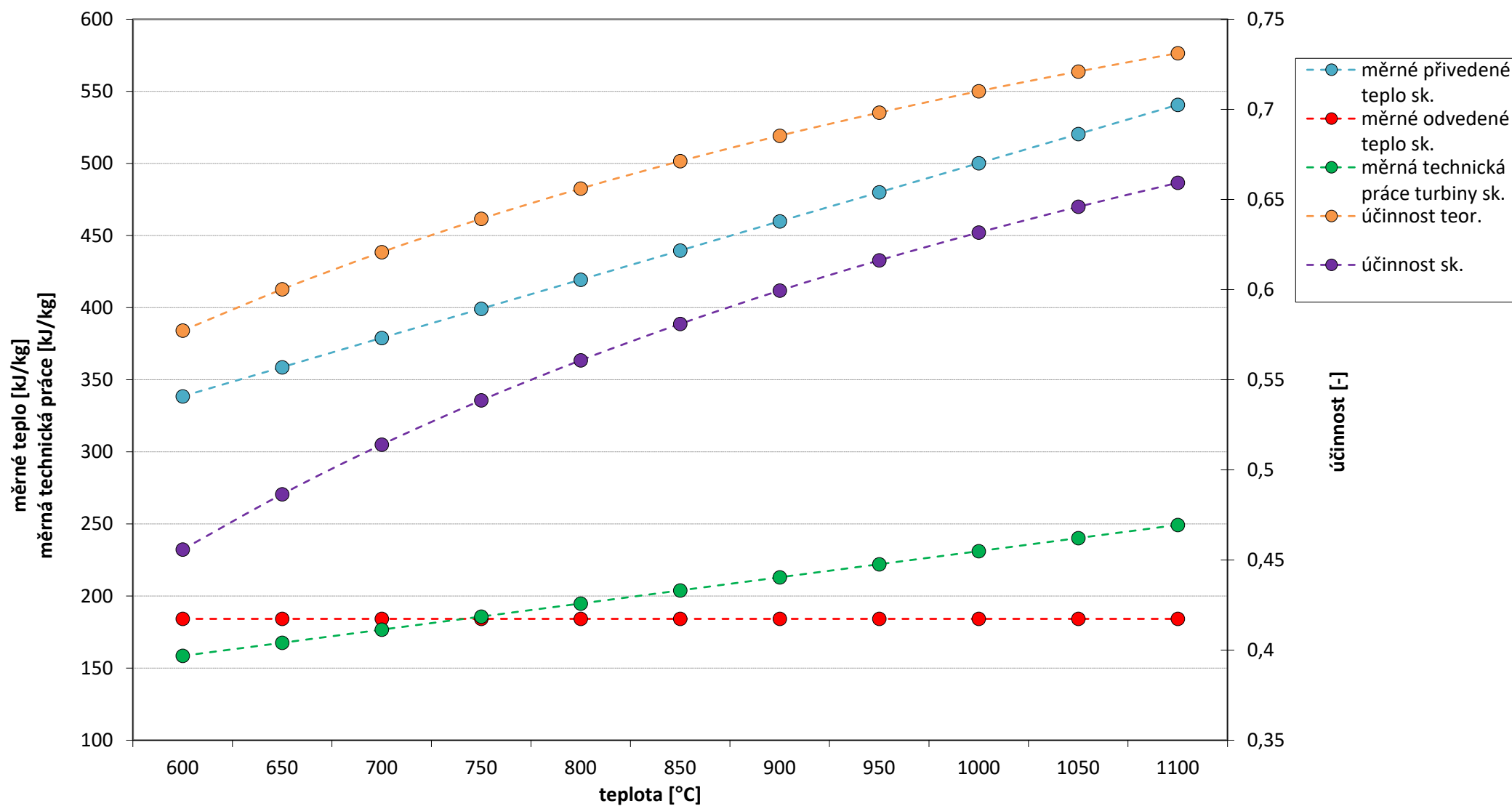
$$Q = 100\text{ MW}$$





TTT – spalovací turbíny

Keenen – Kellerův oběh

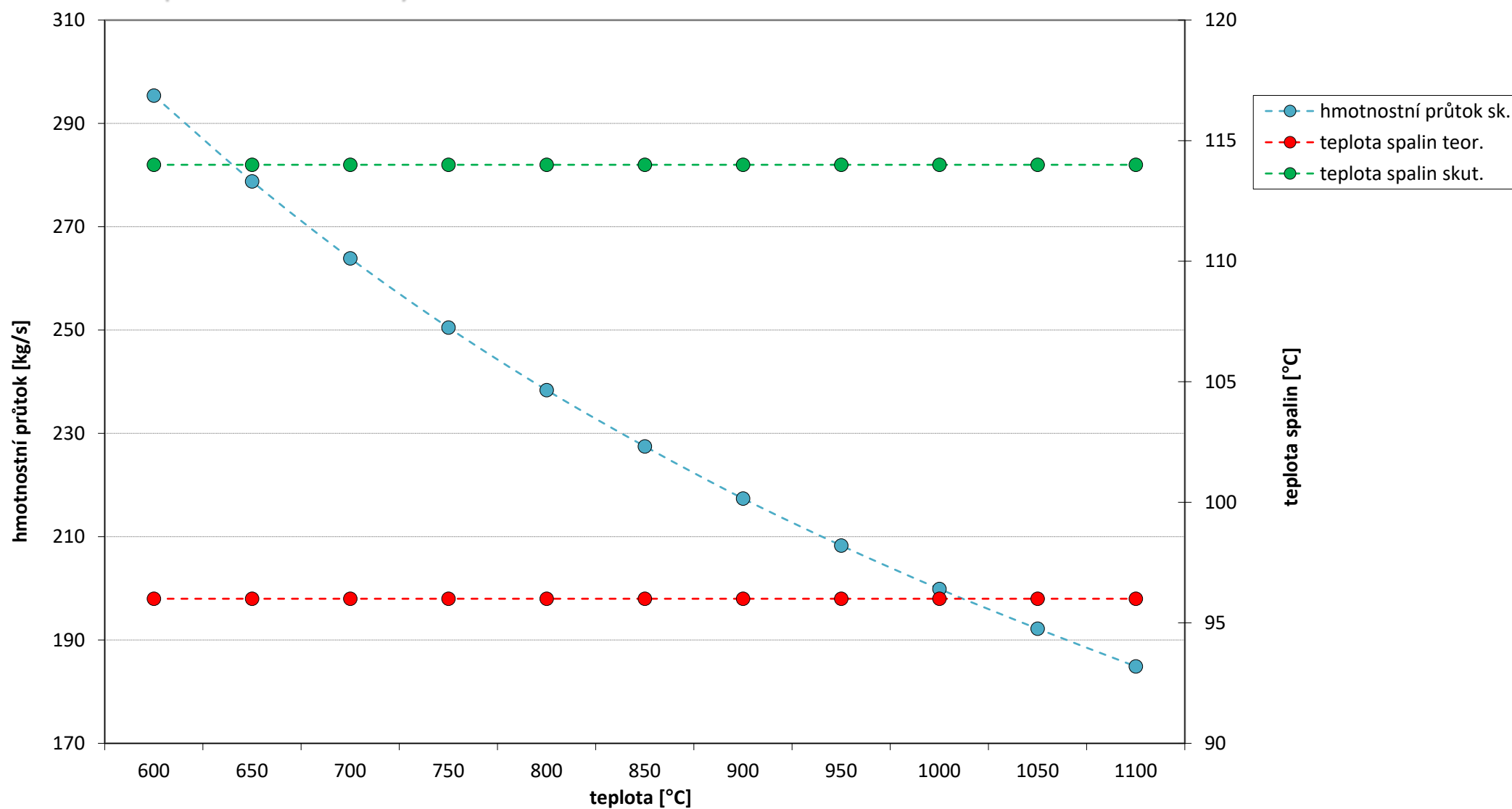


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

TTT – spalovací turbíny

Keenen – Kellerův oběh



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

	beze ztrát			se ztrátami		
teplota t_3	600	800	1 200	600	800	1 200
základní cyklus	36,86	36,86	36,86	21,64	25,36	28,26
dělená komprese	33,77	34,64	35,44	21,36	24,58	27,46
dělená expanze	31,88	32,52	33,09	21,30	24,15	26,60
dělená kom. i exp.	30,29	31,29	32,24	21,17	23,69	26,09
REGENERACE						
základní cyklus	46,83	56,73	68,48	29,52	43,39	59,36
dělená komprese	52,89	61,67	72,08	40,50	52,42	66,05
dělená expanze	52,29	61,18	71,72	37,76	49,92	63,99
Keenen – Kellerův	57,73	65,61	74,94	45,58	56,08	68,30



Otázky pro studenty

- Jaký je rozdíl mezi Ericsson – Braytonovým a Humpreovým cyklem? Nakreslete oba cykly v $T - s$ diagramu.
- Napište vztah pro výpočet účinnosti cyklu.
- Jaký je rozdíl mezi otevřeným a uzavřeným Ericsson – Braytonovým cyklem?
- Jaké jsou metody zvyšování účinnosti Ericsson–Braytonova cyklu .



Děkuji za pozornost



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání