

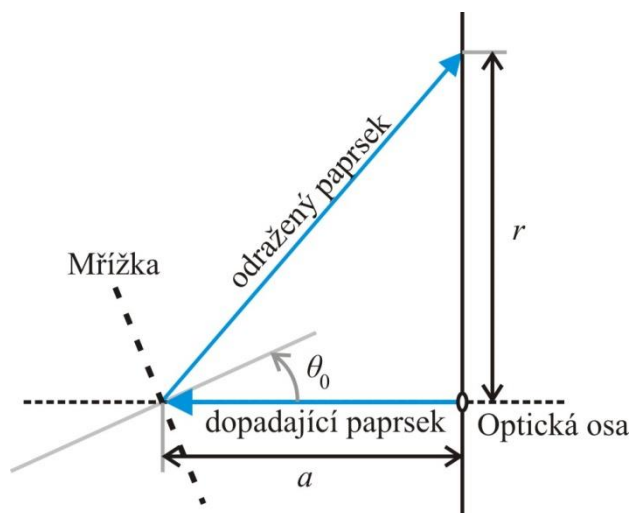
ŘešeníÚloha 1

1a.

$$\Delta\theta_{\text{nominal}} = 5' = 0,08^\circ$$

$\Delta\theta_{\text{nominal}}$ (degree)	0,08
--	------

1b.



Označme a vzdálenost mezi papírovou kartičkou a mřížkou a r vzdálenost mezi otvorem a stopou na kartičce. Můžeme počítat

$$\Delta f(x_1, x_2, \dots) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots}$$

$$\tan(2\theta_0) = \frac{r}{a}, \text{ If } \theta_0 \ll 1 \Rightarrow \theta_0 = \frac{r}{2a} \Rightarrow \Delta\theta_0 = \sqrt{\left(\frac{\Delta r}{2a}\right)^2 + \left(\frac{r \Delta a}{2a^2}\right)^2}$$

Jelikož chceme, aby θ_0 bylo co nejmenší a tedy $\frac{r}{a} \approx 0 \Rightarrow \Delta\theta_0 = \frac{\Delta r}{2a}$.

$$\Delta r = 1\text{mm}, a = (70 \pm 1)\text{mm} \Rightarrow \Delta\theta_0 = 0,007 \text{ rad} = 0,4^\circ.$$

$\Delta\theta_0$	$0,4^\circ$
θ rozsah pro viditelné světlo	$13^\circ \leq \theta \leq 26^\circ$

1c.

$R_{\min}^{(0)}$	$(21,6 \pm 0,1) \text{ k}\Omega$
$\Delta\varphi_0$	$5' = 0,08^\circ$
$R_{\min}^{(1)}$	$R = (192 \pm 1) \text{ k}\Omega$

$\Delta\varphi_0 = 5'$ protože



$$\theta = 5' \Rightarrow R = (21,9 \pm 0.1) \text{ k}\Omega$$

$$\theta = -5' \Rightarrow R = (21,9 \pm 0.1) \text{ k}\Omega$$

1d.

Tabulka 1d. Naměřené hodnoty

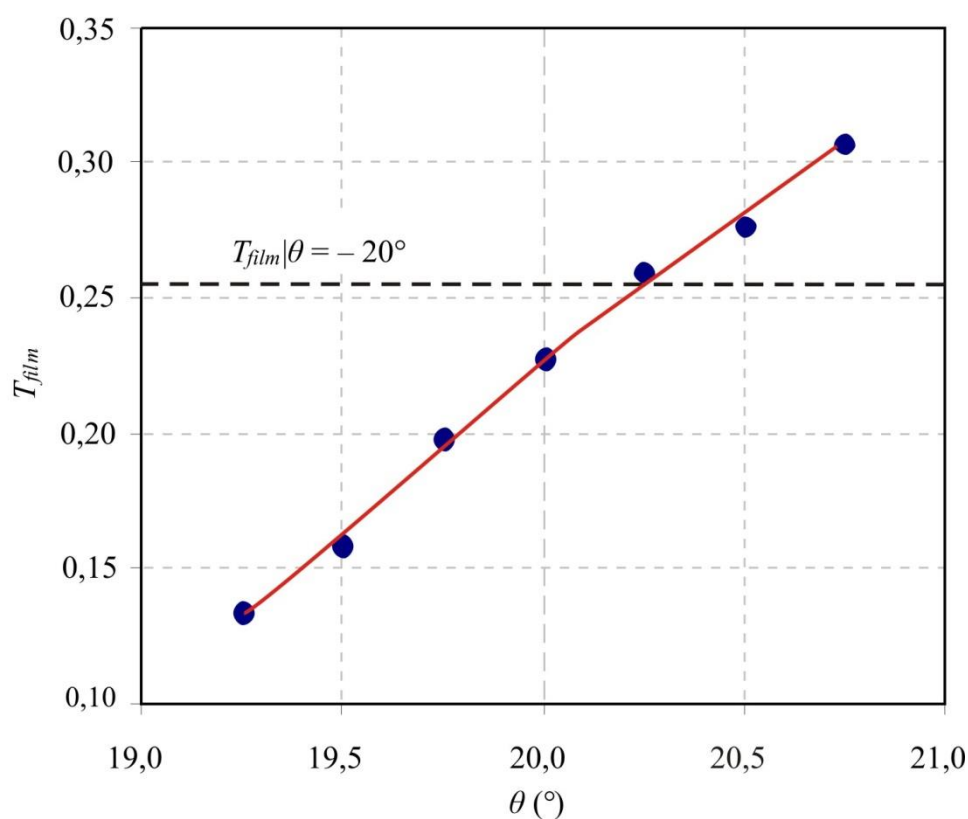
θ (stupně)	$R_{\text{glass}}(\text{M}\Omega)$	$\Delta R_{\text{glass}}(\text{M}\Omega)$	$R_{\text{film}}(\text{M}\Omega)$	$\Delta R_{\text{film}}(\text{M}\Omega)$
15,00	3,77	0,03	183	3
15,50	2,58	0,02	132	2
16,00	1,88	0,01	87	1
16,50	1,19	0,01	51,5	0,5
17,00	0,89	0,01	33,4	0,3
17,50	0,68	0,01	19,4	0,1
18,00	0,486	0,005	10,4	0,1
18,50	0,365	0,005	5,40	0,03
19,00	0,274	0,003	2,66	0,02
19,50	0,225	0,002	1,42	0,01
20,00	0,200	0,002	0,880	0,005
20,50	0,227	0,002	0,822	0,005
21,00	0,368	0,003	1,123	0,007
21,50	0,600	0,005	1,61	0,01
22,00	0,775	0,005	1,85	0,01
22,50	0,83	0,01	1,87	0,01
23,00	0,88	0,01	1,93	0,02
23,50	1,01	0,01	2,14	0,02
24,00	1,21	0,01	2,58	0,02
24,50	1,54	0,01	3,27	0,02
25,00	1,91	0,01	4,13	0,02
16,25	1,38	0,01	66,5	0,5
16,75	1,00	0,01	40,0	0,3
17,25	0,72	0,01	23,4	0,2
17,75	0,535	0,005	12,8	0,1
18,25	0,391	0,003	6,83	0,05
18,75	0,293	0,003	3,46	0,02
19,25	0,235	0,003	1,76	0,01
19,75	0,195	0,002	0,988	0,005
20,25	0,201	0,002	0,776	0,005
20,75	0,273	0,003	0,89	0,01

Rozsah	Chyba měřáku
200 M Ω	0,9 M Ω

1e.

 Pro $\theta = -20^\circ \Rightarrow R_{\text{glass}} = (132 \pm 2) \text{ k}\Omega$, $R_{\text{film}} = (518 \pm 5) \text{ k}\Omega$

θ	T_{film}	θ	T_{film}
$\theta = -20^\circ$	0,255	19,25	0,134
		19,50	0,158
		19,75	0,197
		20,00	0,227
		20,25	0,259
		20,50	0,276
		20,75	0,307


 Z grafu odečteme $T(\theta = 20,25^\circ) = T(\theta = -20^\circ)$

δ (stupně)	$0,25 \pm 0,08$
-------------------	-----------------

Úloha 2.

2a.

$$\lambda = d \sin\left(\theta - \frac{\delta}{2}\right) \Rightarrow \Delta\lambda = \lambda \sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \cot^2\left(\theta - \frac{\delta}{2}\right) \left(\Delta\theta^2 + \frac{\Delta\delta^2}{4}\right)} \approx d \cos(\theta) \left(\frac{0,1\pi}{180}\right)$$

kde $\Delta \theta = \Delta \delta = 5' = 0,08^\circ$ a $d = 1/600$ mm.

$$\Delta \lambda = 2,9 \cos(\theta) \text{ nm}$$

$$T_{film} = \frac{R_{glass}}{R_{film}} \Rightarrow \Delta T = T_{film} \sqrt{\left(\frac{\Delta R_{film}}{R_{film}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_{glass}}{R_{glass}}\right)^2}$$

$$\Delta T = \frac{R_{glass}}{R_{film}} \sqrt{\left(\frac{\Delta R_{film}}{R_{film}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_{glass}}{R_{glass}}\right)^2}$$

$$(\alpha t) = -\ln(T_{film}) \Rightarrow \Delta(\alpha t) = \frac{\Delta T}{T_{film}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_{film}}{R_{film}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_{glass}}{R_{glass}}\right)^2}$$

$$\Delta(\alpha t) = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_{film}}{R_{film}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta R_{glass}}{R_{glass}}\right)^2}$$

2b.

$$13^\circ \leq \theta \leq 26^\circ$$

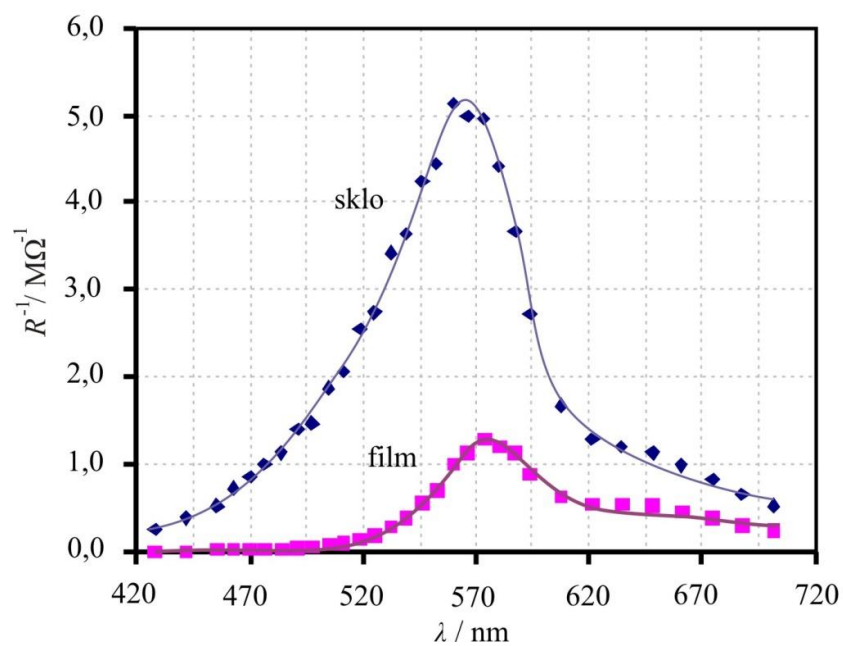
$\Delta \lambda$ (nm)	2,6 - 2,8
-----------------------	-----------

2c.

Tabulka 2c. Vypočtené parametry použitím naměřených dat

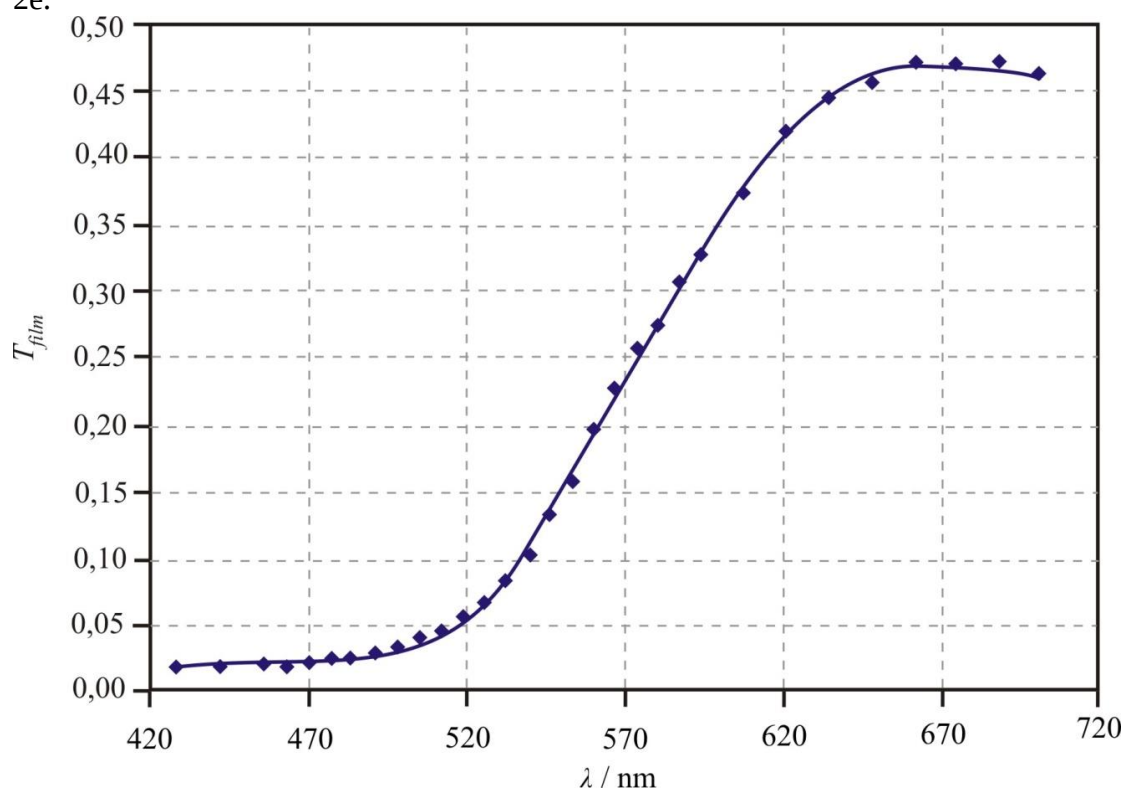
θ (stupeň)	λ (nm)	$I_g/C(\lambda)$ ($\text{M}\Omega^{-1}$)	$I_s/C(\lambda)$ ($\text{M}\Omega^{-1}$)	T_{film}	αt	$\Delta(\alpha t)$
15,0	428	0,265	0,00546	0,0206	3,88	0,02
15,5	442	0,388	0,00758	0,0195	3,94	0,02
16,0	456	0,532	0,0115	0,0216	3,83	0,01
16,25	463	0,725	0,0150	0,0208	3,88	0,01
16,5	470	0,840	0,0194	0,0231	3,77	0,01
16,75	477	1,00	0,0250	0,0250	3,69	0,01
17,0	484	1,12	0,0299	0,0266	3,63	0,01
17,25	491	1,39	0,0427	0,0308	3,48	0,02
17,5	498	1,47	0,0515	0,0351	3,35	0,02
17,75	505	1,87	0,0781	0,0418	3,17	0,01
18,0	512	2,06	0,096	0,0467	3,06	0,01
18,25	518	2,56	0,146	0,0572	2,86	0,01
18,5	525	2,74	0,185	0,0676	2,69	0,01
18,75	532	3,41	0,289	0,0847	2,47	0,01
19,0	539	3,65	0,376	0,103	2,27	0,01
19,25	546	4,26	0,568	0,134	2,01	0,01
19,5	553	4,44	0,704	0,158	1,84	0,01
19,75	560	5,13	1,01	0,197	1,62	0,01
20,0	567	5,00	1,14	0,227	1,48	0,01
20,25	573	4,98	1,29	0,259	1,35	0,01
20,5	580	4,41	1,22	0,276	1,29	0,01
20,75	587	3,66	1,12	0,307	1,18	0,02
21,0	594	2,72	0,890	0,328	1,12	0,01
21,5	607	1,67	0,621	0,373	0,99	0,01
22,0	621	1,29	0,541	0,419	0,87	0,01
22,5	634	1,20	0,535	0,444	0,81	0,01
23,0	648	1,14	0,518	0,456	0,79	0,02
23,5	661	0,99	0,467	0,472	0,75	0,01
24,0	675	0,826	0,388	0,469	0,76	0,01
24,5	688	0,649	0,306	0,471	0,75	0,01
25,0	701	0,524	0,242	0,462	0,77	0,01

2d.



$\lambda_{max}(I_{glass})$	564 ± 5 (nm)
$\lambda_{max}(I_{film})$	573 ± 5 (nm)

2e.



Úloha 3.

3a.

$$x = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$$

$$y = (x(\alpha t))^2 \Rightarrow \frac{\Delta y}{y} = 2 \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\alpha t)}{(\alpha t)}\right)^2}$$

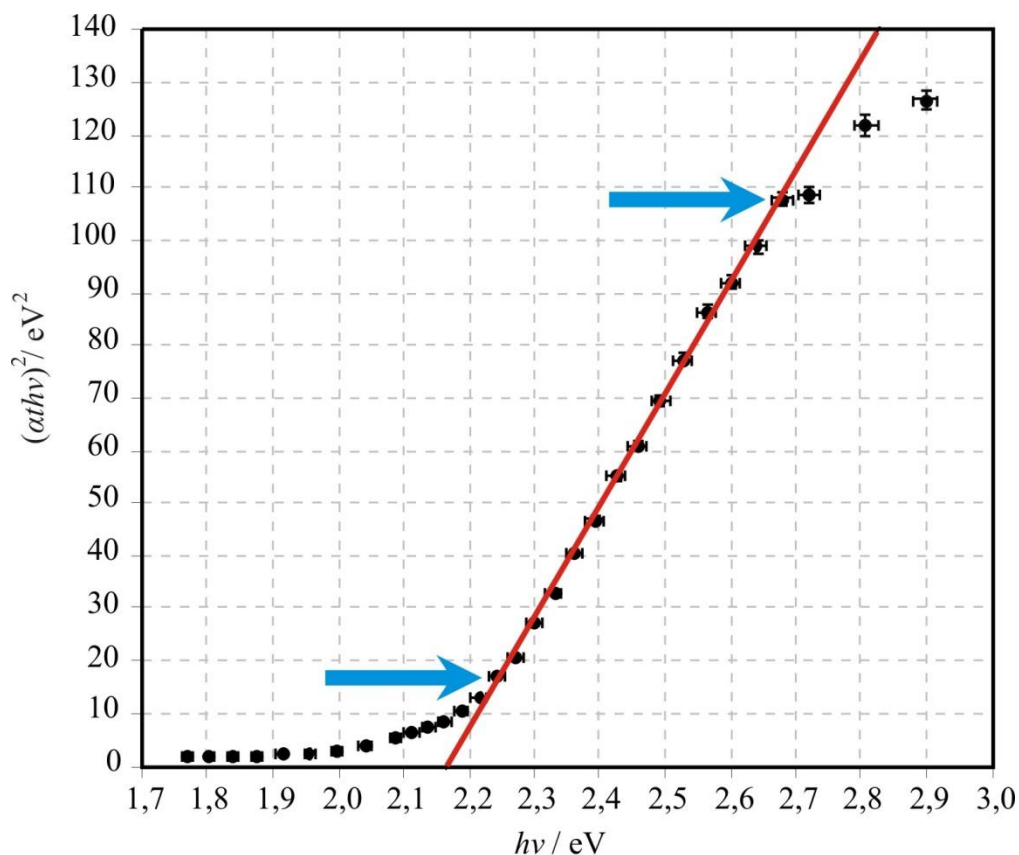
$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$
$\frac{\Delta y}{y} = 2 \sqrt{\left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(\alpha t)}{(\alpha t)}\right)^2}$

3b.

Tabulka 3b. Vypočtené parametry pro každý naměřený datový bod

θ (stupeň)	x (eV)	y (eV ²)	Δx (eV)	Δy (eV ²)
15,00	2,898	126,6	0,019	2,0
15,50	2,806	121,9	0,018	1,9
16,00	2,720	108,8	0,017	1,5
16,25	2,679	107,8	0,016	1,4
16,50	2,639	98,9	0,016	1,3
16,75	2,600	92,0	0,015	1,2
17,00	2,563	86,3	0,015	1,2
17,25	2,527	77,4	0,014	1,1
17,50	2,491	69,7	0,014	1,0
17,75	2,457	60,9	0,013	0,8
18,00	2,424	55,1	0,013	0,8
18,25	2,392	46,8	0,013	0,6
18,50	2,360	40,4	0,012	0,6
18,75	2,330	33,1	0,012	0,5
19,00	2,300	27,3	0,012	0,4
19,25	2,271	20,91	0,011	0,36
19,50	2,243	17,07	0,011	0,27
19,75	2,215	12,92	0,011	0,22
20,00	2,188	10,51	0,010	0,19
20,25	2,162	8,53	0,010	0,17
20,50	2,137	7,56	0,010	0,14
20,75	2,112	6,23	0,010	0,18
21,00	2,088	5,43	0,009	0,11
21,50	2,041	4,06	0,009	0,09
22,00	1,997	3,02	0,009	0,06
22,50	1,954	2,52	0,008	0,08
23,00	1,914	2,26	0,008	0,09
23,50	1,875	1,98	0,008	0,07
24,00	1,838	1,94	0,007	0,06
24,50	1,803	1,84	0,007	0,05
25,00	1,769	1,86	0,007	0,04

3c.



$$x_{\min} = 2,24 \text{ eV}$$

$$x_{\max} = 2,68 \text{ eV}$$

3d.

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}} \Rightarrow (\alpha t h\nu)^2 = (At)^2 (h\nu - E_g)$$

$$\Rightarrow y = (At)^2 (x - E_g) \Rightarrow m = (At)^2 \Rightarrow t = \frac{\sqrt{m}}{A}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta t}{t} = \frac{\Delta m}{2m}$$

$t = \frac{\sqrt{m}}{A}$
$\Delta t = \frac{\Delta m}{2A\sqrt{m}}$

V lineární oblasti odečteme z grafu, $m = 213 \text{ eV}$, $r^2 = 0,9986$, $E_g = 2,17 \text{ eV}$
 Navíc víme, že $A = 0,071 \text{ eV}^{1/2}/\text{nm}$ nalezneme tedy $t = 206 \text{ nm}$.

$$\Delta m = \sqrt{\frac{(\delta y)^2 + \frac{m^2}{R^2} (\delta x)^2}{\sum_i x_i^2 - N\bar{x}^2}} \approx \sqrt{\frac{(\delta y)^2 + (m \delta x)^2}{\sum_i x_i^2 - N\bar{x}^2}} = \sqrt{\frac{(\delta xy)^2}{\sum_i x_i^2 - N\bar{x}^2}}, (\delta xy)^2 = (\delta y)^2 + (m \delta x)^2$$

Kde δx & δy jsou směrodatné odchylky veličin x a y

$$\delta x \approx \sqrt{\frac{\sum_i \delta x_i^2}{N}} \text{ \& } \delta y = \sqrt{\frac{\sum_i \delta y_i^2}{N}} \text{ So } \quad \text{Tedy } \delta x \approx 0,014 \text{ eV}, \delta y \approx 0,9 \text{ (eV)}^2.$$

$$\Delta m \approx 10 \text{ eV} \rightarrow \Delta t = t \Delta m / (2 m) \approx 5 \text{ nm}$$

$$\Delta E_g = \frac{1}{m} \sqrt{\left(\left(\frac{m^2 \delta x^2 + \delta y^2}{N} \right) + \left(\frac{\bar{y}}{m} \right)^2 \Delta m^2 \right)} = \frac{1}{m} \sqrt{\left(\left(\frac{\delta xy^2}{N} \right) + \left(\frac{\bar{y}}{m} \right)^2 \Delta m^2 \right)}$$

$$\Delta E_g \approx 0,02 \text{ eV}.$$

Tabulka 3d. Vypočtené hodnoty of E_g a t z grafu 3

E_g (eV)	ΔE_g (eV)	t (nm)	Δt (nm)
2,17	0,02	206	5