



#### 4. cvičení – Primitivní funkce

<https://www2.karlin.mff.cuni.cz/~kuncova/vyuka.php>, kuncova@karlin.mff.cuni.cz

#### Příklady

1. Najděte primitivní funkce  $F$  k následujícím funkcím  $f$  na maximální možné podmnožině reálných čísel a tuto množinu určete.

(a)  $f(x) = x^{13}$

**Řešení:**

$$\int x^{13} dx = \frac{x^{14}}{14} + c$$

$x \in \mathbb{R}$

(b)  $f(x) = \sqrt{x}$

**Řešení:**

$$\int \sqrt{x} dx = \int x^{\frac{1}{2}} dx = \frac{x^{3/2}}{3/2} + c = \frac{2\sqrt{x^3}}{3} + c$$

$x \in (0, \infty)$

(c)  $f(x) = \frac{1}{x^3}$

**Řešení:**

$$\int \frac{1}{x^3} dx = \int x^{-3} dx = \frac{x^{-2}}{-2} + c = \frac{-1}{2x^2} + c$$

$x \in (-\infty, 0), (0, \infty)$

(d)  $f(x) = \frac{1}{x}$

**Řešení:**

$$\int \frac{1}{x} dx = \log |x| + c$$

$x \in (-\infty, 0), (0, \infty)$

(e)  $f(x) = 1 + \sin x + \cos x$

**Řešení:** Sledujte výpočet

$$\int 1 + \sin x + \cos x dx = x - \cos x + \sin x + C.$$

$x \in \mathbb{R}$

(f)  $f(x) = 7\sqrt[3]{x^2} + \frac{1}{2} \sin x - \frac{2}{1+x^2}$

**Řešení:**

$$\int 7\sqrt[3]{x^2} + \frac{1}{2} \sin x - \frac{2}{1+x^2} dx = \frac{7x^{5/3}}{5/3} - \frac{1}{2} \cos x - 2 \arctan x + c$$

$x \in \mathbb{R}$

(g)  $f(x) = \frac{2}{\cos^2 x} - e^x$

**Řešení:**

$$\int \frac{2}{\cos^2 x} - e^x dx = 2 \tan x - e^x + c$$

$x \in (-\frac{\pi}{2} + k\pi, \frac{\pi}{2} + k\pi), k \in \mathbb{Z}$

$$(h) f(x) = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} + \frac{1}{1+x^2} + 1 + x^2$$

**Řešení:**

$$\int \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} + \frac{1}{1+x^2} + 1 + x^2 = \arcsin x + \arctan x + x + \frac{x^3}{3} + c$$

$$x \in (-1, 1)$$

$$(i) f(x) = \sqrt{x^3} - \frac{1}{\sqrt{x}}$$

**Řešení:**

$$\int \sqrt{x^3} - \frac{1}{\sqrt{x}} dx = \frac{x^{5/2}}{5/2} - \frac{x^{1/2}}{1/2} + c$$

$$x \in (0, \infty)$$

$$(j) f(x) = \frac{3x^2 + 4x + 2}{3x}$$

**Řešení:**

$$\int \frac{3x^2 + 4x + 2}{3x} dx = \int x + \frac{4}{3} + \frac{2}{3x} dx = \frac{x^2}{2} + \frac{4x}{3} + \frac{2}{3} \log|x| + c$$

$$x \in (-\infty, 0), (0, \infty)$$

$$(k) f(x) = (1-x)(1-2x)(1-3x)$$

**Řešení:** Roznásobením

$$\int (1-x)(1-2x)(1-3x) dx = \int (1-6x+11x^2-6x^3) dx = x-3x^2+\frac{11}{3}x^3-\frac{3}{2}x^4+C.$$

$$x \in \mathbb{R}$$

$$(l) f(x) = \frac{x+1}{\sqrt{x}}$$

**Řešení:** Sledujte výpočet

$$\int \frac{x+1}{\sqrt{x}} dx = \int \left( \sqrt{x} + \frac{1}{\sqrt{x}} \right) dx = \int \left( x^{1/2} + x^{-1/2} \right) dx = \frac{x^{3/2}}{3/2} + \frac{x^{1/2}}{1/2} + C.$$

$$x \in (0, \infty)$$

2. Dokažte, že pokud  $F'(x) = f(x)$ , potom  $\left(\frac{1}{a}F(ax+b) + C\right)' = f(ax+b)$ , pokud  $a \neq 0$ .

**Řešení:** Plyne z Věty o aritmetice derivací a derivace složené funkce.

3. Najděte primitivní funkce  $F$  k následujícím funkcím  $f$  na maximální možné podmnožině reálných čísel a tuto množinu určete.

$$(a) f(x) = \cos(3x)$$

**Řešení:**

$$\int \cos 3x dx = \frac{1}{3} \sin 3x + c$$

$$x \in \mathbb{R}$$

$$(b) f(x) = \sin(2x - \pi)$$

**Řešení:**

$$\int \sin(2x - \pi) dx = -\frac{1}{2} \cos(2x - \pi) + c$$

$$x \in \mathbb{R}$$

(c)  $f(x) = e^{5-3x}$

**Řešení:**

$$\int e^{5-3x} dx = \frac{-1}{3} e^{5-3x} + c$$

$x \in \mathbb{R}$

(d)  $f(x) = \frac{1}{1+4x^2}$

**Řešení:**

$$\int \frac{1}{1+4x^2} dx = \int \frac{1}{1+(2x)^2} dx = \frac{1}{2} \arctan 2x + c$$

$x \in \mathbb{R}$

(e)  $f(x) = \frac{1}{1-4x}$

**Řešení:**

$$\int \frac{1}{1-4x} = -\frac{1}{4} \log |1-4x| + c$$

$x \in (-\infty, \frac{1}{4}), (\frac{1}{4}, \infty)$

(f)  $f(x) = (2x+1)^7$

**Řešení:**

$$\int (2x+1)^7 dx = \frac{1}{16} (2x+1)^8 + c$$

$x \in \mathbb{R}$

(g)  $f(x) = e^{3x} + \frac{7}{x}$

**Řešení:**

$$\int e^{3x} + \frac{7}{x} dx = \frac{1}{3} e^{3x} + 7 \log |x| + c$$

$x \in (-\infty, 0), (0, \infty)$

(h)  $f(x) = e^{-x} + e^{-2x}$

**Řešení:** Pomocí lineární substituce  $y = -x$ , resp.  $y = -2x$  dostaneme

$$\int e^{-x} + e^{-2x} dx \stackrel{C}{=} -e^{-x} - \frac{1}{2} e^{-2x}$$

$x \in \mathbb{R}$

(i)  $f(x) = (3-x^2)^3$

**Řešení:** Tento příklad substituovat nelze, je třeba roznásobit.

$$\int (3-x^2)^3 dx = \int (27 - 27x^2 + 9x^4 - x^6) dx = 27x - 9x^3 + \frac{9}{5}x^5 - \frac{x^7}{7} + C.$$

$x \in \mathbb{R}$

(j)  $f(x) = (\sin 5x - \sin 5\alpha)$

**Řešení:** Pomocí lineární substituce  $y = 5x$  dostaneme

$$\int (\sin 5x - \sin 5\alpha) dx = -\frac{1}{5} \cos 5x - x \sin 5\alpha + c,$$

$x \in \mathbb{R}$ ,

neboť  $\sin 5\alpha$  je konstantní funkce (nezávislá na proměnné  $x$ ).

(k)  $f(x) = \frac{1}{x-2} + (3x+7)^5$

**Řešení:**

$$\int \frac{1}{x-2} + (3x+7)^5 dx = \log|x-2| + \frac{1}{18}(3x+7)^6 + c$$

$$x \in (-\infty, 2), (2, \infty)$$

(l)  $f(x) = \frac{1}{\sin^2(2x + \frac{\pi}{4})}$

**Řešení:** Pomocí lineární substituce  $y = 2x + \frac{\pi}{4}$  dostaneme

$$\int \frac{1}{\sin^2(2x + \frac{\pi}{4})} dx \stackrel{C}{=} -\frac{1}{2} \cotg\left(2x + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$2x + \frac{\pi}{4} \neq k\pi, \text{ tedy } x \neq k\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{8}, k \in \mathbb{Z}$$

$$\text{Závěr: } x \in \left(-\frac{\pi}{8} + k\frac{\pi}{2}, \frac{3}{8}\pi + k\frac{\pi}{2}\right).$$

(m)  $f(x) = \frac{-2}{\sqrt{1-2x^2}}$  **Řešení:**

$$\int \frac{-2}{\sqrt{1-2x^2}} dx = \int \frac{-2}{\sqrt{1-(\sqrt{2}x)^2}} dx = \frac{-2}{\sqrt{2}} \arcsin(\sqrt{2}x) + c$$

$$\sqrt{2}x \in (-1, 1), \text{ tedy } x \in \left(-\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}\right).$$

(n)  $f(x) = \frac{1}{x+A}$

**Řešení:** Víme, že primitivní funkce k funkci  $\frac{1}{x}$  je  $\log|x| + C$ . Tedy primitivní funkce k funkci  $\frac{1}{ax+b}$  je  $\frac{1}{a} \log|ax+b| + C$ . Odtud vyplývá, že (položte  $a = 1, b = A$ )

$$\int \frac{1}{x+A} dx = \log|x+A| + C.$$

$$x \in (-\infty, -A), (-A, \infty)$$

4. Najděte primitivní funkce  $F$  k následujícím funkcím  $f$  na maximální možné podmnožině reálných čísel a tuto množinu určete.

(a)  $f(x) = \frac{e^{2x}-1}{e^x+1} + \frac{4}{1-\cos^2 x}$

**Řešení:**

$$\begin{aligned} \int \frac{e^{2x}-1}{e^x+1} + \frac{4}{1-\cos^2 x} dx &= \int \frac{(e^x-1)(e^x+1)}{e^x+1} + \frac{4}{\sin^2 x} dx = \int (e^x-1) + \frac{4}{\sin^2 x} dx \\ &= e^x - x - 4 \cot x + c \end{aligned}$$

$$x \in (k\pi, \pi + k\pi), k \in \mathbb{Z}$$

(b)  $f(x) = \frac{1}{\sqrt{4-(3x-1)^2}}$

**Řešení:**

$$\int \frac{1}{\sqrt{4-(3x-1)^2}} dx = \int \frac{1}{2\sqrt{1-\left(\frac{3x-1}{2}\right)^2}} dx = \frac{1}{3} \arcsin\left(\frac{3x-1}{2}\right) + c$$

$$x \in (-1/3, 1)$$

(c)  $f(x) = (1 - \sqrt{x})^2$

**Řešení:**

$$\int (1 - \sqrt{x})^2 dx = \int 1 - 2\sqrt{x} + x dx = x - \frac{4}{3}\sqrt{x^3} + \frac{x^2}{2} + c$$

$x \in (0, \infty)$

(d)  $f(x) = \tan^2 x$

**Řešení:** Sledujte výpočet

$$\int \operatorname{tg}^2 x dx = \int \frac{\sin^2 x}{\cos^2 x} dx = \int \frac{1 - \cos^2 x}{\cos^2 x} dx = \int \left( \frac{1}{\cos^2 x} - 1 \right) dx = \operatorname{tg} x - x + C.$$

$x \in (-\frac{\pi}{2} + k\pi, \frac{\pi}{2} + k\pi), k \in \mathbb{Z}$

(e)  $f(x) = \frac{x^2}{1+x^2}$

**Řešení:** Sledujte výpočet

$$\int \frac{x^2}{1+x^2} dx = \int \frac{(1+x^2) - 1}{1+x^2} dx = \int \left( 1 - \frac{1}{1+x^2} \right) dx = x - \arctan x + C.$$

$x \in \mathbb{R}$

(f)  $f(x) = \frac{x^2 + 3}{x^2 - 1}$

**Řešení:** Sledujte výpočet

$$\begin{aligned} \int \frac{x^2 + 3}{x^2 - 1} dx &= \int \frac{x^2 - 1 + 4}{x^2 - 1} dx = \int \left( 1 + \frac{4}{x^2 - 1} \right) dx = \int \left( 1 - \frac{4}{1 - x^2} \right) dx \\ &= x - 2 \log \left| \frac{1+x}{1-x} \right| + C. \end{aligned}$$

$x \in (-\infty, -1), (-1, 1), (1, \infty)$

(g)  $f(x) = (2^x + 3^x)^2$

**Řešení:** Sledujte výpočet

$$\int (2^x + 3^x)^2 dx = \int (4^x + 2 \cdot 6^x + 9^x) dx = \frac{4^x}{\log 4} + \frac{2 \cdot 6^x}{\log 6} + \frac{9^x}{\log 9} + C.$$

$x \in \mathbb{R}$

(h)  $f(x) = \frac{1}{2 + 3x^2}$

**Řešení:** Výraz převedeme na tvar  $\frac{1}{1+c^2x^2}$  a poté uijeme substituci  $y = cx$ .

$$\int \frac{1}{2 + 3x^2} dx = \frac{1}{2} \int \frac{1}{1 + \left(\sqrt{\frac{3}{2}}x\right)^2} dx \stackrel{C}{=} \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2}{3}} \arctan \sqrt{\frac{3}{2}}x = \sqrt{\frac{1}{6}} \arctan \sqrt{\frac{3}{2}}x$$

$x \in \mathbb{R}$

(i)  $f(x) = \operatorname{cotg}^2 x$

**Řešení:** Sledujte výpočet

$$\begin{aligned} \int \operatorname{cotg}^2 x dx &= \int \frac{\cos^2 x}{\sin^2 x} dx = \int \frac{1 - \sin^2 x}{\sin^2 x} dx = \int \left( \frac{1}{\sin^2 x} - 1 \right) dx \\ &= -\operatorname{cotg} x - x + C. \end{aligned}$$

$x \in (k\pi, \pi + k\pi), k \in \mathbb{Z}$

(j)  $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2-5x}}$

**Řešení:** Protože je

$$\int \frac{1}{\sqrt{y}} dy = 2\sqrt{y},$$

platí

$$\int \frac{1}{\sqrt{2-5x}} dx \stackrel{C}{=} \frac{1}{-5} \cdot 2\sqrt{2-5x} = -\frac{2}{5}\sqrt{2-5x}$$

$$x \in (-\infty, 2/5)$$

(k)  $f(x) = \left(\frac{a}{x} + \frac{a^2}{x^2} + \frac{a^3}{x^3}\right), a \in \mathbb{R}$

**Řešení:** Sledujte výpočet

$$\int \left(\frac{a}{x} + \frac{a^2}{x^2} + \frac{a^3}{x^3}\right) dx = a \log|x| - \frac{a^2}{x} - \frac{a^3}{2x^2} + C.$$

$$x \in (-\infty, 0), (0, \infty)$$

5. Najděte takovou funkci, aby  $f'(x) = 6x(1-x)$  a  $f(0) = 1$ .

**Řešení:**  $\int 6x(1-x) dx = -2x^3 + 3x^2 + c$ . Ježto máme  $f(0) = 1$ , tak  $1 = -2 \cdot 0^3 + 3 \cdot 0^2 + c = c$ . Hledaná funkce je tedy  $f(x) = -2x^3 + 3x^2 + 1, x \in \mathbb{R}$ .

6. Najděte chyby

(a)  $\int x^2 e^x dx = \frac{1}{3}x^3 e^x + c$

**Řešení:** Integrál součinu není součin integrálů, stejně jako derivace součinu není součin derivací. Správně je

$$\int x^2 e^x dx = e^x(x^2 - 2x + 2) + c$$

(b)  $\int \frac{x}{\sqrt{1-x^2}} dx = x \int \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} dx = x \arcsin x + c$

**Řešení:**  $x$  nelze vytknout před integrál, to můžeme jen u konstanty.

$$\int \frac{x}{\sqrt{1-x^2}} dx = -\sqrt{1-x^2} + c$$