

Cvičení – Komplexní analýza 2026/2027

Cvičení 4

Úloha 1. Mocnninná řada $\sum_{n=0}^{\infty} a_n(z-2i)^n$ má poloměr konvergence $R = 3$. Konverguje v bodě $z_1 = 2+3i$ a v bodě $z_2 = 2-i$?

Úloha 2. Nalezněte součet $f(z)$ mocninné řady na jejím kruhu konvergence a určete jeho parametry.

- (a) $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(2n+1)}{n!} z^{2n+3}$
- (b) $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n(n+2)}{2^{n+1}} z^{n+5}$
- (c) $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{(n+1)5^{n+1}} z^{n+3}$
- (d) $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{2^n}{n!(2n+2)} z^{2n+5}$

Úloha 3. Rozviňte funkci $f(z)$ do mocninné řady se středem v z_0 a určete parametry jejího kruhu konvergence.

- (a) $f(z) = \frac{z-3}{1-2z}$, $z_0 = 3$
- (b) $f(z) = \frac{1}{(z+6)^2}$, $z_0 = -4$
- (c) $f(z) = \frac{1}{(z+6)^3}$, $z_0 = -4$
- (d) $f(z) = (z-2)^4 e^{3z}$, $z_0 = 2$
- (e) $f(z) = \frac{(z+1)^5}{z^2+z-2}$, $z_0 = -1$

Pro nudící se

Úloha 4. Nalezněte součet $f(z)$ mocninné řady na jejím kruhu konvergence a určete jeho parametry.

- (a) $\sum_{n=1}^{\infty} n(n+1)z^n$
- (b) $\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{2^n n} z^n$

Úloha 5. O mocninné řadě se středem $z_0 = i$ víme, že konverguje v bodech 0 , $-i$ a $\frac{5}{2}i$. Dále víme, že nekonverguje v bodech $3i$, $4+2i$ a $-2i$. Jaký je její poloměr konvergence?

Úloha 6. Rozviňte funkci $f(z)$ do mocninné řady se středem v z_0 a určete parametry jejího kruhu konvergence.

- (a) $f(z) = z^2$, $z_0 = 1$
- (b) $f(z) = \frac{1}{z(z+1)}$, $z_0 = i$
- (c) $f(z) = \frac{z^3-2z+1}{z+2}$, $z_0 = 1$

Úloha 7. Pomocí mocninných řad nalezněte na okolí bodu 0 řešení rovnice

$$(z^2 + 1)f''(z) - 4zf'(z) + 6f(z) = 0$$

splňující počáteční podmínky $f(0) = 1$ a $f'(0) = -1$.

[Nápověda: Předpokládejte, že (alespoň na okolí 0) lze řešení rovnice nalézt ve tvaru mocninné řady $f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n z^n$ a dosadte do rovnice.]

Mocninné řady

Připomenutí.

- Mocninná řada je řada tvaru

$$\sum_{n=0}^{\infty} a_n (z - z_0)^n,$$

kde $\{a_n\}_{n=0}^{\infty}$ je daná číselná posloupnost (tzv. **koefficienty mocninné řady**), z je proměnná a z_0 je pevně dané číslo (tzv. **střed mocninné řady**).

- ★ Pro každou mocninnou řadu existuje (právě jedno) $R \in [0, \infty]$ takové, že řada absolutně konverguje na otevřeném kruhu se středem v z_0 a poloměru R , a diverguje na množině $\{z \in \mathbb{C}: |z - z_0| > R\}$. Toto R se nazývá **poloměr konvergence mocninné řady**. Otevřený kruh se středem z_0 a poloměru R se nazývá **kruh konvergence mocninné řady**.
- ★ $R = \infty$ znamená, že kruh konvergence je celá komplexní rovina. Pokud je $R = 0$, tak je tento otevřený kruh vlastně prázdná množina. Příklad $R = 0$ nastat může, ale takové mocninné řady jsou pro nás nezajímavé, protože s nimi nejde nic moc dále dělat.
- ★ Mocninná řada neobsahuje záporné mocniny $(z - z_0)$.
- Pro určení součtů mocninných řad je třeba znát některé známé součty, zejména:
 - ★ $\sum_{n=0}^{\infty} z^n = \frac{1}{1-z}$ pro $|z| < 1$ (geometrická řada)
 - ★ $\sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^n}{n!} = e^z$ pro libovolné $z \in \mathbb{C}$ (rozvoj exponenciály)
- Mocninnou řadu (s kladným poloměrem konvergence) lze na jejím kruhu konvergence derivovat a integrovat člen po členu. Výsledkem je zase mocninná řada, která má stejný kruh konvergence. Na kruhu konvergence platí:
 - ★ $(\sum_{n=0}^{\infty} a_n (z - z_0)^n)' = \sum_{n=1}^{\infty} a_n n (z - z_0)^{n-1}$
 - ★ $\int (\sum_{n=0}^{\infty} a_n (z - z_0)^n) dz \stackrel{C}{=} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{a_n}{n+1} (z - z_0)^{n+1}$
- Jednoduché parciální zlomky (tj. s lineárním polynomem ve jmenovateli) rozvíjíme pomocí známého součtu geometrické řady.
- Správný střed si vyrobíme přepsáním $z = (z - z_0) + z_0$.
- Parciální zlomky odpovídající vyšší násobnosti kořene převedeme pomocí integrování na jednoduché, které umíme rozvinout. Následně derivujeme, abychom získali požadovaný rozvoj.

Výsledky

Úloha 1: V z_1 ano, v z_2 ne.

Úloha 2: (a) $z^3 e^{z^2} (2z^2 + 1)$ pro každé $z \in \mathbb{C}$ ($z_0 = 0$, $R = \infty$)

(b) $\frac{z^6 + 4z^5}{(z+2)^2}$ pro $|z| < 2$ ($z_0 = 0$, $R = 2$)

(c) $z^2 (\ln(z+5) - \ln 5)$ pro $|z| < 5$ ($z_0 = 0$, $R = 5$)

(d) $\frac{z^3}{4} (e^{2z^2} - 1)$ pro každé $z \in \mathbb{C}$ ($z_0 = 0$, $R = \infty$)

Úloha 3: (a) $f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2^n}{(-5)^{n+1}} (z-3)^{n+1}$ pro $|z-3| < \frac{5}{2}$ (tj. $R = \frac{5}{2}$)

(b) $f(z) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{2^{n+1}} n (z+4)^{n-1}$ pro $|z+4| < 2$ (tj. $R = 2$)

(c) $f(z) = \sum_{n=2}^{\infty} \frac{(-1)^n}{2^{n+2}} n(n-1) (z+4)^{n-2}$ pro $|z+4| < 2$ (tj. $R = 2$)

(d) $f(z) = e^6 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{3^n (z-2)^{n+4}}{n!}$ pro každé $z \in \mathbb{C}$ (tj. $R = \infty$)

(e) $f(z) = -\frac{1}{3} \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n (z+1)^{n+5} - \frac{1}{3} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(z+1)^{n+5}}{2^{n+1}}$ pro $|z+1| < 1$ (tj. $R = 1$)

Úloha 4: (a) $\frac{2z}{(1-z)^3}$ pro $|z| < 1$ ($z_0 = 0$, $R = 1$)

(b) $\ln(2+z) - \ln 2$ pro $|z| < 2$ ($z_0 = 0$, $R = 2$)

Úloha 5: Poloměr konvergence je 2.

Úloha 6: (a) $f(z) = 1 + 2(z-1) + (z-1)^2$ pro $z \in \mathbb{C}$

(b) $f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \left(i^{n-1} - \frac{(-1)^n}{(1+i)^{n+1}} \right) (z-i)^n$ pro $|z-i| < 1$ (tj. $R = 1$)

(c) $f(z) = (z-1)^2 - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n}{3^n} (z-1)^n$ pro $|z-1| < 3$ (tj. $R = 3$)

Úloha 7: $f(z) = 1 - z - 3z^2 + \frac{1}{3}z^3$ pro $z \in \mathbb{C}$.