



20. cvičení – Totální diferenciál

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

Teorie

Definice 1. Parciální derivací funkce f v bodě $a = (a_1, a_2, \dots, a_n) \in \mathbb{R}^n$ podle proměnné x_i definujeme jako limitu

$$\frac{\partial f}{\partial x_i}(a) = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{f(a_1, a_2, \dots, a_i + t, \dots, a_n) - f(a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)}{t}.$$

Definice 2. Derivace (totální diferenciál)

Nechť je dána reálná funkce n -proměnných $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$, definovaná na nějakém okolí bodu $a \in \mathbb{R}^n$. Pokud existuje lineární zobrazení $L : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ takové, že

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(a+h) - f(a) - L(h)}{\|h\|} = 0,$$

potom toto lineární zobrazení L značíme $df(a)$ nebo také $f'(a)$ a nazýváme jej **derivací** nebo také **totálním diferenciálem** funkce f v bodě a . Zobrazení, které bodu a přiřazuje $df(a)$, resp. $f'(a)$, značíme df , resp. f' a nazýváme jej diferenciálem funkce f .

Věta 3. Nechť funkce $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ má totální diferenciál $df(a)$ v bodě a . Potom $df(a)$ je lineární zobrazení, které vektoru $h = (h_1, h_2, \dots, h_n) \in \mathbb{R}^n$ přiřazuje číslo $df(a)(h)$ a platí, že

$$df(a)(h) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f(a)}{\partial x_i} h_i.$$

Věta 4. Nechť $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ je reálná funkce, jejíž všechny parciální derivace jsou **spojité** v bodě a . Potom funkce f má v bodě a totální diferenciál určený předpisem

$$df(a) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f(a)}{\partial x_i} dx_i.$$

Hinty

$$\begin{aligned} 2|xy| &\leq x^2 + y^2, & \pm 2xy &\leq x^2 + y^2 \\ \max\{|x|, |y|\} &\leq \sqrt{x^2 + y^2} \leq \sqrt{2} \max\{|x|, |y|\} \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(|x| + |y|) &\leq \sqrt{x^2 + y^2} \leq |x| + |y| \\ |a|^3 + |b|^3 &\leq (|a| + |b|)(|a|^2 + |b|^2) \end{aligned}$$

Algoritmus - Totální diferenciál $f(x, y)$

1. Určíme **definiční obor** $f(x, y)$.
2. Pokud je to potřeba, **spojitě dodefinujeme** funkci $f(x, y)$. (Stačí dodefinovat např. dvojnásobnou limitou, případnou spojitost dá existence tot. diferenciálu.)

3. Spočteme **parciální derivace** mechanicky nebo podle definice (jako minule) všude, kde to jde (nebo v bodě, na který jsme tázáni).
4. Spočteme **totální diferenciál**.
 - (a) Jestliže má funkce v daném bodě spojitě parciální derivace, pak je totální diferenciál dán předpisem z Věty 4.
 - (b) Jestliže funkce má parciální derivace (ale nejsou spojitě nebo nevíme, zda jsou spojitě), dopočítáme totální diferenciál z definice - kandidátem jsou pak parciální derivace.
 - (c) Jestliže funkce někde není spojitá nebo dokonce definovaná, totální diferenciál tam funkce nemá.
 - (d) Jestliže parciální derivace v nějakém bodě neexistují nebo nejsou vlastní, totální diferenciál tam funkce nemá.

Příklady

1. Určete definiční obor, parciální derivace a totální diferenciál následujících funkcí

(a) $x^2 - 2xy - 3y^2$ (b) $\arctan \frac{x-y}{x+y}$ (c) $xy \log(x+y)$

2. Určete parciální derivace a tot. diferenciál v bodě $(0,0)$:

(a) $|y| \sin x$ (c) $\sqrt{|x|^3 + |y|^3}$
 (b) $\cos \sqrt[3]{xy}$ (d) $\sqrt[3]{xy}$

(e) $f(x,y) = \begin{cases} (x^2 + y^2) \sin \frac{1}{x^2 + y^2}, & (x,y) \neq (0,0) \\ 0, & (x,y) = (0,0) \end{cases}$

3. Dodefinujte funkci $f(x,y) = \frac{x^3 y}{x^2 + y^2}$ tak, aby měla totální diferenciál ve všech bodech a spočtěte ho.
4. Dodefinujte funkci $f(x,y) = \frac{xy}{\sqrt{x^2 + y^2}}$ tak, aby měla totální diferenciál ve všech bodech a spočtěte ho.
5. Lze dodefinovat funkci $f(x,y) = \frac{x+y}{x^2 + y^2} \ln(1+xy)$ na nějakém okolí počátku tak, aby v něm měla totální diferenciál?
6. Ověřte z definice totální diferenciál funkce $x^2 + y^2$ v bodě $[x_0, y_0]$.

(2a) $|x| \leq x^2 + y^2$
 (2b) Limitu pro totální diferenciál budeme počítat zvlášť pro osy h_1 a h_2 a zvlášť pro zbytek definičního oboru. Když limitu vzhledem k těmto množinám vyjádříme stejně, existuje i celková limita.
 (2c) $\sqrt{|h_1|^3 + |h_2|^3} \leq \sqrt{(|h_1| + |h_2|)(|h_1|^2 + |h_2|^2)} \leq \sqrt{2(|h_1| + |h_2|)} \sqrt{|h_1|^2 + |h_2|^2} \leq \sqrt{2} \sqrt{|h_1| + |h_2|} \sqrt{|h_1|^2 + |h_2|^2}$
 (2d) Limitu pro h_1 a h_2 spočteme mechanicky.
 (2e) omezená a mizející
 (3) $|x| \leq x^2 + y^2$
 (4) Limitu pro h_2 spočteme mechanicky.
 (5) Limita po přímce $h_1 = h_2$