

GTK NG,PSZ 2022. ősz

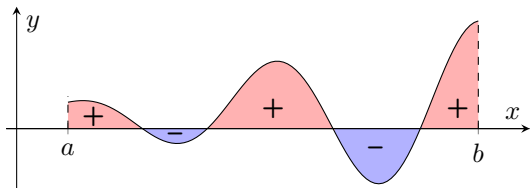
belus@math.bme.hu

geometria.math.bme.hu/bela-szilvia

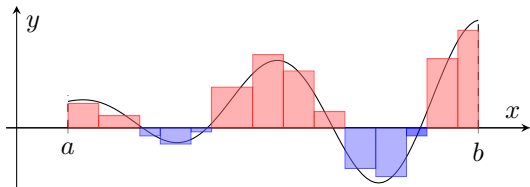
**19. előadás:
Riemann integrál tulajdonságai,
Határozott integrál,
Newton-Leibniz tétel.**

Riemann-integrál

Adott egy $f : [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$ **korlátos** függvény. A grafikon "alatti" területet szeretnénk kiszámolni: az x -tengely, $x = a$, $x = b$ függőleges egyenesek és a grafikon által határolt síkidom **előjeles** területét.



Ötlet: közelítsük téglalapok területösszegével a teljes síkidom területét.



Riemann-integrál

Ehhez **felosztjuk** az $[a, b]$ intervallumot $\mathcal{P} = \{x_0, x_1, \dots, x_n\}$ pontokkal, hogy:

$$a = x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_{n-1} < x_n = b.$$

és minden **részintervallumon** választunk egy **közbülső** pontot:

$$\xi_i \in [x_{i-1}, x_i] \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

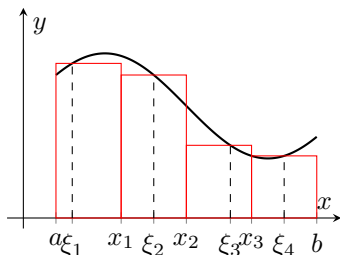
A területet **közelítő összeg**, ahol minden részintervallum hossza $\Delta_i = x_i - x_{i-1}$:

$$T_{\mathcal{P}} = \sum_{i=1}^n f(\xi_i)(x_i - x_{i-1}) = \sum_{i=1}^n f(\xi_i)\Delta_i.$$

Ha finomítjuk a felosztást, azaz további osztópontokat veszünk hozzá \mathcal{P} -hez, úgy hogy $\max\{\Delta_i\} \rightarrow 0$, akkor a közelítőösszegek határértékét

$$\int_a^b f(x) dx \text{-vel jelöljük.}$$

Ez a határérték megegyezik a függvény alatti területtel, ha f folytonos.



Definíció: Ha f az $[a, b] \subseteq D_f$ intervallumon adott korlátos függvény. Az $[a, b]$ intervallumon adott bármely \mathcal{P} felosztást finomítva – úgy hogy a részintervallumok hossza a 0-hoz tart – a közelítőösszegek határértéke létezik, és minden felosztásra és finomításra azonos, akkor azt mondjuk, hogy f **Riemann-szerint integrálható** $[a, b]$ -n.

Tétel: Ha f az $[a, b] \subseteq D_f$ intervallumon folytonos, akkor Riemann-szerint integrálható függvény. (Az integrál értéke a függvény "alatti" síkidom területével egyezik meg.)

Tétel: Ha f az $[a, b] \subseteq D_f$ intervallumon Riemann-szerint integrálható függvény, akkor bármely $[c, d] \subseteq [a, b]$ intervallumon is.

Riemann-integrál tulajdonságai

Ha f az $[a, b] \subset D_f$ intervallumon Riemann-szerint integrálható függvény, akkor

- $\int_a^a f(x) dx = 0,$
 - $\int_a^b f(x) dx = - \int_b^a f(x) dx,$
 - $\int_a^b f(x) dx = \int_a^\xi f(x) dx + \int_\xi^b f(x) dx,$ ahol $\xi \in [a, b]$ **additív**
 - $\int_a^b c f(x) dx = c \int_a^b f(x) dx,$
 - $\int_a^b f(x) + g(x) dx = \int_a^b f(x) dx + \int_a^b g(x) dx,$
 - $\int_a^b f(x) dx \leq \int_a^b g(x) dx,$ ahol $f(x) \leq g(x), \quad \forall x \in [a, b]$
- monoton** } **lineáris**

Newton–Leibniz-tétel

Tétel [Newton–Leibniz]: Ha f integrálható az $[a, b]$ intervallumon és f -nek létezik itt F primitív függvénye, mely folytonos az $[a, b]$ intervallumon, akkor

$$\int_a^b f(x) dx = F(b) - F(a) =: [F(x)]_a^b - \text{jelölés.}$$

Példák:

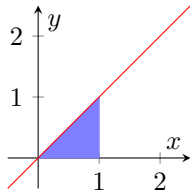
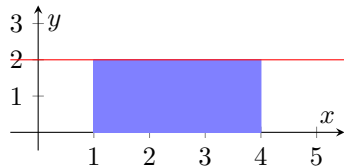
1) $f(x) = 2$ és $[a, b] = [1, 4]$.

Ekkor $F(x) = 2x$, és így:

$$\int_1^4 2 dx = [2x]_1^4 = 8 - 2 = 6$$

2) $f(x) = x$ és $[a, b] = [0, 1]$

$$\int_0^1 x dx = \left[\frac{x^2}{2} \right]_0^1 = \frac{1}{2}$$



Példák

3) $f(x) = x^2$, $[a, b] = [-1, 1]$

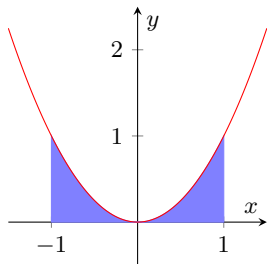
$$\int_{-1}^1 x^2 dx =$$

Példák

3) $f(x) = x^2$, $[a, b] = [-1, 1]$

$$\int_{-1}^1 x^2 dx = \left[\frac{x^3}{3} \right]_{-1}^1 = \frac{1}{3} - \frac{-1}{3} = \frac{2}{3}$$

$$= 2 \int_0^1 x^2 dx, \text{ mert } f \text{ páros.}$$

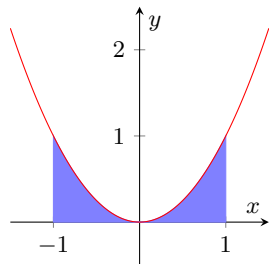


Példák

3) $f(x) = x^2$, $[a, b] = [-1, 1]$

$$\int_{-1}^1 x^2 dx = \left[\frac{x^3}{3} \right]_{-1}^1 = \frac{1}{3} - \frac{-1}{3} = \frac{2}{3}$$

$$= 2 \int_0^1 x^2 dx, \text{ mert } f \text{ páros.}$$



4) $f(x) = \sin x$, $[a, b] = [0, \pi]$

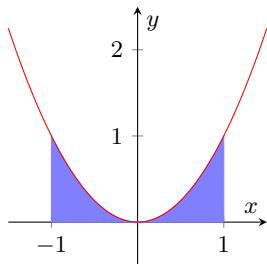
$$\int_0^\pi \sin x dx =$$

Példák

3) $f(x) = x^2$, $[a, b] = [-1, 1]$

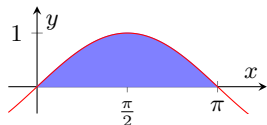
$$\int_{-1}^1 x^2 dx = \left[\frac{x^3}{3} \right]_{-1}^1 = \frac{1}{3} - \frac{-1}{3} = \frac{2}{3}$$

$$= 2 \int_0^1 x^2 dx, \text{ mert } f \text{ páros.}$$



4) $f(x) = \sin x$, $[a, b] = [0, \pi]$

$$\int_0^\pi \sin x dx = [-\cos x]_0^\pi = 1 - (-1) = 2.$$

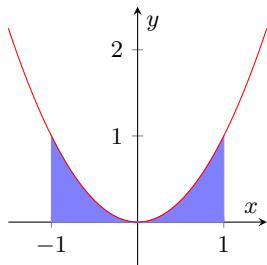


Példák

3) $f(x) = x^2$, $[a, b] = [-1, 1]$

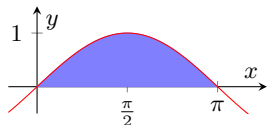
$$\int_{-1}^1 x^2 dx = \left[\frac{x^3}{3} \right]_{-1}^1 = \frac{1}{3} - \frac{-1}{3} = \frac{2}{3}$$

$$= 2 \int_0^1 x^2 dx, \text{ mert } f \text{ páros.}$$



4) $f(x) = \sin x$, $[a, b] = [0, \pi]$

$$\int_0^\pi \sin x dx = [-\cos x]_0^\pi = 1 - (-1) = 2.$$



5) $f(x) = \sin x$, $[a, b] = [-\pi, \pi]$

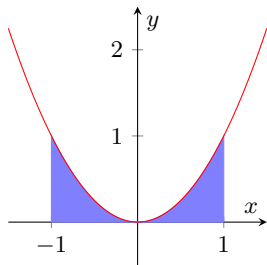
$$\int_{-\pi}^\pi \sin x dx =$$

Példák

3) $f(x) = x^2$, $[a, b] = [-1, 1]$

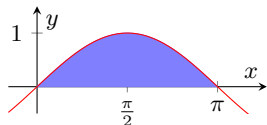
$$\int_{-1}^1 x^2 dx = \left[\frac{x^3}{3} \right]_{-1}^1 = \frac{1}{3} - \frac{-1}{3} = \frac{2}{3}$$

$$= 2 \int_0^1 x^2 dx, \text{ mert } f \text{ páros.}$$



4) $f(x) = \sin x$, $[a, b] = [0, \pi]$

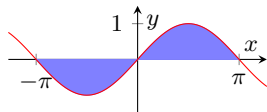
$$\int_0^\pi \sin x dx = [-\cos x]_0^\pi = 1 - (-1) = 2.$$



5) $f(x) = \sin x$, $[a, b] = [-\pi, \pi]$

$$\int_{-\pi}^\pi \sin x dx = [-\cos x]_{-\pi}^\pi = 1 - 1 = 0$$

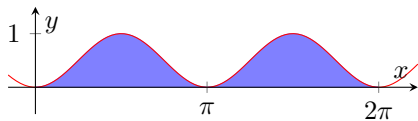
$$= \int_{-\pi}^0 \sin x dx + \int_0^\pi \sin x dx = \int_{-\pi}^0 \sin x dx - \int_{-\pi}^0 \sin x dx, \text{ mert } f \text{ páratlan.}$$



Példa

$$f(x) = \sin^2 x, [a, b] = [0, 2\pi]$$

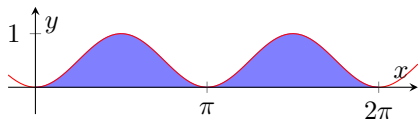
$$\int_0^{2\pi} \sin^2 x \, dx$$



Példa

$$f(x) = \sin^2 x, [a, b] = [0, 2\pi]$$

$$\int_0^{2\pi} \sin^2 x \, dx$$



A $\sin^2 x = \frac{1 - \cos(2x)}{2}$ azonosság felhasználásával:

$$\int_0^{2\pi} \sin^2 x \, dx = \int_0^{2\pi} \frac{1 - \cos(2x)}{2} \, dx = \left[\frac{x}{2} - \frac{\sin(2x)}{4} \right]_0^{2\pi} = \frac{2\pi}{2} - 0 = \pi$$

Integrálfüggvény

Definíció: Ha az $f(x)$ függvény folytonos az $[a, b]$ intervallumon, akkor az

$$F : x \mapsto \int_a^x f(t) dt \quad \text{függvény az **integrálfüggvénye**.$$

Példa:

$f(x) = 2x$ és $a = 0$ esetén az integrálfüggvény:

$$F(x) = \int_0^x 2t dt = [t^2]_0^x = x^2.$$

Tétel: Ha f folytonos, akkor az integrálfüggvénye $[a, b]$ -n differenciálható, és ekkor az integrálfüggvény f primitív függvénye.

Így minden folytonos függvénynek van primitív függvénye, de nem mindig tudjuk elemi függvényekkel kifejezni (pl.: e^{-x^2}).

Határozott integrál alkalmazása – Területszámítás

Határozzuk meg az $y = x^2$ parabola és az $y = 2x + 3$ egyenes által határolt (korlátos) síkidom területét!

Határozott integrál alkalmazása – Területszámítás

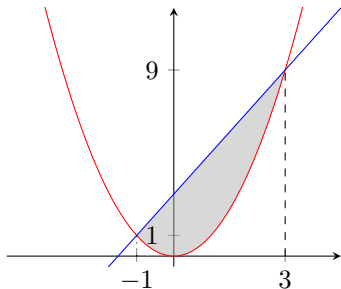
Határozzuk meg az $y = x^2$ parabola és az $y = 2x + 3$ egyenes által határolt (korlátos) síkidom területét!

Először számoljuk ki a metszéspontokat!

$$x^2 = 2x + 3$$

$$x^2 - 2x - 3 = 0$$

$$x_{1,2} = \frac{2 \pm \sqrt{4 - 4(-3)}}{2} = \frac{2 \pm 4}{2} = -1 \quad 3$$



Így a következő integrált kell kiszámítanunk:

$$\int_{-1}^3 2x + 3 - x^2 \, dx = \left[x^2 + 3x - \frac{x^3}{3} \right]_{-1}^3 = (9 + 9 - 9) - \left(1 - 3 - \frac{-1}{3} \right) = \frac{32}{3}$$