# 25 Goniometrické rovnice – met.

## Stručný přehled teorie

**Goniometrické rovnice:** - obsahují neznámou **x** nebo výraz s neznámou **x** jako argumenty jedné nebo více goniometrických funkcí:
$f\big(\sin(g(x)), \cos(h(x)), \mathrm{tg}(j(x)), \mathrm{cotg}(k(x))\big) = 0$

Velmi často se při řešení goniometrických rovnic využívá takových úprav, kterými se získá rovnice obsahující jen jediný typ goniometrické funkce.

**Typy goniometrických rovnic:**

**a) základní** $\boxed{\left.\begin{matrix}\sin x = a\\ \cos x = a\end{matrix}\right\}, \text{ kde } a \in \langle -1; 1\rangle}$ … tyto rovnice mají nekonečně mnoho řešení lišících se periodou $2k\pi$, kde $k \in Z$

Pozn. Pro $a \in \left\{0, \pm\frac{1}{2}, \pm\frac{\sqrt{2}}{2}, \pm\frac{\sqrt{3}}{2}, \pm 1\right\}$ musí zvládnout student gymnázia řešení těchto základních rovnic bez kalkulačky, pouze s využitím jednotkové kružnice, případně grafu příslušné funkce

---

$\boxed{\left.\begin{matrix}\mathrm{tg}\, x = a\\ \mathrm{cotg}\, x = a\end{matrix}\right\}, \text{ kde } a \in R}$ … tyto rovnice mají nekonečně mnoho řešení lišících se periodou $k\pi$, kde $k \in Z$

Pozn. Pro $a \in \left\{0, \pm\frac{\sqrt{3}}{3}, \pm 1, \pm\sqrt{3}\right\}$ musí zvládnout student gymnázia řešení těchto základních rovnic bez kalkulačky, pouze s využitím jednotkové kružnice, případně grafu příslušné funkce

---

*Další příklady základních rovnic: a.sin f(x) = b, a.cos f(x) = b, a.tg f(x) = b, a.cotg f(x) = b*

(Např. $2.\sin\left(3x - \frac{\pi}{4}\right) = -1$)

---

**b) vedoucí k algebraické rovnici – např. ke kvadratické či bikvadratické rovnici**
- řeší se většinou užitím substituce

(Např. $\sqrt{3}.tg^2\, x + 2.tg\, x - \sqrt{3} = 0$, $\sin^2 x + 2.\sin x - 3 = 0$, …)

**c) využívající vztahů mezi goniometrickými funkcemi** (většina goniometrických rovnic)

(Např. $6.\sin^2 x - 7.\cos x - 1 = 0$, $\sqrt{3}.\sin x - \cos x = \sqrt{2}$, $\sin 2x + \cos 2x = 1 + \mathrm{tg}\, x$, …)

**d) využívající srovnání hodnot goniometrických funkcí**

(Např. $\sin\left(x + \frac{\pi}{2}\right) = -\cos(\pi - 3x)$, …)

Met.: Téma goniometrických rovnic patří ve středoškolské matematice k tématům velmi náročným. Goniometrických rovnic existuje nepřeberné množství. Jejich kategorizace je obtížná a problematická, protože drtivá většina goniometrických rovnic nespadá striktně pouze do jediné kategorie, ať už ji specifikujeme jakkoli. O to větší pozornost musí učitel věnovat tomu, aby studenty naučil postupům, které jsou optimální při řešení nejjednodušších základních goniometrických rovnic. Pokud budou studenti tyto postupy znát a s jistotou zvládat, budou se moci pustit i do řešení komplikovanějších rovnic, které často obsahují více goniometrických funkcí i více členů. Při úpravách takových rovnic se nejčastěji používá buď jejich převedení (za pomoci vzorců) do základního tvaru, ve kterém se vyskytuje jen jediná goniometrická funkce, nebo se rovnice anuluje a jedna strana se převede na součin členů tak, aby v každém z nich byla jen jedna goniometrická funkce. Takto upravené rovnice lze pak zpravidla už bez větších potíží vyřešit.
Učitel samozřejmě musí obrátit pozornost studentů i na skutečnost, že před samotným řešením je nutné precizně zpracovat i podmínky, kterých v goniometrických rovnicích bývá často celá řada.

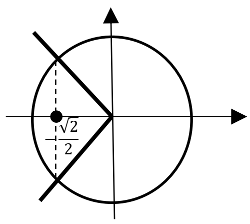
## Goniometrické rovnice

**1● *Základní typ***

a) $\boxed{2\cos x = -\sqrt{2}}$

$\cos x = -\frac{\sqrt{2}}{2}$

$x = \frac{3\pi}{4} + 2k\pi \quad \vee\ x = \frac{5\pi}{4} + 2k\pi$




$K = \bigcup_{k\in Z} \left\{\frac{3\pi}{4} + 2k\pi; \frac{5\pi}{4} + 2k\pi\right\}$

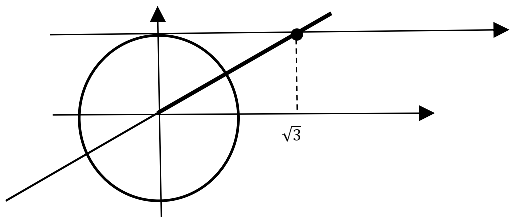
---

b) $\boxed{\sqrt{5} + \sqrt{3}\operatorname{cotg} x = 3 + \sqrt{5}}$

Podm.: $\operatorname{cotg} x = \frac{\cos x}{\sin x} \ \rightarrow\ \sin x \neq 0 \ \rightarrow x \neq k\pi$

$\operatorname{cotg} x = \frac{3}{\sqrt{3}} = \sqrt{3}$

$x = \frac{\pi}{6} + k\pi$

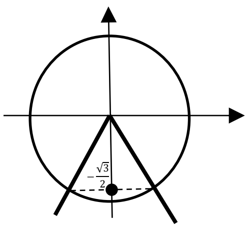



$K = \bigcup_{k\in Z} \left\{\frac{\pi}{6} + k\pi\right\}$

---

c) $\boxed{2\sin\left(5x - \frac{\pi}{7}\right) = -\sqrt{3}}$ Subst.: $y = 5x - \frac{\pi}{7}$

$\sin y = -\frac{\sqrt{3}}{2}$




$y = \frac{4\pi}{3} + 2k\pi \quad \vee \quad y = \frac{5\pi}{3} + 2k\pi$

$5x - \frac{\pi}{7} = \frac{4\pi}{3} + 2k\pi \ \vee\ 5x - \frac{\pi}{7} = \frac{5\pi}{3} + 2k\pi$

$5x = \frac{31\pi}{21} + 2k\pi \ \vee\ 5x = \frac{38\pi}{21} + 2k\pi$

$x = \frac{31\pi}{105} + \frac{2k\pi}{5} \ \vee\ x = \frac{38\pi}{105} + \frac{2k\pi}{5}$

$K = \bigcup_{k\in Z} \left\{\frac{31\pi}{105} + \frac{2k\pi}{5}; \frac{38\pi}{105} + \frac{2k\pi}{5}\right\}$

---

d) $\boxed{\frac{\operatorname{tg} x+1}{\operatorname{tg} x-1} = 2+\sqrt{3}}\ /.(\operatorname{tg} x - 1)$

Podm.: 1) $\operatorname{tg} x = \frac{\sin x}{\cos x} \rightarrow \cos x \neq 0 \rightarrow x \neq (2k+1).\frac{\pi}{2}$

2) $\operatorname{tg} x - 1 \neq 0 \rightarrow \operatorname{tg} x \neq 1 \rightarrow x \neq \frac{\pi}{4} + k\pi$

$\operatorname{tg} x + 1 = 2\operatorname{tg} x + \sqrt{3}.\operatorname{tg} x - 2 - \sqrt{3}$

$\operatorname{tg} x.\left(\sqrt{3}+1\right) = \sqrt{3}+3$

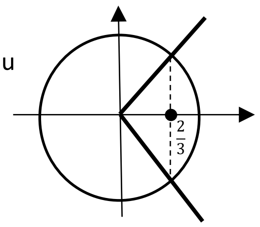
$\operatorname{tg} x = \frac{\sqrt{3}+3}{\sqrt{3}+1}.\frac{\sqrt{3}-1}{\sqrt{3}-1} = \frac{3+3\sqrt{3}-\sqrt{3}-3}{2} = \sqrt{3} \rightarrow x = \frac{\pi}{3} + k\pi;$

$K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{\pi}{3} + k\pi\right\}$

---

e) $\boxed{\cos x = \frac{2}{3}}$

① Přibližné řešení – s kalkulačkou




$x_{z1} \sim 0{,}84 \ \dots \ \alpha_{z1} \sim 48°11'$

$x_{z2} \sim 5{,}44 \ \dots \ \alpha_{z2} \sim 311°49'$

$K = \bigcup_{k\in Z}\{0{,}84 + 2k\pi;\ 5{,}44 + 2k\pi\}$

$K = \bigcup_{k\in Z}\{48°11' + k.360°;\ 311°49' + k.360°\}$

② Přesné řešení – s použitím **cyklometrických funkcí**

Pokud učiteli okolnosti dovolí zavést cyklometrické funkce, může je využít při řešení goniometrických rovnic a nerovnic. Je ovšem pravda, že čas na probírání těchto funkcí je velmi omezený a jejich používání při zápisech množin řešení goniometrických rovnic není bez úskalí. Cyklometrické funkce jsou inverzní funkce k odpovídajícím funkcím goniometrickým, jejichž definiční obory jsou omezeny tak, aby na nich byly funkce prosté (pozn. k funkcím, které nejsou prosté, inverzní funkce neexistují):

## Goniometrické a cyklometrické funkce a jejich definiční obory:

| Goniometrická funkce | Cyklometrická funkce |
|---|---|
| Sinus: $\sin x \ pro \ x \in \langle -\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2} \rangle$ | Arkus sinus: $\arcsin x \ pro \ x \in \langle -1; 1 \rangle$ |
| Kosinus: $\cos x \ pro \ x \in \langle 0; \pi \rangle$ | Arkus kosinus: $\arccos x \ pro \ x \in \langle -1; 1 \rangle$ |
| Tangens: $\operatorname{tg} x \ pro \ x \in \left(-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}\right)$ | Arkus tangens: $\operatorname{arctg} x \ pro \ x \in R$ |
| Kotangens: $\operatorname{cotg} x \ pro \ x \in (0; \pi)$ | Arkus kotangens: $\operatorname{arccotg} x \ pro \ x \in R$ |

Studenti, kterým je práce s cyklometrickými funkcemi jasná, si mohou dovolit zapsat množinu řešení rovnice e) takto:

$$K = \bigcup_{k\in Z}\left\{arcsin\frac{2}{3} + 2k\pi;\ -arcsin\frac{2}{3} + 2k\pi\right\}$$

---

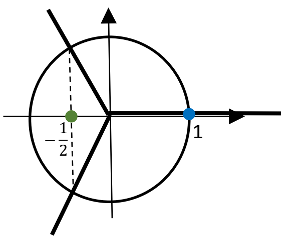
**2● *vedoucí k algebraické rovnici – např. ke kvadratické či bikvadratické***

a) $\boxed{2\cos^2 x = \cos x + 1}$

$2\cos^2 x - \cos x - 1 = 0$ Subst.: $\cos x = y$

$2y^2 - y - 1 = 0$

$y_{1,2} = \frac{1 \pm \sqrt{1+8}}{4} = < \begin{matrix} 1 \\ -\frac{1}{2} \end{matrix}$




$\cos x = 1 \quad \vee \quad \cos x = -\frac{1}{2}$

$x = 2k\pi \quad \vee \quad x = \frac{2\pi}{3} + 2k\pi \ \vee \ x = \frac{4\pi}{3} + 2k\pi$

$K = \bigcup_{k\in Z}\left\{2k\pi; \frac{2\pi}{3} + 2k\pi; \frac{4\pi}{3} + 2k\pi\right\}$

---

b) $\boxed{4sin^4x - 5sin^2x = -1}$ Subst.: $\sin^2 x = y$

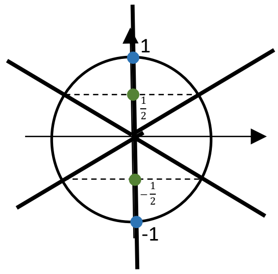
$4y^2 - 5y + 1 = 0$

$y_{1,2} = \frac{5\pm\sqrt{25-16}}{8} = < \begin{matrix} 1 \\ \frac{1}{4} \end{matrix}$

$\sin^2 x = 1 \quad \vee \quad \sin^2 x = \frac{1}{4}$

$\sin x = \pm 1 \quad \vee \quad \sin x = \pm\frac{1}{2}$

$x = \frac{\pi}{2} + k\pi \quad \vee \quad x = \frac{\pi}{6} + k\pi \quad \vee \quad x = \frac{5\pi}{6} + k\pi$



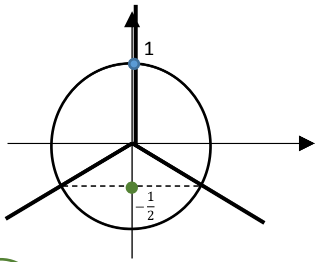

$K = \bigcup_{k\in Z}\left\{(2k+1)\frac{\pi}{2};\ \frac{\pi}{6} + k\pi;\ \frac{5\pi}{6} + k\pi\right\}$

---

c) $\boxed{2\sin^2\left(x + \frac{\pi}{4}\right) - \sin\left(x + \frac{\pi}{4}\right) = 1}$ Subst.: $\sin\left(x + \frac{\pi}{4}\right) = y$

$2y^2 - y - 1 = 0$

$y = \frac{1\pm\sqrt{1+8}}{4} = < \begin{matrix} 1 \\ -\frac{1}{2} \end{matrix}$




$\underbrace{\sin\left(x + \frac{\pi}{4}\right) = 1}$ $\vee$ $\underbrace{\sin\left(x + \frac{\pi}{4}\right) = -\frac{1}{2}}$

$x + \frac{\pi}{4} = \frac{\pi}{2} + 2k\pi \quad \vee \quad x + \frac{\pi}{4} = \frac{7\pi}{6} + 2k\pi \quad \vee \quad x + \frac{\pi}{4} = \frac{11\pi}{6} + 2k\pi$

$x = \frac{\pi}{4} + 2k\pi \quad \vee \quad x = \frac{11\pi}{12} + 2k\pi \quad \vee \quad x = \frac{19\pi}{12} + 2k\pi$

$K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{\pi}{2} + 2k\pi;\ \frac{11\pi}{12} + 2k\pi;\ \frac{19\pi}{12} + 2k\pi\right\}$

---

d) $\boxed{2\sin^2 x = 2 - \operatorname{cotg}^2 x}$

Podm.: $\operatorname{cotg} x = \frac{\cos x}{\sin x} \ \rightarrow\ \sin x \neq 0 \ \rightarrow\ x \neq k\pi, k \in Z$

$2\sin^2 x = 2 - \frac{\cos^2 x}{\sin^2 x} /.\sin^2 x$

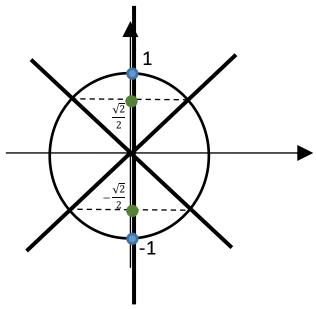
$2\sin^4 x - 2\sin^2 x + \cos^2 x = 0$

$2\sin^4 x - 2\sin^2 x + 1 - \sin^2 x = 0$

$2\sin^4 x - 3\sin^2 x + 1 = 0$ Subst.: $\sin^2 x = y$

$2y^2 - 3y + 1 = 0$

$y_{1,2} = \frac{3\pm\sqrt{9-8}}{4} = < \begin{matrix} 1 \\ \frac{1}{2} \end{matrix}$




$\sin^2 x = 1 \quad \vee \quad \sin^2 x = \frac{1}{2}$

$\sin x = \pm 1 \quad \vee \quad \sin x = \pm\frac{\sqrt{2}}{2}$

$x = (2k+1)\frac{\pi}{2} \quad \vee \quad x = \frac{\pi}{4} + k.\frac{\pi}{2}, k \in Z$

$K = \bigcup_{k\in Z}\left\{(2k+1)\frac{\pi}{2};\ \frac{\pi}{4} + k.\frac{\pi}{2}\right\}$

---

e) $\boxed{(\operatorname{tg} x+1).(\operatorname{tg} x+5)=12}$

Podm.: $\operatorname{tg} x=\frac{\sin x}{\cos x} \rightarrow \cos x \neq 0 \rightarrow x \neq(2k+1).\frac{\pi}{2}$

$\operatorname{tg}^2 x+6 \operatorname{tg} x-7=0$

$y^2+6y-7=0$ Subst.: $\operatorname{tg} x=y$

$(y+7).(y-1)=0$

$y=-7 \quad \vee \quad y=1$

$\operatorname{tg} x=-7 \quad \vee \quad \operatorname{tg} x=1$

$x=\operatorname{arctg}(-7)+k\pi \quad \vee \quad x=\frac{\pi}{4}+k\pi$

$$K=\bigcup_{k\in Z}\left\{\operatorname{arctg}(-7)+k\pi;\ \frac{\pi}{4}+k\pi\right\}$$

nebo

$$K=\bigcup_{k\in Z}\{98°08'+k.180°;\ 45°+k.180°\}$$

---

f) $\boxed{2\sin^3 x-3\sin x\cos x=0}$

$\sin x.(2\sin^2 x-3\cos x)=0$

$\sin x=0 \quad \vee \quad 2\sin^2 x-3\cos x=0$

$x=k\pi \quad \vee \quad 2.(1-\cos^2 x)-3\cos x=0$

$2\cos^2 x+3\cos x-2=0$ Subst.: $\cos x=y$

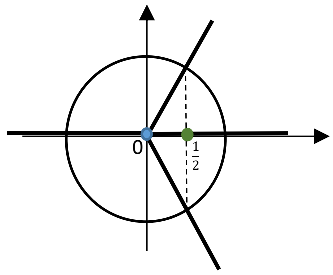
$2y^2+3y-2=0$

$y_{1,2}=\frac{-3\pm\sqrt{9+16}}{4}=<\begin{matrix}-2\\ \frac{1}{2}\end{matrix}$

$y=-2 \quad \vee \quad y=\frac{1}{2}$

$\cos x=-2 \quad \vee \quad \cos x=\frac{1}{2}$

*NELZE* $\quad x=\frac{\pi}{3}+2k\pi \quad \vee \quad x=\frac{5\pi}{3}+2k\pi$




$$K=\bigcup_{k\in Z}\left\{k\pi;\ \frac{\pi}{3}+2k\pi;\ \frac{5\pi}{3}+2k\pi\right\}$$

---

## 3● využívající vztahů mezi goniometrickými funkcemi

a) $\boxed{\sqrt{3}.\sin x-\cos x=1}$

1. způsob řešení

- využívá vzorce pro goniometrickou funkci součtu argumentů;
- vyžaduje jistou dávku „zručnosti“ a zkušenosti;
- není univerzální, nelze jej použít pro tento typ zadání vždy;
- pokud jej lze použít, vede rychle k řešení.

$\sqrt{3}.\sin x-\cos x=1 \,/.\frac{1}{2}$ umělá úprava – finta …

$\frac{\sqrt{3}}{2}.\sin x-\frac{1}{2}.\cos x=\frac{1}{2}$

$\cos\frac{\pi}{6}.\sin x-\sin\frac{\pi}{6}.\cos x=\frac{1}{2}$

$\sin\left(x-\frac{\pi}{6}\right)=\frac{1}{2}$

$x-\frac{\pi}{6}=\frac{\pi}{6}+2k\pi \quad \vee \quad x-\frac{\pi}{6}=\frac{5\pi}{6}+2k\pi$

$x=\frac{\pi}{3}+2k\pi \quad \vee \quad x=\pi+2k\pi$

$$K=\bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{\pi}{3}+2k\pi;\ (2k+1)\pi\right\}$$

- - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - - -

2. způsob řešení (univerzální)

- vychází z toho, že se na zadanou rovnici díváme jako na rovnici o dvou neznámých $\sin x$ a $\cos x$;
- jako druhá rovnice o stejných neznámých poslouží základní vzorec $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$;

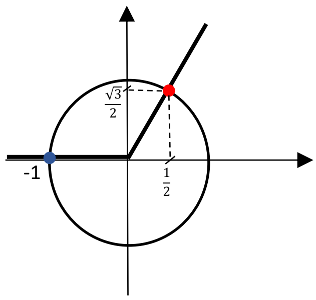
$\boxed{\sqrt{3}.\sin x - \cos x = 1}$ $\rightarrow$ $\cos x = \sqrt{3}.\sin x - 1$

$\underline{\sin^2 x + \cos^2 x = 1}$

$$\sin^2 x + \left(\sqrt{3}.\sin x - 1\right)^2 = 1$$
$$\sin^2 x + 3\sin^2 x - 2\sqrt{3}\sin x + 1 = 1$$
$$4\sin^2 x - 2\sqrt{3}\sin x = 0$$
$$\sin x.\left(4\sin x - 2\sqrt{3}\right) = 0$$

$\boxed{\begin{matrix}\sin x = 0\\ \cos x = -1\end{matrix}}$ $\vee$ $\boxed{\begin{matrix}\sin x = \frac{\sqrt{3}}{2}\\ \cos x = \frac{1}{2}\end{matrix}}$

$\boxed{x = \pi + 2k\pi}$ $\boxed{x = \frac{\pi}{3} + 2k\pi}$




$$K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{\pi}{3} + 2k\pi;\ (2k+1)\pi\right\}$$

---

3. způsob řešení (univerzální)

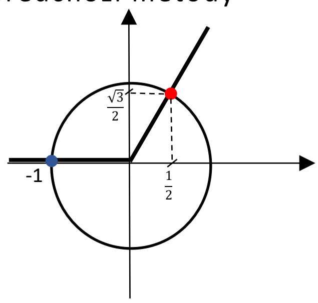
- jde jen o jinou variantu předchozí metody

$\boxed{\sqrt{3}.\sin x - \cos x = 1}$

$$\sqrt{3}.\sin x = \cos x + 1 \quad /^2$$
$$3\sin^2 x = \cos^2 x + 2\cos x + 1$$
$$3.(1 - cos^2 x) = \cos^2 x + 2\cos x + 1$$
$$4\cos^2 x + 2\cos x - 2 = 0$$

$2\cos^2 x + \cos x - 1 = 0$ Subst.: $\cos x = y$

$$2y^2 + y - 1 = 0$$
$$y_{1,2} = \frac{-1 \pm \sqrt{9}}{4} = < \begin{matrix}-1\\ \frac{1}{2}\end{matrix}$$




$\boxed{\cos x = -1 \rightarrow \sin x = 0}$ $\vee$ $\boxed{\cos x = \frac{1}{2} \rightarrow \sin x = \frac{\sqrt{3}}{2}}$

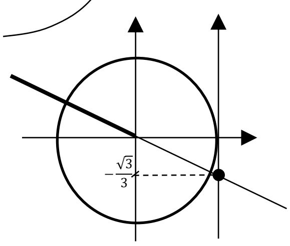
$$K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{\pi}{3} + 2k\pi;\ (2k+1)\pi\right\}$$

---

b) $\boxed{\sin\left(x - \frac{\pi}{3}\right) = 2.\sin x}$

$$\sin x.\cos\frac{\pi}{3} - \cos x.\sin\frac{\pi}{3} = 2.\sin x$$
$$\frac{1}{2}\sin x - \frac{\sqrt{3}}{2}\cos x = 2.\sin x$$
$$-\frac{\sqrt{3}}{2}\cos x = \frac{3}{2}.\sin x \ /.\frac{2}{\cos x}$$
$$\mathrm{tg}\, x = -\frac{\sqrt{3}}{3}$$
$$x = \frac{5\pi}{6} + k\pi$$
$$K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{5\pi}{6} + k\pi\right\}$$

Podm.: $\cos x \neq 0 \rightarrow x \neq (2k+1)\frac{\pi}{2}$.
Co kdyby $x = (2k+1)\frac{\pi}{2}$? Pak by $\sin x = \pm 1$ a zadaná rovnice by byla $\boxed{\sin\left(x - \frac{\pi}{3}\right) = \pm 2.}$ To ovšem znamená, že by neměla řešení.




---

c) $\boxed{\sin\left(x+\frac{\pi}{6}\right)+\cos\left(x+\frac{\pi}{3}\right)=1+\cos 2x}$

$\sin x\,.\cos\frac{\pi}{6}+\cos x\,.\sin\frac{\pi}{6}+\cos x\,.\cos\frac{\pi}{3}-\sin x\,.\sin\frac{\pi}{3}=1+\cos^2 x-\sin^2 x$

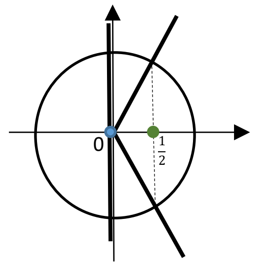
$\frac{\sqrt{3}}{2}\sin x+\frac{1}{2}\cos x+\frac{1}{2}\cos x-\frac{\sqrt{3}}{2}\sin x=2\cos^2 x$

$2\cos^2 x-\cos x=0$

$\cos x\,.(2\cos x-1)=0$

$\cos x=0 \quad \vee \quad \cos x=\frac{1}{2}$

$x=(2k+1)\frac{\pi}{2} \quad \vee \quad x=\frac{\pi}{3}+2k\pi \quad \vee \quad x=\frac{5\pi}{3}+2k\pi$




$$K=\bigcup_{k\in Z}\left\{(2k+1)\frac{\pi}{2};\ \frac{\pi}{3}+2k\pi;\ \frac{5\pi}{3}+2k\pi\right\}$$

---

d) $\boxed{\mathrm{cotg}\,x-\mathrm{tg}\,40°=\sin(50°-x)}$

Podm.: $\mathrm{cotg}\,x=\frac{\cos x}{\sin x}\to\sin x\neq 0\to$
$x\neq k.180°,k\in Z$

$\frac{\cos x}{\sin x}-\frac{\sin 40°}{\cos 40°}=\cos[90°-(50°-x)]$

$\frac{\cos x.\cos 40°-\sin x.\sin 40°}{\sin x.\cos 40°}=\cos(x+40°)\ /.\sin x\,.\cos 40°$

$\cos(x+40°)=\cos(x+40°)\,.\sin x\,.\cos 40°$

$\cos(x+40°)\,.(1-\sin x\,.\cos 40°)=0$

$\cos(x+40°)=0 \quad \vee \quad 1-\sin x\,.\cos 40°=0$

$x+40°=90°+k.180° \quad \vee \quad \sin x=\frac{1}{\cos 40°}$

$x=50°+k.180°$ NELZE, neboť $0<\cos 40°<1$, proto $\frac{1}{\cos 40°}>1$

$$K=\bigcup_{k\in Z}\{50°+k.180°\}$$

---

e) $\boxed{\cos\left(x+\frac{2\pi}{3}\right)-\cos x=\sqrt{3}}$

$-2.\sin\frac{x+\frac{2\pi}{3}+x}{2}.\sin\frac{x+\frac{2\pi}{3}-x}{2}=\sqrt{3}$

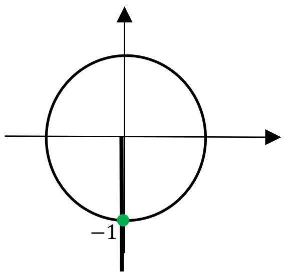
$-2.\sin\left(x+\frac{\pi}{3}\right).\sin\frac{\pi}{3}=\sqrt{3}$

$-2.\sin\left(x+\frac{\pi}{3}\right).\frac{\sqrt{3}}{2}=\sqrt{3}$

$\sin\left(x+\frac{\pi}{3}\right)=-1$

$x+\frac{\pi}{3}=\frac{3\pi}{2}+2k\pi$

$x=\frac{7\pi}{6}+2k\pi$




$$K=\bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{7\pi}{6}+2k\pi\right\}$$

---

f) $\boxed{\sin\left(\frac{\pi}{4}+x\right)-\sin\left(\frac{\pi}{4}-x\right)=\sin 2x}$

$2.\cos\frac{\frac{\pi}{4}+x+\frac{\pi}{4}-x}{2}.\sin\frac{\frac{\pi}{4}+x-\frac{\pi}{4}+x}{2}=\sin 2x$

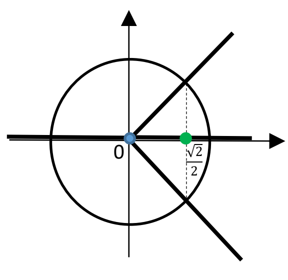
$2.\cos\frac{\pi}{4}.\sin x=2\sin x\,.\cos x$

$2.\frac{\sqrt{2}}{2}.\sin x-2\sin x\,.\cos x=0$

$\sqrt{2}\sin x.\left(1-\sqrt{2}\cos x\right)=0$

$\sin x=0 \quad \vee \quad \cos x=\frac{\sqrt{2}}{2}$

$x=k\pi \quad \vee \quad x=\frac{\pi}{4}+2k\pi \quad \vee \quad x=\frac{7\pi}{4}+2k\pi$




$$K=\bigcup_{k\in Z}\left\{k\pi;\ \frac{\pi}{4}+2k\pi;\ \frac{7\pi}{4}+2k\pi\right\}$$

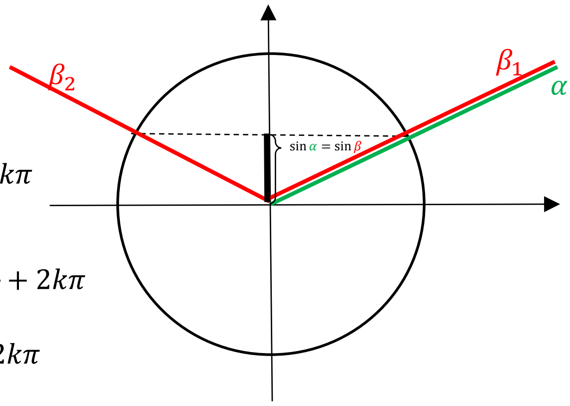
---

## 4● využívající srovnání hodnot goniometrických funkcí

a) $\boxed{\sin\left(x+\frac{\pi}{6}\right)=\sin\left(4x-\frac{2\pi}{3}\right)}$

Subst.: $x+\frac{\pi}{6}=\alpha,\qquad 4x-\frac{2\pi}{3}=\beta$

$$\sin\alpha=\sin\beta$$




1) $\beta_1=\alpha+2k\pi \quad \vee \quad$ 2) $\beta_2=\pi-\alpha+2k\pi$

$$4x-\frac{2\pi}{3}=x+\frac{\pi}{6}+2k\pi \quad \vee \quad 4x-\frac{2\pi}{3}=\pi-x-\frac{\pi}{6}+2k\pi$$

$$3x=\frac{5\pi}{6}+2k\pi \quad \vee \quad 5x=\frac{5\pi}{6}+\frac{2\pi}{3}+2k\pi$$

$$x=\frac{5\pi}{18}+2k\frac{\pi}{3} \quad \vee \quad x=\frac{3\pi}{10}+2k\frac{\pi}{5}$$

$$K=\bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{5\pi}{18}+2k\frac{\pi}{3};\ \frac{3\pi}{10}+2k\frac{\pi}{5}\right\}$$

Pozn.: Tuto úlohu by jistě bylo možné řešit rovněž třeba za použití součtových vzorců. Jednalo by se však o velmi komplikovaný a časově náročný postup.

---

b) $\boxed{\sin\left(3x+\frac{7\pi}{6}\right)=-\cos\left(x+\frac{\pi}{4}\right)}$

Subst.: $3x+\frac{7\pi}{6}=\alpha,\qquad x+\frac{\pi}{4}=\beta$

$$\sin\alpha=-\cos\beta$$

1) $\beta_1=\frac{\pi}{2}+\alpha+2k\pi \quad \vee \quad$ 2) $\beta_2=\frac{3\pi}{2}-\alpha+2k\pi$

$$x+\frac{\pi}{4}=\frac{\pi}{2}+3x+\frac{7\pi}{6}+2k\pi \quad \vee \quad x+\frac{\pi}{4}=\frac{3\pi}{2}-3x-\frac{7\pi}{6}+2k\pi$$

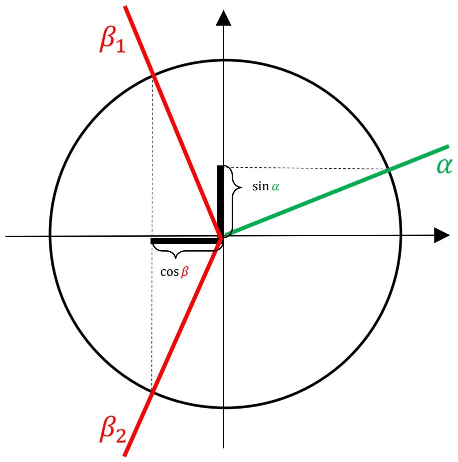
$$-2x=\frac{17\pi}{12}+2k\pi \quad \vee \quad 4x=\frac{\pi}{12}+2k\pi$$

$$x=-\frac{17\pi}{24}-k\pi \quad \vee \quad x=\frac{\pi}{48}+k.\frac{\pi}{2}$$

nahradíme základní velikostí

k ∈ Z, proto lze mínus nahradit znaménkem plus

$$x=\frac{31\pi}{24}+k\pi$$



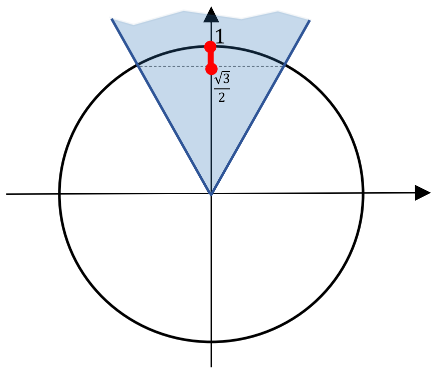

$$K=\bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{31\pi}{24}+k\pi;\ \frac{\pi}{48}+k\frac{\pi}{2}\right\}$$

---

# Goniometrické nerovnice

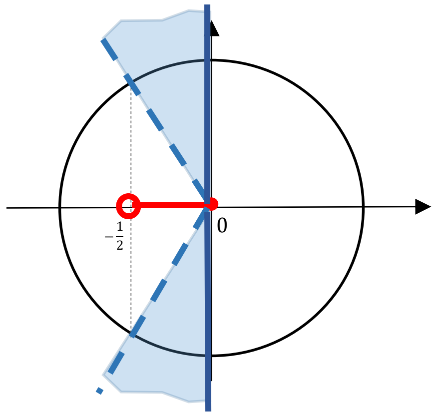
a) $\boxed{\sin x \geq \frac{\sqrt{3}}{2}}$

$$K = \bigcup_{k \in Z} \left\{ \left\langle \frac{\pi}{3} + 2k\pi;\ \frac{2\pi}{3} + 2k\pi \right\rangle \right\}$$




---

b) $\boxed{-\frac{1}{2} < \cos x \leq 0}$

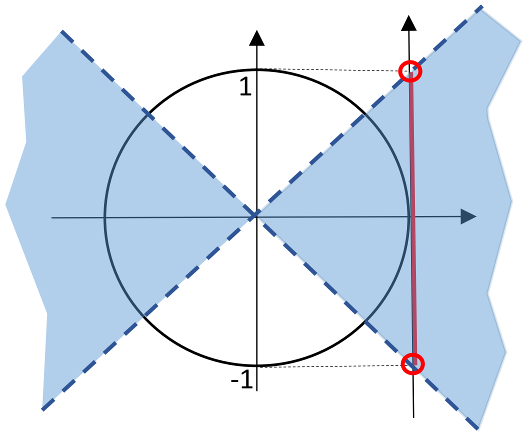



$$K = \bigcup_{k \in Z} \left\{ \left\langle \frac{\pi}{2} + 2k\pi\,;\frac{2\pi}{3} + 2k\pi \right), \left( \frac{4\pi}{3} + 2k\pi\,;\ \frac{3\pi}{2} + 2k\pi \right\rangle \right\}$$

---

c) $\boxed{|\mathrm{tg}\, x| < 1}$

$$K = \bigcup_{k \in Z} \left\{ \left\langle -\frac{\pi}{4} + k\pi;\ \frac{\pi}{4} + k\pi \right\rangle \right\}$$



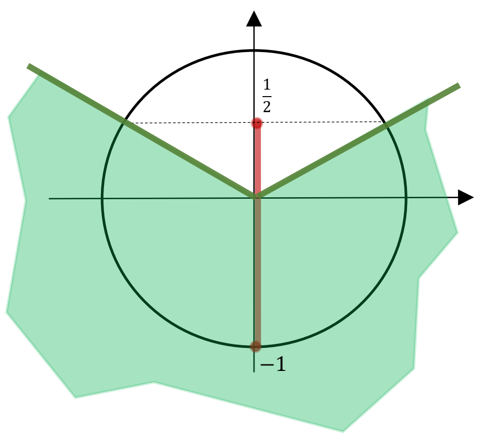

---

d) $\boxed{\sin 2x \leq \frac{1}{2}}$

$$2x \in \left\langle \frac{5\pi}{6} + 2k\pi; \frac{13\pi}{6} + 2k\pi \right\rangle \quad /:2$$

$$x \in \left\langle \frac{5\pi}{12} + k\pi; \frac{13\pi}{12} + k\pi \right\rangle$$

$$K = \bigcup_{k \in Z} \left\{ \left\langle \frac{5\pi}{12} + k\pi; \frac{13\pi}{12} + k\pi \right\rangle \right\}$$




---

e) $\boxed{2\sin^2 x > 3\cos x}$

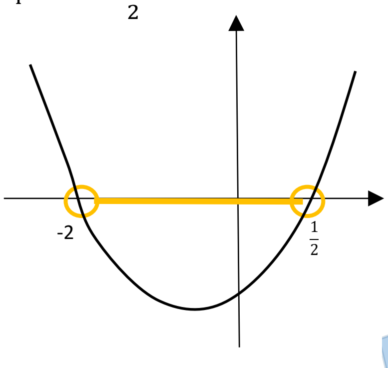
$2.(1-\cos^2 x) > 3\cos x$

$2\cos^2 x + 3\cos x - 2 < 0$ Subst.: $\cos x = y$

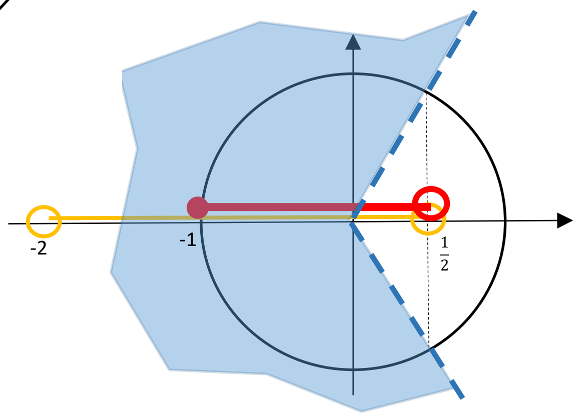
$2y^2 + 3y - 2 < 0$

$$y_{1,2} = \frac{-3\pm\sqrt{9+16}}{4} = \frac{-3\pm5}{4} = < \begin{matrix}-2\\ \frac{1}{2}\end{matrix}$$

$2.(y+2).\left(y-\frac{1}{2}\right) < 0$




$\boxed{y \in \left(-2;\frac{1}{2}\right)}$ $\Longrightarrow$ $\boxed{\cos x \in \left\langle -1;\frac{1}{2}\right)}$




$$K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\left(\frac{\pi}{3} + 2k\pi; \frac{5\pi}{3} + 2k\pi\right)\right\}$$

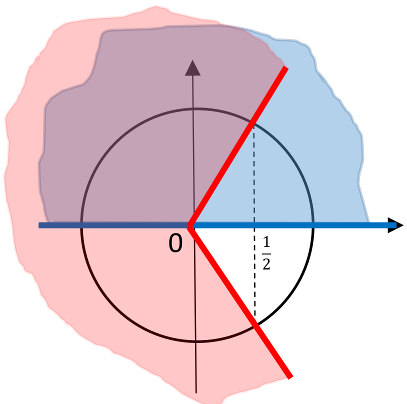
---

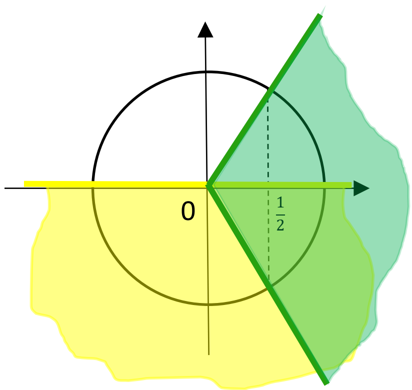
f) $\boxed{\sin 2x \le \sin x}$

$2\sin x\cos x - \sin x \le 0$

$\sin x.(2\cos x - 1) \le 0$

$\boxed{\sin x \ge 0} \wedge \boxed{\cos x \le \frac{1}{2}}$ $\vee$ $\boxed{\sin x \le 0} \wedge \boxed{\cos x \ge \frac{1}{2}}$




$$K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\left\langle\frac{\pi}{3} + 2k\pi\,;\pi + 2k\pi\right\rangle, \left\langle\frac{5\pi}{3} + 2k\pi\,;\ 2\pi + 2k\pi\right\rangle\right\}$$

---

## Základní poznatky

1. Řešte v R rovnice

a) $2\sin x = \sqrt{3}$ $\left[typ\ 1,\ K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{\pi}{3} + 2k\pi;\ \frac{2\pi}{3} + 2k\pi\right\}\right]$

b) $-\sqrt{3}\,tg\ x = 1$ $\left[typ\ 1,\ K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{5\pi}{6} + k\pi\right\}\right]$

2. Přiřaďte ke každé rovnici 1. – 4. její řešení a) – f) v oboru $R$: (zdroj státní maturita září 2016)

1. $tg\ x = 0$
2. $\cos x = 1$
3. $\sin 2x = 0$
4. $cotg\ \frac{x}{2} = 1$

a) $x = \frac{k\pi}{2}, k \in Z$

b) $x = k\pi, k \in Z$

c) $x = 2k\pi, k \in Z$

d) $x = \frac{\pi}{2} + k\pi, k \in Z$

e) $x = \frac{\pi}{2} + 2k\pi, k \in Z$

f) $x = \pi + 2k\pi, k \in Z$

$[1b, 2c, 3a, 4e]$

3. Kolik řešení má rovnice $tg\ 2x = 0$ v oboru $\langle 0; 2\pi\rangle$? (zdroj maturita M+, květen 2017)

[5]

### Typové příklady standardní náročnosti

4. Řešte v R rovnice

a) $2\sin\left(2x - \frac{\pi}{3}\right) = 1$ $\left[typ\ 1,\ K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{\pi}{4} + k\pi;\ \frac{7\pi}{12} + k\pi\right\}\right]$

b) $3\sin x = 2\cos^2 x$ $\left[typ\ 2,\ K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{\pi}{6} + 2k\pi;\ \frac{5\pi}{6} + 2k\pi\right\}\right]$

c) $2\sin^2 x = 2 - \mathrm{cotg}^2\, x$ $\left[typ\ 2,\ K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{\pi}{4} + \frac{k\pi}{2};\ \frac{\pi}{2} + k\pi\right\}\right]$

d) $\sin x + \cos 2x = 1$ $\left[typ\ 2,\ K = \bigcup_{k\in Z}\left\{k\pi;\ \frac{\pi}{6} + 2k\pi;\ \frac{5\pi}{6} + 2k\pi\right\}\right]$

e) $cotg^3\, x - 2cotg^2\, x + cotg\ x = 0$ $\left[typ\ 2,\ K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{\pi}{2} + k\pi; \frac{\pi}{4} + k\pi\right\}\right]$

f) $\cos x + \sqrt{3}\sin x = 2$ $\left[typ\ 3,\ K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{\pi}{3} + 2k\pi\right\}\right]$

## Rozšiřující cvičení

5. Řešte v R rovnici

$\sin\left(x + \frac{\pi}{2}\right) = \sin(\pi - 3x)$ $\left[typ\ 4,\ K = \bigcup_{k\in Z}\left\{\frac{\pi}{8} + \frac{k\pi}{2}; \frac{\pi}{4} + k\pi\right\}\right]$

## Poznámka

Pro případné zadání rovnic do Wolframalpha.com a podobných programů použijte do zadání rovnice v příkazovém řádku následující syntaxi:

- goniometrické funkce $\sin(x)$, $\cos(x)$, $\tan(x)$, $\cot(x)$
- mocniny goniometrických fcí $sin\text{^}2(x) + cos\text{^}2(x)$
- odmocnina (angl. square root) $sqrt(x), sqrt(x+1), sqrt(2), sqrt(3), \ldots$

Ve Wolframalpha si nastavte funkci reálné proměnné, tj. Real-valued plot, nikoliv Complex-valued plot.