

Algebra a diskrétna matematika

doc. RNDr. Jana Šiagiová, PhD.

Prehľad z 10. týždňa

Algebraické štruktúry s jednou binárnou operáciou

Binárna operácia φ na množine M je zobrazenie $\varphi : M \times M \rightarrow M$.

Poznámka: Binárna operácia je vždy *uzavretá*; $\forall x, y \in M : \varphi(x, y) \in M$.

Neprázdna množina M spolu s jednou alebo viacerými binárnymi operáciami tvorí **algebraickú štruktúru**.

Grupoid

Nech M je neprázdna množina a $*$ binárna operácia na M . Potom dvojicu $(M, *)$ nazývame **grupoid**.

Ak M je konečná, jedná sa o *konečný grupoid*; inak *nekonečný*.

Rád grupoidu je veľkosť množiny M ; označujeme ho $|M|$.

V prípade, že je operácia $*$ komutatívna, tak hovoríme, že grupoid je **komutatívny**, alebo **abelovský**.

Pologrupa

Pologrupa je grupoid $(M, *)$, v ktorom je binárna operácia $*$ asociatívna.

Príklad 1: Rozhodnite, či sú nasledujúce štruktúry pologrupy.

- a) $(\mathbb{N}, +)$
- b) (\mathbb{N}, \cdot)
- c) $(\mathbb{Z}, -)$
- d) $(\mathbb{Q}, +)$
- e) (\mathbb{Q}, \cdot)
- f) $(\mathbb{R} - \{0\}, \cdot)$
- g) $(\mathbb{R} - \{0\}, /)$
- h) $(\mathbb{C}, +)$

Odpoveď: a) áno, b) áno, c) nie d) áno e) áno, f) áno, g) nie, h) áno

Príklad 2:

a) Štruktúra $(\mathbb{N}, *)$, kde $\forall m, n \in \mathbb{N} : m * n = \max\{m, n\}$, je abelovská pologrupa.

b) Príklad nekomutatívnej pologrupy je štruktúra (M_X, \circ) , kde M_X je množina všetkých funkcií $f : X \rightarrow X$ a operácia \circ je skladanie funkcií.

Príklad 3:

Nech množina $M = \left\{ \begin{pmatrix} 1 & n \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, n \in \mathbb{N} \right\}$ a operácia $*$ je násobenie matíc.

Dvojica $(M, *)$ je komutatívna pologrupa, pretože násobenie matíc je asociatívna operácia a navyše pre tento typ matíc platí aj komutativita.

Monoid

Nech $(M, *)$ je pologrupa.

Prvok $e \in M$ sa nazýva **neutrálny** (jednotkový), ak

$$\forall x \in M : x * e = e * x = x$$

Pologrupa $(M, *)$, ktorá má neutrálny prvok, sa nazýva **monoid**.

Príklad 4: Overte, či sa jedná o monoidy.

a) $(\mathbb{N}, +)$

b) (\mathbb{N}, \cdot)

c) $(2^{\mathbb{N}}, \cup)$

d) $(2^{\mathbb{N}}, \cap)$

Odpoveď: a) nie, b) áno, c) áno, d) áno

Príklad 5: Zistite, či sú nasledujúce štruktúry monoidy a overte ich komutativitu.

a) $(\{0, 1, 2, 3\}, *)$, kde $m * n = \max\{m + n, 3\}$

b) $(\{0, 1, 2, 3\}, *)$, kde $m * n = \min\{m + n, 3\}$

c) (M, \cdot) , kde $M = \left\{ \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}, a, b, c, d \in \mathbb{Z} \right\}$

Odpoveď: a) nie je algebraická štruktúra, b) komutatívny monoid c) nekomutatívny monoid

Tvrdenie 1: Ak v monoide existujú neutrálne prvky e_1 a e_2 , potom $e_1 = e_2$.

Dôkaz:

Predkladajme, že monoid $(M, *)$ má dva neutrálne prvky e_1, e_2 .

Platí, že $e_1 * e_2 = e_2$, lebo e_1 je neutrálny prvok.

Taktiež $e_1 * e_2 = e_1$, lebo e_2 je neutrálny prvok.

Dostali sme, že $e_1 = e_2$. □

Dôsledok: Každý monoid má práve jeden neutrálny prvok.

Grupa

Nech $(M, *)$ je monoid s neutrálnym prvkom e .

Nech $x \in M$. Prvok $y \in M$ sa nazýva **inverzný** k prvku x , ak platí

$$x * y = y * x = e$$

Monoid $(M, *)$, v ktorom ku každému prvku existuje inverzný prvok, sa nazýva **grupa**.

Príklad 6: Overte, či sa jedná o grupy.

a) $(\mathbb{Z}, +)$

b) $(\mathbb{Z} - \{0\}, \cdot)$

c) (\mathbb{Q}^+, \cdot)

d) $(\mathbb{R} - \{0\}, \cdot)$

Odpoveď: a) áno, b) nie, c) áno, d) áno

Tvrdenie 2: Ak v grupe $(M, *)$ existujú k prvku $x \in M$ inverzné prvky y_1 a y_2 , potom $y_1 = y_2$.

Dôkaz:

Predkladajme, že prvok $x \in M$ má v grupe $(M, *)$ dva inverzné prvky $y_1, y_2 \in M$, t. j. $x * y_1 = y_1 * x = e$ a $x * y_2 = y_2 * x = e$.
Potom platia nasledujúce rovnosti

$$y_1 = y_1 * e = y_1 * (x * y_2) = (y_1 * x) * y_2 = e * y_2 = y_2$$

Dostali sme teda, že $y_1 = y_2$. □

Dôsledok: Každý prvok grupy má práve jeden inverzný prvok.

Inverzný prvok k prvku x označujeme x^{-1} .

Príklad 7: Množinu celých čísel si rozdelíme do dvoch množín podľa parity.

P = množina všetkých celých párných čísel

N = množina všetkých celých nepárných čísel

Uvažujme množinu $M = \{P, N\}$ s operáciou sčítania (aplikovanou medzi každou dvojicou čísel z daných množín). Dvojica $(M, +)$ tvorí grupu. Neutrálňny prvok je P a inverzný prvok k N je N .

Príklad 8: Uvažujme nasledujúce množiny

$$A = \{\dots, -15, -12, -9, -6, -3, 0, 3, 6, 9, 12, 15, \dots\}$$

$$B = \{\dots, -14, -11, -8, -5, -2, 1, 4, 7, 10, 13, 16, \dots\}$$

$$C = \{\dots, -13, -10, -7, -4, -1, 2, 5, 8, 11, 14, 17, \dots\}$$

Dvojica $(\{A, B, C\}, +)$ tvorí grupu. Jej neutrálnym prvkom je A a platí, že $B^{-1} = C$, teda aj $C^{-1} = B$.

Pre každé prirodzené číslo k označme

$$\mathbb{Z}_k = \{n \in \mathbb{Z}_0^+, n < k\} = \{0, 1, 2, \dots, k-1\}$$

Množinu \mathbb{Z}_k nazývame **množinou zvyškových tried modulo k** , alebo triedami reziduí.

Definujme operáciu \oplus na množine \mathbb{Z}_k nasledovne:

$\forall a, b \in \mathbb{Z}_k : a \oplus b$ je zvyšok po delení $(a + b) : k$.

Operácia \oplus je na \mathbb{Z}_k asociatívna.

Neutrálňny prvok vzľadom na \oplus je $e = 0$.

Pre každé $a \in \mathbb{Z}_k, a \neq 0$ je inverzný prvok $a^{-1} = k - a$, lebo $a \oplus a^{-1} = a \oplus (k - a) \equiv 0 \pmod{k}$.

Dvojica (\mathbb{Z}_k, \oplus) tvorí **abelovskú grupu**.

Zapisujeme ju jednoducho $(\mathbb{Z}_k, +)$.

V tejto grupe sa namiesto a^{-1} zvykne písať $-a$, pretože $k - a$ je v rovnakej zvyškovej triede ako $-a$.

Príklad 9: Inverzné prvky v grupe $(\mathbb{Z}_{11}, \oplus)$ sú nasledovné:

$$-1 = 10, \quad -10 = 1$$

$$-2 = 9, \quad -9 = 2$$

$$-3 = 8, \quad -8 = 3$$

$$-4 = 7, \quad -7 = 4$$

$$-5 = 6, \quad -6 = 5$$

Príklad 10: Nájdite všetky riešenia každej z daných rovníc.

a) $7 + x = 5 \pmod{9}$

b) $x + x + x = 4 \pmod{8}$

c) $x + x + x + x = 6 \pmod{7}$

Odpoveď: a) $x = 7 + 9k, k \in \mathbb{Z}$; b) $x = 4 + 8k, k \in \mathbb{Z}$, c) $x = 5 + 7k, k \in \mathbb{Z}$