

# Sbírka příkladů do předmětu MAT

Michal Šrubař  
xsruba03@stud.fit.vutbr.cz

24. září 2016

## 1 Proč

Tato sbírka obsahuje příklady a řešení některých příkladů, které se typově vyskytují na zkouškách z předmětu Matematické struktury v informatice na fakultě informačních technologií v Brně. Sbírku jsem vytvořil, protože právě příklady, na kterých bych si probíranou látku mohl vyzkoušet, mi během semestru tak žalostně chyběly.

Originál a zdrojové soubory je možné najít na adrese <https://github.com/mmsrubar/MAT-sbirka-prikladu>. Jestliže chceš přispět řešením, přepsat nějaké řešení z obrázku do latexu, určitě to všichni uvítají.

## 2 Logika

### 2.1 Důkazy výrokových formulí

#### 2.1.1

Dokažte sestrojením důkazu, že pro libovolné formule B, C výrokové logiky platí

$$\vdash \neg B \Rightarrow (B \Rightarrow C)$$

Postupujte dle následujícího návodu:

1.  $\neg B$  (předpoklad)
2.  $B$  (předpoklad)
3.  $B \Rightarrow (\neg C \Rightarrow B)$  (axiom A1)
4.  $\neg B \Rightarrow (\neg C \Rightarrow \neg B)$  (axiom A1)
5. pravidlo odloučení aplikované na formule 2,3
6. pravidlo odloučení aplikované na formule 1,4
7. axiom A3
8. pravidlo odloučení aplikované na 6,7

9. pravidlo odloučení aplikované na 2,8
10. formule 9 je dokazatelná z formulí 1,2
11. věta o dedukci
12. věta o dedukci.

### 2.1.2

Dokažte zapsáním formálního důkazu (s použitím věty o dedukci), že platí:

$$A \rightarrow B, B \rightarrow C \vdash A \rightarrow C$$

### 2.1.3

Dokažte formuli:  $A \rightarrow ((\neg B \rightarrow \neg A) \rightarrow B)$ . Návod:

- 1)  $A$  je předpoklad
- 2)  $\neg B \rightarrow \neg A$  je předpoklad
- 3) A3
- 4) MP
- 5) MP
- 6) Věta o dedukci
- 7) Věta o dedukci

### 2.1.4

Dokažte vztah  $\varphi \vdash \varphi \vee \psi$  napsáním příslušného důkazu ve výrokové logice. Návod: Formuli nejprve převeďte do tvaru obsahujícího pouze logické spojky  $\neg$  a  $\rightarrow$  (kde se bude vyskytovat  $\neg\varphi$ ).

- 1) dosazení vhodných formulí (obě budou ve tvaru negace) do A1
- 2) negaci předpokladu dosazovaného vztahu
- 3) pravidlo odloučení
- 4) dosazení vhodných formulí do A3
- 5) pravidlo odloučení
- 6) předpokladu dosazovaného vztahu
- 7) pravidlo odloučení
- 8) věta o dedukci

### 2.1.5

Dokažte  $\vdash A \rightarrow (\neg A \rightarrow B)$ . Návod:

- 1) Zvolte vhodný předpoklad.
- 2) Použijte dokazatelnost formule  $A \rightarrow \neg\neg A$  a pravidlo odloučení.
- 3) Libovolné formule  $X, Y$  ze vztahu  $X \vdash Y$  vyplývá vztah  $\neg B, X \vdash Y$  (dosad'te vhodně formule za  $X$  a  $Y$ ).
- 4) Věta o dedukci.
- 5) Axiom (A3).
- 6) Pravidlo odloučení.
- 7) Věta o dedukci.

### 2.1.6

Dokažte  $\vdash \neg(A \rightarrow \neg B) \rightarrow B$ . Návod:

- 1) Zvolte předpoklad  $\neg B$ .
- 2) Použijte axiom A1 a Modus Ponens
- 3) Využijte dokazatelnosti věty  $\vdash (A \rightarrow \neg B) \rightarrow \neg\neg(A \rightarrow \neg B)$
- 4) Použijte Modus Ponens
- 5) Věta o dedukci
- 6) Axiom A3
- 7) Modus Ponens

### 2.1.7

Sestrojte důkaz k  $\neg B \rightarrow \neg A, A \rightarrow (B \rightarrow C) \vdash A \rightarrow C$ . Použijte axiomy A2, A3 a pravidlo MP.

## 2.2 Důkazy predikátových formulí

### 2.2.1

Proved'te důkaz formule

$$\varphi, (\forall x\varphi \rightarrow \psi) \vdash \forall x\psi$$

dle následujícího návodu:

1. Vezměte formuli  $\varphi$  jako předpoklad
2. užijte pravidlo zobecnění

3. vezměte formuli  $\forall x\varphi \rightarrow \psi$  jako předpoklad
4. užijte pravidlo odloučení (modus ponens)
5. užijte pravidlo zobecnění.

### 2.2.2

Dokažte větu  $\exists x(\neg\varphi) \rightarrow (\forall x\varphi \rightarrow \psi)$  Postup:

1. Použijte tautologii  $\varphi \rightarrow \neg\neg\varphi$ .
2. Proveďte distribuci kvantifikátoru  $\forall$ .
3. Užijte třetí axiom výrokové logiky ve tvaru  $(A \rightarrow B) \rightarrow (\neg B \rightarrow \neg A)$ .
4. Aplikujte pravidlo odloučení.
5. Použijte tautologii  $\neg(\forall x\varphi) \rightarrow (\forall x\varphi \rightarrow \psi)$ .
6. Složte implikace ze (4) a (5).
7. Proveďte úpravu (nahraďte kvantifikátor  $\forall x$  kvantifikátorem  $\exists x$ ).

### 2.2.3

Napište důkaz věty  $\vdash \forall x(\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow (\forall x\varphi \rightarrow \forall x\psi)$ . Návod:

1. Vezměte formuli  $\forall x\varphi$  jako předpoklad, pak užijte axiom substituce a následně pravidlo odloučení
2. Potom vezměte formuli  $\forall x(\varphi \rightarrow \psi)$  jako předpoklad a opět užijte axiom substituce a následně pravidlo odloučení
3. Na formule získané v krocích 1) a 2) aplikujte pravidlo odloučení a na výslednou formuli pravidlo zobecnění
4. Poslední získaná formule je tedy dokazatelná z formulí, které byly vzaty jako předpoklady.  
Nyní užijte 2x větu o dedukci

### 2.2.4

Dokažte, že platí  $\vdash (\varphi \wedge \exists x\psi) \Rightarrow \exists x(\varphi \wedge \psi)$ . Návod:

1. Vezměte formuli  $\neg(\exists x(\varphi \wedge \psi))$  jako předpoklad
2. axiom kvantifikátoru
3. pravidlo odloučení
4. získanou formuli převeďte do tvaru negace (formule)
5. poslední formule je dokázána z formule předpokládané v 1, proto aplikujte na obě formule větu o dedukci

6. užijte třetí výrokový axiom
7. opět aplikujte větu o dedukci.

### 2.2.5

Napište důkaz věty  $\vdash \forall x \neg \varphi \Rightarrow \forall x (\varphi \Rightarrow \psi)$ . Návod:

- a) Vezměte formuli  $\forall x \neg \varphi$  jako předpoklad, pak užijte axiom substituce (ve formuli  $\neg \varphi$  substitujte  $x$  za  $x$ ) a pravidlo odloučení.
- b) Vezměte axiom A1 výrokové logiky ve tvaru  $\neg \varphi \Rightarrow (\neg \varphi \Rightarrow \neg \varphi)$  a aplikujte na něj a na formuli získanou v kroku a) pravidlo odloučení.
- c) Vezměte axiom A3 výrokové logiky a aplikujte na něj a na formuli získanou v kroku b) pravidlo odloučení, na výslednou formuli pak aplikujte pravidlo zobecnění.
- d) Poslední získaná formule je teď dokazatelná z formule, která byla vzata jako předpoklad. Nyní užijte větu o dedukci.

### 2.2.6

Dokažte

$$\varphi(x) \rightarrow \forall x \psi(x) \vdash \forall x \varphi(x) \rightarrow (\neg \psi(x) \rightarrow \psi(y))$$

Návod:

- 1) Vezměte  $\varphi(x) \rightarrow \forall x \psi(x)$  jako předpoklad.
- 2) Použijte axiom substituce.
- 3) Složení implikací.
- 4) Axiom substituce.
- 5) Složení implikací.
- 6) Výrokový axiom A1.
- 7) Složení implikací.

### 2.2.7

Dokažte sestrojením důkazu:

$$\vdash \forall x \varphi(x, x) \rightarrow (\forall x \forall y \varphi(x, y) \rightarrow \forall y \varphi(y, y))$$

Návod:

- (1) Vezměte  $\forall x \varphi(x, x)$  jako předpoklad.
- (2) Použijte axiom substituce.
- (3) Pravidlo odloučení.

- (4) Pravidlo zobecnění.
- (5) Větu o dedukci.
- (6) Výrokový axiom A1.
- (7) Složení implikací.

### 2.2.8

Dokažte (napsáním důkazu), že platí

$$\varphi \rightarrow (\forall x\psi \rightarrow \chi), \psi \vdash \forall x\varphi \rightarrow \chi$$

. Návod:

- a) Zvolte tři vhodné formule jako předpoklady, označte je (1), (2) a (3) tak, aby formule (3) byla  $\forall x\varphi$ .
- b) Z formule (3) pomocí vhodného axiomu, který označíte (4), a vhodného pravidla odvod'te formuli  $\varphi$  a označte ji (5).
- c) Z formule (5), jedné z formulí (1),(2) a vhodného pravidla dostanete formuli (6).
- d) Na další z formulí (1),(2) aplikujte pravidlo zobecnění, čímž dostanete formuli (7).
- e) Z formulí (6) a (7) dostanete užitím vhodného pravidla poslední formuli, kterou označíte (8). Tato formule je tedy dokazatelná ze zvolených předpokladů. Nyní užijte větu o dedukci.

### 2.2.9

Dokažte, že platí  $\vdash \forall x\forall y\varphi(x, y) \Rightarrow \forall x\varphi(x, x)$ , dle následujícího návodu:

- (a) Formuli  $\forall x\forall y\varphi(x, y)$  vezměte jako předpoklad
- (b) Axiom substituce.
- (c) Pravidlo odloučení.
- (d) Axiom substituce.
- (e) Pravidlo odloučení.
- (f) Pravidlo zobecnění.
- (g) Výsledek předchozích úvah ve vztahu dokazatelnosti formule z předpokladů.
- (h) Větu o dedukci.

Jakou obdržíte formuli po provedení kroku (f)?

### 2.2.10

Dokažte, že platí  $\vdash \forall x(\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow (\forall x\varphi \rightarrow \psi)$ . Zvolte si dva předpoklady. Na předpoklad aplikujte axiom substituce a potom metodu odloučení. Stejný postup aplikujte na druhý předpoklad. Poté aplikujte metodu odloučení na předchozí výsledky a poté použijte dvakrát větu o dedukci.

### 2.2.11

S využitím předem dokázané formule  $\alpha = (A \Rightarrow \neg B) \Rightarrow (B \Rightarrow \neg A)$  dokažte  $\varphi, \psi \vdash \neg(\varphi \Rightarrow \neg\psi)$ .

- a) předpoklad  $\varphi \Rightarrow \neg\psi$
- b)  $\alpha$
- c) MP
- d) MP 1,2
- e) VD, přesuňte antecedent do předpokladu
- f) VD, odstraňte  $\varphi \Rightarrow \neg\psi$  z předpokladu
- g)  $\alpha$
- h) MP 6,7
- i) VD

### 2.2.12

Dokažte (napsáním důkazu), že platí

$$\varphi \rightarrow \psi \vdash \varphi \rightarrow \forall x\psi$$

kde  $\varphi$  a  $\psi$  jsou formule a  $x$  nemá v  $\varphi$  volný výskyt. Návod: kromě předpokladu užijte pravidlo zobecnění, axiom kvantifikátoru, tautologický důsledek a pravidlo odloučení (ve vhodném pořadí a s případným opakováním).

### 2.2.13

Uvažujme jazyk  $L$  teorie uspořádání, tj. jazyk s rovností a binárním predikátovým symbolem  $<$ . Napište formuli v tomto jazyce vyjadřující vlastnost, že každé dva prvky daného univerza mají suprénum.

## 2.3 Realizace

### 2.3.1

Bud'  $\varphi$  nasledující formule:  $\forall x\forall y(x < y \Rightarrow \exists z(x < z \wedge z < y))$ . Bez použití spojky  $\neg$  napište negaci formule  $\varphi$ . Určete, zda je pravdivá formule  $\varphi$  nebo její negace, jestliže univerzem je množina  $\mathbb{Z}$  (celých čísel).

### 2.3.2

Uvažujme jazyk  $L$  s jedním binárním predikátovým symbolem  $p$  a jedním binárním funkčním symbolem  $f$ .

1. Najděte nějakou realizaci jazyka  $L$  na množině  $\{1, 2, 3\}$ .
2. Nechť  $\varphi$  je následující formule jazyka  $L$ :  $\forall z \forall y \exists z p(f(x, z), y)$

Uvažujme realizaci  $\mathfrak{R}$  jazyka  $L$  s univerzem  $N$ , kde  $p_{\mathfrak{R}}$  je relace uspořádání  $\leq$  a  $f_{\mathfrak{R}}$  je násobení přirozených čísel. Rozhodněte, zda  $\mathfrak{R}$  je modelem teorie  $\varphi$  a svoje rozhodnutí odůvodněte.

### 2.3.3

Buď  $L$  jazyk predikátové logiky 1. řádu a rovností, jedním binárním predikátovým symbolem  $p$  a jedním unárním funkčním symbolem  $f$ . Nechť  $T$  je teorie 1. řádu s jazykem  $L$  daná následujícími dvěma speciálními axiomy:

$$\begin{aligned} p(f(x), x) \\ f(f(x)) = f(f(y)) \Rightarrow p(x, y) \end{aligned}$$

Uvažujme realizaci  $M = (\mathbb{Q}, \leq, h)$  jazyka  $L$ , kde  $\leq$  je  $p_M$  a operace  $h = f_M$  na množině  $\mathbb{Q}$  je definována předpisem  $h(a) = \frac{a}{2}$  pro libovolné  $a \in \mathbb{Q}$ . Rozhodněte, zda:

- a)  $M$  je modelem teorie  $T$
- b)  $f(f(x)) = f(f(y)) \Rightarrow p(f(x), y)$  je důsledkem teorie  $T$ .

### 2.3.4

Uvažujme jazyk  $L$  s rovností, jedním binárním funkčním symbolem  $f$  a predikátovými symboly  $p$  a  $q$  arit 1 a 3. Nechť  $\mathfrak{R}$  je realizace jazyka  $L$ , kde univerzem je  $P(\mathbb{N})$ , tj. množina všech podmnožin množiny přirozených čísel, a symboly se realizují na množinách  $A, B, C \subseteq N$  následovně:

$$\begin{aligned} f_{\mathfrak{R}}(A, B) &= A \cap B \\ A \in P_{\mathfrak{R}} &\Leftrightarrow A \neq \emptyset \\ (A, B, C) \in q_{\mathfrak{R}} &\Leftrightarrow A \cap B \cap C \end{aligned}$$

je konečná. Rozhodněte, zda jsou následující formule splněny v  $\mathfrak{R}$ :

- 1)  $\forall x \forall y q(x, y, f(x, y))$
- 2)  $p(f(x, y)) \Rightarrow (p(x) \wedge p(y))$
- 3)  $p(x) \wedge p(y) \Rightarrow \forall z q(x, y, z)$
- 4)  $p(x) \Rightarrow q(x, f(x, x), x)$

### 2.3.5

Uvažujme jazyk L se dvěma konstantami  $k, l$ , jedním unárním funkčním symbolem  $f$  a jedním binárním predikátovým symbolem  $p$ . Nechť  $\mathfrak{R}$  je realizace jazyka L, kde univerzem je množina všech bodů kulové plochy  $K$  se středem  $O$  s kulovou plochou  $K$ . Symbol  $f$  se realizuje v bodě  $x$  jako bod jemu protilehlý, tj.  $f_{\mathfrak{R}}(x) \neq x$  je průsečík přímky procházející bodem  $x$  a středem  $O$  s kulovou plochou  $K$ . Realizace konstant jsou dva vzájemně protilehlé body:  $k_{\mathfrak{R}} = S$  (severní pól) a  $l_{\mathfrak{R}} = J$  (Jížní pól). Realizace symbolu  $p$  na bodech  $x, y$  je  $p_{\mathfrak{R}}(x, y) \Leftrightarrow x, y$  leží na stejné (zeměpisné) rovnoběžce, tj. kružnicí vzniklé průnikem kulové plochy  $K$  a roviny kolmé na spojnici bodů  $S$  a  $J$ . Uvažujme následující formule:

- (1)  $\chi : p(x, f(x))$
- (2)  $\psi : p(l, x) \Leftrightarrow p(k, x)$
- (3)  $\theta : f(k) = l$

Určete ty z teorií  $A = \{\psi, \theta\}$ ,  $B = \{\neg\chi, \psi\}$ ,  $C = \{\neg\chi, \theta\}$ ,  $D = \{\psi, \theta\}$ , jejichž je  $\mathfrak{R}$  modelem.

### 2.3.6

Uvažujme jazyk L s jedním binárním predikátovým symbolem  $p$ . Nechť  $A$  je konečná množina a  $M$  je taková realizace jazyka L na množině  $P(A)$  všech podmnožin množiny A, kde:

$$p_M(X, Y) \Leftrightarrow X \subseteq Y.$$

Uvažujme formule:

$$\begin{aligned} \varphi &: \forall x \forall y (p(x, y) \Rightarrow p(y, x)) \\ \psi &: \forall y (p(x, y) \Rightarrow p(y, x)) \end{aligned}$$

a teorii  $T = \{\varphi, \psi\}$

- (1) Najděte ohodnocení e volných proměnných formule  $\varphi$  tak, aby byla při tomto ohodnocení pravdivá, tedy aby platilo  $M \models \varphi[e]$ .
- (2) Rozhodněte a odůvodněte, zda platí  $M \models \varphi$ .
- (3) Najděte jinou realizaci  $N$  na univerzu  $P(A)$  takovou, aby platilo  $N \models T$ .

### 2.3.7

Uvažujme jazyk L s rovností, jedním unárním predikátovým symbolem  $p$  a jedním binárním funkčním symbolem  $f$ . Nechť  $M$  je taková realizace jazyka L na množině  $P(\mathbb{R}^2)$  všech podmnožin reálné roviny  $\mathbb{R}^2$ , kde  $p_M(X)$  znamená, že  $X$  je neprázdná množina bodů ležících uvnitř a na hranici nějakého obdélníku v  $\mathbb{R}^2$ , jehož strany jsou rovnoběžné se souřadnými osami,  $f_M(X, Y) = X \cup Y$ . Rozhodněte a zdůvodněte, zda

- (1)  $M \models (\exists x)(p(x) \Rightarrow f(x, x) = x)$
- (2)  $p(f(x, y)) \models (p(x) \vee p(y))$
- (3)  $M \models p(f(x, y)) \Rightarrow (p(x) \vee p(y))$

### 2.3.8

Uvažujme jazyk L s rovností, jedním unárním predikátovým symbolem  $p$  a jedním binárním funkčním symbolem  $f$ . Nechť  $M$  je taková realizace jazyka L na množině  $P(\mathbb{R}^2)$  všech podmnožin reálné roviny  $\mathbb{R}^2$ , kde  $p_M(X)$  znamená, že  $X$  je neprázdná množina bodů ležících uvnitř a na hranici nějakého obdélníku v  $\mathbb{R}^2$ , jehož strany jsou rovnoběžné se souřadnými osami,  $f_M(X, Y) = X \cap Y$ . Rozhodněte a zdůvodněte, zda

- (1)  $M \models (\exists x)(f(x, x) = x \Rightarrow p(x))$
- (2)  $M \models (p(x) \wedge p(y)) \Rightarrow p(f(x, y))$
- (3)  $(p(x) \wedge p(y)) \models p(f(x, y))$

### 2.3.9

Uvažujme jazyk L s rovností a jedním binárním predikátovým symbolem  $p$ . Bud'  $R$  realizace jazyka L, jejimž univerzem je množina  $S(\mathbb{Z})$  všechny podgrupy grupy  $(\mathbb{Z}, +)$  a v niž platí  $p_R(G, H) \Leftrightarrow$  existuje injektivní homomorfismus grup  $G \rightarrow H$ .

1. Rozhodněte, zda R je modelm teorie uspořádaných množin.
2. Uvažujme formuli  $\varphi \equiv \forall y p(y, x)$ . Popište všechna ohodnocení  $e$  proměnných jazyka L taková, že  $R \models \varphi[e]$ .

### 2.3.10

Uvažujte jazyk L s rovností, jedním binárním predikátovým symbolem  $p$  a jedním funkčním symbolem  $f$ . Bud'  $\mathfrak{R}$  realizace jazyka L, jejimž univerzem je množina  $\mathbb{R}$  všech reálných čísel a v niž platí:  $p_{\mathfrak{R}}(a, b) \Leftrightarrow a \leq b$ ,  $f_{\mathfrak{R}}(a, b) = a+b$ . Uvažujte teorii  $T = \{p(f(x, y), f(y, z)) \Rightarrow (p(x, z)), p(x, f(y, z)) \wedge p(f(x, y), f(x, z))\}$  a formuli  $\varphi = p(x, f(x, y))$ .

- 1) Rozhodněte, zda  $\mathfrak{R} \models T$ , tj. zda  $\mathfrak{R}$  je modelem teorie T.
- 2) Dokažte, že  $T \models \varphi$ , tj. že  $\varphi$  je důsledkem teorie T.

### 2.3.11

Bud' L jazyk s jedním binárním predikátovým symbolem  $p$  a funkčními symboly  $f$  (ternární) a  $g$  (unární). Uvažujme realizaci M jazyka L na univerzu N množiny přirozených čísel, kde  $p_M(k, l) \Leftrightarrow 2+k \leq l$ ,  $f_M(k, l, m) = k+l+m$  a  $g_M(k) = 3k$ . Rozhodněte, zda platí:

$$M \models \forall z((p(x, y) \wedge p(y, z)) \rightarrow (p(g(x), f(x, y, z)) \wedge p(x, z)))$$

Najděte formuli jazyka L o proměnných  $x, y, z$ , která bude v realizaci M při ohodnocení proměnných  $x \mapsto k$ ,  $y \mapsto l$  a  $z \mapsto m$  ekvivalentní podmínce  $2(m+1) \leq k+l$ .

### 2.3.12

Převed'te formuli  $\forall x \exists y p(x, z) \rightarrow \exists y \exists z (q(x) \rightarrow \forall z p(y, z))$  do prenexního tvaru a najděte realizaci příšného jazyka, v niž bude tato formule splněna.

### 2.3.13

Převeďte na prenexní tvar a nalezněte realizaci, kdy bude následující formule splněna.

$$\forall x \forall z (q(x) \rightarrow \exists z \exists z p(z, x)) \rightarrow \forall y p(y, z)$$

### 2.3.14

Najděte formuli  $\varphi$  jazyka L s jedním binárním funkčním symbolem  $f$ , konstantou  $c$  a rovností, která bude v realizaci  $R$  s univerzem  $\mathbb{N}$  (množina kladných celých čísel), kde  $f_R(k, l) = kl$ ,  $c_R = 1$  vyjadřovat vlastnost, že existuje prvočílo ( $n \in \mathbb{N}$ ,  $n > 1$ , dělitelné jen jedničkou a samou sebou)

### 2.3.15

Uvažujme jazyk K s rovností a jedním funkčním binárním symbolem  $f$ . Nechť  $\mathfrak{R}$  je realizace jazyka K s univerzem  $\mathbb{Z}$ , kde  $f_{\mathfrak{R}}$  je násobení na  $\mathbb{Z}$ . Napište formuli predikátové logiky, která bude f realizaci  $\mathfrak{R}$  odpovídat vlastnosti, že každé dva prvky z  $\mathbb{Z}$  mají největší společný dělitel.

### 2.3.16

Uvažujme jazyk L s rovností, unárním predikátovým symbolem  $v$ , unárním funkčním symbolem  $d$  a binárním funkčním symbolem  $g$ . Nechť M je realizace jazyka L s univerzem  $\mathbb{R}^2$ , kde

$$d_M(a, b) = (b, a)$$

$$g_M((a, b), (c, d)) = \begin{cases} (a, b), b \neq c \\ (a, d), b = c \end{cases}$$

Uvažujme teorii:  $T = \{(x = d(x)) \rightarrow v(x), v(x) \rightarrow v(d(x)), (v(x) \wedge v(y)) \rightarrow v(g(x, y))\}$  Najděte unární relaci  $v_M$  takovou, aby realizace M byla modelem teorie T a rozhodněte, zda  $T \models v(d(x)) \rightarrow v(x)$ .

### 2.3.17

Mějme jazyk L nad univerzem  $\{a, b, c, d\}$ , s binárním predikátovým symbolem  $p$  a unárním funkčním symbolem  $u$  a teorii  $T = \{p(x, u(x)), u(u(x)) = x, p(x, y) \rightarrow (x = y \vee x = u(y))\}$ .

- a) Nalezněte realizaci R tohoto jazyka takovou, že je modelem teorie T. Měli jsme to zadat tabulkou, tj. 4x4 pro predikát (zapisujte 0 a 1) a 4x1 pro unární operaci.
- b) Rozhodněte, zda  $T \vdash p(x, y) \Rightarrow (x = y)$

### 2.3.18

Nechť L je jazyk s rovností, bin. predikatovy sym. p a binarnim funkcnim symbolem p. Uvazujte formule

$$\phi \equiv f(x, x) = x$$

$$\chi \equiv p(x, f(x, y))$$

$$\psi \equiv p(x, y) \Leftrightarrow f(x, y) = y$$

$$\omega \equiv f(x, f(y, z)) = f(f(x, y), z)$$

a teori  $T = \phi, \chi, \psi, \omega$ .

a) Uvazujte realizaci  $R$  jaz. do  $L$  s univerzum  $N$  a realizaci symbolu  $p_R(a, b) \Leftrightarrow a \mid b$  (| znamena deli) a  $f_R = nsn(a, b)$  rozhodnout zda  $R \models T$

b) Zjistite zda plati  $T \setminus \{\chi\} \cup \{\omega\} \models \chi$  a zdůvodněte

### 2.3.19

Mějme jazyk s rovností, unárním funkčním symbolem  $f$  a binárním predikátovým symbolem  $p$ . Bud'  $\mathfrak{R}$  realizace tohoto jazyka a univerzem  $\{a, b, c\}$ , kde  $f_{\mathfrak{R}} : \{a, b, c\} \rightarrow \{a, b, c\}$  je operace definovaná přiřazením  $a \mapsto c$ ,  $b \mapsto a$ ,  $c \mapsto b$  a  $p_{\mathfrak{R}} = \{(a, a), (a, c), (c, a), (c, c)\}$ . Uvažujme formule:

$$\begin{aligned}\varphi &\equiv \forall x \exists y p(f(x), y), \\ \chi &\equiv p(x, y) \rightarrow (x = y \vee y = f(x) \vee x = f(y)), \\ \psi &\equiv \forall x \exists y (p(x, x) \rightarrow \neg x = f(y)),\end{aligned}$$

Ověřte, zda  $\mathfrak{R}$  je modelem některé z teorií  $S = \{\varphi, \chi, \psi\}$ ,  $T = \{\neg\varphi, \chi, \psi\}$ ,  $U = \{\psi, \neg\chi\}$ . Svůj závěr odůvodněte.

### 2.3.20

Bud'  $L$  jazyk predikátové logiky 1. řádu s rovností a jediným binárním operačním symbolem  $p$ . Nechť  $T$  je teorie 1. řádu s jazykem  $L$  daná následujícími dvěma speciálními axiomy:

$$\begin{aligned}p(x, x) &= x \\ p(p(x, y)), p(z, t) &= p(x, t)\end{aligned}$$

Uvažujme realizaci  $M(\mathbb{Z}^2, p)$  jazyka  $L$ , kde binární operace  $p = p_M$  na množině  $\mathbb{Z}^2$  je definována předpisem  $p((a, b), (c, d)) = (a, d)$  pro libovolné prvky  $(a, b), (c, d) \in \mathbb{Z}^2$ . Dokažte, že

- a)  $M$  je modelem teorie  $T$
- b) asociativní zákon je důsledkem teorie  $T$  (takže  $T$  je rozšířením teorie pologrup).

## 2.4 Prenexní tvar

### 2.4.1

Převed'te formulí

$$\forall x \varphi(x, y) \rightarrow \exists x (\psi(x) \vee \chi(y, z))$$

do prenexního tvaru. K získané formuli (v prenexním tvaru) napište její negaci a upravte ji tak, aby se spojka negace vyskytovala jen před (některými)  $\varphi, \psi, \chi$ .

### 2.4.2

Převed'te negaci formule  $(\forall x p(x, y) \rightarrow \exists x \forall y q(x, y)) \wedge \exists y (\forall x p(y, y) \rightarrow \forall x p(x, y))$  do prenexního tvaru.

### 2.4.3

Převeďte negaci následující formule do prenexního tvaru:

$$\neg(\forall x(\Phi(x) \Rightarrow \forall y\psi(x, y)) \Rightarrow \forall x\exists y\psi(x, y))$$

### 2.4.4

Negaci formule

$$\exists x(\neg(\varphi \wedge \neg\psi) \wedge \neg(\psi \wedge \neg\varphi)) \wedge (\forall x\chi)$$

převeďte do tvaru (ekvivalentní formule), ve kterém se nebude vyskytovat žádná ze spojek  $\wedge$  a  $\vee$ .

### 2.4.5

Převeďte následující formuli do prenexního tvaru. Potom napište její negaci a upravte ji tak, aby se v ní nevyskytovala spojka  $\Rightarrow$ :

$$\forall xA(x) \Rightarrow (\forall xB(y) \Rightarrow \neg\forall xC(y, x))$$

### 2.4.6

Převeďte negaci formulce  $\forall x\forall y\varphi(x, y) \Rightarrow \exists x(\psi(x) \Rightarrow \forall z\varphi(x, z))$  do prenexního tvaru.

### 2.4.7

Převeďte formuli

$$\forall x\exists y\varphi(x, y) \rightarrow (\varphi(x, x) \rightarrow \exists y\forall x\varphi(y, y))$$

do prenexního tvaru. Poté napište jeho negaci ve tvaru, kde se symbol  $\neg$  bude vyskytovat pouze u atomických formulí.

### 2.4.8

Rozhodněte, zda jsou formule  $(x \vee (y \wedge z)) \Rightarrow (y \wedge (x \vee z))$  a  $((x \vee y) \wedge (x \vee z)) \Rightarrow y$  ekvivalentní.

### 2.4.9

Rozhodněte, zda jsou formule  $(y \wedge z) \Rightarrow (x \vee (x \wedge y))$  a  $(z \wedge \neg x) \Rightarrow (\neg y \wedge (x \vee \neg y))$  ekvivalentní.

### 2.4.10

Převeďte formuli  $(\forall xp(x, y) \Rightarrow \forall x\exists yq(x, x)) \Rightarrow \forall x(\exists xp(y, x) \Rightarrow q(y, x))$  do prenexního tvaru. Poté ji znegujte a převeďte do tvaru, kde se spojka  $\neg$  nebude vyskytovat u neatomických formulí.

#### 2.4.11

Zjistěte, zda  $\phi$  a  $\psi$  jsou ekvivalentní formule predikátové logiky s jazykem obsahujícím binární predikátové symboly  $p, q$ , kde

$$\phi : \forall x p(x, y) \rightarrow \neg \forall z q(z, x)$$

$$\psi : \exists z (p(z, y) \rightarrow \neg q(z, x))$$

Návod: Vyjádřete formule  $\phi, \psi$  bez použití spojky  $\rightarrow$  a po úpravách jednu z nich převed'te na prenexní tvar snížením počtu kvantifikátorů.

#### 2.4.12

Zjistěte, zda  $\phi$  a  $\psi$  jsou ekvivalentní formule predikátové logiky s jazykem obsahujícím binární predikátové symboly  $p, q$ , kde :

$$\phi : \neg(\forall y p(x, y) \rightarrow \exists z q(z, y))$$

$$\psi : \forall z (\neg(p(x, z) \rightarrow q(z, y)))$$

Návod: Vyjádřete formule  $\phi, \psi$  bez použití spojky  $\rightarrow$  a po úpravách jednu z nich převed'te na prenexní tvar snížením počtu kvantifikátorů.

#### 2.4.13

V jazyce s binárními predikátovými symboly  $p, q$  uvažujme formule:

$$\alpha \equiv \forall x (\exists u p(u, y) \rightarrow \exists y \exists z (\forall x q(y, z) \rightarrow \exists v p(v, z)))$$

$$\beta \equiv \forall x (p(x, y) \rightarrow \exists y \forall x (\forall x q(x, z) \rightarrow \exists z p(z, y)))$$

Převed'te na prenexní tvar a rozhodněte zda jsou formule ekvivalentní.

#### 2.4.14

Pomocí převodu na prenexní tvar rozhodněte, zda  $\varphi$  a  $\psi$  jsou ekvivalentní formule v jazyce predikátové logiky obsahující unární predikátové symboly  $p, q$ :

$$\varphi \equiv \forall x p(x) \leftrightarrow \forall y q(y),$$

$$\psi \equiv \forall x \exists y \exists z ((p(y) \rightarrow q(x)) \wedge (q(z) \rightarrow p(x))).$$

#### 2.4.15

V jazyce s binárním predikátovými symboly  $p, q$  uvažujme formule:

$$\gamma \equiv \exists x (\exists u p(u, y) \rightarrow \forall y \exists u (\forall y q(y, z) \rightarrow p(x, u))),$$

$$\delta \equiv \forall x (p(x, y) \rightarrow \exists y \forall x (\forall x q(x, z) \rightarrow \forall z p(y, z))).$$

Pomocí převodu na prenexní tvar rozhodněte, zda jsou formule logicky ekvivalentní (svůj závěr objasňte).

#### 2.4.16

Najděte formuli  $\varphi$  jazyka  $L$  s jedním binárním funkčním symbolem  $f$ , konstantou  $c$  a rovností, která bude v realizaci  $R$  s univerzem  $\mathbb{N}$  (množina kladných celých čísel), kde  $f_R(k, l) = kl$ ,  $c_R = 1$  vyjadřovat vlastnost, že existuje prvočíslo (tj. přirozené číslo větší než 1 dělitelné pouze sebou samým a číslem 1).

### 3 Algebra

#### 3.1 Grupy, podgrupy, cyklické grupy

##### 3.1.1

Na množině  $\mathbb{Z}$  všech celých čísel uvažujme binární operaci  $*$  definovanou takto:  $x*y = xy + x + y$ . Tato operace tvorí na množině  $\mathbb{Z} - \{-1\}$  komutativní grupu, ve které inverzní prvek K danému prvku Je:

- a)  $\frac{1-x}{1+x}$
- b)  $\frac{1}{-1+x}$
- c)  $\frac{x}{-1+x}$
- d)  $\frac{1}{1+x}$
- e) v jiném tvaru, než je uvedeno v (a)-(d).

##### 3.1.2

Bud'  $A = (\mathbb{Z}, f)$  algebra typu (1) ( $\mathbb{Z}$  značí množinu celých čísel), kde  $f(z) = |z| - 8$  pro každé  $z \in \mathbb{Z}$ . Popište:

1. podalgebru  $B = \langle -4 \rangle$  algebry  $A$ ,
2. přímý součin algeber  $B \times (0, 1, 2, g)$ , kde  $g$  je permutace  $g = (1, 2)$  (v cyklickém zápisu).

##### 3.1.3

Popište:

- a) podgrupu grupy  $\mathfrak{R}$  s operací  $+$  generovanou množinou  $\{3, 11\}$ ,
- b) podtěleso tělesa  $\mathfrak{R}$  (s obvyklými operacemi sčítání a násobení) generované množinou  $\{n\}$ , kde  $n$  je celé nenulové číslo.

##### 3.1.4

Položme  $P = \{f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}; \exists a \in \mathbb{R} - \{0\} \forall x \in \mathbb{R} : f(x) = ax\}$ . Dokažte, že  $(P, \circ)$ , kde  $\circ$  značí skládání zobrazení, je grupoid. Zjistěte, zda  $(P, \circ)$  je dokonce grada (svůj závěr odůvodněte).

### 3.1.5

Uvažujme univerzální algebru  $A = (\mathbb{C}, +, conj, 1)$ , kde  $+$  je binární operace sčítání komplexních čísel,  $conj$  je unární operace konjungace (komplexní sdruženost), tj.  $conj(a+bi) = a-bi$ , a  $1$  je nulární operace. Popište podalgebru  $\langle \{i\} \rangle$  algebry  $A$  (tj. podalgebru generovanou jednoprvkovou množinou  $\{i\}$ ).

### 3.1.6

Nechť  $G = \{x + y\sqrt{7}; x, y \in \mathbb{Q}\}$ . Zjistěte, zda  $(G, +, \cdot)$  je těleso ( $+$  a  $\cdot$  značí obvyklé operace sčítání a násobení).

### 3.1.7

Udejte příklad tříprvkového komutativního grupoidu, který není grupou, ale platí v něm zákony o krácení. Zdůvodněte, proč tento grupoid není grada.

### 3.1.8

Na množině  $\mathbb{Q}$  všech racionálních čísel je dána binární relace  $\odot$  vztahem  $x \odot y = x + y - xy$ . Pak  $(\mathbb{Q}, \odot)$  tvoří:

- (a) grupu
- (b) komutativní monoid, který není grupou
- (c) monid, který není komutativní
- (d) pologrupu bez neutrálního prvku
- (e) netvoří komutativní pologrupu

### 3.1.9

Bud'  $S$  symetrická grada na množině  $\mathbb{R} - \{0, 1\}$ , tj. grada všech permutací na množině  $\mathbb{R} - \{0, 1\}$  s operací skládání. Určete podgrupu grady  $S$  generovanou permutací  $\{f_1, f_2\}$ , kde  $f_1(x) = \frac{x}{x-1}$ ,  $f_2(x) = \frac{x-1}{x}$ .

### 3.1.10

Je dán grupoid s tří prvkovou množinou a s jednou operací  $\circ$ , která splňuje zákon o krácení. Sestavte tabulkou pro tuto operaci. Zároveň grupoid není grupou, ukažte, že neplatí asociativní zákon.

### 3.1.11

Je dána grada  $(\mathbb{Z}, 1, 2, f)$ , kde  $\mathbb{Z}$  je množina celých čísel a  $1, 2$  jsou konstanty a  $f$  je unární operace definována předpisem  $f(x) = 3x$ . Určete podgrupu  $\langle 6 \rangle$  generovanou prvkem  $6$ .

### 3.1.12

Máme algebru  $A = (\mathbb{R}^2, +, k, (0, 1))$ , kde  $+$  je sčítání po složkách,  $k(a, b) = (-a, b)$  a  $(0, 1)$  je nulární operace. Najděte podalgebru algebry  $A$  generovanou z  $\langle \{(1, 0)\} \rangle$ .

### 3.1.13

Uvažujte podgrupu symetrické grupy  $S_4$  (tj. grupy permutací množiny  $\{1, 2, 3, 4\}$ ) generované množinou permutací  $\{(1, 2, 3, 4), (1, 4, 3, 2)\}$ . Určete řád podgrupy a zda je podgrupa komutativní, či dokonce izomorfní s pro nějaké  $(\mathbb{Z}_n, +)$ , kde  $n \in \mathbb{N}$ .

### 3.1.14

Uvažujme univerzální algebru  $A = (A, p, q)$  typu  $(1, 1)$  na množině funkcí

$$A = \left\{ x, 1-x, \frac{1}{x}, \frac{1}{1-x}, 1-\frac{1}{x}, \frac{x}{x-1} \right\}$$

s definičním oborem  $\mathbb{R} \setminus \{0, 1\}$ , kde  $p(f(x)) = \frac{1}{f(x)}$  a  $q(f(x)) = \frac{f(x)}{f(x)-1}$  pro  $f(x) \in A$ . Dokažte, že množina  $A$  je uzavřená vzhledem k operaci  $p$  i  $q$  a najděte podalgebru  $A$  generovanou prvkem  $1-x$ .

### 3.1.15

Dokažte, že grupoid  $(A, *)$ , kde  $A = \{a, b, c, d\}$  a operátor  $*$  je dána níže uvedenou tabulkou, není pologrupou. Rozhodněte zda existuje nějaký tříprvkový podgrupoid grupoidu  $(A, *)$  a nějaká vlastní kongruence (tj. taková, která není rovností ani univerzální relací) na  $(A, *)$ . (Ukažte na základě jaké úvahy vaše odpověď vznikla.)

*	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>
<b>a</b>	a	b	a	a
<b>b</b>	a	c	d	c
<b>c</b>	b	c	d	c
<b>d</b>	a	d	b	b

### 3.1.16

Nechtě  $\mathbb{I}$  je množina iracionálních čísel a uvažujeme monoid všech zobrazení  $f : \mathbb{I} \rightarrow \mathbb{I}$  s operací  $\circ$  (skládání zobrazení) a jeho podmnožinou  $M = \{f(x) = \frac{x}{1+ax} | a \in \mathbb{Z}\}$ . Dokažte, že  $M$  je uzavřená vzhledem k  $\circ$ . Rozhodněte, které z následujících vlastností má grupoid  $(M, \circ)$  (svá rozhodnutí zdůvodněte):

- a) je pologrupa
- b) je komutativní pologrupa
- c) je monoid
- d) je komutativní monoid

- e) je grupa  
f) je komutativní grupa

### 3.1.17

Dokažte, že grupoid  $(A, *)$ , kde  $A = \{a, b, c, d\}$  a operátor  $*$  je dána níže uvedenou tabulkou, není pologrupou. Rozhodněte zda existuje nějaký tříprvkový podgrupoid grupoidu  $(A, *)$  a nějaká vlastní kongruence (tj. taková, která není rovností ani univerzální relací) na  $(A, *)$ . (Ukažte na základě jaké úvahy vaše odpověď vznikla.)

*	a	b	c	d
a	b	a	c	c
b	b	a	d	c
c	c	d	a	b
d	d	d	b	b

### 3.1.18

Nechť  $\mathbb{R}$  (Nebo tam bylo  $\mathbb{C}$ ? s tím  $\mathbb{R}$  mi to moc nesedí) je množina reálných čísel a uvažujeme monoid všech zobrazení  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  s operací  $\circ$  (skládání zobrazení) a jeho podmnožinou  $M = \{f(x) = \sqrt[3]{a+x^3} | a \in \mathbb{Z}\}$ . Dokažte, že  $M$  je uzavřená vzhledem k  $\circ$ . Rozhodněte, které z následujících vlastností má grupoid  $(M, \circ)$  (svá rozhodnutí zdůvodněte):

- a) je pologrupa  
b) je komutativní pologrupa  
c) je monoid  
d) je komutativní monoid  
e) je grupa  
f) je komutativní grupa

### 3.1.19

Zjistěte, zda lze doplnit následující Cayleyovu tabulku binární operace  $*$  tak, aby  $(\{a, b, c\}, *)$  byla grupa a v kladném případě doplnění proveděte:

*	a	b	c	d
a		c		
b			d	
c				
d				

Návod: Využijte obecné vlastnosti grup nebo ověřte, zda grupa  $(\{a, b, c\}, *)$  nemůže být izomorfní s některou z algeber  $(\mathbb{Z}_n, +) \times (\mathbb{Z}_n, +)$ ,  $(\mathbb{Z}_n, \cdot) \times (\mathbb{Z}_n, \cdot)$ ,  $(\mathbb{Z}_n, +) \times (\mathbb{Z}_n, \cdot)$  pro vhodné  $n \in \mathbb{N}$ .

### 3.1.20

Uvažujte typ  $\Omega = \{\circ, f\}$  s aritami  $a(\circ), a(f) = 1$ . Nechť algebra  $A = (\{a, b, c, d, e\}, *)$  patří do variety určené identitami  $\{x * y = f(x), f(f(x)) = f(x)\}$  a  $f$  je určeno na prvních  $a, c, e : f(a) = b, f(c) = d, f(e) = e$ .

- a) rozhodněte, zda  $(\{a, b, c, d, e\}, *)$  patří do variety pologrup
- b) najděte podalgebry  $A$  generovanou množinou  $\{a, e\}$
- c) najděte všechny izomorfismy  $\Omega$ -algebry  $A$  do sebe

### 3.1.21

Mějme grupu  $G = S_2 \times S_3$ , kde  $S_2, S_3$  jsou symetrické grupy (tj. grupy permutací dvouprvkové, resp. tříprvkové množiny), a definujme zobrazení  $f : G \rightarrow G$  předpisem

$$f(x, y) = (x \circ x, y \circ y).$$

Zjistěte, zda zobrazení  $f$  je homomorfismus. Dále nalezněte podgrupu generovanou množinou  $\{x\}$ , kde

$$x = \left( \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 1 \end{pmatrix} \right),$$

a určete, zda je tato podgrupa izomorfní grupě  $(\mathbb{Z}_n, +)$  pro nějaké  $n$ .

## 3.2 Morfismy

### 3.2.1

Na množině  $\mathbb{C}$  komplexních čísel uvažujme operaci  $+$  obvyklého sčítání. Bud'  $f : \mathbb{C} \rightarrow \mathbb{C}$  zobrazení dané předpisem  $f(a + ib) = a - ib$ . Pak:

- a)  $(\mathbb{C}, +)$  není grupa
- b)  $f$  je zobrazení grupy  $(\mathbb{C}, +)$  do sebe, které není homomorfismem
- c)  $f$  je homomorfismus grupy  $(\mathbb{C}, +)$  do sebe, který není izomorfismem
- d)  $f$  je izomorfismus grupy  $(\mathbb{C}, +)$  na sebe (tedy automorfismus)
- e) neplatí žádná z uvedených možností

### 3.2.2

Uvažujme aditivní grupu reálných čísel  $(\mathbb{R}, \oplus)$ , kde operace  $\oplus$  je daná předpisem

$$a \oplus b = a + b - 1$$

1. Rozhodněte, zda grupoid  $(\mathbb{R}, \oplus)$  je monoid.
2. Rozhodněte, zda zobrazení  $f : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  dané předpisem  $f(x) = 2x + 1$  je homomorfismus grupoidů  $(\mathbb{R}, +) \rightarrow (\mathbb{R}, \oplus)$ .

### 3.2.3

Nechť pro libovolné přirozené číslo  $m > 0$  značí symbol  $Z_m$  okruh zbytkových tříd modulo  $m$  a pro libovolné  $x \in Z$  nechť symbol  $[x]_m$  značí tu třídu kongruence modulo  $m$  (tedy prvek množiny  $Z_m$ ), která obsahuje prvek  $x$ . Jaký musí být vztak mezi přirozenými čisly  $m, n > 0$ , aby platilo  $[x]_m \subseteq [x]_n$  pro všechna  $x \in Z$ ? Je pak zobrazení  $f : Z_m \rightarrow Z_n$  dané předpisem  $f([x]_m) = [x]_n$  pro všechna  $x \in Z$  homomorfismus?

### 3.2.4

Mějme grupu  $M(n, \mathbb{R})$  všech čtvercových matic řádu  $n$  ( $n \in \mathbb{N} - \{0\}$ ) nad  $\mathbb{R}$  s operací sčítání a grupu  $\mathbb{R}$  všech reálných čísel s operací sčítání. Definujeme zobrazení  $f : M(n, \mathbb{R}) \rightarrow \mathbb{R}$  předpisem  $f(A) = \text{tr}(A)$  pro všechna  $A \in M(n, \mathbb{R})$  (kde  $\text{tr}(A)$  značí stopu matice  $A$ , tj. součet prvků na hlavní diagonále matice  $A$ ). Dokažte, že  $f$  je homomorfismus, popište třídy jádra  $M(n, \mathbb{R})/f$  a určete normální podgrupu grupy  $M(n, \mathbb{R})$  odpovídající jádru  $M(n, \mathbb{R})/f$ . Zjistěte, zda grupy  $M(n, \mathbb{R})/f$  a  $\mathbb{R}$  jsou izomorfní.

### 3.2.5

Uvažujme univerzální alagebru  $A = (\mathbb{Z}, *, ', )$  typu  $(1, 1)$  na množině celých čísel  $\mathbb{Z}$ , kde odpovídající unární operace jsou dány vztahy:  $a' = |a|$  a  $a^* = (-1)^a a$ . Rozhodněte, zda zobrazení  $\varphi(a) = 4a^2$  je homomorfismus  $A \rightarrow A$  a pokud ano, popište jeho jádro.

### 3.2.6

Uvažujme univerzální algebru  $A = (\mathbb{Z}^2, e, \delta, \oplus, \odot, \nabla)$ , kde  $e$  je nulární operace,  $\delta$  je unární operace,  $\oplus, \odot$  jsou binární operace a  $\nabla$  je ternární operace. Tyto operace jsou dány následovně:  $e = (0, 1)$ ,  $\delta(x, y) = (x, y + 2)$ ,  $\oplus(x_1, y_1) = (x_1 + x_2, y_1 + y_2)$ ,  $\odot(x_1, y_1) = (x_1 x_2, y_1 + y_2)$ ,  $\nabla((x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)) = (x_1 + x_2 + x_3, y_1 + y_2 + y_3)$ . Zjistěte a zdůvodněte, zda zobrazení  $\varphi : \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z}$  určené předpisem  $\varphi(x, y) = (3x, x + y)$  je homomorfismus algebry  $A$  do  $A$ .

### 3.2.7

Uvažujme univerzální algebru  $A = (\mathbb{Z}^2, e, \delta, \oplus, \odot, \nabla)$ , kde  $e$  je nulární operace,  $\delta$  je unární operace,  $\oplus, \odot$  jsou binární operace a  $\nabla$  je ternární operace. Tyto operace jsou dány následovně:  $e = (0, 1)$ ,  $\delta(x, y) = (x + 1, y)$ ,  $\oplus(x_1, y_1) = (x_1 + x_2, y_1 + y_2)$ ,  $\odot(x_1, y_1) = (x_1 + x_2, y_1 y_2)$ ,  $\nabla((x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)) = (x_1 + x_2 + x_3, y_1 + y_2 + y_3)$ . Zjistěte a zdůvodněte, zda zobrazení  $\varphi : \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{Z}$  určené předpisem  $\varphi(x, y) = (x + y, 2y)$  je homomorfismus algebry  $A$  do  $A$ .

### 3.2.8

Mějme grupu  $T(3, \mathbb{R})$  všech invertibilních (tj. regulárních) trojúhelníkových matic řádu 3 s operací násobení a grupou  $\mathbb{R}^*$  všech nenulových reálných čísel s operací násobení. Definujeme zobrazení  $f : T(3, \mathbb{R}) \rightarrow \mathbb{R}^*$  předpisem  $f(A) = |A|$  pro všechna  $A \in T(3, \mathbb{R})$ , (kde  $|A|$  značí determinant matice  $A$ ). Zjistěte, zda  $f$  je homomorfismus a nalezněte netriviální vlastní normální podgrupu grupy  $T(3, \mathbb{R})$ .

### 3.2.9

Mějme grupu  $(GL(2, \mathbb{R}), \cdot)$  regulárních (tj. invertibilních) čtvercových matic řádu 2 spolu s operací násobení. Nalezněte podgrupu  $B \subseteq GL(2, \mathbb{R})$  generovanou jednoprvkovou množinou

$$\left\{ \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \right\}$$

a rozhodněte, zda  $f : B \rightarrow (\mathbb{Q}, +)$ , kde

$$f \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = ac$$

je homomorfismus grup. Své tvrení zdůvodněte.

### 3.2.10

Uvažujme binární operaci  $*$  na množině  $\mathbb{R}_+^2$  dvojic kladných reálných čísel definovanou vztahem

$$(a, b) * (c, d) = (a^d c, bd).$$

Rozhodněte, zda algebra  $(\mathbb{R}_+^2, *)$  je

- a) pologrupa
- b) monoid
- c) komutativní monoid
- d) grupa
- e) komutativní grupa

a najděte nějaký její netriviální homomorfismus do grupy  $(\mathbb{R}_+, \cdot)$ .

## 3.3 Kongruence

### 3.3.1

Mějme grupu regulárních matic řádu 2 nad tělesem reálných čísel  $\mathbb{R}$  spolu s operací násobení matic, označíme ji  $(GL(2, \mathbb{R}), \cdot)$ . Uvažujme binární relaci  $\sim$  na  $(GL(2, \mathbb{R}), \cdot)$  definovanou předpisem  $A \sim B \Leftrightarrow |A| = |B|$  (kde  $||$  značí determinant). Dokažte, že

1.  $\sim$  je kongurence na grupě  $(GL(2, \mathbb{R}), \cdot)$  a
2. faktorová grupa  $(GL(2, \mathbb{R}) / \sim, \cdot)$  je izomorfní s grupou  $(\mathbb{R} \setminus \{0\}, \cdot)$  všech nenulových reálných čísel s násobením.
3. Definujte normální podgrupu grupy  $(GL(2, \mathbb{R}), \cdot)$ , která odpovídá kongruenci  $\sim$ .

### 3.3.2

Na multiplikativní grupě  $(\mathbb{C} \setminus \{0\}, \cdot)$  všech nenulových komplexních čísel nechť jsou dva prvky v relaci  $\sim$  právě tehdy, když mají stejnou absolutní hodnotu. Dokažte, že relace  $\sim$  je kongruence na uvedené grupě, a graficky znázorněte třídy kongruence  $\sim$  a také normální podgrupu určenou kongruencí  $\sim$ .

### 3.3.3

Uvažujme algebru  $A = (\mathbb{Z}, t)$  s jednou unární operací  $t$  definovanou pro libovolné  $x \in \mathbb{Z}$  předpisem  $t(x) = x + 1$ .

- Popište všechny podalgebry algebry  $A$ .
- Uvažujme rozklad množiny  $\mathbb{Z}$ , jehož třídy jsou všechny dvouprvkové množiny tvaru  $\{2k, 2k + 1\}$ ,  $k \in \mathbb{Z}$ . Je příslušná ekvivalence kongruencí na algebře  $A$ ?

### 3.3.4

Nechť  $\mathbb{C}^*$  značí multiplikativní grupu všech nenulových komplexních čísel a  $G$  její podgrupu všech komplexních čísel s absolutní hodnotou 1. Nechť  $f : \mathbb{C}^* \rightarrow G$  je zobrazení dane vztahem  $f(z) = \frac{z}{|z|}$ . Popište kongruenci na  $\mathbb{C}^*$  danou jádrem zobrazení  $f$  a určete jí odpovídající normální podgrupu grupy  $\mathbb{C}^*$ .

### 3.3.5

Uvažujeme algebru  $A = (\Sigma^*, \mu, \delta_a, b)$  typu  $(3, 1, 0)$ , kde  $\Sigma^*$  je množina všech konečných řetězců (slov) vytvořených z prvků (písmen) konečné množiny (abecedy)  $\Sigma$ . Symbol  $\mu$  označuje ternární operaci zřetězení tří slov v daném pořadí, nulární operace  $b$  je dána vybraným prvkem  $b \in \Sigma$ ,  $a \in \Sigma$  je pevně daný prvek  $a \neq b$  a  $\delta_a$  je unární operace, která nahrazuje všechny výskyty prvku  $b$  v daném řetězci řetězce  $ab$ . Definujme binární relaci  $\sim$  na  $\Sigma^*$  takto:  $u \sim v \Leftrightarrow |u| = |v|$ , kde  $|u|$  je počet prvků řetězce  $u$ . Rozhodněte, zda  $\sim$  je kongruencí na algebře  $A$ , a pokud ano, popište třídy příslušného rozkladu. Pokud ne, pak najděte takovou podalgebru algebry  $A$ , pro kterou příslušné zúžení relace  $\sim$  kongruencí je.

### 3.3.6

Mějme algebru  $A = (\mathbb{R}^2, a, b, c)$  typu  $(2, 1, 0)$ , kde operace  $\{a, b, c\}$  jsou dány vztahy:

$$\begin{aligned} a((x_1, x_2), (y_1, y_2)) &= (x_1 y_1 + x_2 y_2, x_1 y_2 + x_2 y_1) \\ b(x_1, x_2) &= (-x_1, x_2) \\ c &= (0, 0) \end{aligned}$$

Definujeme relaci ekvivalence  $(x_1, x_2) \sim (y_1, y_2) \Leftrightarrow x_1^2 + x_2^2 = y_1^2 + y_2^2$ . Rozhodněte, zda  $\sim$  je či není kongruence na  $A$  (odůvodněte).

### 3.3.7

Najděte všechny rozklady množiny  $\{x, y, z\}$  takové, že jim odpovídající ekvivalence jsou kongruence na algebře  $A = (\{x, y, z\}, b)$ , kde  $f(x) = y$ ,  $f(y) = f(z) = z$ .

### 3.3.8

Uvažujme univerzální algebru  $A = (\Sigma^*, \cdot, ^*, 2)$ , kde  $\Sigma \in \{a, b, c\}$  a  $\Sigma^*$  je množina slov nad abecedou  $\Sigma$  včetně prázdného slova  $\varepsilon$ ,  $\cdot$  je binární operace  $x \cdot y = xay$  a  $^*$  je unární operace  $x^* = xcc$ . Na  $\Sigma^*$  definujeme binární relace  $\sim_1$  a  $\sim_2$  následovně:

$$x \sim_1 y \Leftrightarrow |x|_a = |y|_b$$

$$x \sim_2 y \Leftrightarrow |x|_c = |y|_c$$

kde  $|x|_p$  je počet výskytů písmene  $p \in \Sigma$  ve slově  $x$ . Rozhodněte o každé z relací, zda je kongruence na  $A$ . Pokud ano, popište prvky příslušné faktorové algebry.

### 3.3.9

Uvažujme algebru  $A = (A, \cdot, u, 9)$  typu  $(2, 1, 0)$  na množině  $A = \{3^k \mid k \in \mathbb{Z}\}$ , kde  $\cdot$  je součin,  $u$  je funkce přiřazující převrácenou hodnotu a  $9$  je konstanta. Dokažte, že  $A$  je uzavřená vzhledem ke všem třem operacím. Dle, pro libovolné  $z \in \mathbb{Z}$  uvažujme binární relaci  $\sim_z$  na  $A$  danou vztahem

$$x \sim_z y \Leftrightarrow (\exists m \in \mathbb{Z}) \frac{x}{y} = z^m$$

Rozhodněte, zda pro  $z = \frac{1}{9}$  je  $\sim_z$  kongruencí na algebře  $A$ . Pokud ano, popište faktorovou algebru  $A/\sim$ , a pokud ne, pak najděte takové  $z$ , pro které je  $\sim_z$  kongruence na  $A$ .

### 3.3.10

Uvažujme algebru  $A = (M, \oplus, \otimes)$  typu  $(3, 1)$  definovanou následovně:

$$M = P(N), N = \{1, 2, 3, 4\}$$

$$\oplus(A, B, C) = C$$

$$\otimes(A) = A - \{3\}$$

a ekvivalenci  $\sim$  na množině  $M$  danou vztahem:

$$A \sim B \Leftrightarrow |A - \{3\}| = |B - \{3\}|.$$

Určete počet tříd ekvivalence  $\sim$  a zjistěte, zda je kongruencí na algebře  $A$ . Své závěry odůvodněte.

## 3.4 Zbytkové třídy

### 3.4.1

Vypočtěte v tělese  $(\mathbb{Z}_5, \cdot, +)$

$$\left(\frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}\right) \cdot \frac{1}{4}$$

### 3.4.2

V tělese  $\mathbb{Z}_7$  vypočtěte  $\frac{4}{3}(2 - \frac{3}{4} - \frac{5}{3})$ .

### 3.4.3

Vypočtěte v tělese  $\mathbb{Z}_7$  zbytkových tříd modulo 7:

$$\frac{4(3+5)}{6} - \frac{2}{3}$$

### 3.4.4

Najděte největší společný dělitel polynomů  $x^4 + x^3 + 3x + 3$  a  $x^3 + 2x^2 + 4x + 3$  nad okruhem  $(\mathbb{Z}_5, \cdot, +)$ . Během výpočtu používejte jen reprezentanty prvků  $\mathbb{Z}_5$  z množiny  $\{0, 1, 2, 3, 4\}$ .

### 3.4.5

Najděte všechny generátory cyklické grupy  $(\mathbb{Z}_5, +)$ .

### 3.4.6

Najděte všechny generátory cyklické grupy  $(\mathbb{Z}_7, +)$ .

### 3.4.7

V okruhu  $\mathbb{Z}_5$  polynomů nad telesem  $\mathbb{Z}_5$  zbytkových tříd modulo 5 naleznětě největší společný dělitel prvků  $x^3 + 2x^2 + 4x + 1$  a  $4x^3 + x^2 + 4$ .

### 3.4.8

Vypočtěte v tělese  $(\mathbb{Z}_7, \cdot, +)$

$$\frac{\frac{2}{5} \times \left(\frac{(5+(-2))}{3}\right) + 6^{(-2)}}{2}$$

### 3.4.9

Ve zbytkové třídě modulo 41 vyřešte rovnici:

$$18x - 1 = x + 1$$

### 3.4.10

V tělese  $\mathbb{Z}_5$ , tj. zbytkových tříd modulo 5, vypočtěte

$$-\frac{3}{4} \left( \frac{2}{3} - \frac{3}{2} + 1 \right)$$

(Uvědomte si, že každá číslice  $x$  v uvedeném vztahu znamená třídu  $[x]_5$  kongruence modulo 5 na okruhu celých čísel.)

### 3.4.11

V tělese  $\mathbb{Z}_5$ , tj. zbytkových tříd modulo 5, vypočtěte

$$-\frac{4}{3} \left( 2 - \frac{3}{4} - \frac{3}{3} \right)$$

(Uvědomte si, že každá číslice  $x$  v uvedeném vztahu znamená třídu  $[x]_5$  kongruence modulo 5 na okruhu celých čísel.)

### 3.4.12

V tělese zbytkových tříd  $\mathbb{Z}_7$  vypočítejte:

$$3 - 2(2 - 4)^{-1} + 5^3$$

### 3.4.13

Najděte největší společný dělitel polynomů nad polem zbytkových tříd  $\mathbb{Z}_5 : p = x^4 + 3x^2 + 2, q = 3x^3 + 2x^2 + x + 4$ .

## 4 Funkcionalni analýza

### 4.1 Metrické prostory

#### 4.1.1

Ve vektorovém prostoru  $\mathbb{R}_3$  s euklidovskou metrikou  $p$  definujeme vzdálenost libovolných dvou množin  $A$  a  $B$  vztahem  $\delta(A, B) = \inf \{(p(a, b) | a \in A, b \in B)\}$ . Rozhodněte, zda  $(P(\mathbb{R}_3), \delta)$  tvorí metrický prostor (symbol  $P(\mathbb{R}_3)$  značí množinu všech podmnožin množiny  $\mathbb{R}_3$ ).

#### 4.1.2

Na  $\mathbb{Z}^2$  definujeme metriku  $\delta$  následovně:  $\delta((x_1, y_1), (x_2, y_2)) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$ . Zakreslete kružnici určenou touto metrikou a poloměru 2 se středem v bodě  $(0, 0)$ , tj. množinu

$$S_\delta(2) = \{(x, y) \in \mathbb{Z}^2 : \delta((x, y), (0, 0)) = 2\}$$

. Určete počet prvků množiny  $S_\delta(2)$  a tyto prvky vypište.

#### 4.1.3

Definujeme zobrazení  $\delta : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$  předpisem

$$\delta((x_1, y_1), (x_2, y_2)) = \frac{|x_1 - x_2|}{2} + 3|y_1 - y_2|$$

Rozhodněte, zda zobrazení  $\delta$  definuje metriku na množině  $\mathbb{R}^2$  (využijte skutečnost, že vztahem  $d(x, y) = |x - y|$  je definována metrika na  $\mathbb{R}$ ). V kladném případě zakreslete v rovině  $\mathbb{R}^2$  jednotkovou kružnici vzhledem k této metrice, tj. množinu  $\{(x, y) \in \mathbb{R}^2 ; \delta((x, y), (0, 0)) = 1\}$ .

#### 4.1.4

Na množině  $\mathbb{Z}^2$  je definovaná metrika  $\delta$  vztahem  $\delta((x_1, y_1), (x_2, y_2)) = \max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\}$ . Zjistěte, pro které body  $(x, y) \in \mathbb{Z}^2$  platí současně  $\delta((-1, 1), (x, y)) = 3$  a  $\delta((3, 0), (x, y)) = 2$ .

#### 4.1.5

Na množině  $\mathbb{Z}^2$  je definovaná metrika  $\delta$  vztahem  $\delta((x_1, y_1), (x_2, y_2)) = \max\{|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|\}$ . Zjistěte, pro které body  $(x, y) \in \mathbb{Z}^2$  platí současně  $\delta((1, -1), (x, y)) = 3$  a  $\delta((2, 3), (x, y)) = 2$ .

#### 4.1.6

Nad abecedou  $\Gamma = \{x, y, z\}$  uvažujeme jazyk  $\Sigma = x^*y^+z^*$ . Bud'  $\mu(u, v) = n$ , kde  $n$  je nejmenší počet změn řetězce  $u$ , které je potřeba provést, aby se tento řetězec transformoval na řetězec  $v$ . Přitom změnou řetězce rozumíme vypuštění či vložení symbolu nebo nahrazení symbolu jiným symbolem v tomto řetězci. Ověřte (dokažte), zda  $\mu$  je či není metrika na  $\Sigma$  a v kladném případě určete všechny prvky množiny  $\Sigma$ , které leží v otevřené kouli o poloměru 2 se středem v prvku  $xyz$ .

#### 4.1.7

Na množině  $M = \mathbb{R}^2 \times \mathbb{Z}$  mějme metriku  $p((x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2)) = \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|, |z_1 - z_2|)$ . Znázorněte graficky v M jednotkovou kouli se středem v bodě  $(0, 0, 0)$  vzhledem k metrice  $p$ , tj. množinu  $S = \{(x, y, z) \in M : p((x, y, z), (0, 0, 0)) = 1\}$ .

#### 4.1.8

Uvažujme metriku na  $\mathbb{Z} \times \mathbb{Z}$  definovanou rovností

$$d((x_1, y_1), (x_2, y_2)) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$$

a množinu bodů, které jsou vzhledem k této metrice stejně vzdálené od bodů  $(8, 17)$  a  $(12, 9)$ . Určete v této množině všechny body, které mají tuto vzdálenost minimální.

## 4.2 Normované prostory

### 4.2.1

V lineárním prostoru  $C[-1, 1]$  všech (reálných) spojitých funkcí na intervalu  $[-1, 1]$  uvažujme normu  $\|f\| = \max\{|f(t)| ; t \in [-1, 1]\}$  a funkci  $h \in C[-1, 1]$  danou vztahem  $h(t) = 1 - |t|$  pro všechna  $t \in [-1, 1]$ . Určete všechny konstantní funkce  $g \in C[-1, 1]$  s vlastností  $p(g, h) = 1$ , kde  $p$  je metrika indukovaná danou normou. (Návod: Úlohu řešte graficky.)

### 4.2.2

V reálné rovině  $\mathbb{R}^2$  uvažujme normu danou vztahem  $\|(x, y)\| = |x| + |y|$  a nechť  $p$  je metrika v  $\mathbb{R}^2$  inkluďovaná touto normou. Načrtněte množinu všech bodů  $[x_0, x_1]$  v  $\mathbb{R}^2$ , pro než platí  $p([x_0, x_1], [0, 0]) \leq 1$ . Jaký je rovinový obsah této množiny?

### 4.2.3

Mějme na  $C \langle -1, 1 \rangle$  (prostor spojitých funkcí na  $\langle -1, 1 \rangle$ ) definovanou normou

$$\|f\| = \max \{|f(x)|, x \in [-1, 1]\}$$

Bud'  $\delta$  metrika daná touto normou. Určete vzdálenost  $\delta(f, g)$  funkcí  $f(x)$  a  $g(x)$ , kde  $f(x) = |2x - 1| - 1$  a  $g(x) = -|x + \frac{1}{2}| + \frac{1}{2}$

### 4.2.4

Uvažujme normu na  $\mathbb{R}^3$  definovanou rovností

$$\|(x, y, z)\| = |x| + \max \{|y|, |z|\}.$$

Načrtněte a slovně popište jednotkovou kouli v této normě, tj. množinu  $\{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3; \|(x, y, z)\| = 1\}$ .

### 4.2.5

V lineárním prostoru  $C = [-2, 2]$  všech reálných spojitých funkcí na intervalu  $[-2, 2]$  uvažujte normu  $\|f\| = \max \{|f(t)|, t \in [-2, 2]\}$  a funkci  $h \in [-2, 2]$  danou vztahem  $h(t) = t^2 - 3$  pro všechna  $t \in [-2, 2]$ . Určete všechny konstantní funkce  $g \in [-2, 2]$  s vlastností  $p(g, h) = 2$ , kde  $p$  je metrika indukovaná danou normou.

## 4.3 Unitární prostory

### 4.3.1

Na reálném vektorovém prostoru  $\mathbb{R}^3$  definujme skalární součin vztahem

$$(x_1, x_2, x_3) \cdot (y_1, y_2, y_3) = x_1y_1 + x_2y_2 + x_3y_3.$$

Pomocí Gram-Schmidtova ortogonalizačního procesu najděte ortonormální bázi podprostoru prostoru  $\mathbb{R}^3$  generovaného vektory  $(1, 2, -1)$ ,  $(1, 2, -3)$ ,  $(4, 8, -8)$ ,  $(3, 6, -9)$ .

### 4.3.2

Na reálném vektorovém prostoru  $\mathbb{R}^3$  definujeme skalární součin vztahem

$$(x_1, x_2, x_3) \cdot (y_1, y_2, y_3) = x_1y_1 + x_2y_2 + x_3y_3$$

Pomocí Gram-Schmidtova ortogonalizačního procesu najděte orotnormální bázi podprostoru prostoru  $\mathbb{R}^3$  generovaného vektory  $(2, -1, 3)$ ,  $(-1, 2, -3)$ ,  $(3, 0, 3)$  a  $(8, 2, 6)$ .

### 4.3.3

V Euklidovském prostoru  $\mathbb{R}^4$  nalezněte ortonormální bázi podprostoru  $W$  generovaného vektory  $u_1 = (1, 1, 1, 1)$ ,  $u_2 = (1, 1, 1, -1)$ ,  $u_3 = (1, 1, -1, 1)$  a  $u_4 = (-1, 1, 1, 1)$ .

### 4.3.4

Uvažujte prostor  $V$  vektorového prostoru  $\mathbb{R}^4$  generovaný vektory  $v_1 = (1, 1, 1, 1)$ ,  $v_2 = (0, 1, 0, 1)$  a  $v_3 = (1, -1, 1, -1)$ . Určete dimenzi prostoru  $V$  a jeho ortonormální bázi.

### 4.3.5

Uvažujte prostor  $V$  lineárním prostoru  $\mathbb{R}^4$  generovaný množinou

$$\{(1, 0, 2, 2), (-1, 0, 2, 0), (1, 0, 6, 4), (2, 0, 0, 2)\}.$$

Pomocí Gramm-Schmidtova ortogonalizačního procesu nalezněte ortonormální bázi v prostoru  $V$ .

### 4.3.6

Uvažujte prostor  $V$  lineárním prostoru  $\mathbb{R}^4$  generovaný množinou

$$\{(1, 2, 0, -1), (1, 1, 0, 0), (2, 3, 0, -1), (0, -1, 0, 1)\}.$$

Pomocí Gramm-Schmidtova ortogonalizačního procesu nalezněte ortonormální bázi v prostoru  $V$ .

## 5 Gрафy

### 5.1 Nalezení grafu

#### 5.1.1

Je dán graf  $G = (U, H)$ , kde  $U = \{1, 2, \dots, 2n\}$ ,  $n > 0$  přirozené číslo a  $H$  má 15 prvků. Pro každé číslo  $i = 1, 2, \dots, n$  mají uzly  $i$  a  $n+i$  tentýž stupeň  $i$ . Určete hodnotu čísla  $n$  a pak graf  $G$  přehledně nakreslete.

#### 5.1.2

Nakreslete všechny navzájem neizomorfní stromy se 6 uzly.

#### 5.1.3

Graf  $G$  má 11 uzlů, která mají všechny stejný stupeň  $n$ . Určete počet h hran grafu  $G$ , víte-li, že  $n > 2$  a že  $G$  je nesouvislý. Pokuste se graf  $G$  přehledně nakreslit.

#### 5.1.4

Uvažujme obyčejný graf  $G$ , který má 19 hraf a součet stupňů lichých uzlů je menší nebo roven součtu stupňů sudých uzlů. Kolik má graf  $G$  lichých uzlů, víte-li, že jich je více než 2 a všechny mají stejný stupeň větší než 1?

#### 5.1.5

Kolik hran má sedmnáctistěn s 30 vrcholy? Nápoředa: Uvažujte planární graf odpovídající danému mnohostěnu.

### **5.1.6**

Kolik hran má patnáctistěn s 26 vrcholy? Ná pověda: Uvažujte planární graf odpovídající danému mnohostěnu.

### **5.1.7**

Každá ze 13 zemí má uzavřenou bilaterální smlouvu o hospodářské spolupráci s právě  $n$  ostatními zeměmi (z těchto 13ti). Jakých hodnot může nabývat  $n$ , jestliže víme, že  $n > 2$  a  $n$  není dělitelné číslem 4 ani číslem 5.

### **5.1.8**

Uzel obyčejného grafu se nazývá artikulace, pokud se po jeho odstranění a odstranění s ním incidentních hran zvýší počet komponent grafu. Kolik existuje navzájem neizomorfních lesů o 6 uzlech s právě 1 artikulací? Nakreslete je.

### **5.1.9**

Jaký je nejmenší počet hran grafu se 7 uzly, jehož každý uzel má stupeň 2,4 nebo 6 a každý z těchto stupňů je zastoupen? Nakreslete takový graf.

### **5.1.10**

V obci Skorošice se koná amatérský fotbalový turnaj, kterého se účastní 9 týmů. V dopolední části turnaje každý tým odehrál 2 zápasy. Kolik zápasů v odpolední části musí každý tým odehrát, aby si zahráli co nejvíce zápasů, avšak celkový počet odehraných zápasů musí být menší jak 32.

### **5.1.11**

Nakreslete obyčejný graf o 6 uzlech s uzly stupně 1,2,3,4,5. Kolik existuje možností, jak tento graf zakreslit (až na izomorfismus).

### **5.1.12**

Nakreslete obyčejný graf o 5 uzlech, který obsahuje uzly stupňů 1,2,3,4. Kolik takových grafů existuje (až na izomorfismus)?

### **5.1.13**

Jaký je nejmenší počet uzlů  $n$  grafu, takového aby platilo  $H = 3 * n + 4$  (kde  $H$  je počet hran). Nakreslete takový graf.

### **5.1.14**

Jaký je nejmenší počet uzlů  $n$  grafu, takového aby platilo  $H = 2 * n + 3$  (kde  $H$  je počet hran). Nakreslete takový graf.

### 5.1.15

Je dán obyčejný graf  $G = (U, H)$ , kde  $U = \{1, 2, \dots, n\}$ ,  $n > 0$  přirozené číslo, a  $H$  má 12 prvků. Pro každé číslo  $i = 1, 2, \dots, n$  má uzel  $i$  tentýž stupeň  $n - 2$ . Určete hodnotu čísla  $n$  a pak graf  $G$  přehledně nakreslete.

### 5.1.16

Bud'  $G$  planární graf s uzly  $\{1, 2, 3\}^2$ ,  $(x_1, y_1)$  a  $(x_2, y_2)$  jsou spojeny hranou když  $|x_1 - x_2| = 1 \wedge |y_1 - y_2| = 1$ . Určete počet automorfismů grafu. (Návod nakreslite graf tak, že uzly odpovídají bodům v  $\mathbb{R}^2$ )

### 5.1.17

$G$  planární graf s mnozinou uzlu  $0, 1, 2^2$  kde uzly  $(x_1, y_1)(x_2, y_2)$  jsou spojene hranou když  $|(x_1 - x_2)| = 1 \wedge |(y_1 - y_2)| = 1$ . Určete počet všech automorfizmu  $G$ . Navod: nakreslete graf tak, že uzly odpovídají bodům v  $\mathbb{R}^2$ .

### 5.1.18

Na sportovním turnaji se každé dvě družstva utkali právě jednou a každé z těchto utkání skončilo vítěstvím jednoho z obou soupeřů. Turnaj vyhrálo družstvo, které získalo nejvíce vítězství. Toto družstvo však dvakrát prohrálo. Jaký byl nejmenší možný počet družstev na turnaji? Návod: uvažujte turnaj jako orientovaný graf.

### 5.1.19

Bud'  $G$  strom, v němž součet stupňů všech uzlů je 72. Vypočtěte, jaký nejvyšší počet buněk může obsahovat roviný graf, který z grafu  $G$  získáme přidáním 25 hran. Svůj výpočet přehledně zapište a užité vztahy odůvodněte.

### 5.1.20

Graf  $G$  má 8 uzlů a 13 hran. Každý uzel má stupeň  $n$ , kde  $n \in \{2, 3, 4, 5\}$ , a uzel stupně 3 je o jeden více než uzel stupně 2. Vypočtěte, kolik uzel stupně  $n$  má graf  $G$  pro každé  $n \in \{2, 3, 4, 5\}$ .

### 5.1.21

Nakreslete všechny neizomorfní kostry grafu s pěti vrcholy.

### 5.1.22

Bud'  $G$  planární graf s množinou uzlů  $\{0, 1, 2\}^2$ , kde uzly  $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$  jsou spojeny hranou právě tehdy, když součet  $|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$  je dělitelný třemi. Určete počet všech automorfismů grafu  $G$ . Návod: Nejprve si graf  $G$  nakreslete tak, že jeho uzly budou odpovídající body v  $\mathbb{R}^2$ .

## 5.2 Nalezení minimální kostry

### 5.2.1

Je dán graf  $G = (U, H)$ , kde  $U = \{a, b, c, d, e, f, g, h\}$  a  $H$  má 15 prvků s oceněním  $v : H \rightarrow N$  takovým, že  $v\{a, b\} = 2, v\{a, c\} = 1, v\{a, d\} = 1, v\{b, c\} = 1, v\{b, d\} = 2, v\{c, d\} = 3, v\{b, e\} = 4, v\{d, e\} = 3, v\{d, g\} = 2, v\{e, f\} = 4, v\{e, g\} = 3, v\{e, h\} = 2, v\{f, g\} = 3, v\{f, h\} = 1, v\{g, h\} = 1$ . Nakreslete tento graf tak, že každá z následujících čtveric  $(a, b, c, d)$ ,  $(b, d, e, g)$  a  $(e, f, g, h)$  tvoří vrcholy čtverice a hrany jsou znázorněny úsečkami spojujícími příslušné vrcholy. Určete cenu minimální kostry tohoto grafu a jednu jeho minimální kostru nakreslete do obrázku.

### 5.2.2

V grafu  $G = \{U, H\}$ , kde  $H =$

### 5.2.3

Je dán graf  $G = (U, H)$ , kde  $U = \{a, b, c, d, e, f, g, h\}$  a  $H$  má 13 prvků s oceněním  $v : H \rightarrow N$  takovým, že  $v\{a, b\} = 2, v\{a, d\} = 5, v\{a, f\} = 1, v\{b, c\} = 0, v\{c, d\} = 5, v\{c, e\} = 1, v\{d, e\} = 10, v\{d, f\} = 0, v\{e, g\} = 3, v\{e, h\} = 3, v\{f, g\} = 1, v\{f, h\} = 2, v\{g, h\} = 6$ . Určete cenu minimální kostry tohoto grafu a jednu jeho minimální kostru nakreslete.



## 6 Řešení

### 6.1 Logika - Důkazy výrokových formulí

2.1.1

- ①  $\frac{\vdash \neg B \Rightarrow (B \Rightarrow C)}{1 \quad \neg B \vdash \neg B}$
- 2  $B \vdash B$
- 3  $\vdash B \Rightarrow (\neg C \Rightarrow B)$
- 4  $\vdash \neg B \Rightarrow (\neg C \Rightarrow \neg B)$
- 5  $B \vdash \neg C \Rightarrow B$
- 6  $\neg B \vdash \neg C \Rightarrow \neg B$
- 7  $\vdash (\neg C \Rightarrow \neg B) \Rightarrow (B \Rightarrow C)$
- 8  $\neg B \vdash B \Rightarrow C$
- 9  $\neg B, B \vdash C$
- 10  $-||-$
- 11 - 12  $\vdash \neg B \Rightarrow (B \Rightarrow C)$

## 2.1.2

### Řešení

1. **axiom 1:**  $(B \rightarrow C) \rightarrow (A \rightarrow (B \rightarrow C))$
2. **VD:**  $B \rightarrow C \vdash A \rightarrow (B \rightarrow C)$
3. **axiom 2:**  $(A \rightarrow (B \rightarrow C)) \rightarrow ((A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow C))$
4. **MP:**  $B \rightarrow C \vdash (A \rightarrow B) \rightarrow (A \rightarrow C)$
5. **VD:**  $A \rightarrow B, B \rightarrow C \vdash (A \rightarrow C)$

## 2.1.3

1) **A**  
2) **-B**  $\rightarrow$  **-A**  
3) A3:  $(\neg B \rightarrow \neg A) \rightarrow (A \rightarrow B)$   
4) MP 2,3 výsledek  $(A \rightarrow B)$   
a to z předpokladu  $(\neg B \rightarrow \neg A)$ , takže  
 **$(\neg B \rightarrow \neg A) \vdash (A \rightarrow B)$**   
5) MP 1 a 4 výsledek je **B**  
a to zpředchozího předpokladu a předpokladu **A**  
 **$A, (\neg B \rightarrow \neg A) \vdash B$**   
6) věta o dedukci jen posouvá  
 **$A \vdash (\neg B \rightarrow \neg A) \rightarrow B$**   
7) a ještě jednou  
 **$A \rightarrow (\neg B \rightarrow \neg A) \rightarrow B$**

## 2.1.4

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

## 2.1.5

- 1)  $A \vdash A$  (vhodný předpoklad)
- 2)  $A \rightarrow \neg\neg A$  (předpoklad)

- 3)  $\neg\neg A$  (modus ponens)
- 4)  $\neg B, A \vdash \neg\neg A$  (vhodně dosazeno)
- 5)  $A \vdash \neg B \rightarrow \neg\neg A$  (věta o dedukci)
- 6)  $(\neg B \rightarrow \neg\neg A) \rightarrow (\neg A \rightarrow B)$  (Axiom A3)
- 7)  $A \vdash \neg A \rightarrow B$  (modus ponens)
- 8)  $\vdash A \rightarrow (\neg A \rightarrow B)$  (věta o dedukci)

### 2.1.6

## Řešení

1.  $\neg B \vdash \neg B$
2.  $\neg B \rightarrow (A \rightarrow \neg B)$
3.  $\neg B \vdash (A \rightarrow \neg B)$
4.  $(A \rightarrow \neg B) \rightarrow \neg\neg(A \rightarrow \neg B)$
5.  $\neg B \vdash \neg\neg(A \rightarrow \neg B)$
6.  $\neg B \rightarrow \neg\neg(A \rightarrow \neg B)$
7.  $\neg B \rightarrow \neg\neg(A \rightarrow \neg B) \rightarrow \neg(A \rightarrow \neg B) \rightarrow B$
8.  $\neg(A \rightarrow \neg B) \rightarrow B$

### 2.1.7

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

## 6.2 Logika - Důkazy predikátových formulí

### 2.2.1

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.2.2

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.2.3

## Řešení

1.  $\vdash \forall x \varphi \Rightarrow \varphi$   
 $\vdash \varphi$
2.  $\vdash \forall x (\varphi \Rightarrow \psi) \Rightarrow \varphi \Rightarrow \psi$   
 $\vdash \varphi \Rightarrow \psi$
3.  $\vdash \psi$   
 $\vdash \forall x \psi$
4.  $\vdash \forall x \varphi \vdash \forall x \psi$   
 $\vdash \forall x \varphi \Rightarrow \forall x \psi$   
 $\vdash \forall x (\varphi \Rightarrow \psi) \Rightarrow (\forall x \varphi \Rightarrow \forall x \psi)$

## 2.2.4

Řešení:

1.  $\vdash \neg(\exists x(\varphi \wedge \psi))$   
 $\vdash \forall x \neg(\varphi \wedge \psi)$   
 $\vdash \forall x(\neg\varphi \vee \neg\psi)$   
 $\vdash \forall x(\varphi \Rightarrow \neg\psi)$
2.  $\vdash \forall x(\varphi \Rightarrow \neg\psi) \Rightarrow (\varphi \Rightarrow \forall x \neg\psi)$
3.  $\vdash \varphi \Rightarrow \forall x \neg\psi$   
 $\vdash \neg\varphi \vee \forall x \neg\psi$   
 $\vdash \neg\varphi \vee \neg\exists x \psi$
4.  $\vdash \neg(\varphi \wedge \exists x \psi)$
5.  $\vdash \neg(\exists x(\varphi \wedge \psi)) \Rightarrow \neg(\varphi \wedge \exists x \psi)$
6.  $\vdash (\neg(\exists x(\varphi \wedge \psi)) \Rightarrow \neg(\varphi \wedge \exists x \psi)) \Rightarrow ((\varphi \wedge \exists x \psi) \Rightarrow (\exists x(\varphi \wedge \psi)))$
7.  $\vdash (\varphi \wedge \exists x \psi) \Rightarrow (\exists x(\varphi \wedge \psi))$

## 2.2.5

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

## 2.2.6

- 1)  $\varphi(x) \Rightarrow \forall x \varphi(x) \vdash \forall x \varphi(x) \Rightarrow (\neg \varphi(x) \Rightarrow \varphi(y))$   
 $\varphi(x) \Rightarrow \forall x \varphi(x) \vdash \varphi(x) \Rightarrow \forall x \varphi(x)$
- 2)  $\vdash \forall x \varphi(x) \Rightarrow \varphi(y)$
- 3)  $\varphi(x) \Rightarrow \forall x \varphi(x) \vdash \varphi(x) \Rightarrow \varphi(y)$
- 4)  $\vdash \forall x \varphi(x) \Rightarrow \varphi(t)$
- 5)  $\varphi(x) \Rightarrow \forall x \varphi(x) \vdash \forall x \varphi(x) \Rightarrow \varphi(t)$
- 6)  $\vdash \varphi(y) \Rightarrow (\neg \varphi(x) \Rightarrow \varphi(y))$
- 7)  $\varphi(t) \Rightarrow \forall x \varphi(x) \vdash \forall x \varphi(x) \Rightarrow (\neg \varphi(x) \Rightarrow \varphi(y))$

## 2.2.7

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

## 2.2.8

- ②  ~~$\vdash \psi \Rightarrow (\forall x \psi \Rightarrow x), \psi \vdash \forall x \psi \Rightarrow x$~~
- 1,  ~~$\psi \vdash \forall x \psi$~~   $\psi \Rightarrow (\forall x \psi \Rightarrow x) \vdash \psi \Rightarrow (\forall x \psi \Rightarrow x)$
- 2,  $x \vdash x$
- 3,  $\forall x \psi \vdash \forall x \psi$
- 4,
- 5,  $\vdash \forall x \psi \Rightarrow \psi$  Axiom substituce
- 6,  $\vdash \psi$  M.P.
- 7,  $\psi \Rightarrow (\forall x \psi \Rightarrow x) \vdash \forall x \psi \Rightarrow x$  M.P.

$$d) \quad ? \forall x \psi \vdash \forall x \psi$$

8,  $\psi \Rightarrow (\forall x \psi \Rightarrow x), \psi, \forall x \psi \vdash x$  M.P.

$\psi \Rightarrow (\forall x \psi \Rightarrow x), \psi \vdash \forall x \psi \Rightarrow x$

2.2.9

- (a)  $\vdash \forall x \forall y \varphi(\textcolor{red}{x}, y)$
- (b)  $\vdash \forall x \forall y \varphi(\textcolor{red}{x}, y) \Rightarrow \forall y \varphi(\textcolor{blue}{x}, \textcolor{red}{y})$
- (c)  $\vdash \forall y \varphi(x, y)$
- (d)  $\vdash \forall y \varphi(x, y) \Rightarrow \varphi(x, x)$
- (e)  $\vdash \varphi(\textcolor{red}{x}, x)$
- (f)  $\vdash \underline{\forall x \varphi(x, x)}$
- (g)  $\forall x \forall y \varphi(\textcolor{red}{x}, \textcolor{teal}{y}) \vdash \forall x \varphi(x, \textcolor{blue}{x})$
- (h)  $\vdash \forall x \forall y \varphi(\textcolor{red}{x}, y) \Rightarrow \forall x \varphi(\textcolor{red}{x}, x)$

### 2.2.10

## Řešení

1. předpoklad:  $\forall x\varphi \vdash \forall x\varphi$
2. axiom subst.:  $\vdash \forall x\varphi \rightarrow \varphi$
3. MP:  $\forall x\varphi \vdash \varphi$
4. předpoklad:  $\forall x(\varphi \rightarrow \psi) \vdash \forall x(\varphi \rightarrow \psi)$
5. axiom subst.:  $\vdash \forall x(\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow (\varphi \rightarrow \psi)$
6. MP:  $\forall x(\varphi \rightarrow \psi) \vdash \varphi \rightarrow \psi$
7. MP 3,6:  $\forall x(\varphi \rightarrow \psi), \forall x\varphi \vdash \psi$
8. VD:  $\forall x(\varphi \rightarrow \psi) \vdash \forall x\varphi \rightarrow \psi$
9. VD:  $\vdash \forall x(\varphi \rightarrow \psi) \rightarrow (\forall x\varphi \rightarrow \psi)$

### 2.2.11

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.2.12

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.2.13

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

## 6.3 Logika - Realizace

### 2.3.1

Řešení:  $\exists x \exists y (x < y \wedge \forall z (z \leq x \vee z \geq y))$ . Formule  $\varphi$  je nepravdivá, ale její negace je pravdivá.

### 2.3.2

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

## Máme zadány 2 speciální axiomy

A1.  $P(f(x), x)$

A2.  $f(f(x)) = f(f(y)) \rightarrow P(x, y)$

**Teorie definuje pak předpisy:**

$h(a) = a/2$

$\leq = Pm$

---

**Zvolíme:**

$x = a$

$y = b$

1.  $P(f(a), a) = a/2 \leq a$

Což zjevně platí

2.  $f(f(a)) = f(f(b)) \rightarrow P(a, b)$

$f(a/2) = f(b/2) \rightarrow P(a, b)$

$a/4 = b/4 \rightarrow a \leq b$

což platí

**M je tedy modelem teorie**

### 2.3.4

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.3.5

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.3.6

$$\begin{array}{l} 1, \quad x = \emptyset \\ 2, \quad \text{neplatí} \\ 3, \quad P_N(x, y) \Rightarrow x \cap y \neq \emptyset \end{array}$$

### 2.3.7

Podľa mňa všetky 3 sú TRUE, ale nevidím prakticky rozdiel medzi 2 a 3.

1: V realizaci M je splniteľna formula "existuje množina bodov, ktorá je vnútorné alebo na hranici obdĺžnika"

2: Za predpokladu, že zjednotenie 2 množin je vnútorná hranica obdĺžnika je splniteľna formula "bud 1. množina leží

vnútorná hranica alebo 2. množina leží vnútorná hranici"

3: V realizaci M je splniteľna formula "ak zjednotenie 2 množin je vnútorná hranica obdĺžnika, potom 1 množina leží

vnútorná hranica a druhá množina leží vnútorná hranici alebo je prázdna".

1: True - pravdaze podmnožina  $R^2$  taka, co to spĺňa, existuje

2: True - Bud obe množiny su neprázne a ležia vnútorná hranici, alebo je jedna z nich prázdná (v tom pripade p je False), avšak ta, ktorá bola neprázdná, musela lezť vnútorná hranici. Ak by boli obe prázne, teória neplatí.

3: True - Opet bud su obe prázne a vtedy lava strana implikacie = False, cize spolu implikacia = True, alebo aspon jedna je neprázdná a potom lava strana = True, ale aj prava strana sa vzdy rovná True.

Rozdiel medzi 2 a 3: 2 hovorí, že formula napravo je "dôsledkom" formule naľavo, t.j. že formula napravo bude splnená v každej realizácii, kde je splnená formula naľavo. Taktiež riešenie 2 so zadanou realizáciou nesúvisí. Napr. ak by univerzom boli prirodzené čísla väčšie alebo rovné 2, a  $p(x)$  by znamenalo, že  $x$  nie je prvočíslo, tak  $p(f(x,y))$  bude pravdivé, kým  $(p(x) \text{ alebo } p(y))$  nebude.

+1 tím pádom, by mělo byt 2 False

Dalším príkladom když 2. nebude splnená, je realizace N, ktorá má universum priezená čísla a  $P(x) \Leftrightarrow x \neq 0$ ,  $f(x,y) = x + y + 1$ . V této realizaci bude  $p(f(x,y))$  splnená vždy, protože ak vezmu ktorakoliv dvä čísla nikdy nebude výsledek rovnice 0, ovšem rovnice  $(p(x) \text{ or } p(y))$  nebude splnená napr. pro čísla 1 a 2.

### 2.3.8

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.3.9

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.3.10

#### Řešení

1. Realizace  $\mathcal{R}$  je modelem teorie  $T$ , pokud každá formule  $\psi$  z  $T$  je pravdivá v realizaci  $\mathcal{R}$  ( $\mathcal{R} \models \psi$ ).

vyšetření formule:  $p(x, f(y, x))$

$$x \leq y + x$$

$0 \leq y$  tato formule neplatí pro  $y$ , která jsou menší jak nula, tudíž formule je nepravdivá v realizaci  $\mathcal{R}$ , tím pádem realizace  $\mathcal{R}$  není modelem teorie  $T$ .

2. Formule  $\varphi$  je důsledkem teorie  $T$ , pokud je formule  $\varphi$  pravdivá v každé realizaci  $\mathcal{R}$ , která je modelem teorie  $T$ .

...

### 2.3.11

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.3.12

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.3.13

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.3.14

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.3.15

$$\forall x, y \in \mathbb{Z} \exists n \in \mathbb{Z} \quad nx \mid ny \wedge \forall m \in \mathbb{Z} \quad m \nmid x \wedge m \nmid y \Rightarrow m \mid n$$

Formule:

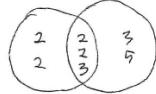
$$\forall x, y \in \mathbb{Z} : \exists n \in \mathbb{Z} : x = a \cdot n \wedge y = b \cdot n$$

$$\wedge \forall m \in \mathbb{Z} (\exists c, d \in \mathbb{Z} : x = c \cdot m \wedge y = d \cdot m) \Rightarrow \exists g : m \cdot g = n$$

Pak  $n$  je  $MGD(x, y)$

$$48 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3$$

$$190 = 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5$$



NSN:

$$\forall x, y \in \mathbb{Z} \exists n \in \mathbb{Z} : x \mid n \wedge y \mid n \wedge \forall m \in \mathbb{Z} : x \nmid m \wedge y \nmid m \Rightarrow n \mid m$$

jak  $n$  je  $NSN(x, y)$

### 2.3.16

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.3.17

**Řešení**

[editovat]

1.4.1 Zadání

1.4.2 Řešení

a.

x	u(x)
a	a
b	b
c	c
d	d

p	a	b	c	d
a	1	0	0	0
b	0	1	0	0
c	0	0	1	0
d	0	0	0	1

b. Tvrdím, že daná formule není důsledkem teorie T, protože  $p(x, y) \rightarrow (x = y \vee x = u(y))$ . Najdeme protipříklad, tedy takový model teorie T pro který neplatí  $T \models p(x, y) \Rightarrow (x = y)$ .

x	u(x)
a	b
b	a
c	d
d	c

p	a	b	c	d
a	0	1	0	0
b	1	0	0	0
c	0	0	0	1
d	0	0	1	0

Pro  $x = b, y = a : \overbrace{p(x, y)}^1 \rightarrow \overbrace{(x = y)}^0$




[df](#) (str. 17 - Definice 4.4, 32 - Definice 7.3 a 7.4)

### 2.3.18

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.3.19

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

## 2.3.20

axiom T :  $\mu(x,y) = x \quad \leftarrow A_1$   
 $\mu(\mu(x,y), \mu(z,d)) = \mu(x,z) \quad \leftarrow A_2$

$M = (\mathbb{Z}^2/p)^2$ ;  $p = p_m$  na  $\mathbb{Z}^2$  :  $\mu((a,t), (c,d)) \sim (a,c)$

prost. dle  $\mu((a,t), (c,d)) \in \mathbb{Z}^2$

a)  $M \models T$

A1 :  $\mu((a,t), (a,t)) \stackrel{?}{=} (a,t) \quad \checkmark$

A2 :  $\mu(\mu((a,t), (c,d)), \mu((e,f), (g,h))) \stackrel{?}{=} \mu((a,t), (g,h))$

$\mu((a,d), (e,h)) \stackrel{?}{=} (a,h) \quad \checkmark \rightarrow M \models T \text{ A1+2}$

$\mu((a,b), \mu((c,d), (e,f))) = \mu(\mu((a,t), (c,d)), (e,f))$

$\mu((a,b), (c,f)) = \mu((a,d), (e,f))$

$(a,f) = (a,f) \quad \checkmark \text{ platí asociativita}$

b) Asociativní zákon je důsledkem teorie T

ASOCIATIVITA - důkaz:

$(y^*x^*z) = (y^*y)^*z$
$p(x, p(yz)) = p(p(x,y), z)$
$p(p(xy), p(yz)) = p(p(x,y), p(z,z))$
$p(x,z) = p(x,z)$

vysvetlení: 1. radek - asociativní zákon; 2. radek - za operaci  $*$  dana "operace" predikát; 3.radek - leva strana (použit axiom A1), prava strana (použit A1); 4.radek - použit axiom A2; A1 a A2 dle fotky nahore

## 6.4 Logika - Prenexní tvar

### 2.4.1

$$\begin{aligned}
 & (\forall x \varphi(x, y) \Rightarrow \exists t (\psi(t) \vee \chi(y, z))) \\
 & \exists x (\varphi(x, y) \Rightarrow \exists t (\psi(t) \vee \chi(y, z))) \\
 & \exists x \exists t (\varphi(x, y) \Rightarrow (\psi(t) \vee \chi(y, z))) \\
 \\ 
 & \neg (\exists x \exists t (\varphi(x, y) \Rightarrow (\psi(t) \vee \chi(y, z)))) \\
 & \forall x \forall t \neg (\varphi(x, y) \Rightarrow (\psi(t) \vee \chi(y, z))) \\
 & \forall x \forall t \neg (\neg \varphi(x, y) \vee (\psi(t) \vee \chi(y, z))) \\
 & \forall x \forall t (\varphi(x, y) \wedge \neg (\psi(t) \vee \chi(y, z))) \\
 & \forall x \forall t (\varphi(x, y) \wedge \neg \psi(t) \wedge \neg \chi(y, z))
 \end{aligned}$$

### 2.4.2

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.4.3

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.4.4

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 2.4.5

$$\begin{aligned}
 & \textcircled{2} \quad \cancel{\forall_x A(x)} \quad \text{PULSEMKA} \\
 & \forall_x A(x) \Rightarrow (\forall_x B(y)) \Rightarrow \neg \forall_x C(y, x) \\
 & \forall_x A(x) \Rightarrow (\exists y \neg C(y, x)) \\
 & \exists x \neg A(x) \vee (\exists y \Rightarrow \exists x' \neg C(y, x')) \\
 & \exists x \neg A(x) \vee \neg B(y) \vee \exists x' \neg C(y, x') \quad \text{PREMENNÝ TVAR} \\
 & \underline{\exists x \exists x' (\neg A(x) \vee \neg B(y) \vee \neg C(y, x'))} \\
 & \neg (\exists x \exists x' (\neg A(x) \vee \neg B(y) \vee \neg C(y, x'))) \quad \text{NEGACE} \\
 & \underline{\forall_x \forall_{x'} (A(x) \wedge B(y) \wedge C(y, x'))}
 \end{aligned}$$

### 2.4.6

$$\begin{aligned}
 & \textcircled{2} \quad \forall_x \forall_y \varphi(x, y) \Rightarrow \exists_x (\varphi(x) \Rightarrow \forall_z \varphi(x, z)) \quad A \Rightarrow B = \neg A \vee B \\
 & \neg (\forall_x \forall_y \varphi(x, y) \Rightarrow \exists x' (\varphi(x') \Rightarrow \forall_z \varphi(x', z))) \quad \neg(A \Rightarrow B) = A \wedge \neg B \\
 & \cancel{\forall_x \forall_y \varphi(x, y) \wedge \forall_{x'} (\varphi(x') \wedge \exists_z \neg \varphi(x', z))} \leftarrow \text{negace} \\
 & \forall_x \forall_y \forall_{x'} \exists_z (\varphi(x, y) \wedge \varphi(x') \wedge \neg \varphi(x', z)) \leftarrow \text{PREMENNÝ TVAR}
 \end{aligned}$$

### 2.4.7

Prenexní tvar:  $\exists x_1 \forall y_1 \exists y_2 (\neg \varphi(x_1, y_1) \vee \neg \varphi(x, x) \vee \varphi(y_2, y_2))$

Po negaci:  $\forall x_1 \exists y_1 \forall y_2 (\varphi(x_1, y_1) \wedge \varphi(x, x) \wedge \neg \varphi(y_2, y_2))$

$x$  je volná premenňá, tie sa nesmú preznačovať (strhával bod ak ste preznačili).

Pozn: Pro převod do prenexního tvaru není potřeba odstraňovat implikace. Pokud však je potřeba negovat výraz obsahující implikaci, tak může být nutné negovat implikaci podle známého pravidla  $\neg(A \rightarrow B) \Leftrightarrow A \wedge \neg B$

#### 2.4.8

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

#### 2.4.9

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

#### 2.4.10

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

#### 2.4.11

Upravíme  $\phi$ :

1.  $\phi : \neg \forall x p(x, y) \vee \neg \forall z q(z, x)$  (prevod implikácie na disjunkciu)
2.  $\phi : \exists x \neg p(x, y) \vee \exists z \neg q(z, x)$  (presun negácií dovnútra)
3.  $\phi : \exists z (\neg p(z, y) \vee \neg q(z, x))$  (zniženie počtu kvantifikátorov, viazané x sme premenovali na z)

Upravíme  $\psi$ :  $\psi : \exists z (\neg p(z, y) \vee \neg q(z, x))$  (prevod implikácie na disjunkciu) Formuly sú zrejme ekvivalentné.

#### 2.4.12

##### Řešení

Upravíme  $\phi$ :

$$\begin{aligned}\phi &: \forall y p(x, y) \wedge \forall z \neg q(z, y) \text{ (presun negácie dovnútra)} \\ \phi &: \forall z p(x, z) \wedge \forall z \neg q(z, y) \text{ (premenovanie y na z)} \\ \phi &: \forall z (p(x, z) \wedge \neg q(z, y)) \text{ (zniženie počtu kvantifikátoru - viz algoritmus prevodu na prenexný tvar v skriptách)}\end{aligned}$$

Upravíme  $\psi$ :

$$\psi : \forall z (p(x, z) \wedge \neg q(z, y)) \text{ (presun negácie dovnútra)}$$

Po týchto úpravách je jasné, že  $\phi$  a  $\psi$  sú ekvivalentné.

## 2.4.13

D<sub>2</sub> Prenech si trut až moje smálostky :-)

- 1. odstranit zbytečné kvantifikátory
- 2. přejmenovat názvy proměnných
- 3. "tažit" kvantifikátory "před". Ty před  $\Rightarrow$  obecnější názvy

$$\alpha = \cancel{\forall}(\exists u'(u'_1) \Rightarrow \exists y \exists z (\cancel{\forall} q(y, z) \Rightarrow \exists r' p(r', z)))$$

$$\alpha = \forall u' (\exists u'_1 \Rightarrow \exists y \exists z (\cancel{\forall} q(y, z) \Rightarrow p(r', z)))$$

$$\alpha = \forall u' \exists y' \exists z' (\exists r' (p(u'_1, r') \Rightarrow (q(y', z') \Rightarrow p(r', z'))))$$
  

$$\beta = \forall x (\exists y (p(x, y) \Rightarrow \exists z (\forall x' q(x', z) \Rightarrow \exists r p(z, r))))$$

$$\beta = \forall x \exists y (\exists z (\forall x' q(x', z) \Rightarrow p(z, r)))$$

$$\beta = \forall x \exists y \exists z (\forall x' (p(x', y) \Rightarrow (q(x', z) \Rightarrow p(z, r))))$$

zde u názvů!

## 2.4.14

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

## 2.4.15

~~•  $\gamma \equiv \exists x (\exists u p(u, y) \rightarrow \forall y \exists u (\forall y q(y, z) \rightarrow p(x, u)))$~~

$$\exists x, (\exists u_1 p(u_1, y) \rightarrow \exists u_2 (\forall y_1 q(y_1, z) \rightarrow p(x_1, u_2)))$$

$$\underline{\exists x, \exists u_2 \exists y_1 \forall u_1 (p(u_1, y) \rightarrow (q(y_1, z) \rightarrow p(x_1, u_2)))}$$
  

~~•  $\delta \equiv \forall x (p(x, y) \rightarrow \exists y \forall x (\forall x q(x, z) \rightarrow \forall z p(y, z)))$~~

$$\forall x, (\rho(x, y) \rightarrow \exists y_1 (\forall x_1 q(x_1, z) \rightarrow \forall z_1 p(y_1, z_1)))$$

$$\underline{\forall x, \exists y_1 \exists x_1 \forall z_1 (\rho(x_1, y) \rightarrow (q(x_1, z) \rightarrow p(y_1, z_1)))}$$

NEJSOU EKVIVALENTNÍ nejdou se mluvit o korektnosti

## 2.4.16

$$\exists x \forall a \forall b (a \neq c \wedge b \neq c \wedge a \neq x \wedge b \neq x \wedge f(a, b) \neq x)$$

## 6.5 Algebra - Grupy, podgrupy, cyklické grupy

### 3.1.1

④ inversní prvek =  $a * i = l$       neutralní prvek:

$x * i = 0$        $a * l = a$

$x * x + i = 0$        $x * l = x$

~~$i = \frac{-x}{x+1}$~~        ~~$xl + x + l = x$~~

$i \cdot (x+1) + x = 0$        ~~$xl = -x$~~

$i \cdot (x+1) = -x$        ~~$l = -\frac{x}{x}$~~

$i = \frac{-x}{x+1} =$        $xl + x + l = x$

$= \frac{x}{-x-1} \Rightarrow \textcircled{1}$        $l \cdot (x+1) = 0$

$\textcircled{1}$        $l = \frac{0}{x+1} = \underline{\underline{0}}$

### 3.1.2

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.1.3

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.1.4

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.1.5

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.1.6

PULSEMKA

⑤ Aleso  $\Leftrightarrow$  tom graya vici + a graya vici  $\oplus$ .

⊕ neutraliai  $\Rightarrow$  auro      neutral. pr.:  $a + l = a$   
 asociativi  $\Rightarrow$  auro  
 komutacijos  $\Rightarrow$  auro  
 meniu

neutral. pr.:  $x + q\sqrt{7} + l = x + q\sqrt{7}$   
 $l = \emptyset \dots ma'$

meniu:  $a + i = l$   
 $x + q\sqrt{7} + i = 0$   
 $i = -x - q\sqrt{7} \dots ma'$

vici  $\oplus$  je aedorsta graya

⑥ neutraliai  $\Rightarrow$  auro  
 asociativi  $\Rightarrow$  auro  
 neutral. pr.:  $a \cdot l = a$   
 $(x + q\sqrt{7}) \cdot l = x + q\sqrt{7}$   
 $l = 1 \dots auro$

neutral. pr.:  $a \cdot i = l$   
 $(x + q\sqrt{7}) \cdot i = 1 \quad x + q\sqrt{7}$   
 $i = \frac{1}{x + q\sqrt{7}} \dots ma'$

vici  $\oplus$  ne pats, g. p. telcia  
 vici  $\oplus$  neu graya, je neu telcia

⑦

### 3.1.7

①  $M = \{a, b, c\}$        $\varphi: M \times M \rightarrow M$        $G(M, \varphi)$

$\varphi$	a	b	c
a	a	c	b
b	c	b	a
c	b	a	c

meniu neutraliai, aui meniu  
 prak  $\Rightarrow$  meniu graya

### 3.1.8

Jelikož nebylo řečeno, že  $(\mathbb{Q}, \odot)$  je algebra, mělo by se i dokázat, zda je operace  $\odot$  na množině  $\mathbb{Q}$  uzavřena. Bude-li uzavřena, můžeme říci, že  $(\mathbb{Q}, \odot)$  je algebra. Pak budeme postupně dokazovat další vlastnosti a považovat tento grupoid za pologrupu/monoid/grupu. Komutativnost zkusíme dokázat hned na počátku, jelikož velmi zjednodušuje důkazy ostatních vlastností.

*Uzavřenosť operace  $\odot$  na množině  $\mathbb{Q}$ :*

$$\forall x, y \in \mathbb{Q} : x \odot y \in \mathbb{Q}$$

$$x \odot y \in \mathbb{Q} \Leftrightarrow x + y - xy \in \mathbb{Q}$$

Což zřejmě platí, jelikož operace  $+$ ,  $-$  a  $\cdot$  jsou na  $\mathbb{Q}$  uzavřeny.  $(\mathbb{Q}, \odot)$  je tedy grupoid.

*Komutativita  $\odot$ :*

$$\forall x, y \in \mathbb{Q} : x \odot y = y \odot x$$

$$x \odot y = y \odot x \Leftrightarrow x + y - xy = y + x - yx$$

Což opět zřejmě platí, jelikož operace  $+$  a  $\cdot$  jsou na  $\mathbb{Q}$  uzavřeny (operace  $-$  komutativní nemí,

ale také její operandy se nemění).

*Asociativita  $\odot$ :*

$$\forall x, y, z \in \mathbb{Q} : (x \odot y) \odot z = x \odot (y \odot z)$$

$$(x \odot y) \odot z = x \odot (y \odot z) \Leftrightarrow (x + y - xy) + z - (x + y - xy)z = x + (y + z - yz) - x(y + z - yz)$$

$$L = (x + y - xy) + z - (x + y - xy)z = x + y - xy + z - xz - yz + xyz$$

$$P = x + (y + z - yz) - x(y + z - yz) = x + y + z - yz - xy - xz + xyz$$

$$L = P$$

Tedy operace  $\odot$  je asociativní ( $(\mathbb{Q}, \odot)$  je pologrupa).

*Existence neutrálního prvku e:*

Jelikož je operace  $\odot$  komutativní, hledáme přímo neutrální prvek a ne pravý a levý neutrální

prvek.

$$\forall x \in \mathbb{Q} : \exists e : x \odot e = e \odot x = x$$

$$x \odot e = x \Leftrightarrow x + e - xe = x \Rightarrow e = 0$$

Našli jsme neutrální prvek operace  $\odot$  a  $(\mathbb{Q}, \odot)$  je tedy monoid.

### 3.1.9

#### Řešení

Generování množiny permutací  $\langle \{f_1, f_2\} \rangle$  z permutací  $f_1, f_2$  nad operací  $\circ$  se systematicky provede postupným vyplňováním Caleyho tabulky. Pokud se při vyplňování tabulky vypočte nová permutace  $f_n$ , je tabulka rozšířena o tuto permutaci a dopočteny příslušné buňky.

$\circ$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$
$f_1$	$f_3$	$f_5$	$f_1$	$f_6$	$f_2$	$f_4$
$f_2$	$f_4$	$f_6$	$f_2$	$f_5$	$f_1$	$f_3$
$f_3$	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$
$f_4$	$f_2$	$f_1$	$f_4$	$f_3$	$f_6$	$f_5$
$f_5$	$f_6$	$f_4$	$f_5$	$f_2$	$f_3$	$f_1$
$f_6$	$f_5$	$f_3$	$f_6$	$f_1$	$f_4$	$f_2$

postupný výpočet tabulky:

$$f_1 \circ f_1 = f_1(f_1(x)) = x \dots \text{je nová permutace, takže } f_3 = x.$$

$$f_2 \circ f_1 = f_2(f_1(x)) = \frac{1}{x} \dots \text{je nová permutace, takže } f_4 = \frac{1}{x}.$$

⋮

pozn. jelikož operace  $\circ$  není komutativní  $f \circ g \neq g \circ f$ , je nutné poctivě vypočítat vždy obě varianty  $f_2 \circ f_1$  i  $f_1 \circ f_2$ .

Po vypočtení tabulky jsme dostali 6 permutací, které tvoří podgrupu generovanou permutacemi  $f_1, f_2$ :

$$f_1(x) = \frac{x}{x-1}$$

$$f_2(x) = \frac{x-1}{x}$$

$$f_3(x) = x \text{ (je neutrálním prvkem)}$$

$$f_4(x) = \frac{1}{x}$$

$$f_5(x) = 1 - x$$

$$f_6(x) = \frac{-1}{x-1}$$

Výsledek  $\langle \{f_1, f_2\} \rangle = \{f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6\}$ .

### 3.1.10

#### Řešení

$\circ$	A	B	C
A	A	C	B
B	B	A	C
C	C	B	A

asociativní zákon:  $\forall x, y, z \in M : (x \circ y) \circ z = x \circ (y \circ z)$

$$(A \circ B) \circ C = A \circ (B \circ C)$$

$$(C) \circ C = A \circ (C)$$

$$A = B$$

$A \neq B \Rightarrow$  neplatí asoc. zákon pro operaci  $\circ$ .

### 3.1.11

#### Řešení

$$\langle 6 \rangle = \langle \{1, 2, 6\} \rangle = \{1, 2, 3, 6, 9, 18, 27, \dots\} = \{3^n, 2 \cdot 3^n \mid \text{kde } n \in \mathbb{N}_0\}$$

pozn.  $\mathbb{N}_0$  značí množinu přirozených čísel včetně nuly

### 3.1.12

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.1.13

$\text{④ } q_1 \cdot (1234) = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 3 & 4 & 1 \end{pmatrix}$

$q_1 \cdot (1432) = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 4 & 1 & 2 & 3 \end{pmatrix}$

Generátory

$(1234) \cdot (1432) = (1) \circ (2) \circ (3) \circ (4) = \text{idem. k.}$

$(1234) \cdot (1234) = (13) \cdot (24) \equiv q_3$

$(1432) \cdot (1432) = (13) \cdot (24)$

$\left[ \begin{array}{l} q_1 \cdot q_2 = \text{idem. k.} = \boxed{\text{jde o zemědělce}} \\ q_1^{-2} = 3 = q_2^2 \end{array} \right]$

$(1234) \cdot (13) \cdot (24) = (1432)$

Podepsat:  $\{ \text{id}, q_1, q_1^{-2}, q_1^{-3} \}$

Nedoporučeno!

jde se o zemědělce

### 3.1.14

p:  $\frac{x}{x-1} \in A, \frac{1}{1-x} = 1 - \frac{1}{x} \in A, \frac{1}{\frac{x}{x-1}} = x \in A, \frac{1}{\frac{1}{1-x}} = \frac{1-x}{x} = 1 - \frac{x}{x} \in A, \frac{1}{1-\frac{x}{x-1}} =$

 $= \frac{1}{\frac{x-1}{x}} = \frac{x}{x-1} \in A, \frac{1}{\frac{x}{x-1}} = \frac{x-1}{x} = 1 - \frac{1}{x} \in A$ 

q:  $\frac{x}{x-1} \in A; \frac{1-x}{x-1} = \frac{x-1}{x} = 1 - \frac{1}{x} \in A, \frac{\frac{x}{x-1}}{\frac{1-x}{x-1}} = \frac{x}{1-x} = \frac{x}{x-1} \in A, \frac{1-\frac{x}{x-1}}{1-\frac{1-x}{x-1}} = \frac{\frac{x-1}{x}}{\frac{x-1}{x-1}} =$

 $= \frac{x-1}{x} \cdot (-1) \frac{x}{x-1} = 1-x \in A, \frac{\frac{x-1}{x}}{\frac{x-1}{x-1}} = \frac{\frac{x-1}{x}}{\frac{x-1}{x-1}} = \frac{x}{x-1} = \frac{x}{x-1} \cdot \frac{x-1}{x} = x \in A$ 

jde o zemědělce

+ chybí výpočet algebry generované prvkem  $1-x$

### 3.1.15

#### Řešení

[editovat]

Napr. pre prvky  $a, b, c$ :  $(a * b) * c = b * c = d$  a  $a * (b * c) = a * d = a$ . Teda  $*$  nie je asociatívna,  $(A, *)$  nie je pologrupa.

Existuje jediný trojprvkový podgrupoid s nosnou množinou  $\{b, c, d\}$ . Toto je vidieť z tabuľky, z týchto troch prvkov dostanete znova len niekterý z nich, teda množina je uzavretá voči  $*$ , pre žiadnu inú trojicu to neplatí:

$$\begin{aligned}\{a, b, c\} : \quad & b * c = d, \text{ množina nie je uzavretá voči } * \\ \{a, b, d\} : \quad & b * b = c, \text{ množina nie je uzavretá voči } * \\ \{a, c, d\} : \quad & c * a = b, \text{ množina nie je uzavretá voči } *\end{aligned}$$

Na množine neexistuje netriviálna kongruencia - žiadna z pripustných ekvivalencii (je ich 13) nemá vlastnosti kongruencie. Toto je možné demonštrovať napr. nasledovne: Označujme  $\sim$  hľadanú kongruenciou. Zvolíme dvojicu rôznych prvkov, ktorá bude v tejto relácii (v netriviálnej kongruencii takáto dvojica musí existovať), a budeme ekvivalenciu  $\sim$  rozširovať tak, aby sme splnili požiadavky na kongruenciu. Ak sa dostaneme k univerzálnnej relácii  $(A \times A)$ , zvolená dvojica nemôže byť v netriviálnej kongruencii.

Ak  $a \sim b$ , potom aj  $a^*b \sim b^*b$ , teda  $a \sim b \sim c$ . Potom tiež  $a^*c \sim b^*c$ , teda  $a \sim b \sim c \sim d$ . Čiže v netriviálnej kongruencii nemôže platiť  $a \sim b$ .

Analogicky pre ďalšie možné dvojice:

Ak  $a \sim c$ , potom aj  $a^*a \sim c^*a$ , teda  $a \sim b \sim c$ , teda  $a \sim b \sim c \sim d$  (viz prvý riadok -  $a \sim b$  nemôže platiť v netriviálnej kongruencii).

Ak  $a \sim d$ , potom aj  $a^*d \sim d^*d$ , teda  $a \sim b \sim d$ , teda  $a \sim b \sim c \sim d$  (viz prvý riadok -  $a \sim b$  nemôže platiť v netriviálnej kongruencii).

Ak  $b \sim c$ , potom aj  $b^*a \sim c^*a$ , teda  $a \sim b \sim c$ , teda  $a \sim b \sim c \sim d$  (viz prvý riadok -  $a \sim b$  nemôže platiť v netriviálnej kongruencii).

Ak  $b \sim d$ , potom aj  $b^*b \sim a^*d$ , teda  $a \sim b \sim d$ , teda  $a \sim b \sim c \sim d$  (viz prvý riadok -  $a \sim b$  nemôže platiť v netriviálnej kongruencii).

Ak  $c \sim d$ , potom aj  $c^*a \sim d^*a$ , teda  $a \sim b$ , teda  $a \sim b \sim c \sim d$  (viz prvý riadok -  $a \sim b$  nemôže platiť v netriviálnej kongruencii).

Teda žiadna dvojica prvkov nemôže byť v netriviálnej kongruencii, teda netriviálna kongruencia neexistuje.

### 3.1.16

#### Řešení

[editovat]

Vyberme ľubovoľné dva prvky:  $f(x) = \frac{x}{1+ax}$ ,  $g(x) = \frac{x}{1+bx}$ .

Potom

$$(f \circ g)(x) = f(g(x)) = \frac{g(x)}{1+ag(x)} = \frac{\frac{x}{1+bx}}{1+a\frac{x}{1+bx}} = \frac{\frac{x}{1+bx}}{\frac{1+bx+ax}{1+bx}} = \frac{x}{1+bx+ax} = \frac{x}{1+(a+b)x}, \quad a+b \in \mathbb{Z}.$$

$f(x)$  nemôže byť definované pre  $\frac{1}{a}$ ,  $g(x)$  pre  $\frac{1}{b}$ ,  $f(g(x))$  pre  $\frac{1}{a+b}$ , čo sú však všetko racionálne čísla, takže  $f(x)$ ,  $g(x)$  aj  $f(g(x))$  sú definované pre všetky iracionálne čísla.

Teda  $f \circ g \in M$ .

Operácia zloženia zobrazení je vždy asociatívna (pre tento konkrétny prípad ľahko dokážateľné - zvolíme tri funkcie, a bez ohľadu na závorkovanie nám

vyjde  $\frac{x}{1+(a+b+c)x}$ ). Teda  $(M, \circ)$  je pologrupa.

V tomto konkrétnom prípade je operácia aj komutatívna -  $(f \circ g)(x) = (g \circ f)(x) = \frac{x}{1+(a+b)x}$ , teda  $(M, \circ)$  je komutatívna pologrupa.

Prvok  $e(x) = \frac{x}{1+0x} = x$  je neutrálny prvok, teda  $(M, \circ)$  je (komutatívny) monoid.

Pre ľubovoľný prvok  $\frac{x}{1+ax}$  je zrejmé  $\frac{x}{1+(-a)x}$  inverzný prvok, teda  $(M, \circ)$  je (komutatívna) grupa.

$(M, \circ)$  má teda všetky z uvedených vlastností.

### 3.1.17

Vyriešil si tento príklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.1.18

Vyriešil si tento príklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

3.1.19

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

3.1.20

### 3.1.21

$\rightarrow$  PODGRUPA GEN. MNOŽINOU:

$$X \circ X = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (12) & (212) \end{array} \right) = Y$$

$$Y \circ Y = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (21) & (123) \end{array} \right) = \sim$$

$$Y \circ X = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (21) & (123) \end{array} \right) = \sim$$

$$Y \circ Y = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (12) & (231) \end{array} \right) = W$$

$$X \circ W = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (12) & (231) \end{array} \right) = W$$

$$\sim \circ X = W$$

$$\sim \circ \sim = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (12) & (123) \end{array} \right) = id$$

$$W \circ X = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (21) & (312) \end{array} \right) = \sim$$

$$X \circ W = \sim$$

$$W \circ W = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (12) & (123) \end{array} \right) = Y$$

$$X \circ W = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (12) & (123) \end{array} \right) - id = \sim$$

$\sim \circ Y = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (21) & (312) \end{array} \right) = \sim$

$\sim \circ \sim = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (21) & (123) \end{array} \right) = id$

$W \circ \sim = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (21) & (123) \end{array} \right) = X$

$\sim \circ W = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (21) & (123) \end{array} \right) = X$

$Y \circ \sim = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (21) & (231) \end{array} \right) = X = \sim \circ Y$

$W \circ \sim = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (21) & (123) \end{array} \right) = \sim$

$Y \circ W = \left( \begin{array}{c|cc} (12) & (123) \\ \hline (21) & (123) \end{array} \right) = \sim$

VÝKLEDOK:  $X, Y, W, \sim, id$

RÁD PODGRUPY = 6

KOMUTATIVNÍ

IZOMORFISMUS  $\rightarrow Z_6$

Grupy  $S_2, S_3$  jsou grupy permutací na dvouprvkové a tříprvkové množině s operací skládání

$$S_2 = \{\{(1), (12)\}, \circ\}$$

$$S_3 = \{\{(1), (12), (13), (23), (123), (132)\}, \circ\}$$

Grupa G je jejich součin

$$G = \{\{((1), (1)), ((1), (12)), ((1), (13)), \dots, ((12), (1)), ((12), (12)), ((12), (13)), \dots\}, \circ'\}$$

tzn. v nosné množině jsou dvojice prvků z těch původních dvou grup (celkem jich bude 12) a ta operace vypadá takto:

$$(a_1, a_2) \circ' (b_1, b_2) = (a_1 \circ b_1, a_2 \circ b_2)$$

Je f homomorfismus?

Jak už psal někdo na facebooku:

$$\begin{aligned} f(A) \circ' f(B) &\stackrel{?}{=} f(A \circ' B) \\ f((a_1, a_2)) \circ' f((b_1, b_2)) &\stackrel{?}{=} f((a_1, a_2) \circ' (b_1, b_2)) \\ (a_1 \circ a_2, a_2 \circ a_2) \circ' (b_1 \circ b_1, b_2 \circ b_2) &\stackrel{?}{=} f((a_1 \circ b_1, a_2 \circ b_2)) \\ ((a_1 \circ a_1) \circ (b_1 \circ b_1), (a_2 \circ a_2) \circ (b_2 \circ b_2)) &\stackrel{?}{=} ((a_1 \circ b_1) \circ (a_1 \circ b_1), (a_2 \circ b_2) \circ (a_2 \circ b_2)) \end{aligned}$$

Toto obecně neplatí. Protipříklad:

$$\begin{aligned} a_1 = (1), a_2 = (123), b_1 = (1), b_2 = (12) \\ ((1), ((123) \circ (123)) \circ ((12) \circ (12))) \stackrel{?}{=} ((1), ((123) \circ (12)) \circ ((123) \circ (12))) \\ ((1), ((132) \circ (1))) \stackrel{?}{=} ((1), (13) \circ (13)) \\ ((1), (132)) \neq ((1), (1)) \end{aligned}$$

Není to homo!

**Generování podgrupy**

$\langle \{x\} \rangle = ?$

$$\begin{aligned} x &= ((12), (123)) \\ x \circ' x &= ((1), (132)) \\ x \circ' x \circ' x &= ((12), (1)) \\ x \circ' x \circ' x \circ' x &= ((1), (123)) \\ x \circ' x \circ' x \circ' x \circ' x &= ((12), (132)) \\ x \circ' x \circ' x \circ' x \circ' x \circ' x &= ((1), (1)) \end{aligned}$$

Kdybych teď zkoušela ještě složit cokoli s čímkoliv, tak už získám jenom prvek, co už tam mám. Navíc už tam mám i neutrální prvek a ke všem prvkům inverze, takže už nemusím nic přihazovat.

Je to izo se  $Z_6$ ?

Ano, jde to vidět z toho, že všechny prvky té podgrupy jsou nějaké mocniny jednoho prvku x. Ten izomorfismus pak zobrazí  $x \rightarrow 1$ ,  $x \circ' x \rightarrow 1+1$ ,  $x \circ' x \circ' x \rightarrow 1+1+1$ , atd. takže takto:

$$\begin{aligned} ((1), (1)) &\rightarrow 0 \\ ((12), (123)) &\rightarrow 1 \\ ((1), (132)) &\rightarrow 2 \\ ((12), (1)) &\rightarrow 3 \\ ((1), (123)) &\rightarrow 4 \\ ((12), (132)) &\rightarrow 5 \end{aligned}$$

Kdyby se udělaly tabulky operace  $\circ'$  nad těmi dvojcemi permutací a nad  $Z_6$ , tak jsou stejně, jen s přejmenovanými prvky.  
A to je vše!

## 6.6 Algebra - Morfismy

### 3.2.1

(3)

a)  $a+i = a+0i \Rightarrow a+i = a+0i$   
 nebož.  $a+i = a+0i$

member. pr.  $a+i = a$   
 $a+bi + i = a+bi$   
 $i = 0 = 0+i$  avo

intervall:  $a+i = l$   
 $a+bi + i = 0$   
 $i = -a-bi$   
 je prava

b) homomorfismus:  $f(a+b) = f(a) + f(b)$   
 $f(a+bi + c+di) = f(a+bi) + f(c+di)$   
 $f(ae + bd) = -1 - 1 -$   
 $(a+c) - (b+d)i = a-bi + c-di$   
 $(a+c) - (b+d)i = (a+c) - (b+d)i$  je homomorfismus

c) izomorfismus: ~~je jediným homomorfismus je~~  
 injekce + surjekce + jediné

### 3.2.2

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.2.3

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.2.4

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.2.5

(2)  $f(a^4) = f(a)^4$   $f(a^*) = f(a)^*$   
 $f(|a|) = f(|a|^2)^{1/2}$   $f((-1)^2 a) = (4a^2)^{1/2}$   
 $4 \cdot |a|^2 = |4a^2|$   $\cancel{4} \cdot (-1)^{2a} \cdot a^{1/2} = \cancel{4} (-1)^{4a^2} \cdot \cancel{4} a^2$   
 $4 \cdot |a|^2 = 4 \cdot |a^2|$  platí  
platí je homomorfismus

zádruž.  $x \sim y \Leftrightarrow x^2 = y^2$  platí

### 3.2.6

$$\begin{aligned}
 & \varphi: \mathbb{Z}^2 \rightarrow \mathbb{Z}^2 : \quad \varphi(x,y) = (3x_1, x+y) \quad \text{je homomorfismus?} \\
 & \overline{\varphi(\sigma(x,y))} = \sigma(\varphi(x,y)) \\
 & \varphi(x_1, y+2) = \sigma(3x_1, x+y) \\
 & \underline{(3x_1, x+2y+2)} = \underline{(3x_1, x+2y+2)} \quad \checkmark
 \end{aligned}$$
  

$$\begin{aligned}
 & \varphi((x_1, y_1) \oplus (x_2, y_2)) = \varphi(x_1, y_1) \oplus \varphi(x_2, y_2) \\
 & \varphi(x_1 + x_2, y_1 + y_2) = (3x_1, x_1 + y_1) \oplus (3x_2, x_2 + y_2) \\
 & \underline{(3x_1 + 3x_2, x_1 + y_1 + x_2 + y_2)} = \underline{(3x_1 + 3x_2, x_1 + y_1 + x_2 + y_2)} \quad \checkmark
 \end{aligned}$$
  

$$\begin{aligned}
 & \varphi((x_1, y_1) \odot (x_2, y_2)) = \varphi(x_1, y_1) \odot \varphi(x_2, y_2) \\
 & \varphi(x_1 x_2, y_1 + y_2) = (3x_1, x_1 + y_1) \odot (3x_2, x_2 + y_2) \\
 & \underline{(3x_1 x_2, x_1 x_2 + y_1 + y_2)} \neq \underline{(3x_1 \cdot 3x_2, x_1 + y_1 + x_2 + y_2)} // \\
 & \text{NEPLATÍ! HOMOMORFIZMUS!}
 \end{aligned}$$

Poznámka: Kdyby platil, pak by bylo potřeba dokázat i pro  $n = 0$ :  
 $f(0,1) = (0,1)$   
 $(0,1) = (0,1)$

### 3.2.7

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.2.8

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.2.9

Toto je zle - f homomorfismus bude, když uvažujeme len matice z B. Bude totiž vždy platit  $a = e = d = h = 1$ ,  $b = f = 0$ , takže posledný riadok je vlastne  $(1+0)^*(c+g) = c + g$ , čo znamená platí.

$$\begin{aligned}
 & f\left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ a & 1 \end{bmatrix} \bullet \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ b & 1 \end{bmatrix}\right) = f\left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ a & 1 \end{bmatrix}\right) + f\left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ b & 1 \end{bmatrix}\right) \\
 & f\left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ a+b & 1 \end{bmatrix}\right) = f\left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ a & 1 \end{bmatrix}\right) + f\left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ b & 1 \end{bmatrix}\right) \\
 & 1^*(a+b) = 1^*a + 1^*b \\
 & a+b = a+b
 \end{aligned}$$

Homomorfismus platí

### 3.2.10

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

## 6.7 Algebra - Kongruence

### 3.3.1

PŘÍSEMAKA 2008

5) 1. Kongruence

je ekvivalence:  $A \sim A \Leftrightarrow |A|=|A|$  plati

$A \sim B \Rightarrow B \sim A \Leftrightarrow |A|=|B| \Rightarrow |B|=|A|$  plati

transitivita:  $A \sim B, B \sim C \Rightarrow A \sim C: |A|=|B| \wedge |B|=|C| \Rightarrow |A|=|C|$  plati

je ekvivalence

$\rightarrow A \sim B \wedge C \sim D \Rightarrow A \cdot C \sim B \cdot D$

$|A|=|B| \wedge |C|=|D| \Rightarrow$  plati

$|A \cdot C|=|B \cdot D|$  plati

$|A| \cdot |C|=|B| \cdot |D|$  plati

$|B| \cdot |D|=|B| \cdot |D|$  plati

2)  $(GL(2, \mathbb{R}), \cdot) / \sim = \{ [A]_{\sim}, A \in GL(2, \mathbb{R}) \}$

$[A]_{\sim} = \{ B \mid |B|=|A| \}$

isomorfismus = homomorfismus + injektivita

$f(A \cdot B) = f(A) \cdot f(B)$

$|A \cdot B|=|A| \cdot |B|$

$\forall a \in \mathbb{R}: \exists A \mid |A|=a$

$\forall A \in GL(2, \mathbb{R}) \exists a: |A|=a$

je isomorfismus

3) normalni podgrupa:

$N = \{ A \mid |A|=1 \}$

### 3.3.2

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.3.3

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.3.4

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.3.5

ořených z prvků (písmen)  $(\Sigma^*, \mu, \delta_a, b)$  typu (3.1.0), kde  $\Sigma^*$  je množina všech konečných řetězců (slov) v daném pořadí, nulární operace  $b$  je dána vybraným prvkem  $b \in \Sigma$ ,  $a \in \Sigma$  je pevně daný prvek  $b$  a  $\delta_a$  je unární operace, která nahrazuje všechny výskyty prvku  $a$  v daném řetězci řetězcem  $aa$ .  
 nujme binární relaci  $\sim$  na  $\Sigma^*$  takto:  $u \sim v \Leftrightarrow |u| = |v|$ , kde  $|u|$  je počet prvků řetězce  $u$ . Rozhodněte, výje řešme ekvivalence (nejdou o rozdíly).

$b : b \sim b \Rightarrow |b|=|b|$  platí

$\rho_a : \text{Kongruence} \rightarrow \text{operace}$

$\forall x \in \Sigma^* : x \sim \beta \Rightarrow \delta_a(x) \sim \delta_a(\beta)$  je řešitelné (podle  $\rho_a$  počet výskytu "b" v binárním řetězci  $x$  a je v řadě  $\beta$  různý, pokud  $\delta_a(x) \sim \delta_a(\beta)$  neplatí).  
 bude po aplikaci operace  $\delta_a$  délka řetězce  $x$  různá.

bovolná (tedy vhodná) podalgebra  $\mathcal{A}^*$  algebry  $A$  by mohla vypadat třeba

kto  $\sum_{n=1}^{\infty} \{x^n | x = b^n, n \geq 1\}$ , neapís  $b^n$  je číslo jako v TMA, tedy n-té síce  $b^n$   
 $\mathcal{A}^* = (\Sigma^*, \mu^*, \delta^*, b^*)$  pozd.  $\mu^*$  operace součinu,  $\delta^*$  unární operace,  $b^*$  výsledek.

Na reálném vektorovém prostoru  $\mathbb{R}^3$  definujeme skalární součin vztahem

$$(x_1, x_2, x_3) \cdot (y_1, y_2, y_3) = x_1 y_1 + x_2 y_2 + x_3 y_3$$

počítací Gram-Schmidtova ortogonalizačního procesu najdete orthonormální bázi podprostoru prostoru  $\mathbb{R}^3$  s danými vektory  $(1, 2, -1)$ ,  $(1, 2, -3)$ ,  $(4, 8, -8)$  a  $(3, 6, -9)$ .

O

### 3.3.6

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.3.7

#### Řešení

1. Relace odpovídající kongruencím na algebře  $A$ , kde kongruence:  $a, b \in M, (a, b) \in R \Rightarrow (f(a), f(b)) \in R$ .
  $R_1 = \{(x, x), (y, y), (z, z), (y, z), (z, y)\}$ 
 $R_2 = \{(x, x), (y, y), (z, z)\}$ 
 $R_3 = \{(x, x), (y, y), (z, z), (x, y), (y, x), (x, z), (z, x), (y, z), (z, y)\} = M \times M$
2. Nalezení rozkladů množiny  $M$  indukované relacemi  $R$ ,  $M/R$ .
  $M/R_1 = \{\{x\}, \{y, z\}\}$ 
 $M/R_2 = \{\{x\}, \{y\}, \{z\}\}$ 
 $M/R_3 = \{\{x, y, z\}\}$

Výsledkem jsou tedy tři rozklady množiny  $M$ .

### 3.3.8

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.3.9

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.3.10

T1:  $\{\emptyset\}, \{3\}$   
 T2:  $\{1\}, \{2\}, \{4\}, \{1,3\}, \{2,3\}, \{4,3\}$   
 T3:  $\{1,2\}, \{1,4\}, \{2,4\}, \{1,2,3\}, \{1,4,3\}, \{2,4,3\}$   
 T4:  $\{1,2,4\}, \{1,2,4,3\}$

5. Je kongruencie?

$\oplus$   $A \sim B \wedge C \sim D \wedge E \sim F \Leftrightarrow \oplus(A, C, E) \sim \oplus(B, D, F)$   
 $A \sim B \wedge C \sim D \wedge \underline{E \sim F} \Leftrightarrow \underline{E \sim F}$

operace  $\oplus$  je kongruencií

$\otimes$   $A \sim B \Leftrightarrow \otimes(A) \sim \otimes(B)$

operace  $\otimes$  je kongruencií  
 Důvod je možný odstínem, že  $\{3\}$  má  
 tři různé veličiny v řadě, tři, čtyři, nebo pět.

Poznámka: V opoře je v definici relace kongruence pouze implikace, tzn.  
 $a_1 \sim b_1 \text{ and } \dots a_n \sim b_n \Rightarrow a_1 \dots a_n \sim b_1 \dots b_n$

## 6.8 Algebra - Zbytkové třídy

### 3.4.1

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.4.2

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.4.3

Z7:

$$\frac{4 \cdot (3+5)}{6} - \frac{2}{3} = \frac{4 \cdot 1}{6} - \frac{2}{3} = \frac{4}{6} - \frac{2}{3} = 4 \cdot \frac{1}{6} - 2 \cdot \frac{1}{3} =$$

$$= 4 \cdot 6 - 2 \cdot 5 = 3 - 3 = \underline{\underline{0}}$$

### 3.4.4

NSD polynomu  $x^4 + x^2 + 3x + 3 \sim x^3 + 2x^2 + 4x + 3$  v  $\mathbb{Z}_5$   
 (Tzn. Během užívání používajte kovice redukce  $2x^2$  z množiny  $\{0, 1, 2, 4, \epsilon\}$ )

$$\begin{array}{r}
 x^4 + x^2 + 3x + 3 : x^3 + 2x^2 + 4x + 3 = x + 4 \\
 -(x^4 + 2x^3 + 4x^2 + 3x) \\
 \hline
 4x^3 + x^2 + 3 \\
 -(4x^3 + 8x^2 + 8x + 3) \\
 \hline
 9x^2 + 8x + 3 \\
 \quad \quad \quad \frac{4}{5} (3 \cdot x) \geq 5 \Rightarrow 1 \quad x = 2 \\
 - (9x^2 + 18x + 9) \\
 \hline
 10x + 6 \\
 \quad \quad \quad \frac{1}{5} (2 \cdot x) \geq 5 \Rightarrow 4 \quad x = 0 \\
 \hline
 \end{array}$$

NSD  $\approx 3x^2 + 4x + 1$

### 3.4.5

Riešenie:

Zobereme postupne každý provok a zacneme ho scitáť zo sebou a prvky, co už vygenerovali

- $<0> = \{0\}$  .. nie je generátor
- $<1> = \{1, 2, 3, 4, 0\}$  .. je generátor
- $<2> = \{2, 4, 1, 3, 0\}$  .. je generátor
- $<3> = \{3, 1, 4, 2, 0\}$  .. je generátor
- $<4> = \{4, 3, 2, 1, 0\}$  .. je generátor

### 3.4.6

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.4.7

NSD = Poslední nenulový zbytek =  $2x + 1$ .

$$4x^3 + x^2 + 4 : x^3 + 2x^2 + 4x + 1 = 4$$

$$x^3 + 2x^2 + 4x + 1$$

-----

$$0 + 3x^2 + 4x + 0$$

$$x^3 + 2x^2 + 4x + 1 : 3x^2 + 4x = 2x + 3$$

$$4x^3 + 2x^2 + 0 + 0$$

-----

$$0 + 4x^2 + 4x + 1$$

$$0 + x^2 + 3x + 0$$

-----

$$0 + 0 + 2x + 1$$

$$3x^2 + 4x : 2x + 1 = 4x$$

$$2x^2 + x$$

-----

$$0 + 0$$

### 3.4.8

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.4.9

#### Řešení

- $18x - 1 = x + 1$
- $17x = 2$
- $[17x]_{41} = [2]_{41}$
- Kdy se bude  $(17 \cdot x) \% 41 = 2$ ?
  - $41 = 17 \cdot 2 + 7$
  - $17 = 7 \cdot 2 + 3$
  - $7 = 3 \cdot 2 + 1$
  - $1 = 7 - 3 \cdot 2 = 7 - ((17 - 7 \cdot 2) \cdot 2)$
  - $1 = 7 - 2 \cdot 17 + 4 \cdot 7 = -2 \cdot 17 + 5 \cdot 7$
  - $1 = -2 \cdot 17 + 5 \cdot (41 - 17 \cdot 2) = -2 \cdot 17 + 5 \cdot 41 - 17 \cdot 10$
  - $1 = -12 \cdot 17 + 41 \cdot 5$ 
    - $-12 \cdot 41 = 29$
  - $2 = -24 \cdot 17 + 41 \cdot 10$ 
    - $-24 \cdot 41 = 17$
  - $x = 17$

### 3.4.10

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.4.11

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 3.4.12

$$\begin{aligned}
 & 3 - 2(2 - 4)^{-1} + 5^3 \\
 & 3 + (-2(2 + (-4)^{-1}) + 5 \cdot 5^{-1}) & (-4)^{-1} + 4 \stackrel{?}{=} 0 \\
 & 3 + (-2(2 + 3)^{-1} + 5 \cdot 4) & 3 + 4 \stackrel{?}{=} 0 \\
 & 3 + (-2 \cdot (\frac{1}{3})^{-1}) + 6 & 5 \cdot (5^{-1}) \stackrel{?}{=} 1 \\
 & 3 + (-2 \cdot \frac{1}{3}) + 6 & 5 \cdot a = (7a) + 1 \\
 & 3 + (-6) + 6 & 5 \cdot 3 \stackrel{?}{=} (2 \cdot 3) + 1 \\
 & 3 + 1 + 6 & 5^{-1} \stackrel{?}{=} 3 \\
 & 4 + 6 \\
 & 3
 \end{aligned}$$

### 3.4.13

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

## 6.9 Funkcionalni analýza - Metrické prostory

### 4.1.1

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 4.1.2

6. Na  $\mathbb{Z}^2$  definujeme metriku  $\delta$  následovně:  $\delta((x_1, y_1), (x_2, y_2)) = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$ .  
akreslete kružnici určenou touto metrikou o poloměru 2 se středem v bodě  $(0, 0)$ , tj. množinu  
 $S_\delta(2) = \{(x, y) \in \mathbb{Z}^2; \delta((x, y), (0, 0)) = 2\}$ .

rčete počet prvků množiny  $S_\delta(2)$  a tyto prvky vypište.

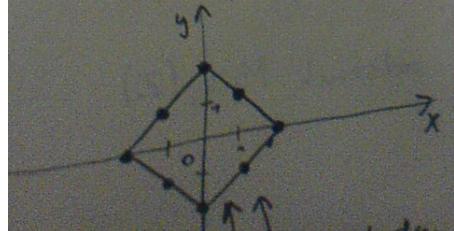
$$\delta((x, y), (0, 0)) = 2$$

$$|x - 0| + |y - 0| = 2$$

$$|x| + |y| = 2$$

$$|S_\delta(2)| = 8$$

$$S_\delta(2) = \{(2, 0), (1, 1), (0, 2), (-1, -1), (-2, 0), (0, -2), (-1, 1), (1, -1)\}$$



#### 4.1.3

Definujme zobrazení  $\delta: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$  podletohoto:

$$\delta((x_1, y_1), (x_2, y_2)) = \frac{|x_1 - x_2|}{2} + 3|y_1 - y_2|$$

1) ak  $\delta = 0$  tak  $x_1 = x_2$   $y_1 = y_2$

$$\frac{|x_1 - x_2|}{2} + 3|y_1 - y_2| = 0 \Rightarrow \text{platí}$$

2)  $\frac{|x_1 - x_2|}{2} + 3|y_1 - y_2| = \frac{|y_1 - y_2|}{2} + 3|x_1 - x_2|$

3)  $\frac{|x_1 - x_2|}{2} + 3|y_1 - y_2| + \frac{|x_1 - x_3|}{2} + 3|y_1 - y_3| > \frac{|x_2 - x_3|}{2} + 3|y_2 - y_3|$

$$\delta((x_1, y_1), (0, 0)) = 1$$
$$\frac{|x_1|}{2} + 3|y_1| = 1$$
$$|x_1 + 6y_1| = 2$$
$$|y_1| = \frac{2 - |x_1|}{6}$$

#### 4.1.4

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

#### 4.1.5

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

#### 4.1.6

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

#### 4.1.7

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

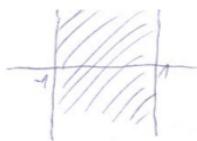
#### 4.1.8

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

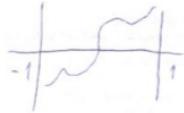
## 6.10 Funkcionalni analýza - Normované prostory

### 4.2.1

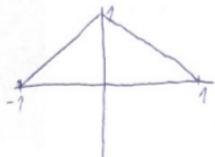
A(8) lineárný prostor  $C[-1,1]$



správaj f -ce na intervalu  $[-1,1]$



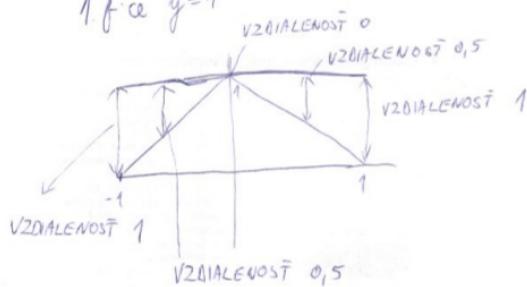
f -ce  $|f(x)|$



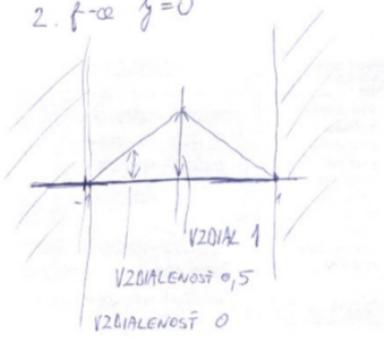
const. f -ce  $y=2$

jjádáme  $\varphi(g,h) = \max(|g(x)-h(x)|)$

1. f -ce  $y=1$



2. f -ce  $y=0$

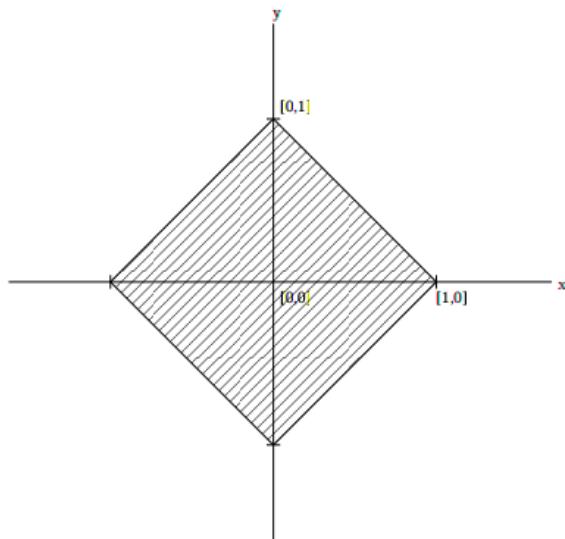


#### 4.2.2

##### Řešení:

Tady je nejlehčí si obrazec nakreslit a pak zjistit obsah. Abychom mohli nakreslit obrazec, je třeba si představit, co daná metrika znamená.  $\rho([x_0, x_1], [0, 0])$  znamená vzdálenost bodu  $[x_0, x_1]$  od bodu  $[0, 0]$  (počátek souřadnic). Ale pozor, nejedná se o klasickou vzdálenost, ale o vzdálenost indukovanou normou  $\|(x, y)\| = |x| + |y|$  (klasická norma v ploše je  $\|(x, y)\| = \sqrt{x^2 + y^2}$ ).

Tím, že se jedná o součet absolutních hodnot, stačí přemýšlet pouze o prvním kvadrantu, jelikož ostatní budou symetrické. Takže, kdy bude platit  $\rho([x_0, x_1], [0, 0]) \leq 1$ ? Vztah lze převést na  $|x| + |y| \leq 1$  (protože měříme od počátku, stačí uvažovat čistě jen normu). Když se zamyslíme, co znamená  $|x| + |y|$ , tak si lze představit, že při  $x = 0$  je  $y = 1$  a naopak. Dále je rovnice  $|x| + |y|$  lineární, takže tyto body spojíme . . .



Z nákresu je vidět, že obsah čtverce je 2.

#### 4.2.3

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

#### 4.2.4

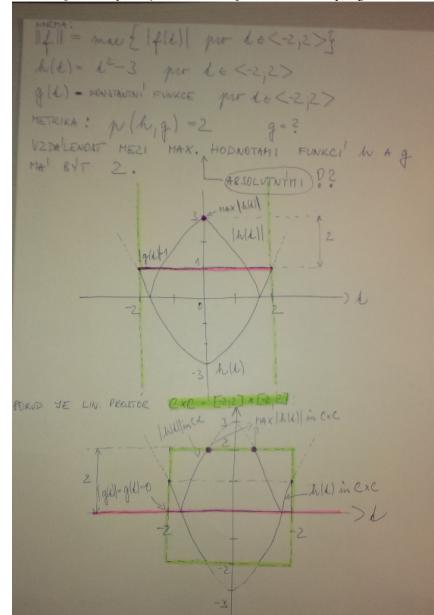
Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

## 4.2.5

1. Otázka: Co znamena lineární prostor  $C = [-2, 2]^2$ ? Znamena to, že ten prostor je dany jako  $C \times C$ , až když součin  $C$ ?

2. Otázka: Ta funkce v té norme je opravdu mezi  $\|\cdot\|$  - je to tam absolutní hodnota?

Riešenie (potvrďte/vyprávte): 1. otázka: Nie (jedna se o interval  $[-2, 2]^2$ ): 1. obrazok, ANO: 2. obrazok; 2. otázka ANO (obidve obrazky)



## 6.11 Funkcionalni analýza - Unitární prostory

### 4.3.1

$$\begin{aligned}
 & f_1 = (1, 2, -1) \quad f_2 = 3 = f_4 \\
 & b_1 = (1, 2, -3) \quad b_1 + f_2 = (2, 4, -4) = f_3 \} \text{ lineární vektory} \\
 & f_3 = (1, 2, -8) \quad g_1 = \frac{f_1}{\|f_1\|} = \frac{(1, 2, -1)}{\sqrt{1+4+1}} = \left(\frac{1}{\sqrt{6}}, \frac{2}{\sqrt{6}}, -\frac{1}{\sqrt{6}}\right) \\
 & f_4 = (2, 6, -9) \quad d_1 = (f_2, g_1) = ((1, 2, -3), \left(\frac{1}{\sqrt{6}}, \frac{2}{\sqrt{6}}, -\frac{1}{\sqrt{6}}\right)) = \frac{1}{\sqrt{6}} + \frac{4}{\sqrt{6}} + \frac{3}{\sqrt{6}} = \frac{8}{\sqrt{6}} \\
 & b_2 = f_2 - d_1 g_1 = (1, 2, -3) - \frac{8}{\sqrt{6}} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{6}}, \frac{2}{\sqrt{6}}, -\frac{1}{\sqrt{6}}\right) = (1, 2, -3) - \left(\frac{1}{3}, \frac{2}{3}, -\frac{4}{3}\right) = \\
 & = \left(\frac{2}{3}, -\frac{1}{3}, -\frac{5}{3}\right) \\
 & g_2 = \frac{b_2}{\|b_2\|} = \frac{\left(\frac{2}{3}, -\frac{1}{3}, -\frac{5}{3}\right)}{\sqrt{\left(\frac{2}{3}\right)^2 + \left(-\frac{1}{3}\right)^2 + \left(-\frac{5}{3}\right)^2}} = \frac{b_2}{\sqrt{\frac{4}{9} + \frac{1}{9} + \frac{25}{9}}} = \frac{b_2}{\sqrt{\frac{30}{9}}} = \frac{\left(\frac{2}{3}, -\frac{1}{3}, -\frac{5}{3}\right)}{\frac{\sqrt{30}}{3}} = \\
 & = \left(-\frac{1}{\sqrt{30}}, \frac{2}{\sqrt{30}}, -\frac{5}{\sqrt{30}}\right)
 \end{aligned}$$

myslím, že iba na zmätanie nepríplatné (vyšlo mi to rovnako).

Myslím, že skalárny súčin môže byť definovaný aj inak (Definícia 9.1. Funkcionální analýza). Postupovalo by sa asi stejně, akorát by se jinak počítal ten skalárny súčin.

### 4.3.2

$$f_1 = (2, -1, 3); f_2 = (-1, 2, -3); f_3 = (3, 0, 3); f_4 = (8, 2, 6)$$

$$f_4 = 13 \cdot 3 + 12$$

$$f_3 = 12 + 2 \cdot f_1$$

Vyslo mi:

$$S_1 = (2/\sqrt{14}, -1/\sqrt{14}, 3/\sqrt{14})$$

$$S_2 = (12/\sqrt{378}, 15/\sqrt{378}, -3/\sqrt{378})$$

izomorfizmus

Prepočítal som to s Gaussovou elimináciou a vyslo mi toto:

$$\begin{array}{l}
 f_1 = (2, -1, 3); f_2 = (-1, 2, -3); f_3 = (3, 0, 3); f_4 = (8, 2, 6) \\
 \left( \begin{array}{ccc} 2 & -1 & 3 \\ -1 & 2 & -3 \\ 3 & 0 & 3 \\ 8 & 2 & 6 \end{array} \right) \xrightarrow{\text{I}+} \sim \left( \begin{array}{ccc} 1 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & -3 \\ 1 & 0 & 1 \\ 4 & 1 & 3 \end{array} \right) \xrightarrow{\text{II}+} \sim \left( \begin{array}{ccc} 1 & 1 & 0 \\ -1 & 2 & -3 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \end{array} \right) \xrightarrow{\text{III}+} \sim \left( \begin{array}{ccc} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & -2 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \end{array} \right) \xrightarrow{\text{IV}-} \\
 \sim \left( \begin{array}{ccc} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \end{array} \right) \xrightarrow{\text{I}-} \sim \left( \begin{array}{ccc} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{array} \right) \xrightarrow{\text{II}-} \sim \left( \begin{array}{ccc} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{array} \right) = f_1 \\
 \xrightarrow{\text{III}-} \sim \left( \begin{array}{ccc} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{array} \right) = f_2 \\
 \varphi_1 = \frac{h_1}{\|h_1\|} = \frac{f_1}{\|f_1\|} = \frac{(1, 0, 1)}{\sqrt{1^2 + 0^2 + 1^2}} = \left( \frac{1}{\sqrt{2}}, 0, \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \\
 (\varphi_1, \varphi_1) = 0 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} + 0 \cdot 0 + 1 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = -\frac{1}{\sqrt{2}} \\
 h_2 = f_2 - (f_2, \varphi_1) \cdot \varphi_1 = (0, 1, -1) + \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left( \frac{1}{\sqrt{2}}, 0, \frac{1}{\sqrt{2}} \right) = \\
 = \left( \frac{1}{2}, 1, -\frac{1}{2} \right) \\
 \varphi_2 = \frac{h_2}{\|h_2\|} = \frac{\left( \frac{1}{2}, 1, -\frac{1}{2} \right)}{\sqrt{\frac{1}{4} + 1 + \frac{1}{4}}} = \frac{\left( \frac{1}{2}, \frac{2}{2}, -\frac{1}{2} \right)}{\frac{\sqrt{6}}{2}} = \left( \frac{1}{\sqrt{6}}, \frac{2}{\sqrt{6}}, -\frac{1}{\sqrt{6}} \right)
 \end{array}$$

A nevadí tuto že výsledky nie sú rovnake, keď to robíme s/bez Gaussovou elimináciou?

### 4.3.3

#### Řešení

- Nejpřímočařejším postupem je napsat si vektory jako řádky matice a provést Gaussovou eliminaci. Nenulové řádky pak tvoří bázi (el. transformace nemění lineární obal).

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \text{ gauss. elim.} \sim \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \text{ gauss. elim.} \sim \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$B_1 = \{(1, 1, 1, 1), (0, 1, 1, 1), (0, 0, 0, 1)\}$  není ortogonální, není ortonormání.

$B_2 = \{(1, 0, 0, 0), (0, 1, 1, 0), (0, 0, 0, 1)\}$  je ortogonální, není ortonormální.

- Provedení ortonormalizace, vstupem je báze (tvořena linearně nezávislými vektory), která bude převedena na ortonormální bázi.

Ortonormalizace např. pro  $B_2$ :

$$f_1 = (1, 0, 0, 0), f_2 = (0, 1, 1, 0), f_3 = (0, 0, 0, 1)$$

$$\varphi_1 = \frac{f_1}{\|f_1\|} = \frac{(1,0,0,0)}{\sqrt{1^2+0^2+0^2+0^2}} = \frac{(1,0,0,0)}{\sqrt{1^2}} = (1, 0, 0, 0)$$

$$h_{21} = (f_2, \varphi_1) = 0 \cdot 1 + 1 \cdot 0 + 1 \cdot 0 + 0 \cdot 0 = 0$$

$$h_2 = f_2 - h_{21} \cdot \varphi_1 = (0, 1, 1, 0) - 0 \cdot (1, 0, 0, 0) = (0, 1, 1, 0) - (0, 0, 0, 0) = (0, 1, 1, 0)$$

$$\varphi_2 = \frac{h_2}{\|h_2\|} = \frac{(0,1,1,0)}{\sqrt{0^2+1^2+1^2+0^2}} = \frac{(0,1,1,0)}{\sqrt{2}} = (0, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0)$$

$$h_{31} = (f_3, \varphi_1) = 0 \cdot 1 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 0 + 1 \cdot 0 = 0$$

$$h_{32} = (f_3, \varphi_2) = 0 \cdot 0 + 0 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} + 0 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} + 1 \cdot 0 = 0$$

$$h_3 = f_3 - h_{31} \cdot \varphi_1 - h_{32} \cdot \varphi_2 = (0, 0, 0, 1) - 0 \cdot (1, 0, 0, 0) - 0 \cdot (0, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0) = (0, 0, 0, 1)$$

$$\varphi_3 = \frac{h_3}{\|h_3\|} = \frac{(0,0,0,1)}{\sqrt{(0^2+0^2+0^2+1^2)}} = \frac{(0,0,0,1)}{\sqrt{(1^2)}} = (0, 0, 0, 1)$$

2

Výsledná ortonormální báze je  $B = \{(1, 0, 0, 0), (0, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0), (0, 0, 0, 1)\}$ , prostor  $W$  je 3-dimenzionální.

### 4.3.4

$$\begin{aligned}
 g_1 &= v_1 = (1, 1, 1, 1) \quad \|g_1\| = \sqrt{4} = 2 \\
 \text{proj}_{g_1}(v_2) &= \frac{(g_1, v_2)}{\|g_1\|^2} g_1 = \frac{((1, 1, 1, 1), (0, 1, 0, 1))}{4} (1, 1, 1, 1) = \frac{1}{2} (1, 1, 1, 1) \\
 g_2 &= v_2 - \text{proj}_{g_1}(v_2) = (0, 1, 0, 1) - \frac{1}{2} (1, 1, 1, 1) = (-1, 1, -1, 1) \quad \|g_2\| = \sqrt{4} = 2 \\
 \text{proj}_{g_1}(v_3) &= \frac{(g_1, v_3)}{\|g_1\|^2} g_1 = \frac{((1, 1, 1, 1), (1, 1, 1, 1))}{4} (1, 1, 1, 1) = 0 \\
 \text{proj}_{g_1}(v_4) &= \frac{(g_1, v_4)}{\|g_1\|^2} g_1 = \frac{((1, 1, 1, 1), (1, -1, 1, -1))}{4} (-1, 1, -1, 1) = -\frac{1}{2} (-1, 1, -1, 1) = \\
 &= (1, -1, 1, -1) \\
 g_3 &= v_3 - \text{proj}_{g_1}(v_3) - \text{proj}_{g_2}(v_3) = (1, -1, 1, -1) - 0 - (1, -1, 1, -1) = 0
 \end{aligned}$$

$r_1$  reprezentuje lín. rozdělité od  $v_1, v_2$ :  $r_1 = r_1 - 2 \cdot r_2$   
 $v_1 = \frac{g_1}{\|g_1\|} = \frac{1}{2} (1, 1, 1, 1)$        $v_2 = \frac{g_2}{\|g_2\|} = \frac{1}{2} (-1, 1, -1, 1)$  - normální vektory  
 $\{v_1, v_2\} = \left\{ \frac{1}{2} (1, 1, 1, 1), \frac{1}{2} (-1, 1, -1, 1) \right\}$  - orthonormální báze  
 $\langle B \rangle = V$       dim  $V = |B| = 2$   
 1 prostorický rozdíl  $B$

### 4.3.5

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 4.3.6

$$\begin{aligned}
 &12 \\
 &\text{lin. závislé vektory: } f_3 = f_1 + f_2, f_4 = 2f_2 - f_3 \\
 &\varphi_1 = \left( \frac{1}{\sqrt{6}}, \frac{2}{\sqrt{6}}, 0, \frac{-1}{\sqrt{6}} \right) \text{ (nějak blbne math zápis, ten symbol má být phi)} \\
 &d_2 = \frac{3}{\sqrt{6}}, h_2 = \left( \frac{1}{2}, 0, 0, \frac{1}{2} \right) \\
 &\varphi_2 = \left( \frac{1}{\sqrt{2}}, 0, 0, \frac{1}{\sqrt{2}} \right)
 \end{aligned}$$

## 6.12 Grafy - Nalezení grafu

### 5.1.1

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 5.1.2

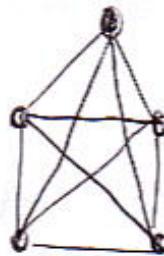
Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 5.1.3

$$M \cdot M = 2 \cdot x$$

$$4 \cdot 4 = 2 \cdot x$$

$$x = 22$$



### 5.1.4

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 5.1.5

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 5.1.6

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 5.1.7

#### Řešení:

Jestliže víme, že  $n > 2$  a  $n$  není dělitelné číslem 4 ani číslem 5 a také  $n \leq 13$  (máme 13 zemí), pak tedy  $n \in \{3, 6, 7, 9, 11, 13\}$ .

Sestrojme tedy graf  $G = (U, H)$ , kde uzly jsou státy a hrany jsou smlouvy. Pak platí  $|U| = 13$ ,  $\forall u \in U : \deg(u) = n$ .

Vyjděme ze známé podmínky pro obecné grafy  $\sum_{u \in U} \deg(u) = 2m$ , kde  $m = |H|$ .

Z výše uvedeného vyplývá, že  $\sum_{u \in U} \deg(u)$  je sudé číslo. Také samozřejmě  $\sum_{u \in U} \deg(u) = 13n$  (všechny uzly mají stejný stupeň  $n$ ).

Položme  $13n = 2m$ , tedy  $13n$  je sudé.

Rovnice je splněna pouze pro  $n = 6$  (nezapomeňte, že  $n \in \{3, 6, 7, 9, 11, 13\}$ ).

### 5.1.8

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

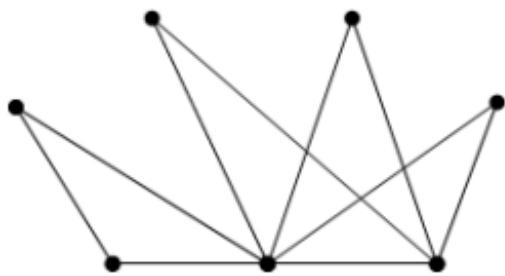
### 5.1.9

#### Řešení

$$2|H| = 2 + 4 + 6 + 4n$$

$$\text{pro } n = 2 \Rightarrow |H| = 10$$

Nejmenší počet hran grafu je 10.



### 5.1.10

#### Řešení

$$2|H| = 9n$$

$$\text{pro } n = 6 \text{ rovnice platí } 32 > \frac{9 \cdot 6}{2}$$

Stupeň uzlu vyšel 6, tedy odpoledne každý tým odehraje 4 zápasy.

### 5.1.11

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

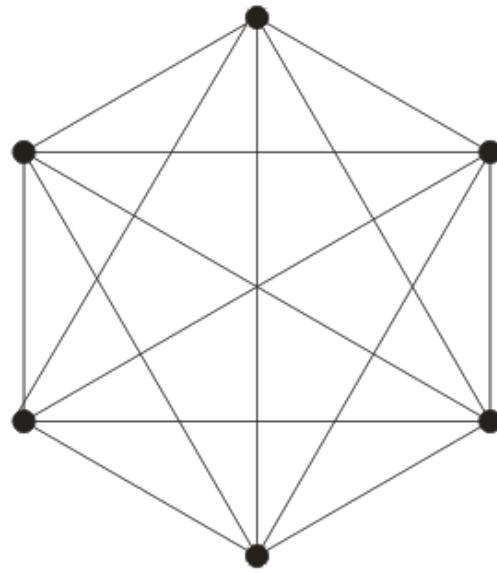
### 5.1.12

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 5.1.13

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 5.1.14



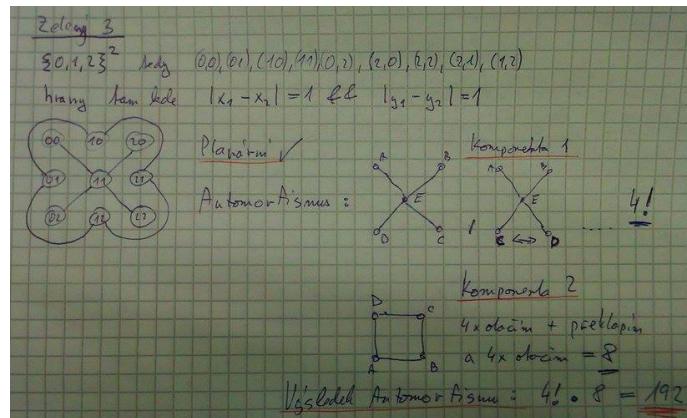
### 5.1.15

$$\begin{aligned} |H| &= 12 \\ V &= \{1, 2, \dots, n\} \quad n > 0 \\ \text{dej. užel: } \forall u \in V : \deg(u) &= n-2 \\ \sum_{u \in V} \deg(u) &= 2|H| \\ n \cdot (n-2) &= 2 \cdot 12 \\ n^2 - 2n &= 24 \\ \underline{n = 6} \end{aligned}$$

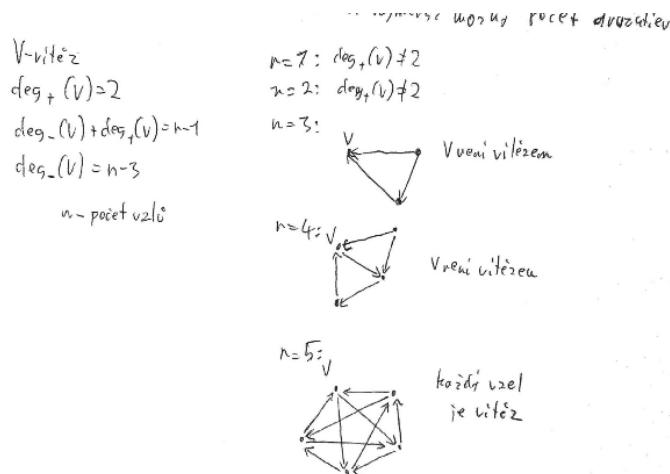
### 5.1.16

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 5.1.17



### 5.1.18



### 5.1.19

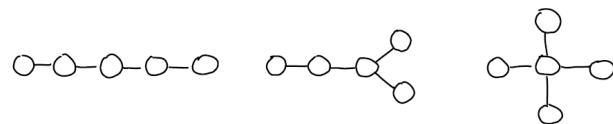
Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 5.1.20

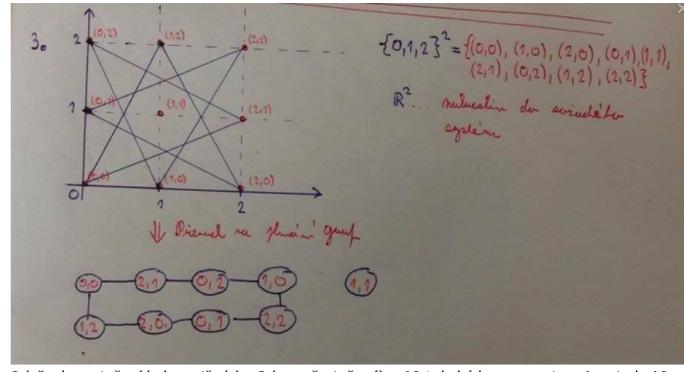
Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 5.1.21

Nakreslete a neizomorfní kostry grafů s 5 vrcholmi



## 5.1.22

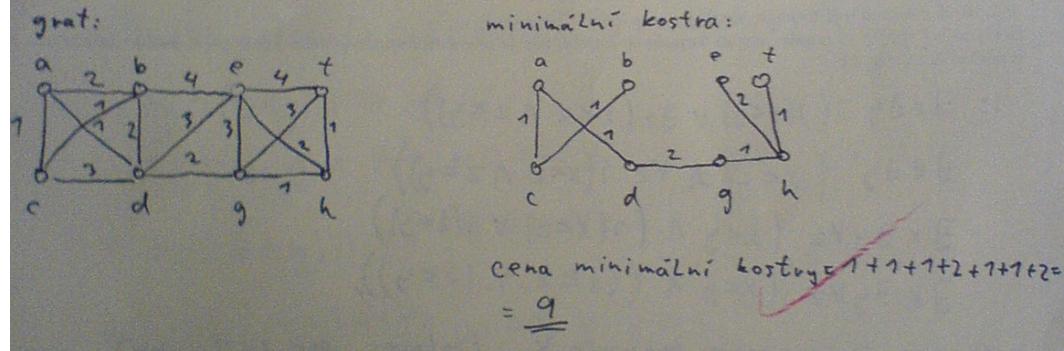


8 (všechny otočení kolem středu)  $\times$  2 (osově otočený) = 16 \* druhá komponenta = 1 ... tedy 16.

## 6.13 Grafy - Nazeteni minimální kostry

### 5.2.1

5. Je dán graf  $G = (U, H)$ , kde  $U = \{a, b, c, d, e, f, g, h\}$  a  $H$  má 15 prvků, s hodnotením  $v : H \rightarrow \mathbb{N}$  takovým, že  $v\{a, b\} = 2$ ,  $v\{a, c\} = 1$ ,  $v\{a, d\} = 1$ ,  $v\{b, c\} = 1$ ,  $v\{b, d\} = 2$ ,  $v\{c, d\} = 3$ ,  $v\{b, e\} = 4$ ,  $v\{d, e\} = 3$ ,  $v\{d, g\} = 2$ ,  $v\{e, f\} = 4$ ,  $v\{e, g\} = 3$ ,  $v\{e, h\} = 2$ ,  $v\{f, g\} = 3$ ,  $v\{f, h\} = 1$ ,  $v\{g, h\} = 1$ . Nakreslete tento graf tak, že každá z následujících čtverecích  $(a, b, c, d), (b, d, e, g)$  a  $(e, f, g, h)$  tvoří vrcholy čtverce a hrany jsou znázorněny úsečkami spojujícími příslušné vrcholy. Určete cenu minimální kostry tohoto grafu a jednu jeho minimální kostru nakreslete do obrázku.



### 5.2.2

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).

### 5.2.3

Vyřešil si tento příklad? Přidej ho sem (na githubu najdeš instrukce).