

Programovací techniky

KIV/PT

cvičení 9

Kódování a komprese, tabulky

Kódování a komprese

- Cílem je redukovat objem dat
- Indikátory kvality komprese:
 - Rychlosť
 - Symetrie/asymetrie algoritmu
 - Kompresní poměr
- Dělení:
 - Bezztrátová – po kódování a dekódování je výsledek shodný
 - Ztrátová – po kódování a dekódování dochází ke ztrátě

Metody komprese

- Jednoduché – kódování opakujících se posloupností znaků
 - Run Length Encoding (RLE) metoda
- Slovníkové – kódování všech vyskytujících se posloupností
 - Lempel-Ziv-Welch (LZW) metoda
- Statistické – vychází z četnosti výskytu znaků v datech
 - Huffmanovo kódování
 - Aritmetické kódování
- Transformační – založené na ortogonálních či jiných transformacích
 - JPEG
 - Waveletová komprese

RLE metoda – kódování délkou běhu

- Bezztrátová
- Použití – spíše pro obrazovou informaci (BMP)
- Opakující se symboly kódovány pomocí (počet_opakovani, symbol)
- Kódování délky:
 - Přímo – počet opakování udán u každého znaku
 - Př.: SSSSGRSFFWQQQTTTT → 4S1G1R1S2F1W3Q4T
 - Nevýhoda – pro neopakující se znaky dochází k prodlužování dat
 - Escape sekvencí – kódování jen znaků, které se opakují více než 3 krát
 - Př.: SSSSGRSFFWQQQTTTT → #4GRSFFWQQ#4T
 - Výhoda – nedochází k prodloužení dat, ale je potřeba vyčlenit symbol pro escape sekvenci

LZW metoda

- Jednoprůchodová metoda
- Opakujícím se posloupnostem znaků přiřazen kód a jsou přidány do slovníku
- Kódované znaky jsou delší než původní znaky
 - př. vstup 8 bitů/znak → výstup 12 bitů/znak (LZW12)
- Pro vytvářený slovník platí
 - Velikost – $2^{\text{počet bitů pro kódovaný znak}}$
 - Původní abeceda uložena na prvních $2^{\text{počet bitů pro původní znak}}$ položkách, poté ukládány nově přidávané posloupnosti

LZW metoda – algoritmus komprese

```
S = načti znak ze vstupu
while(další znaky na vstupu) {
    C = načti znak ze vstupu
    if((S+C) je v kódovací tabulce)
        S = S+C
    else{
        vypiš kód pro S
        přidej do tabulky (S+C)
        S = C
    }
vypiš kód pro S
```

LZW komprese - příklad

- Pomocí LZW metody zakódujte řetězec:

ABRABABA

LZW komprese - řešení

ABRABABRA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky

LZW komprese - řešení

ABRABABRA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A		

Do S načti znak ze vstupu

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky

LZW komprese - řešení

ABRABABRA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	

Do C načti znak ze vstupu

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky

LZW komprese - řešení

ABRABABRA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B		

S+C není v
kódovací tabulce
⇒
vypiš S
(S+C) do tabulky
S = C

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB

LZW komprese - řešení

ABRABABA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	

Do C načti znak ze vstupu

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB

LZW komprese - řešení

ABRABABRA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R		

S+C není v
kódovací tabulce
⇒
vypiš S
(S+C) do tabulky
S = C

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR

LZW komprese - řešení

ABRABABRA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R	A	

Do C načti znak ze vstupu

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR

LZW komprese - řešení

ABRABABRA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R	A	82 (R)
A		

S+C není v
kódovací tabulce
⇒
vypiš S
(S+C) do tabulky
S = C

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR
258	RA

LZW komprese - řešení

ABRABABRA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R	A	82 (R)
A	B	

Do C načti znak ze vstupu

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR
258	RA

LZW komprese - řešení

ABRABABRA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R	A	82 (R)
A	B	
AB		

S+C je v kódovací tabulce
⇒
 $S = S+C$

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR
258	RA

LZW komprese - řešení

ABRABA**BRA**

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R	A	82 (R)
A	B	
AB	A	

Do C načti znak ze vstupu

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR
258	RA

LZW komprese - řešení

ABRABA**BRA**

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R	A	82 (R)
A	B	
AB	A	
A		256 (AB)

S+C není v
kódovací tabulce
⇒
vypiš S
(S+C) do tabulky
S = C

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR
258	RA
259	ABA

LZW komprese - řešení

ABRABABA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R	A	82 (R)
A	B	
AB	A	256 (AB)
A	B	

Do C načti znak ze vstupu

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR
258	RA
259	ABA

LZW komprese - řešení

ABRABABA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R	A	82 (R)
A	B	
AB	A	256 (AB)
A	B	
AB		

S+C je v kódovací tabulce
⇒
 $S = S+C$

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR
258	RA
259	ABA

LZW komprese - řešení

ABRABABA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R	A	82 (R)
A	B	
AB	A	256 (AB)
A	B	
AB	R	

Do C načti znak ze vstupu

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR
258	RA
259	ABA

LZW komprese - řešení

ABRABABA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R	A	82 (R)
A	B	
AB	A	256 (AB)
A	B	
AB	R	256 (AB)
R		

S+C není v
kódovací tabulce
⇒
vypiš S
(S+C) do tabulky
S = C

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR
258	RA
259	ABA
260	ABR

LZW komprese - řešení

ABRABABRA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R	A	82 (R)
A	B	
AB	A	256 (AB)
A	B	
AB	R	256 (AB)
R	A	

Do C načti znak ze vstupu

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR
258	RA
259	ABA
260	ABR

LZW komprese - řešení

ABRABABRA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R	A	82 (R)
A	B	
AB	A	256 (AB)
A	B	
AB	R	256 (AB)
R	A	
RA		

S+C je v kódovací tabulce
⇒
 $S = S+C$

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR
258	RA
259	ABA
260	ABR

LZW komprese - řešení

ABRABABRA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R	A	82 (R)
A	B	
AB	A	256 (AB)
A	B	
AB	R	256 (AB)
R	A	
RA		258 (RA)

Na vstupu není
další znak
⇒
vypiš S

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR
258	RA
259	ABA
260	ABR

LZW komprese - řešení

ABRABABRA

Postup kódování

S (prefix)	C (sufix)	Výstup (kód)
A	B	65 (A)
B	R	66 (B)
R	A	82 (R)
A	B	
AB	A	256 (AB)
A	B	
AB	R	256 (AB)
R	A	
RA		258 (RA)

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	AB
257	BR
258	RA
259	ABA
260	ABR

Výsledný výstup:

65 66 82 256 256 258

LZW metoda – algoritmus dekomprese

```
OLD_CODE = načti kód ze vstupu
vypiš posloupnost zakódovanou kódem OLD_CODE
while(další kódy na vstupu) {
    NEW_CODE = načti kód ze vstupu
    if(NEW_CODE není v kódovací tabulce) {
        S = posloupnost zakódovaná kódem OLD_CODE
        S = S+C
    }
    else
        S = posloupnost zakódovaná kódem NEW_CODE
    vypiš S
    C = první znak S
    přidej do tabulky (OLD_CODE+C)
    OLD_CODE = NEW_CODE
}
```

LZW dekomprese - příklad

- Pomocí LZW metody dekódujte posloupnost:

75 85 256 82 257 260

LZW dekomprese - řešení

75 85 256 82 257 260

Postup dekódování

OLD_CODE	NEW_CODE	S	C	Výstup

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky

LZW dekomprese - řešení

75 85 256 82 257 260

Postup dekódování

OLD_CODE	NEW_CODE	S	C	Výstup
75 (K)				K

Do OLD_CODE
načti kód ze
vstupu a zapiš na
výstup

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky

LZW dekomprese - řešení

75 85 256 82 257 260

Postup dekódování

OLD_CODE	NEW_CODE	S	C	Výstup
75 (K)				K
75 (K)	85 (U)			

Do NEW_CODE
načti kód ze
vstupu

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky

LZW dekomprese - řešení

75 85 256 82 257 260

Postup dekódování

OLD_CODE	NEW_CODE	S	C	Výstup
75 (K)				K
75 (K)	85 (U)	U	U	U
85 (U)				

NEW_CODE je v kódovací tabulce
⇒
S = posloupnost zakódovaná NEW_CODE

- vypiš S
- C = první znak S
- (OLD_CODE+C) do tabulky
- OLD_CODE = NEW_CODE

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	KU

LZW dekomprese - řešení

75 85 256 82 257 260

Postup dekódování

OLD_CODE	NEW_CODE	S	C	Výstup
75 (K)				K
75 (K)	85 (U)	U	U	U
85 (U)	256 (KU)			

Do NEW_CODE
načti kód ze
vstupu

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	KU

LZW dekomprese - řešení

75 85 256 82 257 260

Postup dekódování

OLD_CODE	NEW_CODE	S	C	Výstup
75 (K)				K
75 (K)	85 (U)	U	U	U
85 (U)	256 (KU)	KU	K	KU
256 (KU)				

NEW_CODE je v kódovací tabulce
⇒
S = posloupnost zakódovaná NEW_CODE

- vypiš S
- C = první znak S
- (OLD_CODE+C) do tabulky
- OLD_CODE = NEW_CODE

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	KU
257	UK

LZW dekomprese - řešení

75 85 256 82 257 260

Postup dekódování

OLD_CODE	NEW_CODE	S	C	Výstup
75 (K)				K
75 (K)	85 (U)	U	U	U
85 (U)	256 (KU)	KU	K	KU
256 (KU)	82 (R)			

Do NEW_CODE
načti kód ze
vstupu

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	KU
257	UK

LZW dekomprese - řešení

75 85 256 82 257 260

Postup dekódování

OLD_CODE	NEW_CODE	S	C	Výstup
75 (K)				K
75 (K)	85 (U)	U	U	U
85 (U)	256 (KU)	KU	K	KU
256 (KU)	82 (R)	R	R	R
82 (R)				

NEW_CODE je v kódovací tabulce
⇒
S = posloupnost zakódovaná NEW_CODE

- vypiš S
- C = první znak S
- (OLD_CODE+C) do tabulky
- OLD_CODE = NEW_CODE

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	KU
257	UK
258	KUR

LZW dekomprese - řešení

75 85 256 82 257 260

Postup dekódování

OLD_CODE	NEW_CODE	S	C	Výstup
75 (K)				K
75 (K)	85 (U)	U	U	U
85 (U)	256 (KU)	KU	K	KU
256 (KU)	82 (R)	R	R	R
82 (R)	257 (UK)			

Do NEW_CODE
načti kód ze
vstupu

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	KU
257	UK
258	KUR

LZW dekomprese - řešení

75 85 256 82 257 260

Postup dekódování

OLD_CODE	NEW_CODE	S	C	Výstup
75 (K)				K
75 (K)	85 (U)	U	U	U
85 (U)	256 (KU)	KU	K	KU
256 (KU)	82 (R)	R	R	R
82 (R)	257 (UK)	UK	U	UK
257 (UK)				

NEW_CODE je v kódovací tabulce
⇒
S = posloupnost zakódovaná NEW_CODE

- vypiš S
- C = první znak S
- (OLD_CODE+C) do tabulky
- OLD_CODE = NEW_CODE

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	KU
257	UK
258	KUR
259	RU

LZW dekomprese - řešení

75 85 256 82 257 260

Postup dekódování

OLD_CODE	NEW_CODE	S	C	Výstup
75 (K)				K
75 (K)	85 (U)	U	U	U
85 (U)	256 (KU)	KU	K	KU
256 (KU)	82 (R)	R	R	R
82 (R)	257 (UK)	UK	U	UK
257 (UK)	260			

Do NEW_CODE
načti kód ze
vstupu

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	KU
257	UK
258	KUR
259	RU

LZW dekomprese - řešení

75 85 256 82 257 260

Postup dekódování

OLD_CODE	NEW_CODE	S	C	Výstup
75 (K)				K
75 (K)	85 (U)	U	U	U
85 (U)	256 (KU)	KU	K	KU
256 (KU)	82 (R)	R	R	R
82 (R)	257 (UK)	UK	U	UK
257 (UK)	260	UKU		

NEW_CODE není
v kódovací tabulce
⇒
• S = posloupnost
zakódovaná
OLD_CODE
• S = S+C

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	KU
257	UK
258	KUR
259	RU

LZW dekomprese - řešení

75 85 256 82 257 260

Postup dekódování

OLD_CODE	NEW_CODE	S	C	Výstup
75 (K)				K
75 (K)	85 (U)	U	U	U
85 (U)	256 (KU)	KU	K	KU
256 (KU)	82 (R)	R	R	R
82 (R)	257 (UK)	UK	U	UK
257 (UK)	260	UKU	U	UKU
260 (UKU)				

- vypiš S
- C = první znak S
- (OLD_CODE+C) do tabulky
- OLD_CODE = NEW_CODE

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	KU
257	UK
258	KUR
259	RU
260	UKU

LZW dekomprese - řešení

75 85 256 82 257 260

Postup dekódování

OLD_CODE	NEW_CODE	S	C	Výstup
75 (K)				K
75 (K)	85 (U)	U	U	U
85 (U)	256 (KU)	KU	K	KU
256 (KU)	82 (R)	R	R	R
82 (R)	257 (UK)	UK	U	UK
257 (UK)	260	UKU	U	UKU
260 (UKU)				

Kódovací tabulka

kód	posloupnost
0..255	jednotlivé znaky
256	KU
257	UK
258	KUR
259	RU
260	UKU

Výsledný výstup:
KUKURUKUKU

Huffmanovo kódování

- Využití optimálního (nejkratšího) prefixového kódu
- Kód žádného znaku není prefixem jiného znaku
- Kódová slova (posloupnosti bitů) pro jednotlivé znaky mají proměnnou délku
- Využívá četnosti výskytu jednotlivých znaků
⇒ znaky s největší četností kódovány slovem s nejkratší délkou

Huffmanovo kódování - algoritmus

1. Zjištění četnosti výskytu jednotlivých znaků v souboru k zakódování
2. Vytvoření binárního Huffmanova kódovacího stromu
 - Vkládané znaky seřazeny zleva doprava podle
 - Četnosti (vzestupně)
 - Podstrom vlevo před listem, větší podstrom před menším
 - Pořadí v abecedě (vzestupně)
3. Uložení stromu
4. Zakódování souboru, tj. nahrazení symbolů kódovými slovy (posloupnostmi bitů)

Huffmanovo kódování

- Jak najít kódy jednotlivých znaků?
 - Cesta z kořene do listu reprezentuje jeden znak (vlevo 0, vpravo 1)
- Jak je ukládán strom? (přidáván k zakódovanému souboru)
 - Huffmanův kódovací strom se prochází do hloubky
 - Pro vnitřní uzel se uloží bit 0
 - Pro list se uloží bit 1 následován 8 bity s kódem znaku
- Zpětná rekonstrukce stromu
 - Pokud bit 0, vytvoř uzel a postup do levého následníka
 - Pokud bit 1, načti další 8 bitů, ulož je do listu a jdi na nejbližší volný pravý prvek

Huffmanovo kódování - příklad

- Stanovte Huffmanův kódovací strom pro řetězec:

HRADEC_KRALOVE

kde znak _ značí mezeru

Huffmanovo kódování - řešení

- Zadaný řetězec: **HRADEC_KRALOVE** (znak _ značí mezeru)
- Stanovíme četnosti jednotlivých znaků:

znak	četnost	znak	četnost
H		-	
R		K	
A		L	
D		O	
E		V	
C			

Huffmanovo kódování - řešení

- Zadaný řetězec: **HRADEC_KRALOVE** (znak _ značí mezeru)
- Stanovíme četnosti jednotlivých znaků:

znak	četnost	znak	četnost
H	1	-	1
R	2	K	1
A	2	L	1
D	1	O	1
E	2	V	1
C	1		

Huffmanovo kódování - řešení

- Zadaný řetězec: **HRADEC_KRALOVE** (znak _ značí mezeru)

znak	četnost	znak	četnost
H	1	-	1
R	2	K	1
A	2	L	1
D	1	O	1
E	2	V	1
C	1		

- Seřazení posloupnosti znaků (primárně dle četnosti, sekundárně abecedně)

Huffmanovo kódování - řešení

- Zadaný řetězec: **HRADEC_KRALOVE** (znak _ značí mezeru)

znak	četnost	znak	četnost
H	1	_	1
R	2	K	1
A	2	L	1
D	1	O	1
E	2	V	1
C	1		

- Seřazení posloupnosti znaků (primárně dle četnosti, sekundárně abecedně)

_	C	D	H	K	L	O	V	A	E	R
1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2

Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:

Jednotlivé znaky označeny jako listy
stromu a umístěny do uspořádaného
seznamu vrcholů

—	C	D	H	K	L	O	V	A	E	R
1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2

Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:

Vytvoření nového vrcholu, jeho potomci jsou dva první vrcholy v uspořádaném seznamu vrcholů, hodnota odpovídá součtu četností potomků



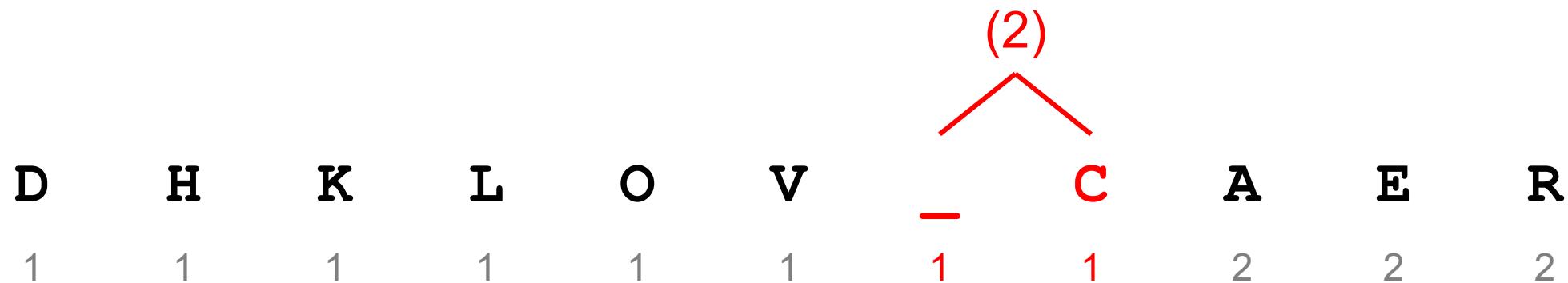
Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:



Huffmanovo kódování - řešení

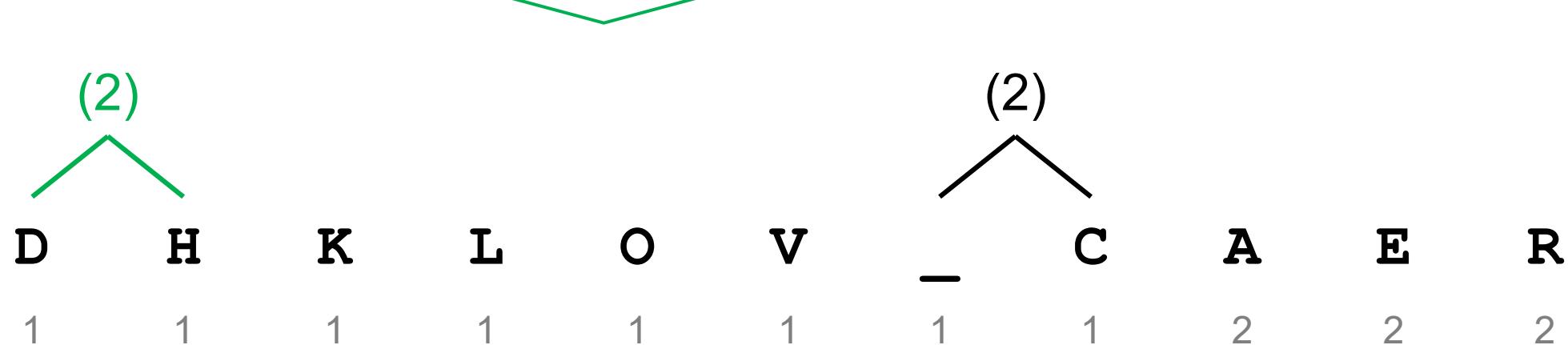
- Vytvoření binárního stromu:



Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:

Vytvoření nového vrcholu, jeho potomci jsou dva první vrcholy v uspořádaném seznamu vrcholů, hodnota odpovídá součtu četností potomků

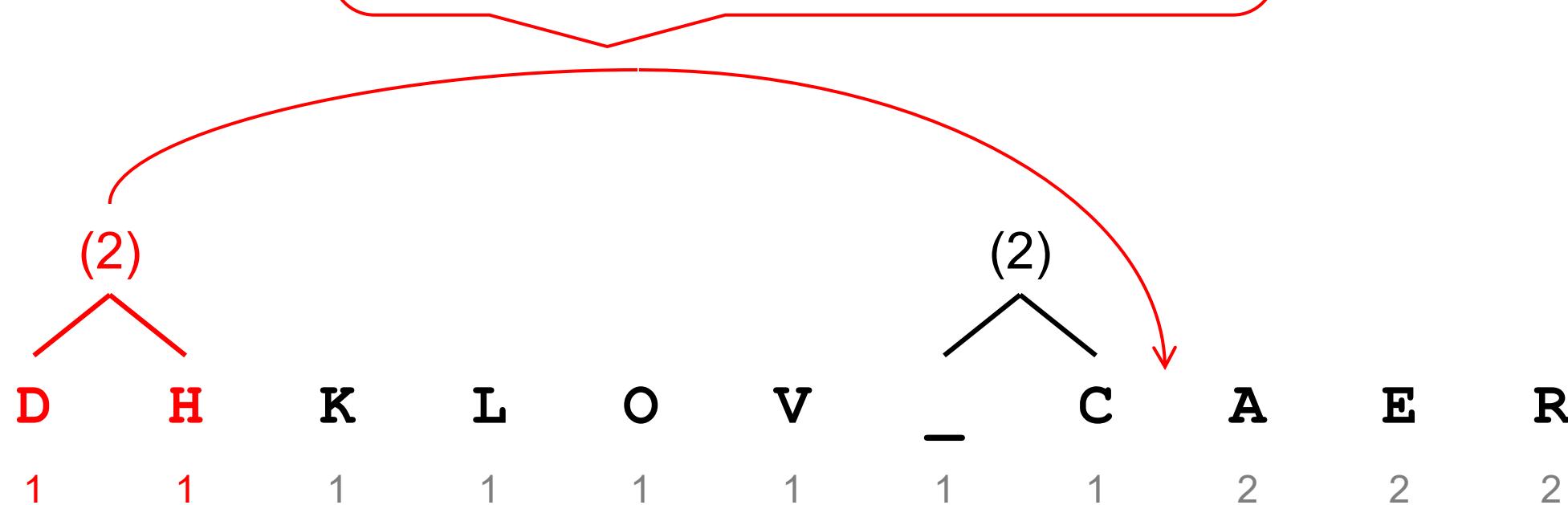


Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:

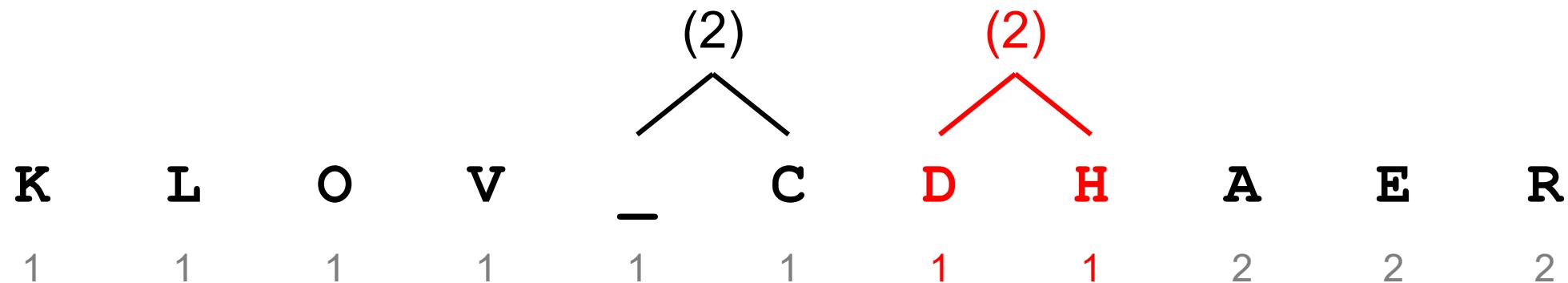
Zařazení nového vrcholu

1. dle četnosti
2. větší podstrom před menším (resp. listem)
3. dle abecedy



Huffmanovo kódování - řešení

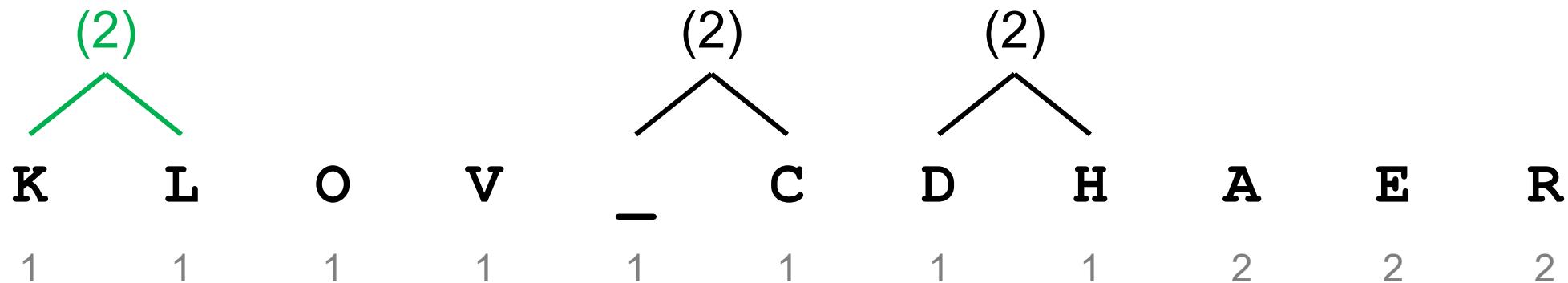
- Vytvoření binárního stromu:



Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:

Vytvoření nového vrcholu

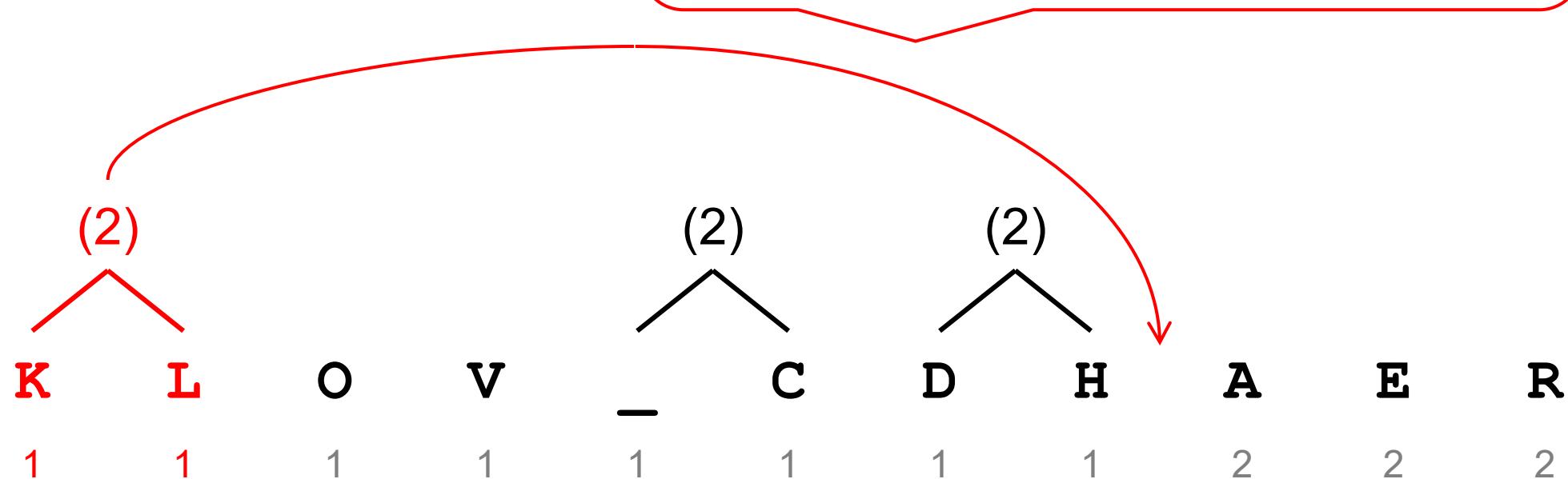


Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:

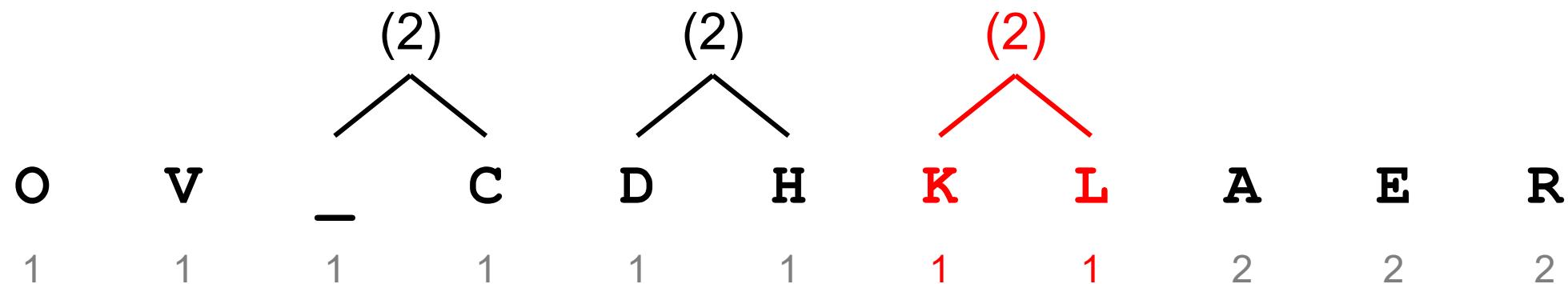
Zařazení nového vrcholu

1. dle četnosti
2. větší podstrom před menším (resp. listem)
3. dle abecedy



Huffmanovo kódování - řešení

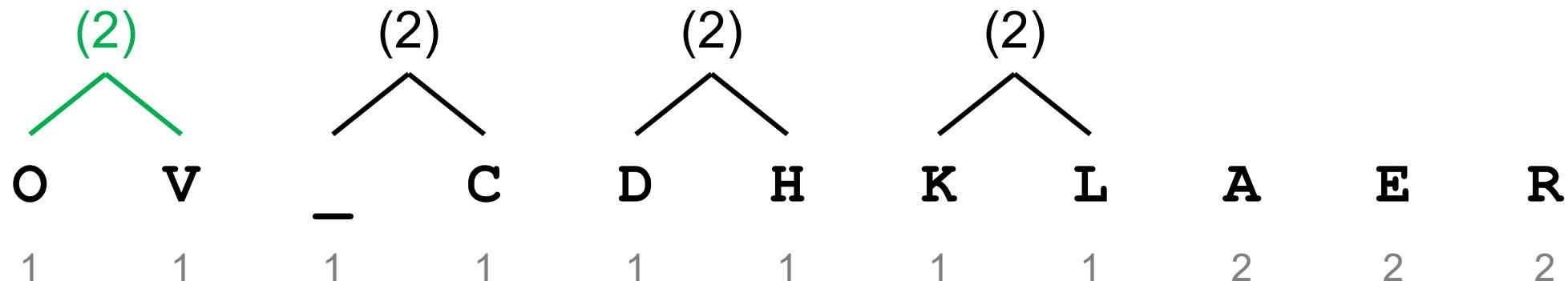
- Vytvoření binárního stromu:



Huffmanovo kódování - řešení

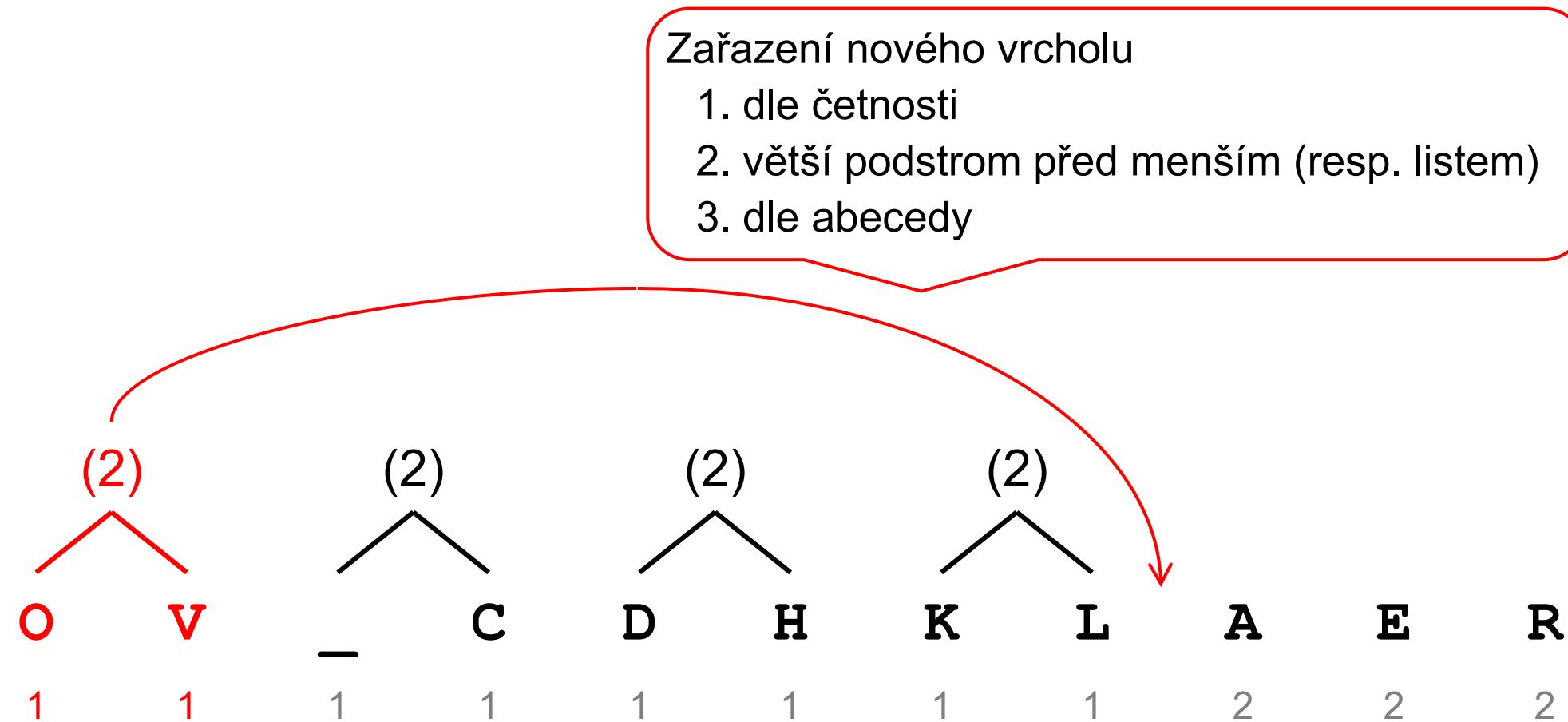
- Vytvoření binárního stromu:

Vytvoření nového vrcholu



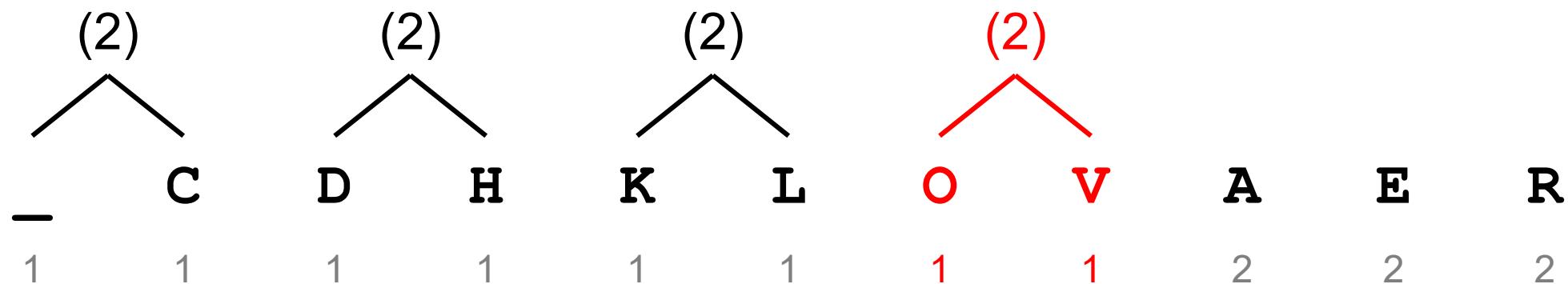
Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:



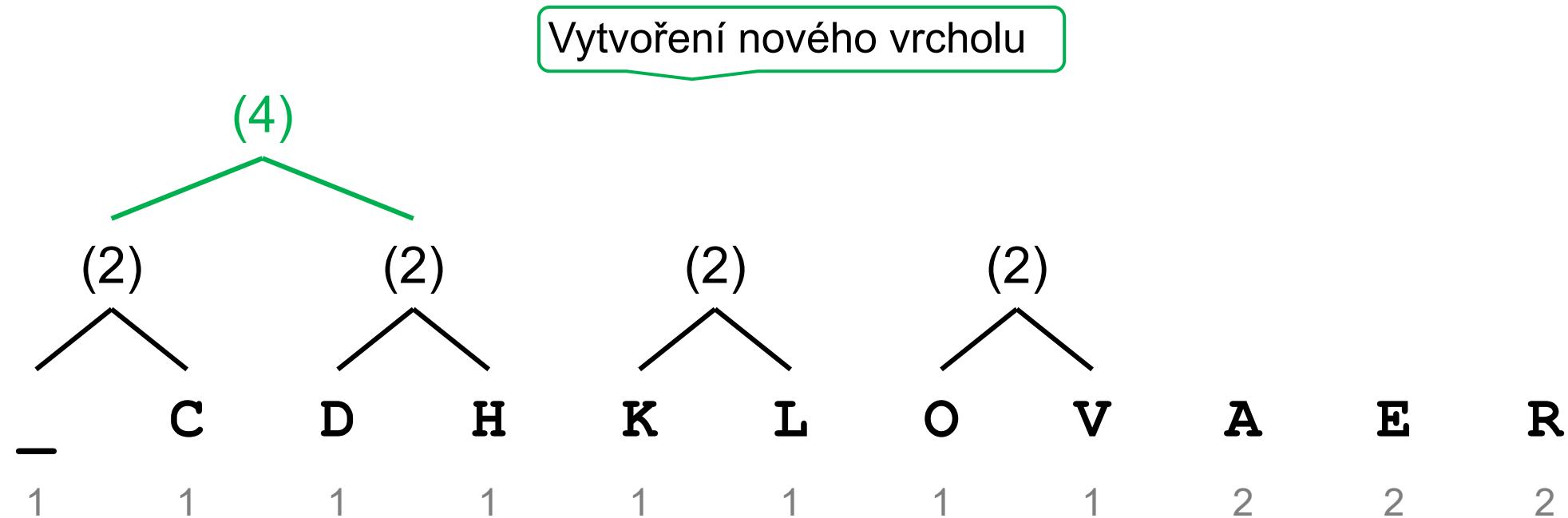
Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:



Huffmanovo kódování - řešení

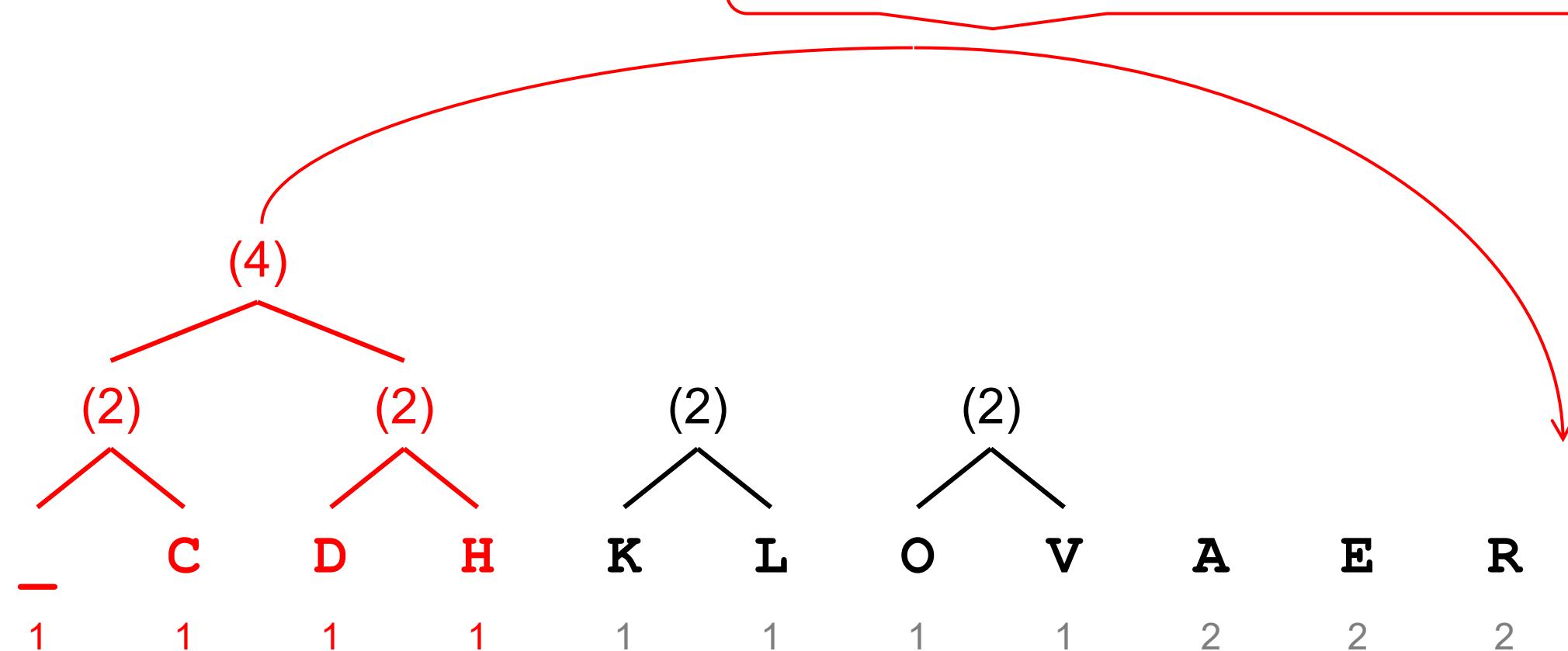
- Vytvoření binárního stromu:



Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:

Zařazení nového vrcholu
1. dle četnosti



Huffmanovo kódování - řešení

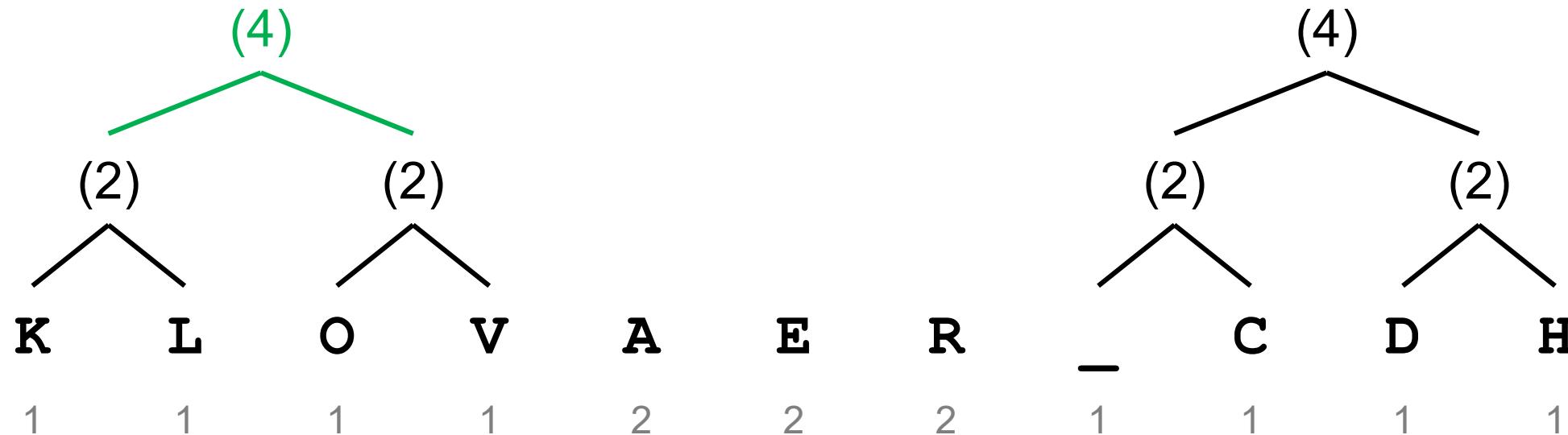
- Vytvoření binárního stromu:



Huffmanovo kódování - řešení

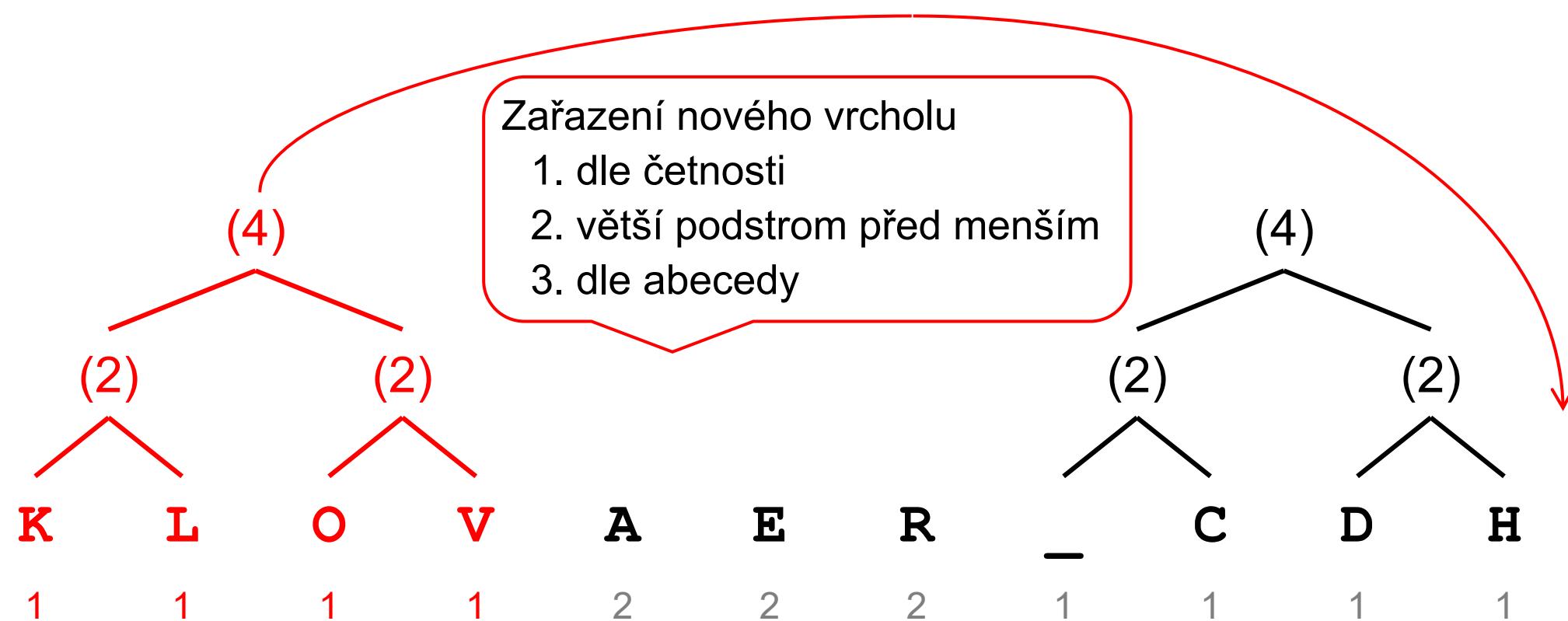
- Vytvoření binárního stromu:

Vytvoření nového vrcholu



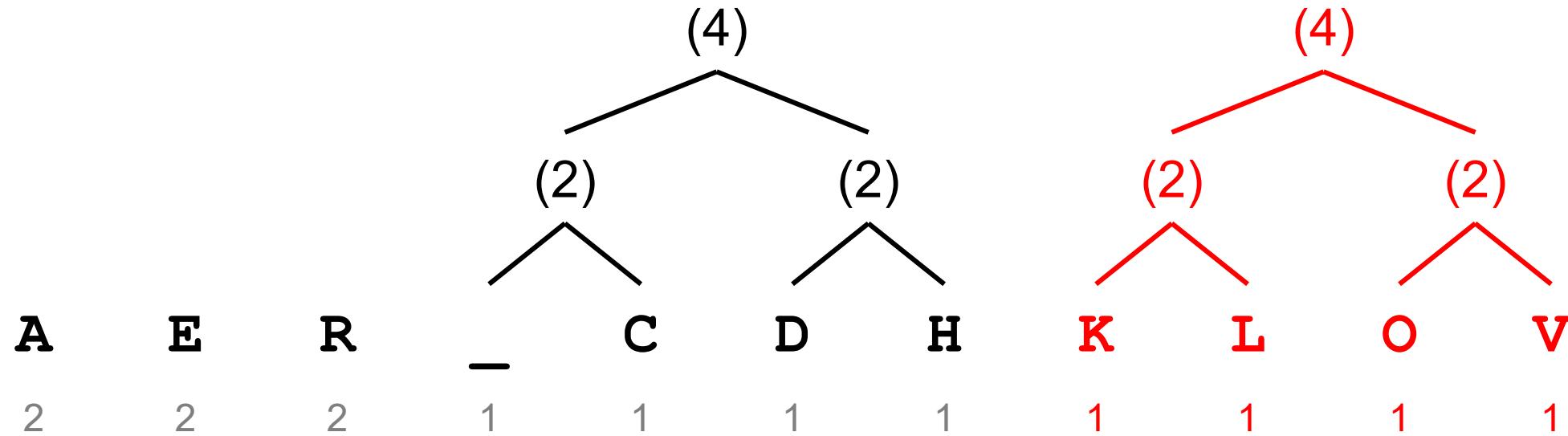
Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:



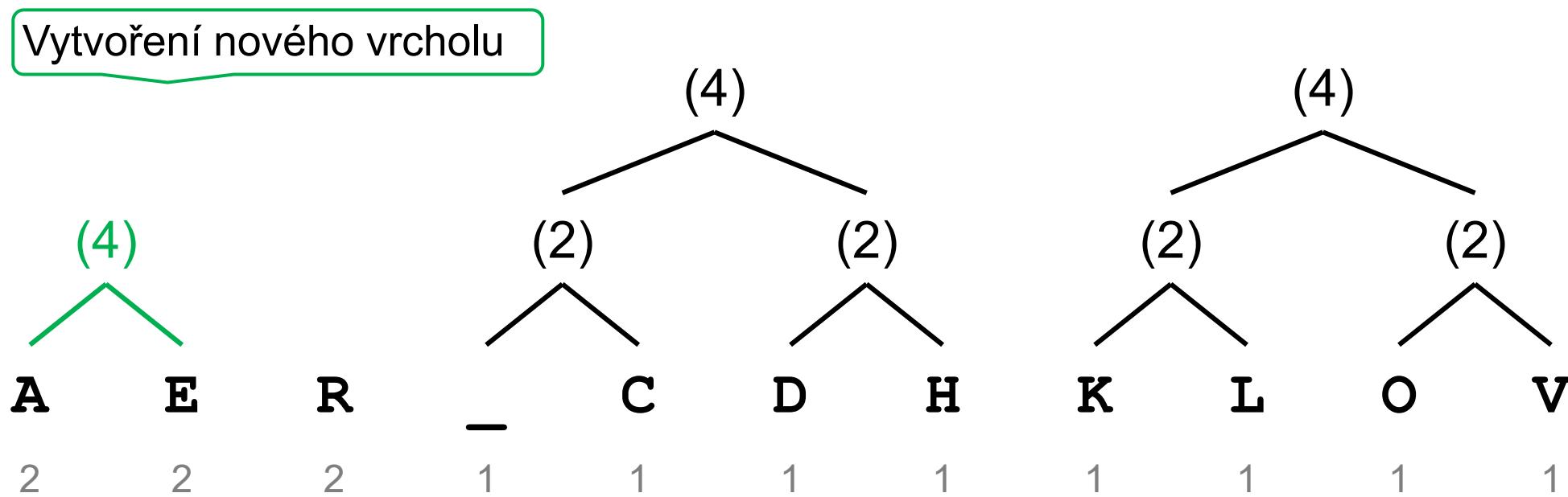
Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:



Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:

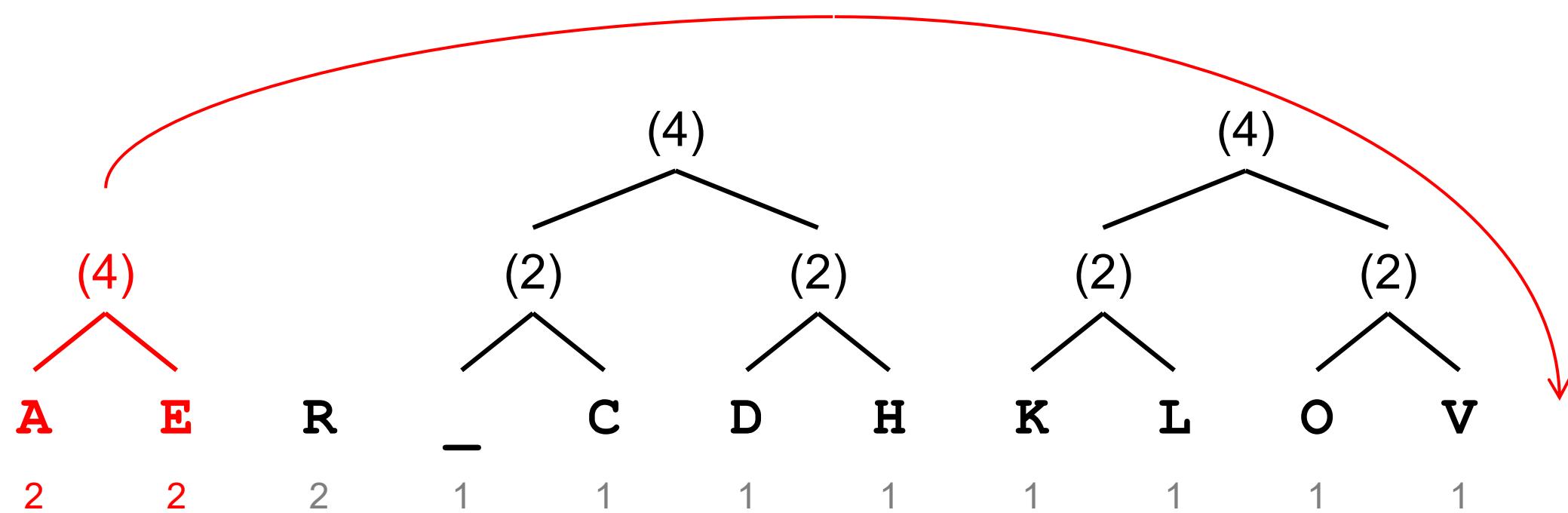


Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:

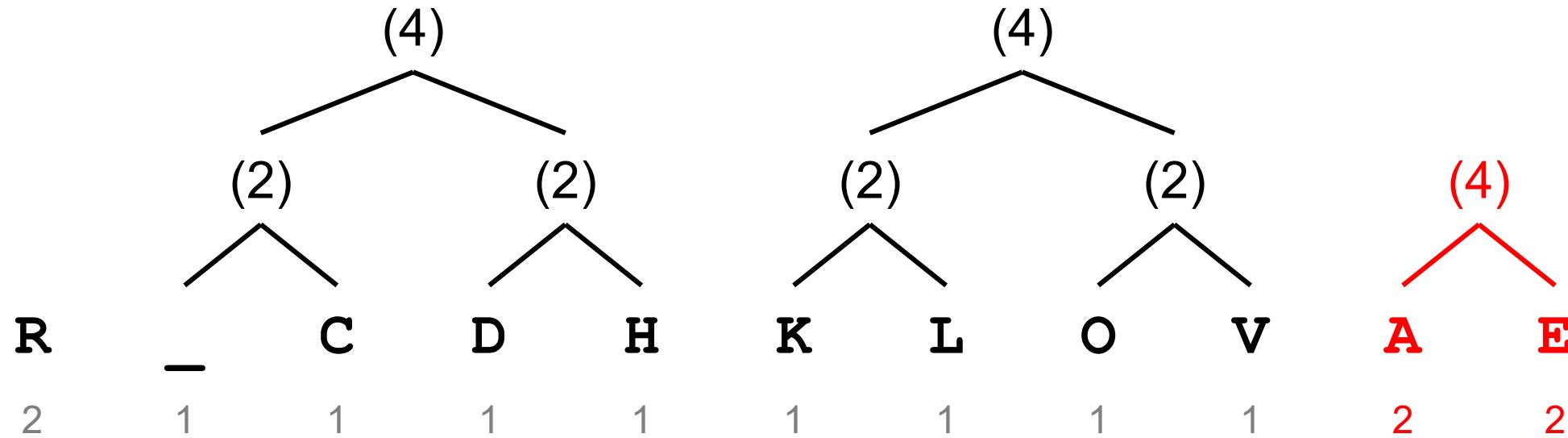
Zařazení nového vrcholu

1. dle četnosti
2. větší podstrom před menším



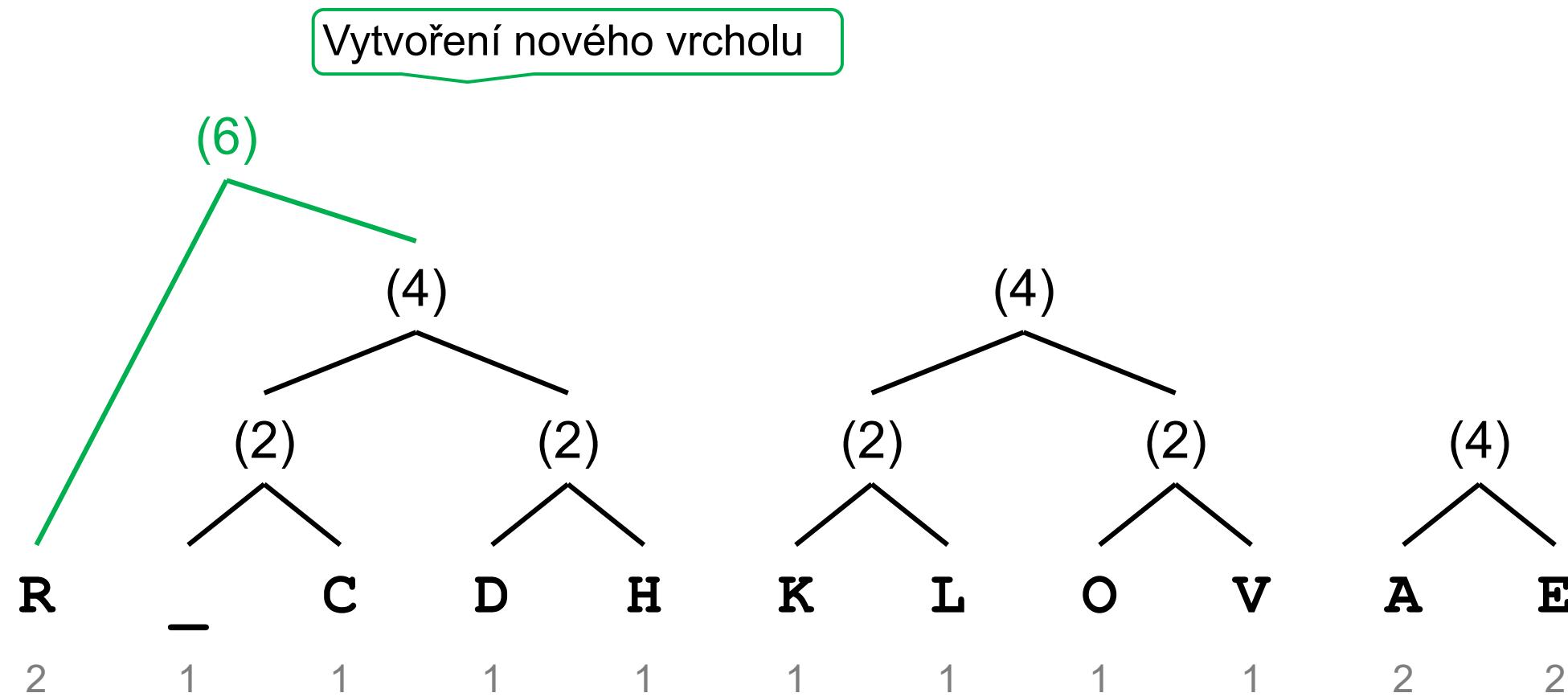
Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:



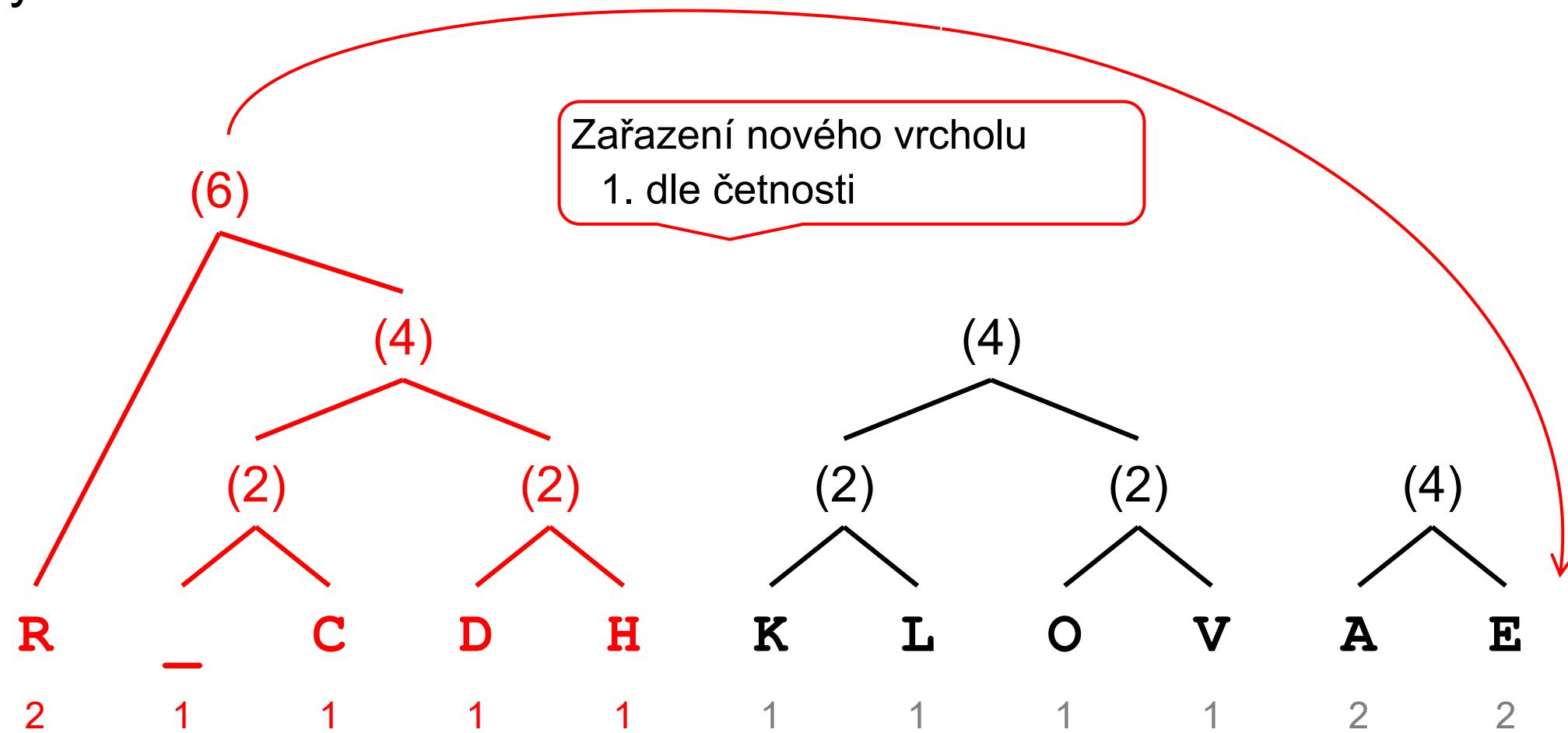
Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:



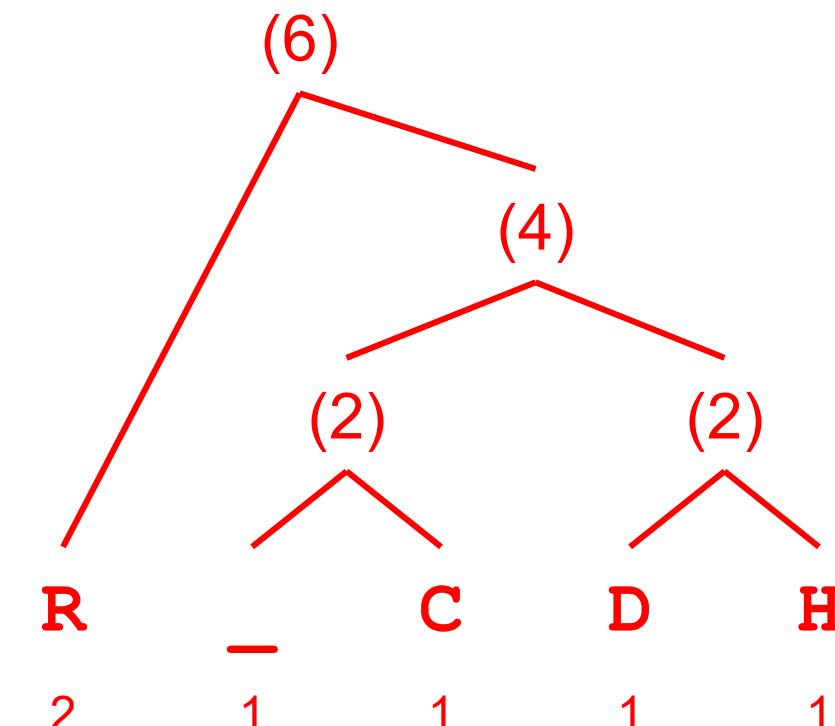
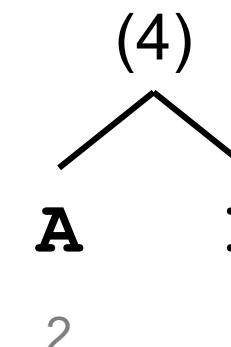
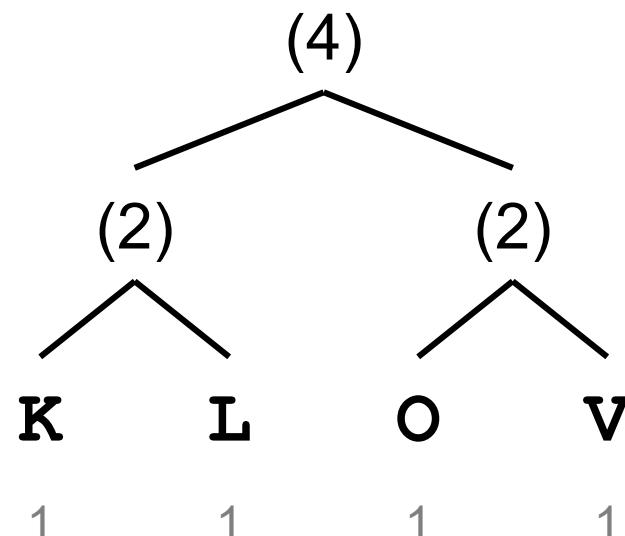
Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:



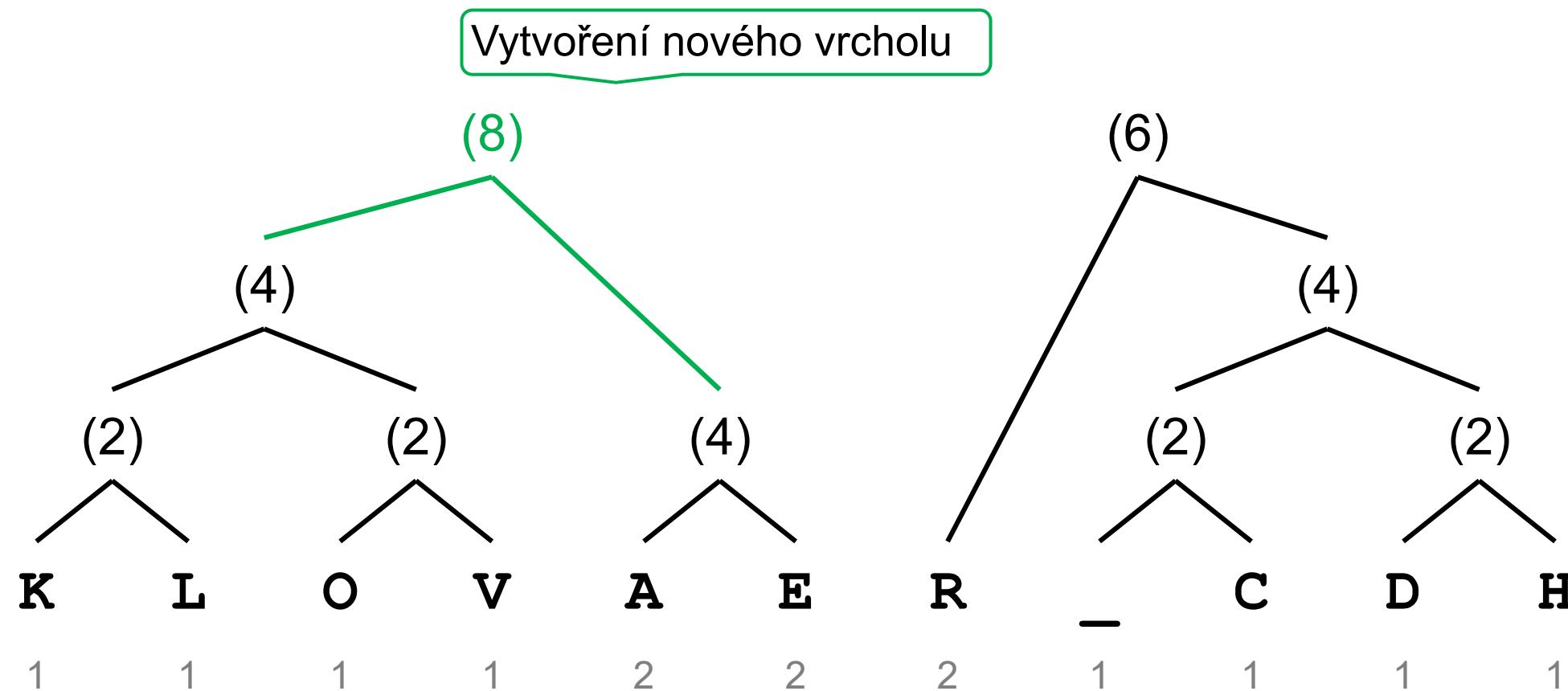
Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:



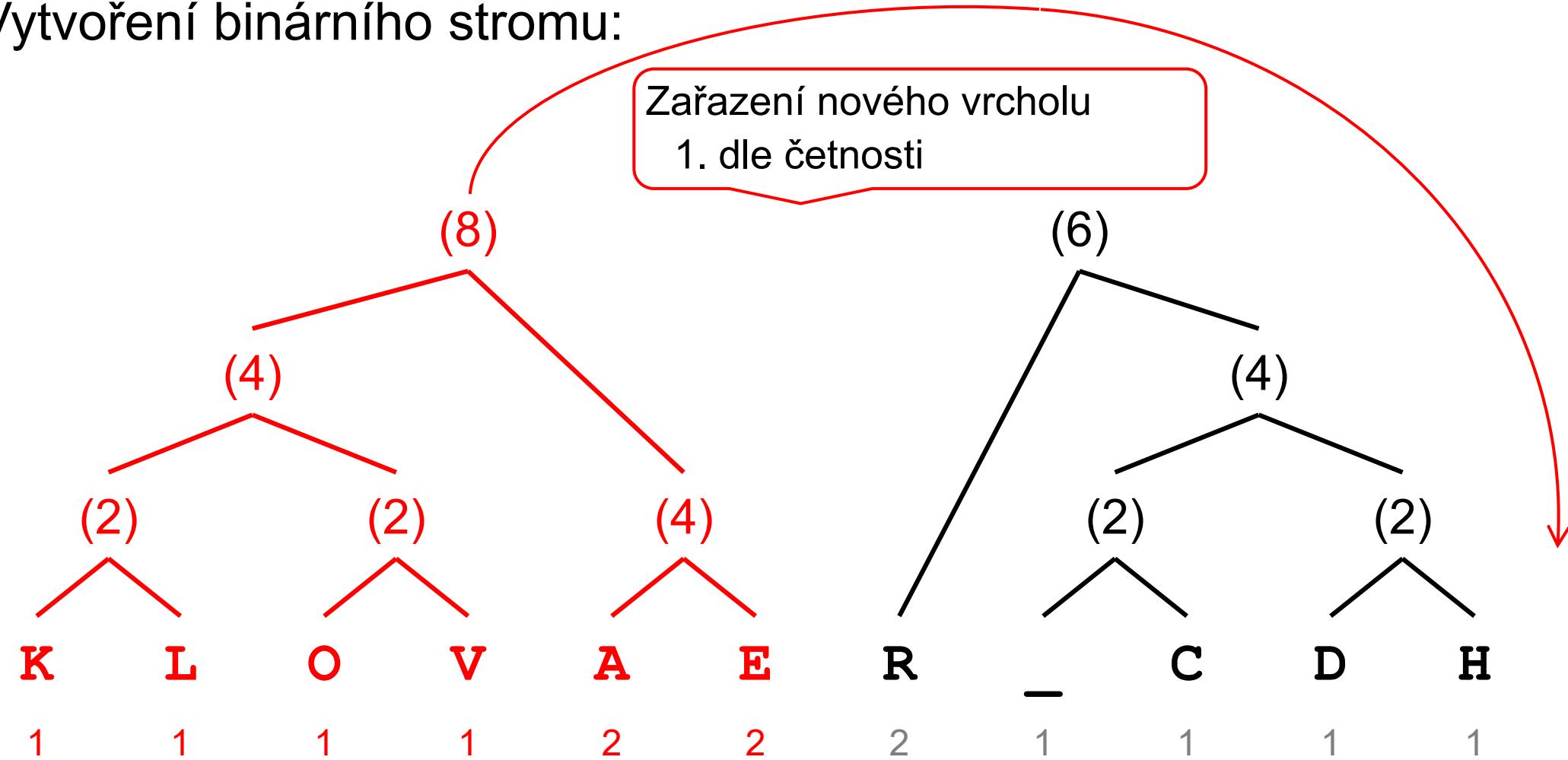
Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:



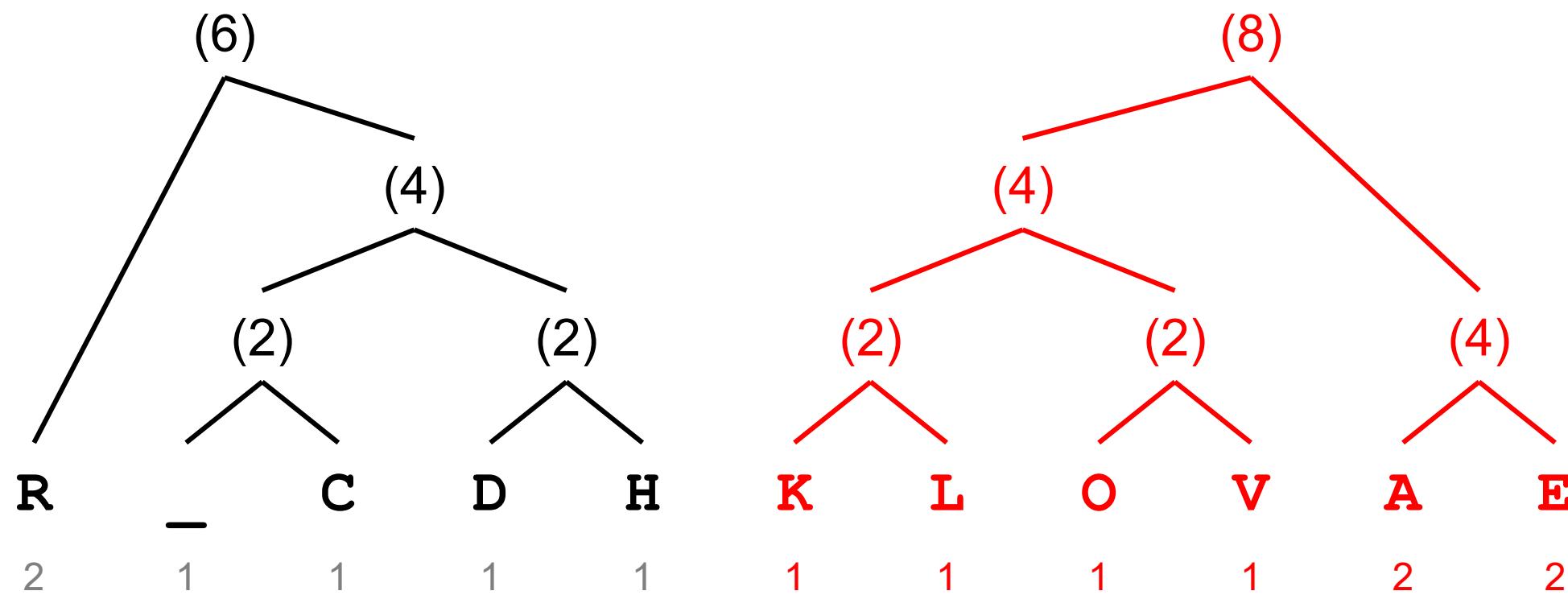
Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:



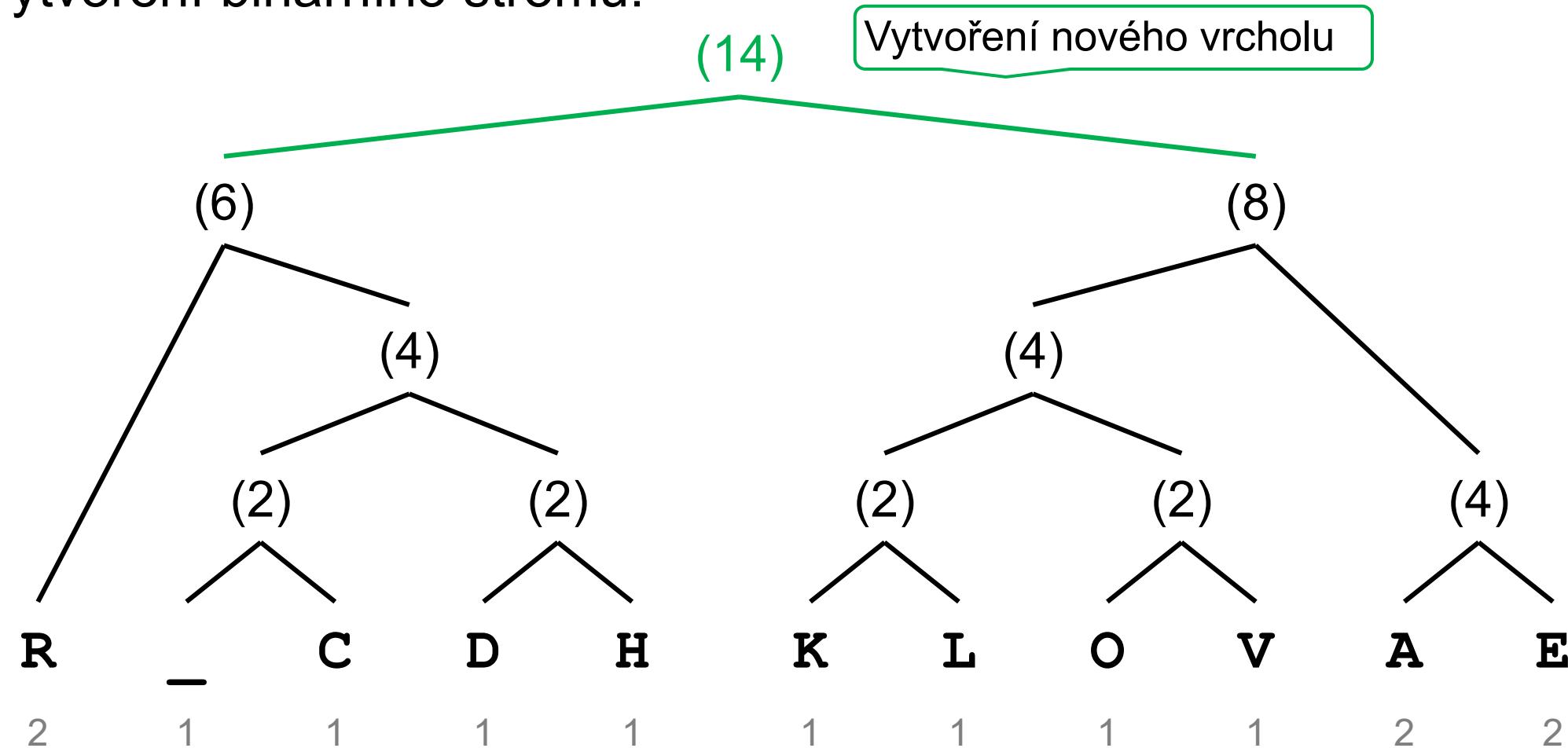
Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:



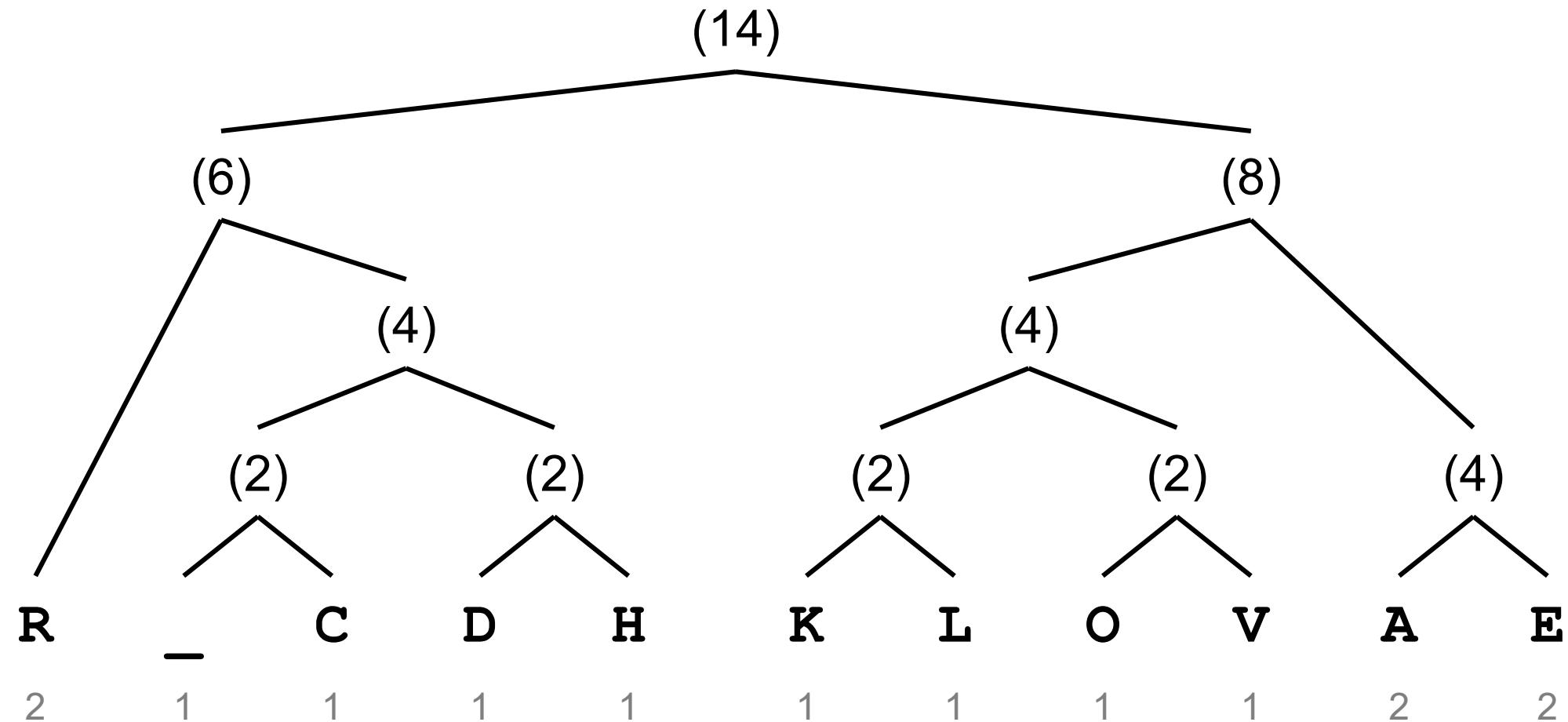
Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:

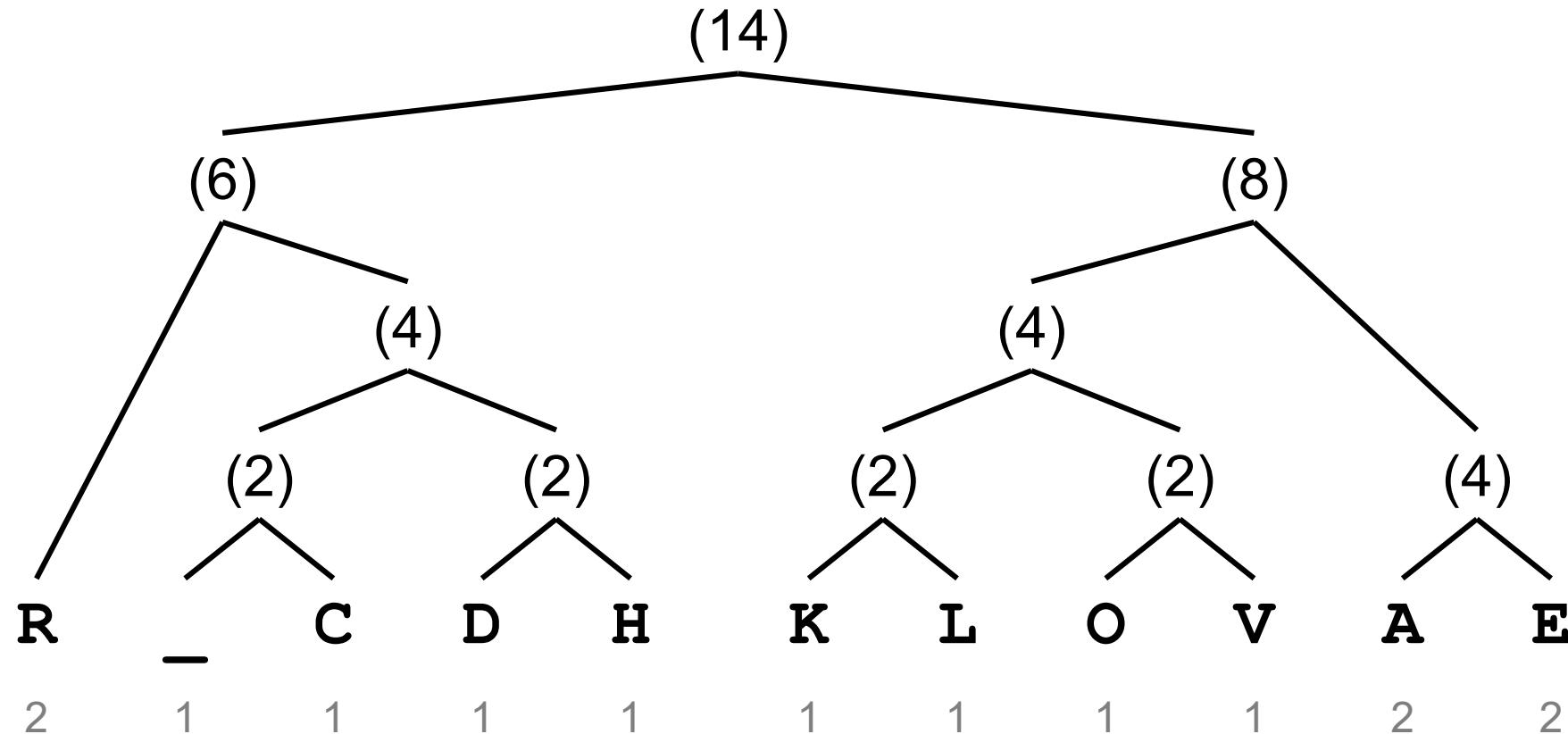


Huffmanovo kódování - řešení

- Vytvoření binárního stromu:



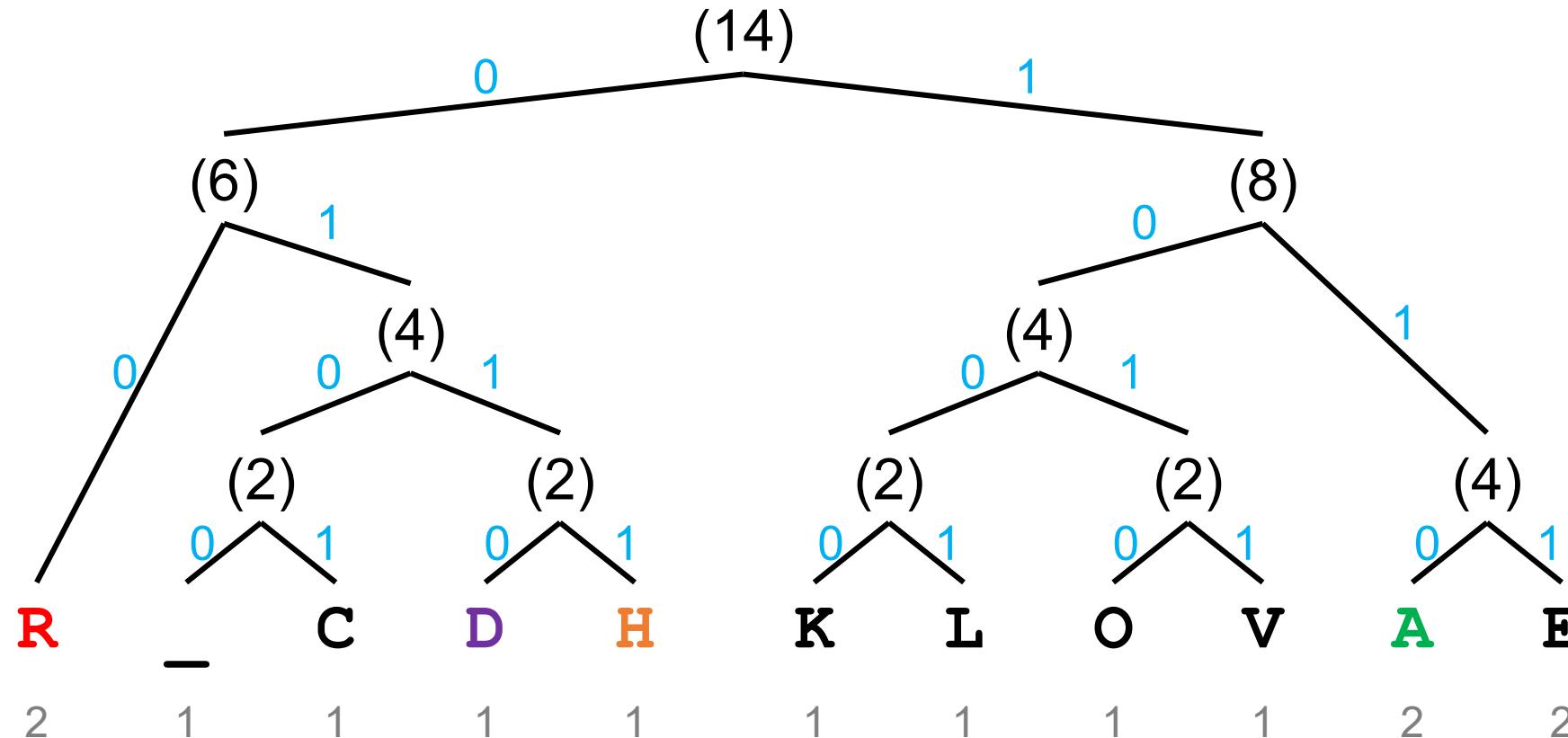
Huffmanovo kódování - řešení



Kódování stromu:

001R0001_01C0001D01H00000001K01L0001O01V00001A01E

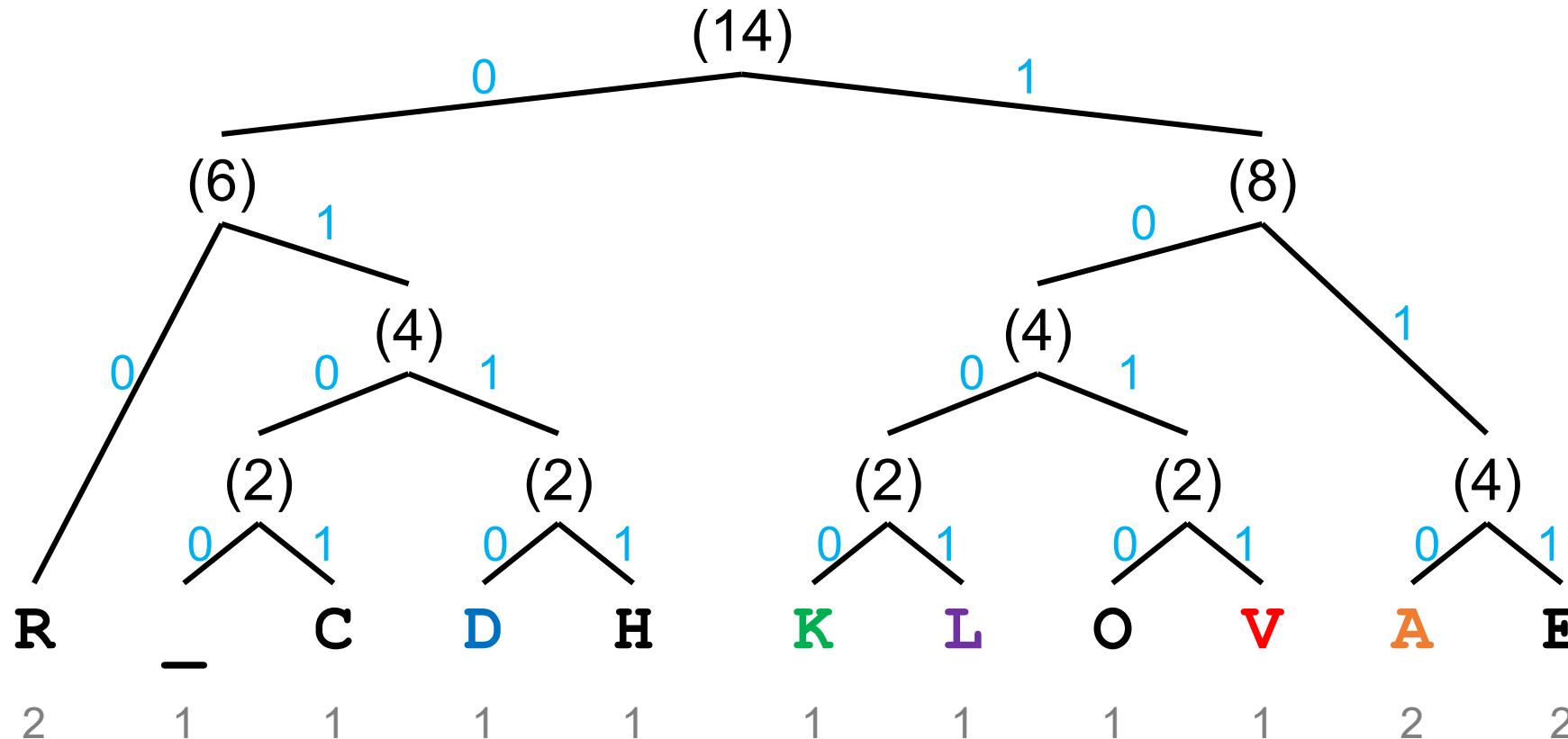
Huffmanovo kódování - řešení



Zakódování slova **DRAHA**:

0110001100111110

Huffmanovo kódování - řešení



Postupovat z kořene, dokud
není nalezen list, pak návrat
do kořene

Dekódovat sekvenci **1011100010011100110:**
VKLADE

Tabulky

- Datová struktura umožňující vkládat a vybírat informace podle klíče
- Dělení podle způsobu organizace:
 - S přímým přístupem
 - položka má jednoznačně určené místo
 - Obyčejná vyhledávací tabulka
 - vyhledávání podle klíče, pořadí položek definované nebo náhodné
 - Se sekvenčním přístupem
 - S rozptýlenými položkami

Tabulky s rozptýlenými položkami

- Použití pro $N \gg p$, kde N je rozsah klíčů a p je rozsah tabulky
- Pozice v tabulce A_k pro klíč k stanovena na základě hash funkce, tj.

$$A_k = h(k)$$

- Pokud $\exists k_1, k_2 : k_1 \neq k_2 \cap h(k_1) = h(k_2)$, pak k_1 a k_2 jsou synonymické položky \Rightarrow vznik kolize \Rightarrow nutno vyřešit ukládání synonym
- Hash (rozptylovací) funkce
 - Jednoznačná pro každé k
 - Způsobí minimum kolizí
 - Pravděpodobností rozdělení na intervalu $\langle 0, p - 1 \rangle$ je rovnoměrné

Tabulky s rozptýlenými položkami

- Dělení podle způsobu ukládání synonymických položek:
 - S otevřeným rozptýlením
 - S otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením
 - S uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

Tabulky s otevřeným rozptýlením

- Každá pozice v tabulce přístupná položce s libovolným klíčem
- Vhodné pokud je rozsah klíčů N velký, ale počet položek malý
- Ukládání synonym:
 - Nedefinovaný způsob
 - nutno nadefinovat přepočet A_k při kolizi
 - **S konstantním krokem s**
 - v případě kolize $h_i(k) = (h(k) + is) \bmod p$ (s, p – nesoudělná)
 - S lineární vícenásobnou ukládací funkcí
 - v případě kolize $h_i(k) = (h(k) + ai + b) \bmod p$
 - S kvadratickou vícenásobnou ukládací funkcí
 - v případě kolize $h_i(k) = \left(h(k) + (-1)^i \left[\frac{i}{2} \right]^2 \right) \bmod p$

Tabulky s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením

- V případě kolize jsou synonymické položky uchovávány mimo
- Po zařazení všech položek do tabulky se synony zařadí na volná místa pomocí předem zvoleného systému
 - Od začátku
 - Od konce
 - **S vícenásobnou hash funkcí** (výhodné – zachována rovnoměrnost rozložení)
- Příslušná synony zřetězena do tzv. řetězu synonym
- Vhodné pokud tabulku vytvoříme, a pak jí neměníme
- Problém – přidání položky na 1.místo v řetězci synonym

Tabulky s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

- Tabulka rozdělena na dvě části:
 - Primární část
 - Pouze položky, které nejsou synonyma
 - Sekundární část (zóna zřetězení)
 - Položky, které jsou synonymy k položkám v primární části
- Problém – vypuštění prvního prvku v řetězci → zavedení děr

Tabulky s rozptýlenými položkami - příklad

- Je dána hashovací funkce:

$$h(k) = ((3k + 7p + 1) \bmod N) \bmod p$$

kde rozsah klíčů $N = 998(1 \dots 998)$

rozsah tabulky $p = 15$ $(0 \dots 14)$

- Vložte klíče k :

100 150 222 300 888 601 709 632 357 547 555 468 598 205

do tabulky:

a) s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

b) s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězení s krokem $s = 4$

c) s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

- Je dána hashovací funkce:

$$h(k) = ((3k + 7p + 1) \bmod N) \bmod p$$

kde rozsah klíčů $N = 998(1 \dots 998)$

rozsah tabulky $p = 15 \quad (0 \dots 14)$

⇒ Hashovací funkce po dosazení konkrétního rozsahu klíčů a tabulky:

$$h(k) = ((3k + 106) \bmod 998) \bmod 15$$

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

- Hashovací funkce po dosazení konkrétního rozsahu klíčů a tabulky:

$$h(k) = ((3k + 106) \bmod 998) \bmod 15$$

- Stanovení hashovací funkce pro jednotlivé položky:

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.

10.	
11.
12.
13.
14.

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.
1.	100
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.

10.
11.
12.
13.
14.

Vkládání $k = 100$
 $\rightarrow h(k) = 1$
 \Rightarrow vložení na index 1

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.
1.	100
2.
3.
4.
5.	150
6.
7.
8.
9.

10.
11.
12.
13.
14.

Vkládání $k = 150$
 $\rightarrow h(k) = 1$
index 1 obsazen
 $\Rightarrow \text{synonymum}$
 $\Rightarrow h_1(k) = (1 + 1 \cdot 4) \bmod 15 = 5$
 \Rightarrow vložení na index 5

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.
1.	100
2.
3.
4.
5.	150
6.
7.	222
8.
9.

10.
11.
12.
13.
14.

Vkládání $k = 222$
 $\rightarrow h(k) = 7$
 \Rightarrow vložení na index 7

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.
1.	100
2.
3.
4.
5.	150
6.
7.	222
8.	300
9.

10.
11.
12.
13.
14.

Vkládání $k = 300$
 $\rightarrow h(k) = 8$
 \Rightarrow vložení na index 8

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.
1.	100
2.
3.
4.
5.	150
6.
7.	222
8.	300
9.	888

10.
11.
12.
13.
14.

Vkládání $k = 888$
 $\rightarrow h(k) = 9$
 \Rightarrow vložení na index 9

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.
1.	100
2.
3.
4.
5.	150
6.
7.	222
8.	300
9.	888

10.
11.	601
12.
13.
14.

Vkládání $k = 601$
 $\rightarrow h(k) = 11$
 \Rightarrow vložení na index 11

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.
1.	100
2.
3.
4.
5.	150
6.
7.	222
8.	300
9.	888

10.
11.	601
12.	709
13.
14.

Vkládání $k = 709$
 $\rightarrow h(k) = 12$
 \Rightarrow vložení na index 12

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100
2.	
3.	
4.	
5.	150
6.	632
7.	222
8.	300
9.	888

10.	
11.	601
12.	709
13.	
14.	

Vkládání $k = 632$
 $\rightarrow h(k) = 6$
 \Rightarrow vložení na index 6

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100
2.	
3.	
4.	
5.	150
6.	632
7.	222
8.	300
9.	888

10.	
11.	601
12.	709
13.	
14.	357

Vkládání $k = 357$
 $\rightarrow h(k) = 14$
 \Rightarrow vložení na index 14

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100
2.	
3.	547
4.	
5.	150
6.	632
7.	222
8.	300
9.	888

10.	
11.	601
12.	709
13.	
14.	357

Vkládání $k = 547$
 $\rightarrow h(k) = 14$
index 14 obsazen
 $\Rightarrow h_1(k) = (14 + 1 \cdot 4) \bmod 15 = 3$
 \Rightarrow vložení na index 3

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.
1.	100
2.
3.	547
4.
5.	150
6.	632
7.	222
8.	300
9.	888

10.
11.	601
12.	709
13.	555
14.	357

Vkládání $k = 555$

$$\rightarrow h(k) = 8$$

index 8 obsazen

$$\Rightarrow h_1(k) = (8 + 1 \cdot 4) \bmod 15 = 12$$

index 12 obsazen

$$\Rightarrow h_2(k) = (8 + 2 \cdot 4) \bmod 15 = 1$$

$$\Rightarrow h_3(k) = (8 + 3 \cdot 4) \bmod 15 = 5$$

$$\Rightarrow h_4(k) = (8 + 4 \cdot 4) \bmod 15 = 9$$

$$\Rightarrow h_5(k) = (8 + 5 \cdot 4) \bmod 15 = 13$$

\Rightarrow vložení na index 13

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100
2.	468
3.	547
4.	
5.	150
6.	632
7.	222
8.	300
9.	888

10.	
11.	601
12.	709
13.	555
14.	357

Vkládání $k = 468$
 $\rightarrow h(k) = 2$
 \Rightarrow vložení na index 2

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100
2.	468
3.	547
4.	
5.	150
6.	632
7.	222
8.	300
9.	888

10.	598
11.	601
12.	709
13.	555
14.	357

Vkládání $k = 598$

$$\rightarrow h(k) = 2$$

index 2 obsazen

$$\Rightarrow h_1(k) = (2 + 1 \cdot 4) \bmod 15 = 6$$

index 6 obsazen

$$\Rightarrow h_2(k) = (2 + 2 \cdot 4) \bmod 15 = 10$$

\Rightarrow vložení na index 10

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	205
1.	100
2.	468
3.	547
4.	
5.	150
6.	632
7.	222
8.	300
9.	888

10.	598
11.	601
12.	709
13.	555
14.	357

Vkládání $k = 205$
 $\rightarrow h(k) = 1$ obsazen
 $\Rightarrow h_1(k) = (1 + 1 \cdot 4) \bmod 15 = 5$
 $\Rightarrow h_2(k) = (1 + 2 \cdot 4) \bmod 15 = 9$
 $\Rightarrow h_3(k) = (1 + 3 \cdot 4) \bmod 15 = 13$
 $\Rightarrow h_4(k) = (1 + 4 \cdot 4) \bmod 15 = 2$
 $\Rightarrow h_5(k) = (1 + 5 \cdot 4) \bmod 15 = 6$
 $\Rightarrow h_6(k) = (1 + 6 \cdot 4) \bmod 15 = 10$
 \dots
 $\Rightarrow h_{11}(k) = (1 + 11 \cdot 4) \bmod 15 = 0$

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

a) Tabulka s otevřeným rozptýlením a konstantním krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	205
1.	100
2.	468
3.	547
4.	
5.	150
6.	632
7.	222
8.	300
9.	888

10.	598
11.	601
12.	709
13.	555
14.	357

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		

10.		
11.		
12.		
13.		
14.		

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100	-
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	

10.	
11.	
12.	
13.	
14.	

Vkládání $k = 100$
 $\rightarrow h(k) = 1$
 \Rightarrow vložení na index 1

.....	
.....	
.....	
.....	
.....	

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100	-
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	

10.	
11.	
12.	
13.	
14.	

150

Vkládání $k = 150$
 $\rightarrow h(k) = 1$
index 1 obsazen
 $\Rightarrow \text{synonymum}$

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100 -
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	222 -
8.	
9.	

10.	
11.	
12.	
13.	
14.	

150

Vkládání $k = 222$
 $\rightarrow h(k) = 7$
 \Rightarrow vložení na index 7

Synonymické položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100	-
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	222	-
8.	300	-
9.	

10.	
11.	
12.	
13.	
14.	

150

Vkládání $k = 300$
 $\rightarrow h(k) = 8$
 \Rightarrow vložení na index 8

Synonymické položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	222
8.	300
9.	888

10.	
11.	
12.	
13.	
14.	

150

Vkládání $k = 888$
 $\rightarrow h(k) = 9$
 \Rightarrow vložení na index 9

Synonymické položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	222
8.	300
9.	888

10.	
11.	601
12.	-
13.	
14.	

150

Vkládání $k = 601$
 $\rightarrow h(k) = 11$
 \Rightarrow vložení na index 11

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100
2.	-
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	222
8.	300
9.	888

10.	
11.	601
12.	709	-
13.	
14.	

150

Vkládání $k = 709$
 $\rightarrow h(k) = 12$
 \Rightarrow vložení na index 12

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100 -
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	632 -
7.	222 -
8.	300 -
9.	888 -

10.	
11.	601 -
12.	709 -
13.	
14.	

150

Vkládání $k = 632$
 $\rightarrow h(k) = 6$
 \Rightarrow vložení na index 6

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	632
7.	222
8.	300
9.	888

10.	
11.	601
12.	709
13.
14.	357

150

Vkládání $k = 357$
 $\rightarrow h(k) = 14$
 \Rightarrow vložení na index 14

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	632
7.	222
8.	300
9.	888

10.	
11.	601
12.	709
13.	
14.	357

150
547
.....
.....
.....
.....

Vkládání $k = 547$
 $\rightarrow h(k) = 14$
index 14 obsazen
 $\Rightarrow \text{synonymum}$

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	632
7.	222
8.	300
9.	888

10.	
11.	601
12.	709
13.
14.	357

150
547
555
.....
.....
.....

Vkládání $k = 555$
 $\rightarrow h(k) = 8$
index 8 obsazen
 $\Rightarrow \text{synonymum}$

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100	-
2.	468	-
3.	
4.	
5.	
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	-
9.	888	-

10.	
11.	601	-
12.	709	-
13.	
14.	357	-

150
547
555
.....
.....
.....

Vkládání $k = 468$
 $\rightarrow h(k) = 2$
 \Rightarrow vložení na index 2

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	-
2.	468	-
3.		
4.		
5.		
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	-
9.	888	-

10.		
11.	601	-
12.	709	-
13.		
14.	357	-

150
547
555
598

Vkládání $k = 598$
 $\rightarrow h(k) = 2$
index 2 obsazen
 $\Rightarrow \text{synonymum}$

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	-
2.	468	-
3.		
4.		
5.		
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	-
9.	888	-

10.		
11.	601	-
12.	709	-
13.		
14.	357	-

150
547
555
598
205

Vkládání $k = 205$
 $\rightarrow h(k) = 1$
index 1 obsazen
 $\Rightarrow \text{synonymum}$

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	-
2.	468	-
3.		
4.		
5.	150	-
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	-
9.	888	-

10.		
11.	601	-
12.	709	-
13.		
14.	357	-

150
547
555
598
205

Vkládání synonyma $k = 150$
 $\rightarrow h_0(k) = 1$
 $\Rightarrow h_1(k) = (1 + 1 \cdot 4) \bmod 15 = 5$
 \Rightarrow vložení na index 5

Synonymické položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	5
2.	468	-
3.		
4.		
5.	150	-
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	-
9.	888	-

10.		
11.	601	-
12.	709	-
13.		
14.	357	-

150
547
555
598
205

Nesmíme zapomenout na
zřetězení

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100	5
2.	468	-
3.	547	-
4.	
5.	150	-
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	-
9.	888	-

10.	
11.	601	-
12.	709	-
13.	
14.	357	3

150
547
555
598
205

Vkládání synonyma $k = 547$
 $\rightarrow h_0(k) = 14$
 $\Rightarrow h_1(k) = (14 + 1 \cdot 4) \bmod 15 = 3$
 \Rightarrow vložení na index 3

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	5
2.	468	-
3.	547	-
4.		
5.	150	-
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	13
9.	888	-

10.		
11.	601	-
12.	709	-
13.	555	-
14.	357	3

150
547
555
598
205

Vkládání synonyma $k = 555$
 $\rightarrow h_0(k) = 8$
 $\Rightarrow h_i(k) = (8 + i \cdot 4) \bmod 15$
 $\Rightarrow 12, 1, 5, 9, 13$
 \Rightarrow vložení na index 13

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	5
2.	468	10
3.	547	-
4.		
5.	150	-
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	13
9.	888	-

10.	598	-
11.	601	-
12.	709	-
13.	555	-
14.	357	3

150
547
555
598
205

Vkládání synonyma $k = 598$

$$\rightarrow h_0(k) = 2$$

$$\Rightarrow h_i(k) = (2 + i \cdot 4) \bmod 15$$

$$\Rightarrow 6, 10$$

\Rightarrow vložení na index 10

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	205	-
1.	100	5
2.	468	10
3.	547	-
4.	
5.	150	0
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	13
9.	888	-

10.	598	-
11.	601	-
12.	709	-
13.	555	-
14.	357	3

150
547
555
598
205
.....

Vkládání synonyma $k = 205$
 $\rightarrow h_0(k) = 1$
 $\Rightarrow h_i(k) = (1 + i \cdot 4) \bmod 15$
 $\Rightarrow 5, 9, 13, 2, 6, 10, 14, 3, 7, 11, 0$
 \Rightarrow vložení na index 0

Synonymické položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

b) Tabulka s otevřeným rozptýlením a vnitřním zřetězením s krokem $s = 4$

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	205	-
1.	100	5
2.	468	10
3.	547	-
4.	
5.	150	0
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	13
9.	888	-

10.	598	-
11.	601	-
12.	709	-
13.	555	-
14.	357	3

150
547
555
598
205

Synonymické
položky

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		

10.		
11.		
12.		
13.		
14.		
15.		
16.		
17.		
18.		
19.		

Zóna
zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100	-
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	

10.	
11.	
12.	
13.	
14.	
15.	
16.	
17.	
18.	
19.	

Vkládání $k = 100$
 $\rightarrow h(k) = 1$
 \Rightarrow vložení na index 1

Zóna
zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	15
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		

10.		
11.		
12.		
13.		
14.		
15.	150	-
16.		
17.		
18.		
19.		

Vkládání $k = 150$
→ $h(k) = 1$ obsazen
⇒ Synonymum
⇒ **Vložení do zóny zřetězení**
⇒ K indexu 1 přidána reference

Zóna zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	15
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.	222	-
8.		
9.		

10.		
11.		
12.		
13.		
14.		
15.	150	-
16.		
17.		
18.		
19.		

Vkládání $k = 222$
 $\rightarrow h(k) = 7$
 \Rightarrow vložení na index 7

Zóna
zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	15
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.	222	-
8.	300	-
9.		

10.		
11.		
12.		
13.		
14.		
15.	150	-
16.		
17.		
18.		
19.		

Vkládání $k = 300$
 $\rightarrow h(k) = 8$
 \Rightarrow vložení na index 8

Zóna
zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	15
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.	222	-
8.	300	-
9.	888	-

10.		
11.		
12.		
13.		
14.		
15.	150	-
16.		
17.		
18.		
19.		

Vkládání $k = 888$
 $\rightarrow h(k) = 9$
 \Rightarrow vložení na index 9

Zóna
zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100 15
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	222 -
8.	300 -
9.	888 -

10.	
11.	601 -
12.	
13.	
14.	
15.	150 -
16.	
17.	
18.	
19.	

Vkládání $k = 601$
 $\rightarrow h(k) = 11$
 \Rightarrow vložení na index 11

Zóna
zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.	
1.	100 15
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	222 -
8.	300 -
9.	888 -

10.	
11.	601 -
12.	709 -
13.	
14.	
15.	150 -
16.	
17.	
18.	
19.	

Vkládání $k = 709$
 $\rightarrow h(k) = 12$
 \Rightarrow vložení na index 12

Zóna
zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	15
2.		
3.		
4.		
5.		
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	-
9.	888	-

10.		
11.	601	-
12.	709	-
13.		
14.		
15.	150	-
16.		
17.		
18.		
19.		

Vkládání $k = 632$
 $\rightarrow h(k) = 6$
 \Rightarrow vložení na index 6

Zóna
zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	15
2.		
3.		
4.		
5.		
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	-
9.	888	-

10.		
11.	601	-
12.	709	-
13.		
14.	357	-
15.	150	-
16.		
17.		
18.		
19.		

Vkládání $k = 357$
 $\rightarrow h(k) = 14$
 \Rightarrow vložení na index 14

Zóna
zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	15
2.		
3.		
4.		
5.		
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	-
9.	888	-

10.		
11.	601	-
12.	709	-
13.		
14.	357	16
15.	150	-
16.	547	-
17.		
18.		
19.		

Vkládání $k = 547$
→ $h(k) = 14$ obsazen
⇒ Synonymum
⇒ Vložení do zóny
zřetězení
⇒ K indexu 14 přidána
reference

Zóna
zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	15
2.		
3.		
4.		
5.		
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	17
9.	888	-

10.		
11.	601	-
12.	709	-
13.		
14.	357	16
15.	150	-
16.	547	-
17.	555	-
18.		
19.		

Vkládání $k = 555$
→ $h(k) = 8$ obsazen
⇒ Synonymum
⇒ Vložení do zóny
zřetězení
⇒ K indexu 8 přidána
reference

Zóna
zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	15
2.	468	-
3.		
4.		
5.		
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	17
9.	888	-

10.		
11.	601	-
12.	709	-
13.		
14.	357	16
15.	150	-
16.	547	-
17.	555	-
18.		
19.		

Vkládání $k = 468$
 $\rightarrow h(k) = 2$
 \Rightarrow vložení na index 2

Zóna
zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	15
2.	468	18
3.		
4.		
5.		
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	17
9.	888	-

10.		
11.	601	-
12.	709	-
13.		
14.	357	16
15.	150	-
16.	547	-
17.	555	-
18.	598	-
19.		

Vkládání $k = 598$
 $\rightarrow h(k) = 2$ obsazen
 \Rightarrow Synonymum
 \Rightarrow Vložení do zóny
zřetězení
 \Rightarrow K indexu 2 přidána
reference

Zóna
zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	15
2.	468	18
3.		
4.		
5.		
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	17
9.	888	-

10.		
11.	601	-
12.	709	-
13.		
14.	357	16
15.	150	19
16.	547	-
17.	555	-
18.	598	-
19.	205	-

Vkládání $k = 205$
 $\rightarrow h(k) = 1$ obsazen
 \Rightarrow Zóna zřetězení
 \Rightarrow Přidání reference
Index 1 už odkaz má,
jdeme na něj, 15 odkaz
nemá \Rightarrow přidáme

Zóna
zřetězení

Tabulky s rozptýlenými položkami - řešení

c) Tabulka s uzavřeným rozptýlením a vnějším zřetězením

k	100	150	222	300	888	601	709	632	357	547	555	468	598	205
$h(k)$	1	1	7	8	9	11	12	6	14	14	8	2	2	1

0.		
1.	100	15
2.	468	18
3.		
4.		
5.		
6.	632	-
7.	222	-
8.	300	17
9.	888	-

10.		
11.	601	-
12.	709	-
13.		
14.	357	16
15.	150	19
16.	547	-
17.	555	-
18.	598	-
19.	205	-

Zóna
zřetězení