

**ZVÝŠENÍ TRVANLIVOSTI  
CEMENTOBETONOVÝCH KRYTŮ  
POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ  
OMEZENÍM VLIVU ALKALICKO-KŘEMIČITÉ  
REAKCE**

PROJEKT TAČR 2019-2022  
Č. TH04010207



**Existuje řada faktorů ovlivňujících trvanlivost betonu a některé z nich se velmi výrazně negativně podílejí na jeho trvanlivosti právě u cementobetonových krytů (dále CBK). Kromě vlivu atmosférických jevů jako spolupůsobení deště a mrazu a některých způsobů úpravy povrchu CBK jsou to chemické reakce složek betonu s vodou, případně s dalšími látkami. Jsou to např. účinky „hladových“ vod, síranová koroze a zejména alkalicko-křemičitá reakce kameniva v betonu (dále ASR).**

**V letech 2009 – 2011 jsme se zabývali touto problematikou v rámci grantu MD. Byly sledovány obsahy alkálií v cementech ze všech cementáren ČR ve vztahu s úrovní odprášení cementáren a všechny další možné zdroje alkálií. V rámci prací byly testovány vlivy osmi látek použitých jako hlavní složky cementu na start a průběh ASR. Jako testovací kamenivo byly použity andezit z lokality Tepličky (SR) a droba z lokality Chornice. Jako nejúčinnější přísada se ukázaly spongility, hnědouhelné popílký a mikrosilika a významné účinky měla i vysokopecní struska.**

Potvrdila se také předpokládaná souvislost mezi pucolanitou cementu a ASR. Zároveň ale vyvstala řada dalších otázek, na které bude třeba hledat odpověď.

**V současné době se náš ústav se věnuje problematice ASR a možnostem omezení jejího vlivu na trvanlivost CBK v rámci projektu TAČR 2019-2022 č. TH04010207 ve spolupráci s Centrem materiálového výzkumu při VUT Brno a se Zkušebnou kamene a kameniva v Hořicích.**



**Všechny dilatometrické testy jsou prováděny za použití roztoku NaOH a obsah alkálií v cementech i v betonové směsi se uvádí jako obsah ekvivalentu  $\text{Na}_2\text{O}$ . Je ovšem rozdíl mezi působením alkálií, přirozeně přítomných v cementu, pocházejících z jednotlivých složek suroviny pro výrobu slínku případně betonu a alkálií dodávaných v relativně velkém přebytku k již vytvrzenému betonu jako např. s prostředky zimní údržby vozovek.**

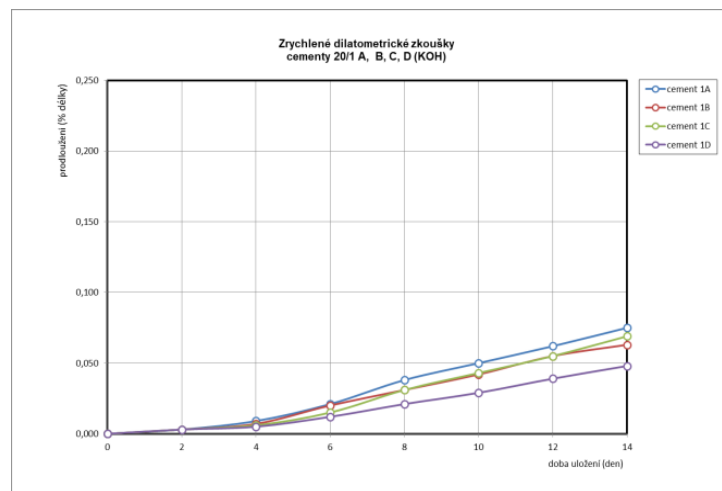
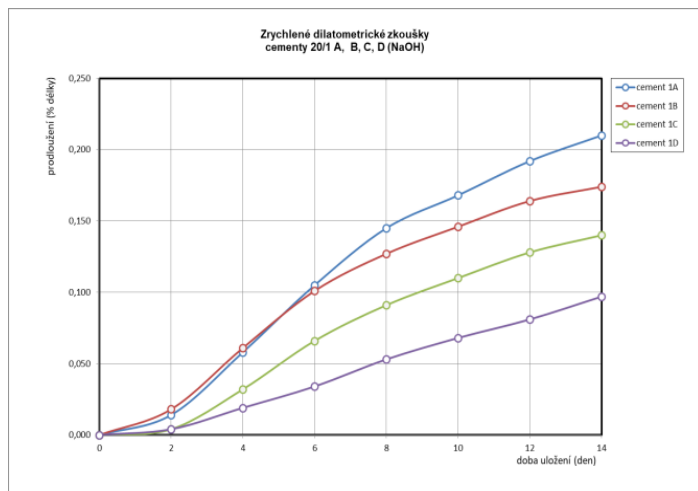
Z uvedených důvodů byly proto v uplynulých dvou letech sledovány způsoby vazby Na a K ve slíncích, rychlost a podíl přecházení do roztoku alkálií obsažených ve slínku a rychlost ASR odděleně v prostředí nasyceném ionty  $\text{Na}^+$  a ionty  $\text{K}^+$ . K tomuto účelu byly v první fázi provedeny dilatometrické testy zrychlenou metodou podle TP 137 s kamenivý čedič, droba a andezit. Jako zkušební cementy posloužily cementy CEM I 42,5 ze všech cementáren v ČR a tytéž CEM I s přídavkem 10, 20 a 30 % mleté vysokopeční strusky. Testy byly prováděny paralelně v prostředí jednomolárního roztoku NaOH a jednomolárního roztoku KOH.

## **Dilatometrické testy podle TP 137:**

**Byly prováděny zrychlenou metodou, vycházející z ASTM C 1260-94 na třech druzích kameniva a jednak standardním postupem v 1 M roztoku NaOH a paralelně stejné zkoušky v 1 M roztoku KOH. Potvrdil se předpoklad, že draslík se nechová v betonu stejně jako sodík.**

**Pro příklad zde uvádím výsledky zkoušek s kamenivem droba Chornice.**

# Zrychlené dilatometrické zkoušky – grafické výstupy



Označení cementů:

A – čistý CEM I 42,5 R

B – tentýž CEM I s 10 % mleté strusky

C – CEM I s 20 % mleté strusky

D – CEM I s 30 % mleté strusky



## Vazba alkálií ve slínku

Přítomnost alkálií ve slínkových fázích byla zjišťována na laboratorně připravených slíncích, dotovaných alkáliemi ve formě  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  a  $\text{K}_2\text{SO}_4$  do surovinové směsi. Předpokládalo se odlišné chování alkálií bez a za přítomnosti síry. Tato měření byla prováděna v Centru materiálového výzkumu. Jejich množství bylo spočítáno tak, aby ve slínku jejich podíl odpovídal obsahu 1,2 % ekvivalentu  $\text{Na}_2\text{O}$ .

**Slínek s  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :**

<b><math>\text{C}_3\text{S}</math></b>	<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math> detekován, velmi malé množství, <math>\text{K}_2\text{O}</math> nedetekován</b>
<b><math>\text{C}_2\text{S}</math></b>	<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math> 1,43 %, <math>\text{K}_2\text{O}</math> nedetekován, zjištěna přítomnost malého množství síry</b>
<b><math>\text{C}_3\text{A}</math></b>	<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math> cca 6 %, <math>\text{K}_2\text{O}</math> nedetekován</b>
<b><math>\text{C}_4\text{AF}</math></b>	<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math> cca 0,6 %, <math>\text{K}_2\text{O}</math> nedetekován</b>

**Slínek s  $\text{K}_2\text{CO}_3$ :**

<b><math>\text{C}_3\text{S}</math></b>	<b>alkálie nedetekovány</b>
<b><math>\text{C}_2\text{S}</math></b>	<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math> i <math>\text{K}_2\text{O}</math> detekovány</b>
<b><math>\text{C}_3\text{A}</math></b>	<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math> do 1 %, <math>\text{K}_2\text{O}</math> cca 3 %</b>
<b><math>\text{C}_4\text{AF}</math></b>	<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math> nedetekován, <math>\text{K}_2\text{O}</math> cca 1 %</b>

### **Slínek s $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :**

**sodík do značné míry vytěká, nezůstává se sírou**

<b><math>\text{C}_3\text{S}</math></b>	<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math> 0,2 %, <math>\text{K}_2\text{O}</math> nedetekován, <math>\text{SO}_3</math> 0,3 %</b>
<b><math>\text{C}_2\text{S}</math></b>	<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math> 1,3 %, <math>\text{K}_2\text{O}</math> nedetekován, <math>\text{SO}_3</math> 2 %</b>
<b><math>\text{C}_3\text{A}</math></b>	<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math> 0,9 %, <math>\text{K}_2\text{O}</math> a <math>\text{SO}_3</math> nedetekováno</b>
<b><math>\text{C}_4\text{AF}</math></b>	<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math> nepatrné množství, <math>\text{K}_2\text{O}</math> a <math>\text{SO}_3</math> nedetekováno</b>

### **Slínek s $\text{K}_2\text{SO}_4$ :**

**Draslík zůstává jako  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (arkanit), málo přechází do  $\text{C}_3\text{A}$  a velmi málo do  $\text{C}_2\text{S}$ , nalezena i síra v  $\text{CaSO}_4$  ve velmi malém množství**

<b><math>\text{C}_3\text{S}</math></b>	<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math> i <math>\text{K}_2\text{O}</math> nejsou detekovány</b>
<b><math>\text{C}_2\text{S}</math></b>	<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math> nedetekováno, <math>\text{K}_2\text{O}</math> a <math>\text{SO}_3</math> cca 1 %</b>
<b><math>\text{C}_3\text{A}</math></b>	<b><math>\text{Na}_2\text{O}</math> nedetekováno, <math>\text{K}_2\text{O}</math> cca 0,4 %</b>
<b><math>\text{C}_4\text{AF}</math></b>	<b>alkálie ani síra nedetekovány</b>

**Potvrdila se naše dřívější zjištění, že draslík je ve slínku přítomen převážně ve formě minerálu arkanitu ( $K_2SO_4$ ), kdežto sodík se v arkanitu vyskytuje vzácně. Je většinou vázán v krystalové mřížce  $C_2S$  a  $C_3A$ .**

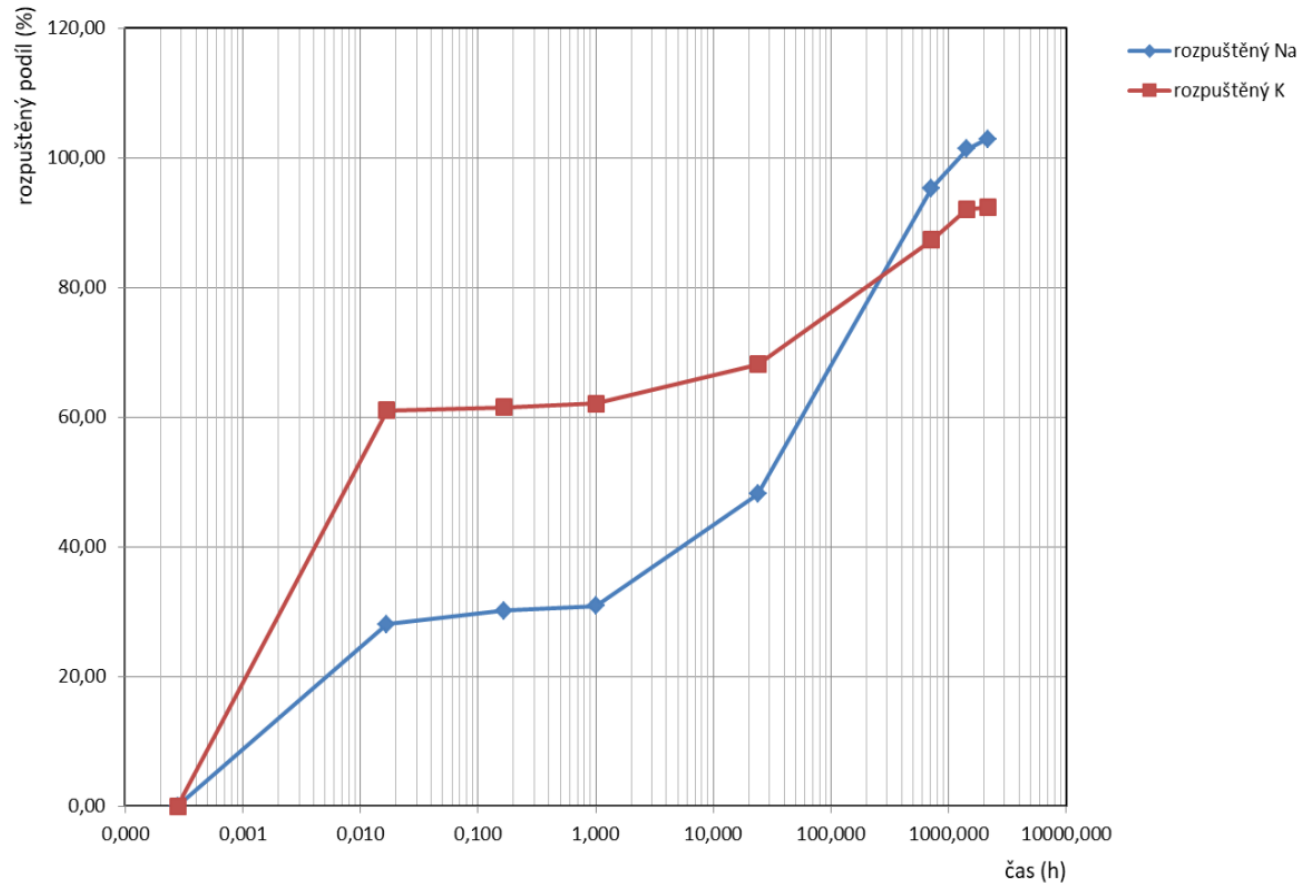
**Způsob vazby alkálií ve slínku má pak významný vliv na rychlost přecházení alkálií do roztoku při výrobě betonové směsi a v průběhu dlouhodobého zrání betonu. Velký význam má přitom i přítomnost síranových iontů – ve slíncích bez přítomnosti síranů všechny alkálie, pokud nevytěkají při výpalu, se nenalézají jako dobře rozpustné alkalické sírany, ale jsou vázány ve slínkových minerálech.**

## Rychlost přechodu alkálií do roztoku:

Zkoušky byly připraveny tak, že byl nejprve stanoven obsah alkálií v daném slínku v mg/kg. Následně byla připravena vyluhovací zkouška, kdy na 10 g vzorku bylo použito 100 ml deionizované vody. Ve zvolených intervalech byl stanovován v roztoku nad zkoušeným slínkem obsah alkálií. Intervaly činily 1 minuta, 10 minut, 1 hodina, 24 hodin, 30, 60 a 90 dnů. Přepočtem pak byl stanoven podíl rozpuštěných alkálií v roztoku v procentech množství alkálií obsažených ve zkoušeném slínku. Na počátku docházelo k rychlému rozpouštění draslíku, podíl sodíku narůstal zvolna, ale zhruba po třech měsících se podíl vyloužených alkálií blížil 100 % u  $K_2O$  i  $Na_2O$ . To odpovídá vazbě alkálií ve slínku – nejrychleji se rozpouští  $K_2SO_4$ , alkálie vázané ve slínkových minerálech přecházejí do roztoku postupně s hydratací jednotlivých minerálů.

Obsah alkálií v roztoku nad hydratujícím cementem				
poměr voda/cement 10:1				
čas (h)	koncentrace ve výluhu		vyloužený podíl (% obsahu v navážce)	
	Na (mg/l)	K (mg/l)	Na	K
0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
0,017	35,30	385,00	28,02	61,01
0,167	38,00	388,00	30,16	61,49
1,000	38,90	392,00	30,87	62,12
24,000	60,70	430,00	48,17	68,15
720,000	120,15	550,90	95,36	87,31
1440,000	127,77	581,00	101,41	92,08
2160,000	129,63	582,55	102,88	92,32
navážka (g): 5				
objem vody (ml): 50				
obsah Na (mg/kg): 1260				
obsah K (mg/kg): 6310				

Rozpuštěné alkálie - podíl alkálií obsažených v navážce  
navážka vzorku: 5 g



**Skutečnost, že je ve výsledku hodnota 100 % vyloužených alkálií dosažena jen přibližně, je dána nejistotou stanovení obsahu alkálií v testovaném slínku a ve výluhu z něho. V každém případě ale  $K_2O$  je přítomno v roztoku již v počáteční fázi hydratace v ještě měkké a tvárné betonové směsi, kdežto  $Na_2O$  působí především v době, kdy je beton již ztuhlý a postupně nabývá konečných pevností.**

**Výsledky byly obdobné u všech zkoušených cementů. Z hlediska rizika vzniku AKR byla proto na CMV provedena měření obsahu alkálií ve vodě přítomné v pórech tvrdnoucího betonu.**



## **Nová metodika zkoušení - výluhová zkouška**

### **Obsah alkálií v roztoku nad hydratujícím cementem**

**Cílem vytvoření nového zkušebního postupu je rychlá provozní či laboratorní kontrola cementu k vyhodnocení pravděpodobné alkalicko křemičité reaktivity na základě stanovení obsahu Na ve výluzích. Každý výrobce tak bude mít okamžitou informaci, jaké je chování daných cementů během zrychlené dilatometrické zkoušky rozpínání podle TP 137 příloha č. 1. (V metodice se uvažuje použití kameniva droba, jako středně reaktivního kameniva.)**

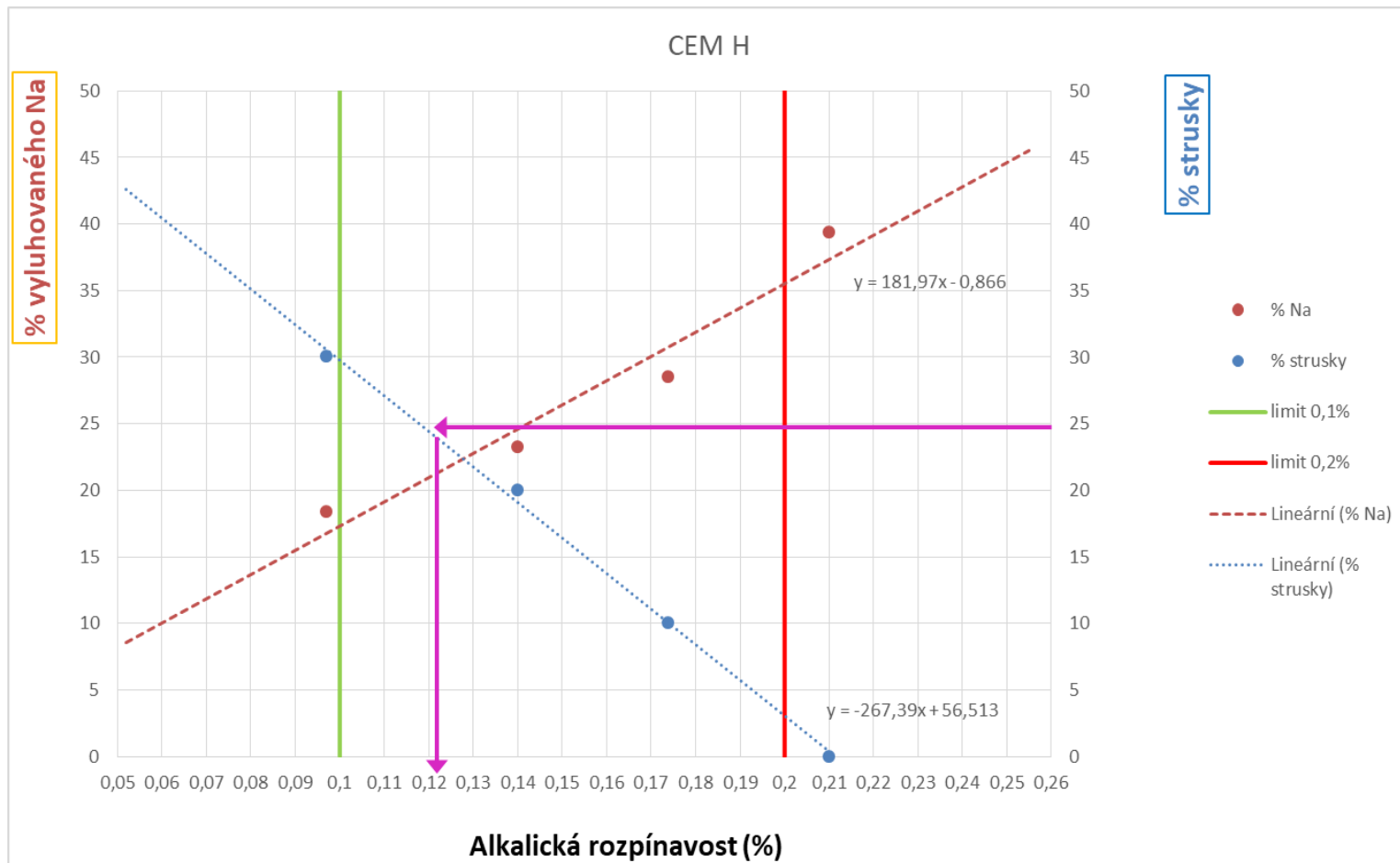
**Na základě výsledků dilatometrických a výluhových zkoušek byly sestrojeny grafy pro každý sledovaný cement. V grafech jsou znázorněny vztahy mezi alkalickou rozpínavostí daného cementu s kamenivem droba a obsahem strusky a podílem vyluhovaného Na v čase 1 hodina.**

**Příklad použití je vysvětlen na následujícím grafu**

**1. Oranžová křivka znázorňuje vztah mezi podílem vyluhovaného sodíku a alkalickou rozpínavostí. Cement, u něhož není známá informace o obsahu strusky. Provede se výluhová zkouška a stanoví se podíl vyluhovaného sodíku (např. 20 %). Na oranžové křivce se pro daný cement odečte alkalická rozpínavost 0,115 %, tzn., že směs daného cementu a kameniva droba bude při dilatometrické zkoušce vykazovat střední rizikovitost.**

**2. Modrá křivka znázorňuje vztah mezi alkalickou rozpínavostí a obsahem strusky. Výrobce chce znát pravděpodobnou alkalickou rozpínavost pro vyrobený cement s přidaným množstvím strusky např. 25 %. Na grafu je šipkami purpurové barvy naznačený postup při odečítání. Alkalická rozpínavost je pro tento cement přibližně 0,12 %, tzn., že směs daného cementu a kameniva droba bude při dilatometrické zkoušce vykazovat střední rizikovitost.**

# Graf: vztah mezi alkalickou rozpínavostí a obsahem strusky



**Díky těmto výsledkům bude možné odhadovat chování daného cementu s kamenivem droba při dilatometrické zkoušce a kolik strusky je potřeba k tomu, aby se alkalická rozpínavost pohybovala v rozmezí do 0,1 % (hodnocení jako nízká rizikovost) nebo do 0,2 % (hodnocení jako střední rizikovost). Chování je specifické pro každý cement a pro každé kamenivo. Výhoda spočívá v tom, že v grafech jsou znázorněny vztahy, ve kterých je zohledněno kompletní složení cementu, které může mít vliv na vznik a průběh alkalicko-křemičité reakce.**

**DĚKUJI ZA POZORNOST**

