

# PROGRAM NA POSÚDENIE ŽELEZOBETÓNOVÉHO PRIEREZU

## Abstract:

Príspevok sa zaoberá jednoduchým programom na posúdenie železobetónového prierezu. Program používa na výpočet prierezu namáhaného dvojsoovým ohybom s osovou silou všeobecnú nelineárnu metódu. K dispozícii sú dva základné prierezy- obdĺžnik a kruh.

## 1. ÚVOD

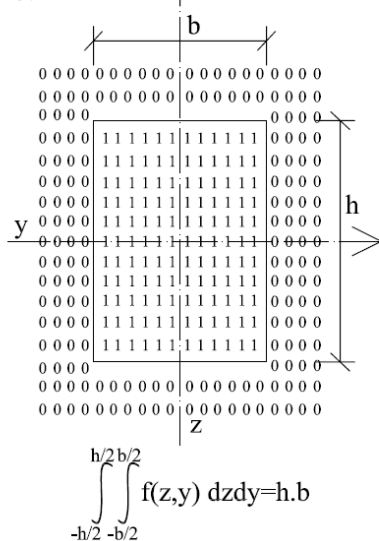
Prostredníctvom programu, ktorý používa všeobecnú nelineárnu metódu, sa vypočíta napätostný stav v priereze namáhanom dvojsoovým ohybom s osovou silou.

## 2. POSÚDENIE VŠEOBECNÉHO PRIEREZU

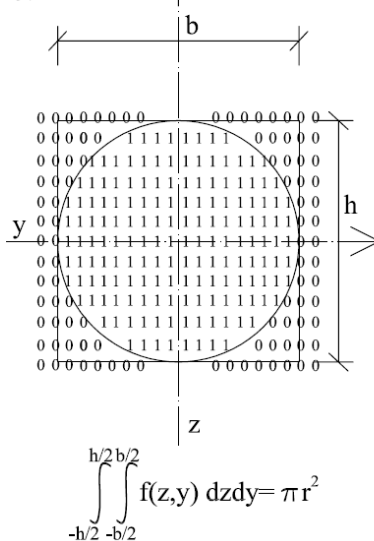
Ide o dvojrozmernú úlohu, kde je potrebné vyriešiť železobetónový prierez namáhaný vonkajším zaťažením ( $N_{Ed}$ ,  $M_{Edy}$ ,  $M_{Edz}$ ).

Geometria obdĺžnikového prierezu je definovaná výškou ( $h$ ) a šírkou ( $b$ ). Ak chceme riešiť všeobecný prierez je potrebné zaviesť logickú funkciu  $f(z,y)$  pre rôzne tvary prierezov. Na obr.1 je schematicky znázornený význam logickej funkcie.

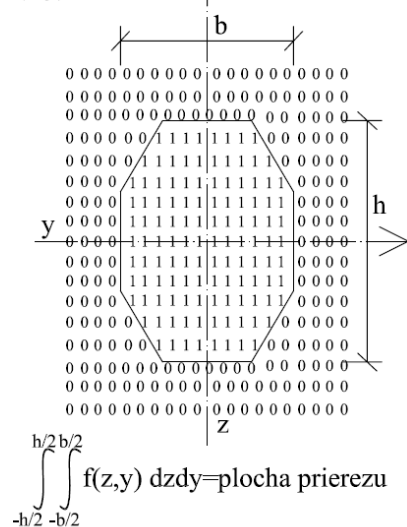
Logická funkcia pre  
obdĺžnikové prierezy  
 $f(z,y)$



Logická funkcia pre  
kruhovú prierezy  
 $f(z,y)$



Logická funkcia pre  
ľubovoľný prierez  
 $f(z,y)$

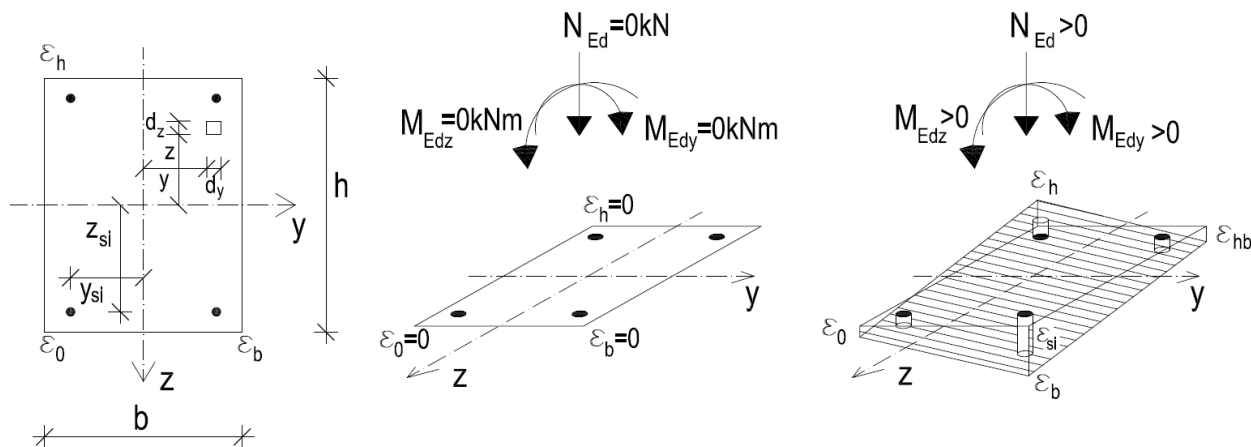


Obr.1 Logická funkcia pre rôzne tvary prierezov

Zavedenie takejto funkcie nám dovoľuje riešiť v programe dvojistou integráciou akýkoľvek prierez. Pri riešení takejto úlohy v prostredí Visual Studio bolo potrebné naprogramovať numerickú integráciu. Aby výsledky boli čo najpresnejšie, bola zvolená Gaussová numerická integrácia, kde aproximáciu integrantu sa robí s polynómom 5.stupňa. Prierez je rozdelený po výške a šírke na dostatočný počet častí (300/300).

## 2.ALGORITMUS VÝPOČTU

Predpokladá sa, že prierez aj po pôsobení vonkajšieho zaťaženia ( $N_{Ed}$ ,  $M_{Edy}$ ,  $M_{Edz}$ ) ostáva rovinný (obr.2). Z rovinnosti prierezu aj po jeho deformácii vyplýva, že pomerné pretvorenie v ktoromkoľvek bode prierezu možno vyjadriť pomocou súradníc uvažovaného bodu a troch parametrov  $\varepsilon_0$  v bode  $(-b/2, -h/2)$ ,  $\varepsilon_b$  v bode  $(b/2, -h/2)$  a  $\varepsilon_h$  v bode  $(-b/2, h/2)$ . Inými slovami napätosť v ktoromkoľvek bode je funkciou jeho súradníc ( $z$ ,  $y$ ) a pomerných pretvorení ( $\varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_b$ ,  $\varepsilon_h$ ). Pri riešení sa vychádza troch podmienok rovnováhy - jednej silovej a dvoch momentových ( $\Sigma N=0$ ,  $\Sigma M_y=0$ ,  $\Sigma M_z=0$ ). Keďže pracovné diagramy materiálov nie sú lineárne, na riešenie takejto sústavy rovníc bolo potrebné použiť Newtonovú optimalizačnú metódu.



Obr 2. Súradný systém prierezu a deformácia prierezu pri pôsobení sily a dvojice momentov

#### 4. PROGRAM NA VÝPOČET ŽELEZOBETÓNOVÉHO PRIEREZU

Pred tým ako sa spustí program je potrebné, aby sa zachoval symbol bodka "." v základnom nastavení počítača a nebol zmenený na symbol čiarka ",".

Po spustení aplikácie Beton\_prierez sa otvorí program obr.3.

**Posúdenie železobetónového prierezu** (c) Ing. Marek Čuhák, PhD., Ing. Bohumil Bohunický

**Súbor**

Označenie prierezu:

**Trieda betónu**: C12/15, C16/20, C20/25

**Prac. diagram betónu**: Pre analýzu, Para-obdĺžnik, Lin-obdĺžnik

**Trieda ocele**: B400A, B400B, B400C

**Prac. diagram ocele**: Bez vodorovnej vetvy, S vodorovnou vetvou

**Vnútorné sily**: NEd[kN], MEdz[kNm], MEdy[kNm]

**Výsledky a posúdenie**: eps0, epsb, epsH, epsHb, sigc0, sigcb, sigch, sigchb, epsmax, epsmin, sigsmax, sigsmin

**Účinky**: krátkodobé, dlhodobé

**Situácia**: trvalá, dočasná, mimoriadná

**Priemer strmeňa**: 8

**Krytie strmeňa**: 25

**Spustiť výpočet**

**Tvar prierezu**: obdĺžnik, kruh

**výška h [m]**: 0

**šírka b [m]**: 0

Rady	Počet	Priemery	Vzdialenosť
Spodný	2	14	35
Horný	2	14	365

**Využitie bet. prierezu**:

**Využitie výstuže**:

**Uložiť údaje**

**Uložiť dokument**

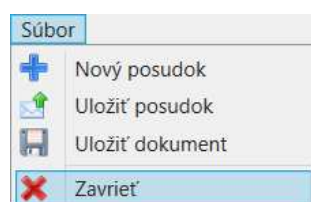
Obr. 3 Program na výpočet železobetónového prierezu

V ľavom hornom rohu cez tlačítko "Súbor" obr.4 sú na výber štyri možnosti obr.4.

"Nový posudok" - po stlačení sa nastaví výpočtový program do východzieho štádia tzn. vynuluje všetky vyplnené políčka a užívateľ môže zadávať nové vstupné hodnoty na výpočet prierezu.

"Uložiť posudok" - po ukončení výpočtu zapíše do dokumentu aktuálne výsledky. Rovnakú funkciu má tlačítko "Uložiť údaje".

"Uložiť dokument" - slúži na zosumarizovanie všetkých posudkov, ktoré boli uložené prostredníctvom "Uložiť údaje resp. Uložiť posudok" a ich uloženie do výsledného dokumentu. Výsledný dokument je vytvorený vo wordovskom formáte.



Obr.4 Súbor

## 5. POSTUP VÝPOČTU

Ako prvé sa vyplní textbox "Označenie prierezu" napr. P1. Informácia slúži na identifikovanie počítaného prierezu vo výslednom dokumente. Ďalej užívateľ pozadáva vstupné hodnoty pre betón a oceľ.

"Prac. diagram betónu" - na výber sú tri pracovné diagramy betónu.

"Pre analýzu" - pracovný diagram betónu podľa vzorca ((3.14) 3.1.5 STN EN 1992-1-1), v ktorom je dosiahnutá maximálna stredná hodnota pevnosti betónu v tlaku  $f_{cm}$ .

"Para-obdĺžnik" - parabolicko-obdĺžnikový ((3.17) 3.1.7 STN EN 1992-1-1) idealizovaný pracovný diagram betónu pre navrhovanie s maximálnou návrhovou pevnosťou betónu v tlaku  $f_{cd}$ .

"Lin-obdĺžnik" - bilineárny idealizovaný (podľa obr.3.4 3.1.7 STN EN 1992-1-1) pracovný diagram betónu pre navrhovanie s maximálnou návrhovou pevnosťou betónu v tlaku  $f_{cd}$ .

"Účinky" - Pri výpočte sa maximálna pevnosť betónu môže znížiť na 85% z pôvodnej hodnoty. Vo vzťahu  $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$  ( $\alpha_{cc} = 0,85$  - pre dlhodobé účinky) ((3.15) 3.1.6 STN EN 1992-1-1). Odporúčaná hodnota ( $\alpha_{cc} = 1$  - pre krátkodobé účinky).

"Situácia" - má vplyv na výpočet návrhovej hodnoty pevnosti betónu v tlaku  $f_{cd}$  a návrhovej pevnosti ocele  $f_{yd}$  prostredníctvom súčiniteľa  $\gamma_c$  resp.  $\gamma_s$ . Pre trvalú a dočasnú situáciu sú hodnoty  $\gamma_c = 1,5$  a  $\gamma_s = 1,15$ . Pre mimoriadnu situáciu sú hodnoty  $\gamma_c = 1,2$  a  $\gamma_s = 1,0$ . Vo vzťahu  $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ .

"Prac. diagram ocele" - na výber sú dva pracovné diagramy ocele podľa (obr.3.8) 3.2.7 STN EN 1992-1-1.

Bez vodorovnej vetvy - návrhový pracovný diagram ocele so stúpajúcou vetvou. Je vhodnejší pre nelineárne výpočty, pretože má len stúpajúce vetvy, čo je vhodnejšie pri hľadaní riešenia.

S vodorovnou vetvou - návrhový pracovný diagram ocele s vodorovnou vetvou.

Označenie prierezu

Trieda betónu	Prac. diagram betónu	Trieda ocele	Prac. diagram ocele
<div>C20/25 ^ C25/30 C30/37 v</div>	<div>Pre analýzu Para-obdĺžnik Lin-obdĺžnik</div>	<div>B500A ^ B500B B500C v</div>	<div>Bez vodorovnej vetvy S vodorovnou vetvou</div>
Účinky	Situácia	Priemer strmeňa	Krytie strmeňa
<div>krátkodobé dlhodobé</div>	<div>trvalá dočasná mimoriadná</div>	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="25"/>

Tvar prierezu

obdĺžnik  
kruh

výška h [m]      šírka b [m]

Rady	Počet	Priemery	Vzdialenosť
Spodný	4	16	41
Horný	2	14	459
	2	8	250

Obr.5 Vstupné údaje

"tvar prierezu" - na výber sú dva tvary prierezov - obdĺžnik a kruh. Po výbere obdĺžnikového prierezu sa vyplnia textboxy na určenie geometrie prierezu stĺpa "výška h [m]" a "šírka b [m]" (v metroch). Pri vpisovaní hodnôt sa môže použiť buď bodka alebo čiarka.

"Priemer strmeňa [mm]" - zadáva sa priemer strmeňa v milimetroch

"cnom[mm]" - krytie strmeňa v milimetroch

Hodnoty v textboxoch "Priemer strmeňa [mm]" a "cnom[mm]" majú význam pri výpočte súradníc jednotlivých výstuží vid' obr.7. V prípade obdĺžnikového prierezu hodnoty ovplyvňujú výpočet súradníc

výstuže po šírke prierezu a v prípade kruhového prierezu vplyvajú na výpočet súradníc jednotlivých výstuží v oboch smeroch.

Označenie prierezu

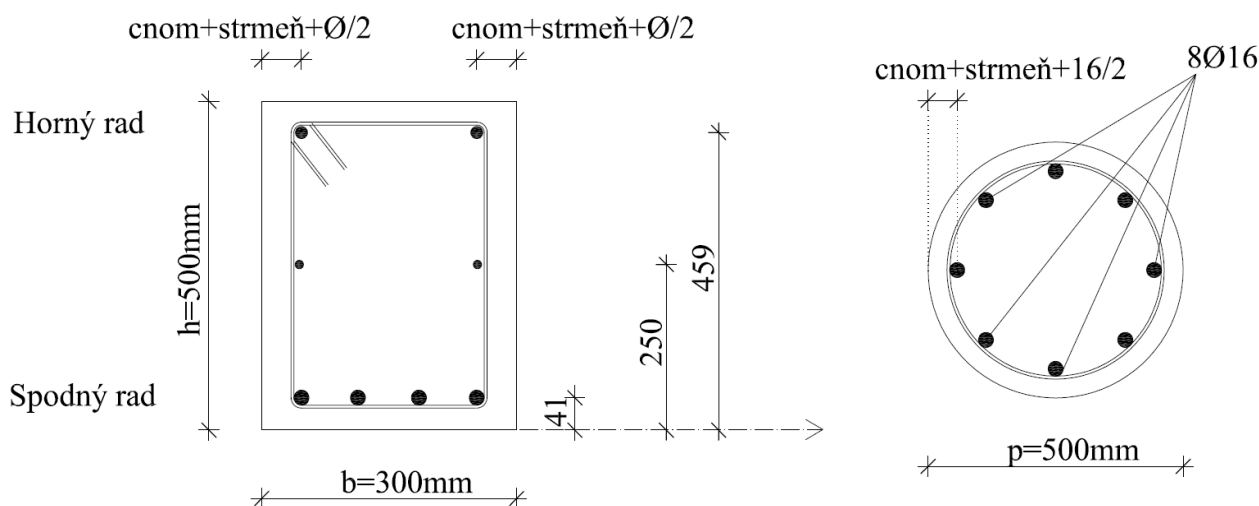
Trieda betónu	Prac. diagram betónu	Trieda ocele	Prac. diagram ocele
C20/25 C25/30 C30/37	Pre analýzu Para-obdĺžnik Lin-obdĺžnik	B500A B500B B500C	Bez vodorovnej vetvy S vodorovnou vetvou
Účinky	Situácia	Priemer strmeňa	Krytie strmeňa
krátkodobé dlhodobé	trvalá dočasná mimoriadná	8	25
		Počet výstuží v kruhu	Priemer hl. výstuže v kruhovom priereze
		8	16

Tvar prierezu

obdĺžnik  
kruh

0.5  
priemer [m]

Obr.6 Zadávanie vstupných hodnôt pre kruhový prierez



Obr.7 Znáznorné zadané prierezy stĺpov z obr.5 a obr.6. Význam textboxov "Priemer strmeňa [mm]" a "cnom[mm]"

Tabuľka na zadávanie výstuže pre obdĺžnikový prierez je voľne editovateľná. Po spustení programu sú zadefinované dva rady výstuže, ktoré môže užívateľ ľubovoľne prepísať. Jednoduchým spôsobom (vyplnením ďalších riadkov tabuľky) sa pridávajú ďalšie rady výstuže.

Poznámka: Pri stlačení pravého tlačítka na myši v ktoromkoľvek textboxe sa ukáže nápoveda o význame daného textboxu vid' obr.8.

Geometria a vstupné hodnoty	Výsledky vo vybranom kroku
lcrz [m]	9.6
lcry [m]	9.6
Vzperná dĺžka stĺpa. Vzper súvisí s výškou prierezu.	

Obr.8 Nápoveda

"Vnútorne sily"

NEd [kN] - osová sila v kN. Tlaková si sa zadáva ako záporná hodnota.

MEdz [kNm] - návrhový ohybový moment po výške prierezu. Kladná hodnota ťahá spodnú výstuž

MEdy [kNm] - návrhový ohybový moment po šírke prierezu.

"Výpočet" - po zadání vstupných hodnôt stlačte Spustiť výpočet

Vnúťorné sily

NEd[kN]	<input type="text" value="-120"/>
MEdz[kNm]	<input type="text" value="100"/>
MEdy[kNm]	<input type="text" value="20"/>
<input type="button" value="Spustiť výpočet"/>	

Obr.9 Vnúťorné sily

Príklad: máme NEd=-120kN , ME<sub>dz</sub> = 100kNm , ME<sub>dy</sub>=20kNm.

Vnúťorné sily		Výsledky a posúdenie			
		Pomerné pretvorenia/napätia bet. prierezu			
NEd[kN]	<input type="text" value="-120"/>	eps0	<input type="text" value="-0,0003"/>	sigc0	<input type="text" value="-4,66"/>
MEdz[kNm]	<input type="text" value="100"/>	epsb	<input type="text" value="-0,0011"/>	sigcb	<input type="text" value="-13,58"/>
MEdy[kNm]	<input type="text" value="20"/>	epsh	<input type="text" value="0,0018"/>	sigch	<input type="text" value="0"/>
<input type="button" value="Spustiť výpočet"/>		epshb	<input type="text" value="0,001"/>	sigchb	<input type="text" value="0"/>
		Pomerné pretvorenia/napätia vo výstuži			
		epsymax	<input type="text" value="0,0015"/>	sigsmx	<input type="text" value="305,11"/>
		epsymin	<input type="text" value="-0,0009"/>	sigsmn	<input type="text" value="-170,73"/>
		Využitie bet. prierezu		Využitie výstuže	
		<input type="text" value="81,5"/>		<input type="text" value="70"/>	
		<input type="button" value="Uložiť údaje"/>			
		<input type="button" value="Uložiť dokument"/>			

Obr.11 Výsledky - pomerné pretvorenia betónu/výstuže a ich odpovedajúce napätia v MPa

Po výpočte sa vypíšu výsledné hodnoty pomerných pretvorení prierezu ( $\epsilon_{p0} = \epsilon_0$ ,  $\epsilon_{psh} = \epsilon_h$  atď. vid' obr.1, v prípade kruhového prierezu sa zobrazia max. a min. hodnoty pomerných pretvorení), zodpovedajúce napätie k pomerným pretvoreniam ( $\sigma_{c0}$ ,  $\sigma_{ch}$  ... v MPa), maximálna a minimálna hodnota pomerného pretvorenia vo výstuži ( $\epsilon_{psymax}$  a  $\epsilon_{psymin}$ ) a k tomu odpovedajúce napätia ( $\sigma_{sigmax}$  a  $\sigma_{sigmin}$  v MPa).

"Využitie bet. prierezu" - pomer maximalneho napätia k návrhovému napätiu  $\sigma_{c0}/f_{cd}$  ( $-13,6/-16,7=81,5$ )

"Využitie výstuže" - pomer maximalneho napätia k návrhovému napätiu  $\sigma_{sigmax}/f_{yd}$  ( $305,1/434,7=70$ )

Po posúdení prierezu a vyhovujúcich výsledkoch stačí "Uložiť údaje". Následne sa údaje potrebné pre statický výpočet uložia do dokumentu. Ďalej môže užívateľ posudzovať nový prierez a ukladať ďalšie výsledky do dokumentu. Na záver je potrebné "Uložiť dokument". Výsledný formát dokumentu je znázornený na obr.12. Je na užívateľovi či ponechá tvar pôvodného posudku alebo ho môže voľne editovať.

Posúdenie železobetónového prierezu

Názov prvku: P1

Geometria prierezu: obdĺžnik 300/500 mm

Materiálové charakteristiky:  $f_{cd}=16,67$  MPa ,  $f_{yd}=434,78$  MPa

Výstuž prierezu

Priemer 16, Počet v rade 4, Vzďialenosť radu od spd. hrany 41

Priemer 14, Počet v rade 2, Vzďialenosť radu od spd. hrany 459

Priemer 8, Počet v rade 2, Vzďialenosť radu od spd. hrany 250

Vnúťorné sily

NEd= -120 kN ,ME<sub>dz</sub>= 100 kNm ,ME<sub>dy</sub>= 20 kNm

Maximálne napätie v betóne

$\sigma_{c0} = -4,66$  MPa,  $\sigma_{c1} = -13,58$  MPa,  $\sigma_{c2} = 0$  MPa,  $\sigma_{c3} = 0$  MPa,

Napätie vo výstuži  $\sigma_{sigmax} = 305,11$  MPa,  $\sigma_{sigmin} = -170,73$  MPa

Využitie výstuže na 70 %

Využitie betónu na 81,5 %      Železobetónový prierez vyhovuje

Názov prvku: P2  
Geometria prierezu: kruh priemer/500 mm  
Materiálové charakteristiky:  $f_{cd}=16,67$  MPa ,  $f_{yd}=434,78$  MPa  
Výstuž prierezu  
Priemer výstuže 16mm, Počet v kruhu 8  
Vnútorne sily  
 $N_{Ed} = -120$  kN ,  $M_{Edz} = 100$  kNm ,  $M_{Edy} = 20$  kNm  
Maximálne napätie v betóne  
 $\sigma_{gc0} = 0$  MPa,  $\sigma_{gc1} = -12,6$  MPa,  $\sigma_{gc2} = 0$  MPa,  $\sigma_{gc3} = 0$  MPa,  
Napätie vo výstuži  $\sigma_{gmax} = 383,82$  MPa,  $\sigma_{gmin} = -145,04$  MPa  
Využitie výstuže na 88 %  
Využitie betónu na 75,6 % Železobetónový prierez vyhovuje

Obr.12 Výsledný statický výpočet posudzovaných železobetónových prierezov

## 6. ZÁVER

V príspevku bol ukázaný princíp všeobecnej nelineárnej metódy na výpočet železobetónového prierezu, ktorý je namáhaný dvojosovým ohybom s osovou silou. V opisovanom programe je možné počítať obdĺžnikový alebo kruhový prierez. Ďalej príspevok podrobne popisuje ako užívateľ má správne používať výpočtový program.

### Literatúra

- [1] STN EN 1992-1-1 : *Navrhovanie betónových konštrukcií*. Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy, Bratislava, 2006.
- [2] Bohumil Bohunický: *Posúdenie obdĺžnikového železobetónového prierezu pri obecnom zaťažení s využitím procesora Mathcad*, Statika stavieb 2010, Zborník príspevkov z 15. konferencie, 19.-19. Marec 2010, Hotel Sorea Piešťany