

**Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava**

číslo 1, rok 2006, ročník VI, řada stavební

**Karel VOJTASÍK<sup>1</sup>, Josef ALDORF<sup>2</sup>****POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI KOMPOZITNÍ PLASTO-BETONOVÉ STĚNOVÉ KONSTRUKCE U ZASYPÁVANÝCH NÁDRŽÍ A JÍMEK****Abstract**

The bearing capacity of composite wall structure compounded of two different constructive materials – plastic and concrete – is discussed in the paper. The method is based on an assumption of the bond displacement condition on boundary-line between the wall sheet materials. Thereof are derived the global deformation modulus of composite wall structure and the strain multiplier of each material sheet. The global deformation modulus represents the wall structure in structural analysis calculations. The strain multiplier determines the stress state of individual material sheet of composite wall structure.

**ÚVOD**

Konstrukce stěn podzemních jímek a nádrží je v současné době prováděna z plastových materiálů. Použití plastu má řadu jedinečných vlastností, které v určitých parametrech převyšují tradiční beton, používaný k tomuto účelu v minulosti. K přednostem plastů náleží:

- vysoká odolnost proti agresivním vlivům. Vnější vlivy jsou dány charakterem okolního prostředí. Vnitřní vlivy jsou dány druhem směsi, trvale nebo dočasně umístěných uvnitř nádrží.
- nepropustnost stěn
- jednoduchá výroba, rychlá a snadná instalace
- příznivá pořizovací cena

Nedostatkem těchto materiálů je nestálost jejich pevnostních a přetvárných parametrů, které jsou závislé na čase, teplotě a dosaženém přetvoření. Vysoké hodnoty pevnostních a přetvárných parametrů plastových materiálů v průběhu doby postupně klesají. Míra poklesu může být až několikanásobná. Další negativní vlastností těchto materiálů je, že spolu s poklesem pevnostních a přetvárných parametrů, s rostoucím přetvořením se mění jejich deformační charakteristika. Z materiálu houževnatého se proměňují v materiál křehký.

Výše uvedené skutečnosti lze doložit výskytem mimořádných případů, kdy po uplynutí určité doby došlo u plastových jímek a nádrží ke značným deformacím stěn. I přes značné deformace, stěny v mnoha případech zůstaly mechanicky neporušeny a mohly plnit dál svou funkci, protože nebyla narušena jejich nepropustnost.

Uvedené chování stěn jímek a nádrží z plastových materiálů vedlo k návrhu stěny, kterou tvoří souvrství složené ze dvou materiálů – plastu a tradičního betonu. Beton, jehož pevnostní a přetvárné parametry se v čase výrazněji nemění, vytváří vnější vrstvu stěny a má za úkol zabránit nadměrným deformacím plastu. Kombinace obou materiálů se v praxi osvědčila, plasto-betonová stěna se výrazně nedeformuje. Tloušťka betonové vrstvy se však odvozuje na základě poznatků minulosti. U

<sup>1</sup> Doc., Ing., CSc., VŠB-TUO, FAST, katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Ludvíka Podéště 1875, 708 33 Ostrava - Poruba, e-mail: karel.vojtasik@vsb.cz

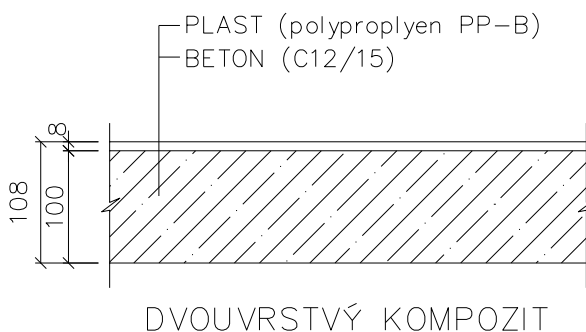
<sup>2</sup> Prof., Ing., Dr.Sc., VŠB-TUO, FAST, katedra geotechniky a podzemního stavitelství, Ludvíka Podéště 1875, 708 33 Ostrava - Poruba, e-mail: josef.aldorf@vsb.cz

tohoto návrhu, úloha plastových elementů je omezena pouze na funkci antikorozi a izolační, ačkoliv dosavadní zkušenosti s použitím samotných plastových stěn prokázaly, že tyto plní i statickou funkci. Uvedený článek podává návrh postupu řešení a posouzení únosnosti kompozitních plasto–betonových stěn zasypávaných podzemních jímek a nádrží.

### KONSTRUKCE KOMPOZITNÍ PLASTO-BETONOVÉ STĚNY

Kompozitní plasto–betonové stěny existují ve dvou základních strukturních variantách.

První variantu charakterizuje jednoduchá dvouvrstvá stavba (obr.1). Vnitřní vrstvu kompozitu tvoří plast, jehož tloušťka se pohybuje od 8 do 15 mm. Tloušťky vrstev plastu jsou dány jejich výrobcem. Obecně vyplývají z požadavku, aby se plastové desky daly ohýbat, neboť dvouvrstvé kompozitní stěny se používají u válcových jímek a nádrží. Plastové desky o vyšších tloušťkách nelze ohýbat do požadovaných poloměrů. Pro hranaté jímky a nádrže tento typ kompozitu není vhodný. Vnější vrstva je z betonu a v konstantní tloušťce pokrývá vrstvu vnitřní. Mezi oběma vrstvami je ploché hladké rozhraní.

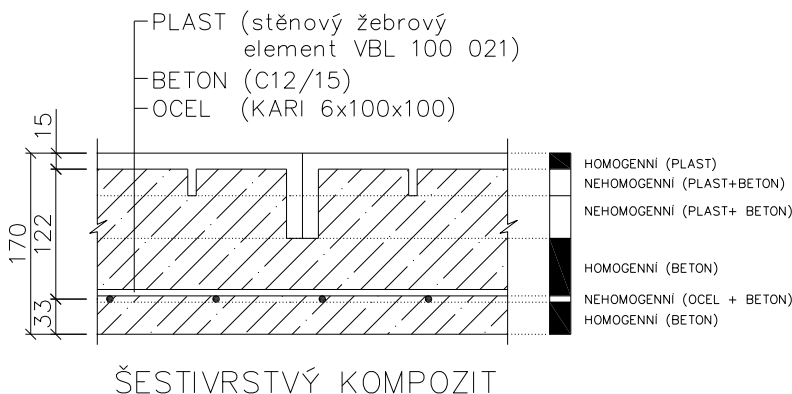


Obr.1

Druhá varianta struktury stěny má charakter souvrství, které je složeno ze tří a více dílčích materiálových vrstev o různých tloušťkách (obr.2). Rozdělení průřezu stěny do více dílčích vrstev vyplývá z formy použitých plastových desek a v některých případech potřebou vyztužení betonu ocelovými prvky.

Rovinné plastové desky jsou na svém obvodu i uvnitř plochy ztuženy žebry. Výška obvodových žebry zpravidla převyšuje výšku žebry uvnitř plochy. Prostor mezi žebry je zaplněn betonem. Vyztužení betonu ocelovými prvky se provádí jen na vnějším okraji průřezu stěny, k přenášení tahových napětí a zabránění vzniku tahových trhlin v betonu.

Dílčí vrstvy jsou tvořeny, buď pouze jedním materiálem, plastem, nebo betonem – homogenní vrstva, nebo dvěma materiály - nehomogenní vrstva. V nehomogenní vrstvě se střídá plast s betonem, nebo beton s ocelí. Tloušťku dílčí vrstvy určují např.: tloušťka stěny plastové desky (homogenní vrstva); výšky ztužujících žebry plastové desky (nehomogenní vrstva); průměr ocelových prvků nehomogenní vrstva).



**Obr.2**

Tento typ struktury stěny je vhodný pro hranaté jímký a nádrže, protože plastové stěnové desky se dají snadno spojovat šrouby, kontaktní spáry mezi jednotlivými plastovými deskami tavením utěsnit. Z těchto desek lze snadno sestavit stěny jímký a nádrže v požadovaných rozměrech.

Vyztužení betonu ocelovými prvky se nemusí provádět na celé ploše stěny, ale jen na těch jejich částech, kde na vnějším okraji průřezu stěny vznikají tahová napětí vyšší než je pevnost betonu v tahu.

Priznivou vlastností plastových materiálů je, že mají dostatečnou pevnost v tahu. Mohou tedy přenášet tahová namáhání, vznikající na vnitřním okraji průřezu stěny.

### VÝPOČTOVÉ PEVNOSTNÍ A PŘETVÁRNÉ PARAMETRY PLASTŮ

Zatímco pro beton jsou pevnostní a přetvárné parametry dostatečně prozkoumány a všeobecně známy, poznatky o pevnostních a přetvárných parametrech plastů nejsou již tak běžné a snadno dostupné. Základem pro jejich stanovení jsou informace uváděné výrobcí plastů, které reprezentují okamžité hodnoty, které plasty dosahují při laboratorních zkouškách provedených na vzorcích plastů po ukončení jejich výroby. Tyto hodnoty neodrážejí řadu dalších okolností, souvisejících s podmínkami jejich nasazení, jako například : dobu užívání; teplotu a její změny; charakter prostředí; způsoby namáhání. Garantované dlouhodobé hodnoty parametrů jsou závislé na uvedených okolnostech a jsou i několikanásobně menší od hodnot uváděných jejich výrobcí.

Pro výpočty a posuzování jsou hodnoty vyžadovány následující parametry:

- $\sigma_{al}$  výpočtové napětí v provozních podmínkách
- $E_{c(al),St}$  výpočtový modul tečení při provozních podmínkách pro výpočet stability
- $E_{c(al),D}$  výpočtový modul tečení při provozních podmínkách pro výpočet deformace

Tyto je potřeba odvodit z hodnot uváděných jejich výrobcí, které jsou následně upraveny s ohledem na čas, teplotu a některé další okolnosti, mezi které náleží:

- korekční faktor, zohledňující vlivy specifického napětí ( $A_1$ )
- korekční faktor, zohledňující vlivy okolního média ( $A_{2K}$ )
- korekční faktor, zohledňující vlivy okolního média na změnu modulu pružnosti ( $A_{2E}$ )
- krátkodobý svařovací faktor
- dlouhodobý svařovací faktor ( $f_j$ )
- součinitel bezpečnosti (S)

Následující příklady, zpracované dle normy ČSN EN 1778, dokumentují možný rozsah změn pevnostních a přetvárných parametrů plastů.

Výpočet dovoleného napětí v provozních podmínkách  $\sigma_{al}$ , pro dobu životnosti 25 let a teplotu 10°C, vychází z hodnoty dlouhodobé pevnosti (K). Hodnoty parametrů korekčních faktorů, použitých pro výpočet ( $f_1=0,6$ ;  $A_1=1,1$ ;  $A_{2K}=1$ ;  $S=2$ ) jsou převzaty z normy ČSN EN 1778. Pevnost plastového materiálu (polypropylénu typ PP-B) uváděná výrobcem, fy. PLOMA a.s., je 33 N/mm<sup>2</sup>. Po zahrnutí vlivu času a teploty, dlouhodobá pevnost činní  $K=11$  N/mm<sup>2</sup>.

$$\sigma_{al} = (K \cdot f_1) / (A_1 \cdot A_{2K} \cdot S) = (11 \cdot 0,6) / (1,1 \cdot 1 \cdot 2) = 3 \text{ N/mm}^2$$

Výpočty modulů tečení při provozních podmínkách pro výpočet stability ( $E_{c(al),St}$ ) a pro výpočet deformací ( $E_{c(al),D}$ ). Modul tečení ( $E_c$ ) pro očekávané podmínky, teplotu během namáhání, čas pro polypropylén činní  $E_c = 215$  N/mm<sup>2</sup>. Hodnoty parametrů korekčních faktorů, použitých pro výpočet modulů tečení ( $A_{2E}=1$ ;  $S=2$ ) jsou převzaty z normy ČSN EN 1778.

$$E_{c(al),St} = E_c / (A_{2E} \cdot S) = 215 / (1 \cdot 2) = 107,5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{c(al),D} = E_c / A_{2E} = 215 / 1 = 215,0 \text{ N/mm}^2$$

Nízké hodnoty dlouhodobých přetvárných parametrů plastů,  $E_{c(al),D}$  činí přibližně 0,01 hodnoty modulu pružnosti betonu, vysvětlují chování stěn plastových jímek a nádrží, kdy po uplynutí určité doby od jejich výroby a instalace u plastových stěn dochází k případům nadměrných deformací.

Hodnoty dlouhodobé pevnosti (K) a z ní odvozená hodnota výpočtového napětí v provozních podmínkách ( $\sigma_{al}$ ) postačují standardním geotechnickým podmínkám, za kterých jsou plastové jímký a nádrže v prostředí pokryvu instalovány a provozovány. Dále i okolnostem provozních zatížení, kdy jsou plastové jímký a nádrže z části a nebo zcela zaplněny (tekutými hmotami). Stav jejich zaplnění přispívá k stabilizaci stěn. Kritickými zatěžovacími stavy jsou situace, kdy hladina tekutých hmot značně kolísá, dále jsou-li vyprazdňovány nebo zůstávají dlouhodobě nezaplněny. Kolísání zatížení působícího na stěny od tekutých hmot způsobuje postupný poklesu přetvárných parametrů plastů. Plastové stěny zůstávají neporušeny i přes jejich značné deformace.

Provádět stěny jímek a nádrží jako kompozitní strukturu tvořenou z dalších materiálů, betonu a ocelových výztuh, plyne z požadavku eliminovat nežádoucí nadměrné deformace. Nadměrné deformace vyvolávají oprávněný dojem, že je vážně narušena stabilita stěny, ačkoliv je zjevně nedodržen pouze druhý mezní stav – deformační stav - konstrukce stěny.

Kompozit dvou- a vícevrstvý, ve kterém je plastový materiál doplněn vrstvou materiálu, který má až 100 násobně vyšší přetvárné parametry (beton), bude mít výrazně odlišnou – vyšší přetvárnou charakteristiku chování. Tuto skutečnost potvrzují i poznatky praxe, kdy na vnějším obvodu plastové stěny provedená vrstva betonu zcela eliminovala nadměrné deformace.

### **HOMOGENIZACE KOMPOZITU - ZATĚŽOVACÍ KOEFICIENTY**

Navržený postup posuzování kompozitních plasto–betonových stěn je založen na dvou předpokladech.

Prvým předpokladem je homogenizace heterogenní struktury kompozitu. Výsledkem homogenizace jsou hodnoty přetvárných parametrů, náhradní homogenní vrstvy, která reprezentuje strukturu kompozitu ve statických výpočtech.

Druhým předpokladem je transformace stavu napjatosti v homogenizovaném průřezu na skutečný stav napjatosti v materiálech kompozitu odvozený ze reálných hodnot přetvárných vlastností materiálů, tvořících kompozit.

Homogenizace struktury kompozitu je založena na podmínkách rovinného přetvoření průřezu a zachování spojitosti přenosu posunů mezi dílčími materiálovými vrstvami kompozitu.

Skutečný stav napjatosti v dílčích materiálových vrstvách kompozitu je vypočten z hodnot průběhu stavu napjatosti v průřezu náhradní vrstvy, jejich přezásobením zatěžovacími koeficienty. Zatěžovací koeficienty jsou stanoveny pro každou dílčí materiálovou vrstvu, na její vnější a vnitřní hranici. Stanovení zatěžovacích koeficientů je součástí homogenizačního výpočtu.

Hodnoty převárných parametrů náhradní homogenizované vrstvy a zatěžovací koeficienty jsou funkcí geometrických a materiálových parametrů, které popisují strukturu kompozitu. K těmto parametrům náleží:

- Tloušťka vrstev
- Poloměr zakřivení vnitřní plochy první vrstvy ( $R_0$ ). V případě přímých stěn je hodnota poloměru  $R_0$  volena např. 500 m
- U nehomogenních vrstev, počet a šířka do vrstvy vložených ztužujících elementů (žebra, ocelová výztuž)
- Modul pružnosti a Poissonovo číslo materiálů

Odvození matematických vztahů homogenizačního výpočtu, stanovujícího převárné parametry náhradní homogenizované vrstvy a zatěžovací koeficienty je uveden v práci [1] a vychází z literatury [2].

## PŘÍKLAD

### I. Homogenizace kompozitní struktury – stanovení náhradního modulu pružnosti a zatěžovacích koeficientů

Následující ukázka uvádí výsledky řešení homogenizace kompozitní struktury plasto-betonové stěny uvedené na obr.2.

Parametry složek kompozitu:

- přímá stěna  $R_0=500\text{m}$
- Polypropylén PP-B - hodnota modulu pružnosti plastu  $E_{\text{plast}}=100\text{ MPa}$ , Poissonovo číslo  $\nu_{\text{plast}}=0,3$
- Beton C12/15 - hodnota modulu pružnosti  $E_{\text{bet.}}=23000\text{ MPa}$ , Poissonovo číslo  $\nu_{\text{beton}}=0,2$
- Ocel - hodnota modulu pružnosti  $E_{\text{ocel}}=210\ 000\text{ MPa}$ , Poissonovo číslo  $\nu_{\text{ocel}}=0,2$

Parametry homogenizovaného materiálu:

- Modul pružnosti náhradního homogenizovaného průřezu  $E_n = 17800\text{ MPa}$
- Poissonovo číslo náhradního homogenizovaného průřezu  $\nu_n = 0,3$

**Tabulka** Hodnoty zatěžovacích koeficientů materiálů kompozitu stěny hranaté nádrže (tloušťka stěny 170mm).

Č.vrstvy	Tloušťka vrstvy [mm]	Typ vrstvy	Materiál	$A_{in}$	$A_{out}$
1	15	homogenní	plast	0,01	0,01
2	25	nehomogenní	plast beton	0,01 1,02	0,01 1,02
3	40	nehomogenní	plast beton	-0,08 1,02	-0,08 1,02
4	54	homogenní	beton	1,02	1,02
5	6	nehomogenní	ocel beton	10,08 1,05	10,08 1,05
6	30	homogenní	beton	1,36	1,36

Kde

$A_{in}$  - hodnota zatěžovacího koeficientu na vnitřním okraji dílčí vrstvy kompozitu

$A_{out}$  - hodnota zatěžovacího koeficientu na vnějším okraji dílčí vrstvy kompozitu

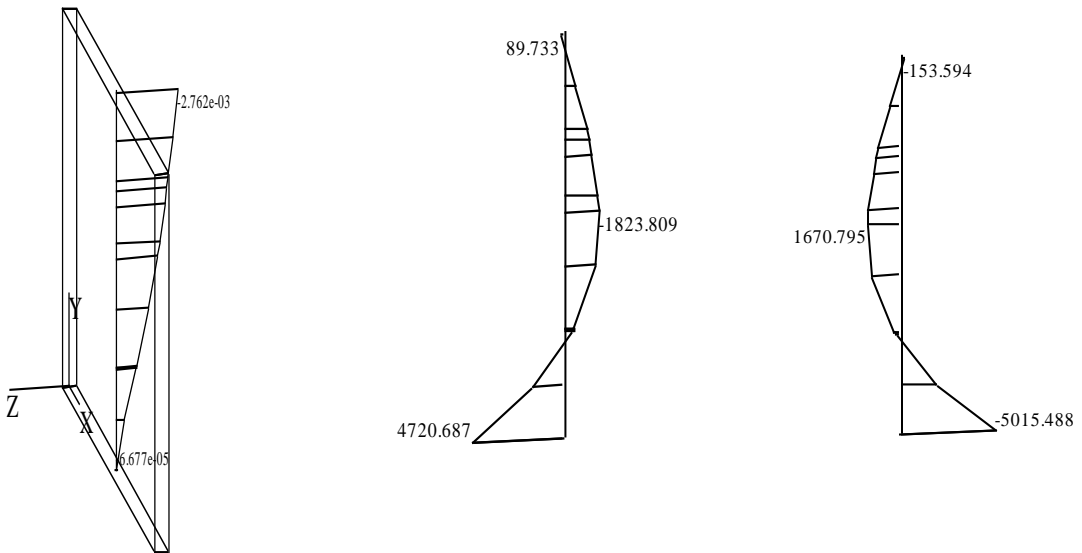
Hodnoty výsledků homogenizace kompozitní struktury plasto-betonové stěny z obr.2. byly stanoveny počítačovým programem HOMO (VŠB-TUO, FAST, katedra geotechniky a podzemního stavitelství).

## II. Výsledky statického výpočtu stěny – průběhy napětí v krajních vláknech stěny

Průběh deformace stěny

Průběh napětí v horních vláknech

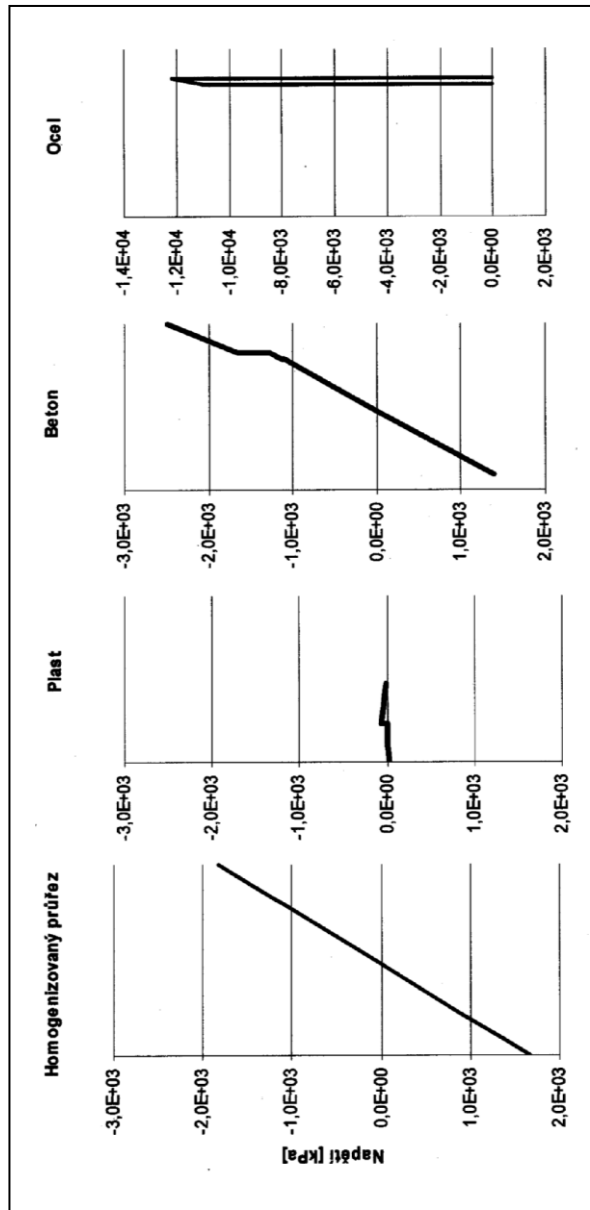
Průběh napětí v dolních vláknech



Obr.3

Průběhy deformace stěny a hodnot napětí  $\sigma_y$  [kPa] v krajních vláknech stěny, náhradního homogenizovaného průřezu ve vertikálním řezu, procházejícím středem stěny. Stěna má rozměry š/v 4/2,16 m (posouzení únosnosti stěn hranaté jímky typu Z8 o rozměrech 4x2x2,16m, statické řešení program FEAT200).

**III. Transformace stavu napjatosti homogenizovaného průřezu na skutečný stav napjatosti v materiálech kompozitu**



Obr.4

## ZÁVĚRY

Prezentovaný postup umožňuje stanovení stavu napjatosti u materiálově heterogenních průřezů konstrukčních prvků – nosníků a desek.

Metoda byla několikrát prakticky aplikována při posuzování únosnosti kompozitních struktur průřezů.

V oblasti podzemního stavitelství metoda byla uplatněna u vícevrstvých ocelo-betonových výztuží, prováděných stříkaným betonem, vyztuženým jednou nebo i několika vrstvami z ocelových mřížovin, příhradovými oblouky, nebo důlní ocelovou výztuží. Dále u prstencových typů výztuží provedených z ocelových, litinových nebo železobetonových tybinků, které byly oboustranně zalaty vrstvami betonu.

Praktickou aplikací této metody z poslední doby, bylo její užití při posuzování únosnosti plasto-betonových stěn válcových a hranatých zasypávaných jámek a nádrží.

#### **LITERATURA**

- [1] ALDORF, J. – HRUBEŠOVÁ, E. – VOJTASÍK, K. – LAHUTA, H.: Závěrečná zpráva grantu 103/96/0755 Výzkum metod řešení stability podzemních děl při členěném výlomu a fázovém způsobu ražení a vyztužování, VŠB Ostrava, 1997
- [2] BULYČEV, N.S.: Mechanika podzemních sooruzenij, NEDRA Moskva 1982

**Reviewer:** Ing. Jaroslav RYŠÁVKA, P.