PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

zveřejněná podle § 31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:
1999 - 1091

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.[7]:
E 01 C 7/18

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA

ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **02.10.1997**

(32) Datum podání prioritní přihlášky: **02.10.1996**

(31) Číslo prioritní přihlášky: **1996/9612001**

(33) Země priority: **FR**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **15.03.2000**
(Věstník č. 3/2000)

(86) PCT číslo: **PCT/FR97/01740**

(87) PCT číslo zveřejnění: **WO98/14663**

(71) Přihlašovatel:
ENTREPRISE JEAN LEFEBVRE,
Neuilly-sur-Seine, FR;

(72) Původce:
Goacolou Honoré, Les Clayes sous Bois, FR;

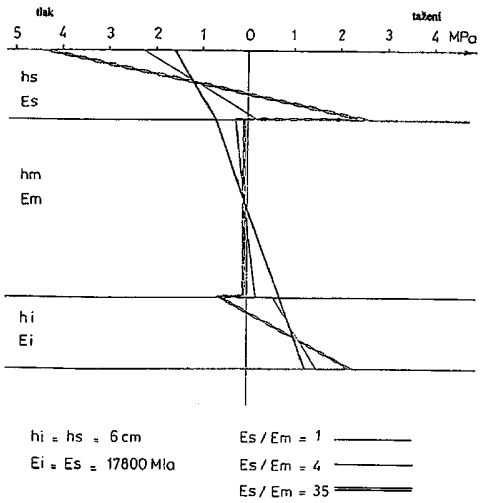
(74) Zástupce:
PATENTSERVIS PRAHA a.s., Jivenská 1, Praha 4,
140 00;

(54) Název přihlášky vynálezu:

Třívrstvá struktura vozovky

(57) Anotace:

Řešení se týká nové struktury vozovky, jejíž kryt nad zemním tělesem tvoří tři na sebe položené a slepené vrstvy provedené ze živičných materiálů, přičemž tuto strukturu tvoří spodní vrstva položená na zemním tělese a proložená případně stabilizační vrstvou, když tloušťka H_i této spodní vrstvy je 4 cm $\leq H_i \leq$ 10 cm a modul pružnosti E_i, střední vrstva, jejíž tlouštka H_m je 4 cm $\leq H_m \leq$ 20 cm a modul pružnosti $E_{m\,2000}$ MPa $< E_m <$ 8000 Mpa, horní vrstva, jejíž tloušťka H_s je 4 cm $\leq H_s \leq$ 10 cm a modul pružnosti E_s, přičemž uvedené moduly pružnosti těchto vrstev odpovídasjí poměrům nerovnosti (a) a (b).



CZ 1999 - 1091 A3

02.08.99

1091-99

Třívrstvá struktura vozovky

Oblast techniky

Vynález se týká nové struktury vozovky, jejíž kryt je proveden ze tří na sebe položených vrstev ze živičného materiálu, které jsou navzájem slepeny.

Dosavadní stav techniky

Dříve byly vozovky konstruovány z přírodních zrnitých nebo drcených materiálů, do kterých se původně nepřidávalo žádné pojivo, které by zvýšilo jejich soudržnost. Dnes se takové materiály pokládají s pojivem nebo bez pojiva, případně se obě techniky kombinují.

Pro technologie konstrukcí vozovek z neupravených materiálů je hlavním pravidlem postupné zvyšování modulů pružnosti. Materiály s nejmenšími kvalitativními parametry jsou použity do spodní vrstvy, která je položena na zemní těleso a je případně kombinována se stabilizační vrstvou. Jsou to převážně materiály s malou odolností k zatížení. Na tyto vrstvy se pokládají jemněji upravené materiály a nakonec obrusná vrstva, která jako jediná z celé struktury je provedena s živičným pojivem.

Pravidlo postupného zvyšování modulů na příkladu klasické struktury z neupravených materiálů je zřejmé z tabulky I.

TABULKA 1

VRSTVY	TLOUŠŤKA	MATERIÁLY	MODUL PRUŽNOSTI
Obrusná	6 cm	Živičná směs	5400 MPa
Horní podklad	20 cm	(GRH) Štěrk Obnovený Zvlhčený 0/20	360 MPa
Spodní podklad	25 cm	Směs neupravená 0/31,5	120 MPa
Zem		zem	20 MPa

S narůstajícím silničním provozem se objevují struktury z upravených materiálů. Jsou to směsi štěrku nebo písku upravené cementem, příbuzným hydraulickým pojivem nebo asfaltem.

Tyto struktury jsou sestavovány tak, aby působily v ohybu, a za tím účelem se také provádí příslušné výpočty.

V takovém případě může existovat nárůst modulů mezi spodní a horní vrstvou podkladu, ale není to obecným pravidlem, spíše naopak.

V praxi tedy rozlišujeme :

- struktury (skupina F1 v tabulce II), jejichž horní a spodní vrstva pokladu mají stejnou pružnost. Jsou vyvořeny převážně ze stejných nebo podobných materiálů,
- struktury (skupina F2 tabulky II), jejichž horní vrstva podkladu je výrazněji méně pružná než spodní vrstva. V tomto případě slouží horní vrstva podkladu jako zábrana proti příčnému šíření trhlin, které se nevyhnutelně tvoří ve vrstvách MTLH (materiály upravené hydraulickými pojivy).

Ze strukturálního hlediska jsou horní a spodní vrstvy podkladu nejsilnější a zajišťují trvanlivost struktury. Kryt vozovky zajišťuje uživatelům bezpečnost a pohodlí.

TABULKA II

Typ struktury	Polotuhá	Beton	Asfaltová silná	Smíšená	Obrácená
Obrusná vstva	Živičná směs	Cementový beton	Živičná směs	Živičná směs	Živičná směs
Horní podklad	MTLH	Cementový beton	Štěrk/asfalt	Štěrk/asfalt	GRH
Spodní podklad	MTLH	Hubený beton	Štěrk/asfalt	MTLH	MTLH
Funkce	F1	F1	F1	F2	F2

GRH : Obnovený zvlhčený štěrk

F1 : Struktura s $E_{CB} \geq E_{CF}$

F2 : Struktura s $E_{CB} \leq E_{CF}$

Poškození vozovky může nastat v podstatě ve dvou odlišných případech :

a) únavou, která je způsobena opakovaným prohýbáním upravené vrstvy nejvíce namáhané, kterou je převážně spodní vrstva podkladu a/nebo

b) soustavnou deformací, která je výsledkem značného vertikálního tlaku na neupravené materiály, zejména na zemní těleso.

Aby nedošlo k porušení vozovky, stanovení rozměrů její struktury spočívá v omezení jejího namáhání na straně přípustných hodnot, které závisí na kvalitativních parametrech materiálu a na provozu, kterému bude tento materiál vystaven, přičemž omezení namáhání se zajišťuje především zvětšením tloušťky vrstev této struktury.

Podstata vynálezu

Podstatou vynálezu je nová struktura vozovky, jejíž kryt je proveden ze tří vrstev. Struktura vozovky podle vynálezu nahrazuje klasický dvouvrstvý systém známý z dosavadní techniky, který tvoří horní vrstva a spodní vrstva podkladu.

Strukturu podle vynálezu tvoří dvě tenké vnější vrstvy provedené z materiálů s vysokými kvalitativními parametry a mezilehlá střední vrstva provedená z méně kvalitních, zato levnějších materiálů. Přizpůsobení takové struktury silničnímu provozu se dosahuje zvýšením přípustného ohybového momentu zvýšením ramena páky systému, t.j. zvětšením tloušťky střední vrstvy, která je provedena z levnějšího materiálu.

Podstatou vynálezu je tedy struktura vozovky jejíž kryt nad zemním tělesem tvoří tři na sebe položené vrstvy z živičných materiálů, které jsou navzájem slepeny. Jedná se o tyto vrstvy:

- spodní vrstva položená na zemním tělese, která může být případně kombinována se stabilizační vrstvou. Tloušťka spodní vrstvy H_i je :

  $4\ cm \leq H_i \leq 10\ cm$

  a modul pružnosti : E_i

- střední vrstva, jejíž tloušťka H_m je :

  $4\ cm \leq H_m \leq 20\ cm$

  a modul pružnosti E_m je $2\,000\ MPa < E_m < 8\,000\ MPa$

- horní vrstva, jejíž tloušťka H_s je :

$$4 \text{ cm} \leq H_s \leq 10 \text{ cm}$$

a modul pružnosti E_s

Uvedené moduly pružnosti těchto vrstev odpovídají následujícím poměrům nerovnosti

$$2 < \frac{E_i}{E_m} < 10 \quad \text{a} \quad 2 < \frac{E_s}{E_m} < 10$$

Je třeba poznamenat, že v celém textu popisu vynálezu a patentových nároků se pod pojmem "živičné materiály" velmi obecně rozumí všechny typy silničních hmot, přírodní, umělé nebo recyklované, zejména štěrk a/nebo písky upravené uhlovodíkovými, případně hydraulickými pojivy nebo směsí těchto pojiv. Jako příklad živičných pojiv lze uvést čisté nebo modifikované asfalty ve formě emulze, pěny nebo také ve formě tekuté, s přísadami nebo bez přísad.

Rovněž je třeba upřesnit, že všechny moduly pružnosti jsou propočítány na podmínky střední teploty a obvyklých rychlostí silničního provozu.

Další znaky a výhody předkládaného vynálezu vyplynou z jeho popisu s odkazem na podrobná studia funkce struktury vozovky, která je předmětem vynálezu.

Moduly pružnosti horní a spodní vrstvy jsou podle doplňkového znaku vynálezu alespoň téměř shodné a výhodněji zcela shodné.

Jiným znakem vynálezu je alespoň téměř shodná a výhodněji zcela shodná tloušťka spodní vrstvy H_i a horní vrstvy H_s.

Podle zvláště výhodného znaku vynálezu bude horní a spodní vrstva struktury vozovky provedena ze štěrku a/nebo písku upraveného/upravených uhlovodíkovým pojivem.

K provedení horní a spodní vrstvy se výhodně použije živičný beton se zvýšeným modulem, např. živičná směs, kterou dodává na trh předkladatel vynálezu pod značkou BBTHM® (živičný beton s velmi vysokým modulem).

Podle jiného výhodného znaku vynálezu je střední vrstva struktury provedena ze štěrku a/nebo písku upraveného/upravených uhlovodíkovým pojivem, hydraulickým pojivem nebo směsí takových pojiv. Příkladem takového pojiva je GRAVE-MOUSSE®, které na trh dodává předkladatel vynálezu.

Pro upřesnění zásady, že všechny tři vrstvy živičného materiálu musí být navzájem spojeny, postačí uvést, že přilnutí vrstev může být provedeno jakýmkoli způsobem. Postupné položení různých vrstev za tepla a zvláštní složení vrstev povede k jejich dostatečnému spojení, aniž by byla nutná aplikace přídavných vrstev jiných hmot.

Slepení uvedených vrstev může být výhodně provedeno vložením záchytné vrstvy nebo v nutném případě vložením impregnační a záchytné vrstvy.

Kryt vozovky podle vynálezu je uspořádán ze spodní vrstvy položené na zemní těleso přímo nebo s vloženou stabilizační vrstvou, která vyrovnává nosnost struktury. Taková vrstva je obvykle provedena z upraveného nebo neupraveného materiálu a její tloušťka může být až 30 cm.

Struktura vozovky provedená podle vynálezu může být případně překryta obrusnou vrstvou, jejíž přesné složení a kvalitu určí odborník s přihlédnutím k provozu, kterému bude vozovka vystavena. Může se např. jednat o vrstvu o tloušťce přibližně 2,5 cm.

V některých zvláštních podmínkách a s ohledem na typ horní vrstvy nebude nutné překrývat strukturu podle vynálezu obrusnou vrstvou.

Posuzování a vyhodnocování funkce struktury podle vynálezu bylo prováděno nejprve na základě teoretických studií, poté zkouškami na modelu a matematickými výpočty.

Výchozím modelem je vícevrstvý systém s lineární pružností, který byl vystaven zatížení odpovídajícímu dvěma spřaženým kolům 6,5 tuny. Tento útvar odpovídá francouzské standardní nápravě 13 tun.

Parametry modelu třívrstvé struktury na podloží nekonečné tloušťky jsou následující :

- spodní a horní vrstva jsou malé tloušťky :

$$H = H_i = 6 \text{ cm}$$

- tloušťka střední vrstvy je proměnná :

$$8 \text{ cm} \leq H_m \leq 20 \text{ cm}$$

- rozdíl modulu

$$2 < \frac{E_s}{E_m} < 10$$

$$2 < \frac{E_i}{E_m} < 10$$

- materiály tvořící horní a spodní vrstvu mají příbuzné charakteristiky. Pro zjednodušení dalšího popisu považujme oba materiály za shodné. Tedy $E_i = E_s$.

Pro tento materiál budeme uvažovat parametry BBTHM®, tj. živičné směsi se zvýšeným modulem, které vyrábí firma Jean Lefebvre.

Příklady provedení vynálezu

Na obr. 1 jsou zakresleny diagramy namáhání a deformací ve vertikální ose kolmo k zatížení. Tyto diagramy se odlišují v závislosti na vztahu E_s / E_m.

- Jestliže je struktura provedena ze stejného materiálu ($E_s / E_m = 1$), je průběh diagramů téměř lineární. Ohýbání se projeví tlakem na povrch a tahem na spodní část.
- Jestliže rozdíl modulu je vyšší ($E_s / E_m = 35$), např. vložením neupraveného štěrku mezi obě vrstvy se zvýšeným modulem (BBTHM®), potom obě vrstvy, horní i spodní, se prohýbají nezávisle na sobě, což má za následek :
  - výrazné tažení na základně horní vrstvy a mírné zvýšení ohybového napětí na základně spodní vrstvy.
  - omezení významu střední vrstvy a zejména její tloušťky. Zvětšení tloušťky této vrstvy výrazněji neomezí ohybové napětí na spodní ploše horní vrstvy.
- V případě středních hodnot ($E_s / E_m = 4$), diagram namáhání probíhá stejně jako výše ve tvaru lomených čár, ale se třemi základními rozdíly, kterými jsou :
  - ztráta ohybového napětí na základně horní vrstvy (není tedy riziko poškození),
  - vzhledem k monolitické struktuře je na základně spodní vrstvy malé zvýšení tažného napětí,
  - udržení silné závislosti mezi vrstvami, což umožní uvolnit významnější ohybový moment zvýšením tloušťky střední vrstvy (přetrvává efekt ramena páky).

Určující hodnoty, které je třeba zjišťovat v takové struktuře jsou deformace na každé ploše dotyku vrstev.

Tyto hodnoty umožní zjistit způsob namáhání (napětí v tahu nebo stlačení) a vyhodnotit, zda se jedná o kritickou úroveň, při které může nastat poškození.

Grafy na obr. 2 až 4 ukazují, jak se tyto deformace mění v závislosti na vztahu E_s / E_m a tloušťce H_m.

Deformace na základně horní vrstvy je znázorněna na obr. 2.

Základna této vrstvy je tažena při vysokém poměru E_s / E_m.

Při hodnotě $E_s = 500$ MPa (to je např. případ neupraveného štěrku obrácené struktury) je deformace vyšší než 100.10^{-6}, což je kritický bod pro určení rozměrů.

Navíc je třeba poznamenat, že tloušťka H_m střední vrstvy má malý vliv na úroveň deformace. Ve skutečnosti je jediným prostředkem ke snížení této hodnoty zvětšení tloušťky horní vrstvy. Takové řešení je nákladné, protože se jedná o materiál s nejlepšími kvalitativními parametry.

Při nízkých hodnotách poměru E_s / E_m shledáváme chování jako u klasických struktur, které se vyznačuje tím, že horní vrstvy působí v tlaku.

U středních hodnot poměru E_s / E_m , např. při hodnotách od 2000 do 5000 MPa vzniká deformace, ale je dostatečně malá na to, aby vzniklo nebezpečí poškození.

Deformace ve spodní vrstvě, na úrovni horního vlákna, jsou znázorněny na obr. 3.

Toto vlákno je mírně stlačeno při nízkých hodnotách E_m (500 až 1500 MPa) a poté při mírném tahu.

Deformace ve spodní vrstvě na, úrovni spodního vlákna, jsou znázorněny na obr. 4.

Toto vlákno je taženo při jakémkoli poměru E_s / E_m. Deformace je citlivější k tloušťce střední vrstvy než k její tuhosti.

Čtyřnásobné zvýšení modulu E_m (např. 5000 až 2000 MPa) může být kompenzováno zvětšením tloušťky (H_m) o 2 cm (8 až 10 cm).

Protože vrstvy jsou navzájem spojeny tak, aniž by se mohly posouvat, deformace ve střední vrstvě jsou stejné jako deformace v přilehlých vrstvách.

Vhodná rozpětí modulu E_m, které vedou k deformacím tlakem nebo slabým tažením jsou :

$E_m > 2000$ MPa pro horní vlákno

$E_m < 8000$ MPa pro spodní vlákno

Z předcházející analýzy vyplývá, že vhodné rozpětí pro modul E_m je 2000 až 8000 MPa nebo lépe 4000 až 8000 MPa.

V takových podmínkách :

- horní vrstva a střední vrstva jsou málo namáhané v tahu a mají značnou stálost a

- nejvíce namáhána je spodní vrstva a míra její deformace může být zafixována na přípustné hodnotě vzhledem k provozu změnou tloušťky střední vrstvy.

Rozměry třívrstvé struktury mohou být stanoveny následovně.

Analýza způsobu funkce třívrstvé struktury umožňuje předvídat způsob jejího porušení. Způsob porušení takové struktury obsahuje tři fáze, které jsou znázorněny na obr. 5 :

- únava spodní vrstvy třívrstvé struktury (obr. 5a)

V průběhu této první fáze je pouze spodní vrstva vystavena namáhání tahem. Počet namáhání, které může struktura unést v této fázi může být vypočítán běžnou početní metodou, která bude podrobněji uvedena níže.

- únava střední vrstvy (obr. 5b) :

Po porušení prvé vrstvy se struktura chová různě. Střední vrstva v tomto případě působí v tahu, což trvá až do porušení této vrstvy.

- únava horní vrstvy (obr. 5c) :

Po porušení prvých dvou vrstev bude horní vrstva namáhána v tahu a v důsledku toho nastane proces jejího poškození.

Vzhledem k původnímu způsobu funkce této struktury je její životnost součtem tří základních životností.

Tato zvláštnost se nikdy nevyskytuje u klasických struktur. Jako příklad můžeme posoudit oba extrémní příklady :

a) struktura, která má v horní a spodní vrstvě podkladu stejný materiál (nebo třívrstvý model s $E_s = E_m = E_i$).

V tomto případě je struktura monolitická (viz obr. 6a) a postup poškození má pouze jednu fázi, a to poškození podkladní vrstvy. Vzhledem k tomu, že vrstvy jsou navzájem slepeny a jejich tuhost je alespoň přibližně stejná, všechny trhliny, které se objeví na základně struktury, se velmi rychle šíří na povrch. Fáze šíření trhlin je zanedbatelná oproti fázi vzniku trhlin. Výrazně méně tuhá střední vrstva v případě třívrstvé struktury blokuje šíření trhliny a k tomu, aby proces poškození mohl pokračovat, musí nastat nová fáze vzniku trhliny.

b) obrácená struktura (nebo model třívrstvé struktury s $E_m \leq E_i$ a E_s).

V takovém uspořádání dochází k současnému poškození spodní a horní vrstvy (obr. 6b) a spoučet životností vrstev nenastane.

K ilustraci zlepšené životnosti třívrstvé struktury podle vynálezu se výpočet vztahuje k následující struktuře :

6 cm BBTHM® + 8 cm GM + 6 cm BBTHM® na základu PF2.

GM označuje štěrk upravený asfaltovou pěnou, v tomto případě tedy GRAVE-MOUSSE®.

Modelování tří fází je uvedeno v tabulce III :

TABULKA 3

Vrstva	1. fáze	2. fáze	3. fáze
horní	17 800	17 800	17 800
střední	5 500	5 500	1 000 (*)
spodní	17 800	3 500 (*)	3 500 (*)

Modul vrstev (MPa) vzhledem ke stavu poškození (neporušený nebo přetržený *).

Vypočítané kritické hodnoty deformací jsou :

1. fáze : 85,5 $.10^{-6}$ na základně spodní vrstvy
2. fáze : 112 $.10^{-6}$ na základně střední vrsty
3. fáze : 87,6. 10^{-6} na základně horní vrstvy.

Únavové charakteristiky potřebné k výpočtům jsou uvedeny v tabulce IV :

TABULKA IV

	Epsilon 6	Strmost	SN	SH
BBTHM®	132 10^{-6}	0,175	0,29	1cm
Grave-Mousse®	109 10^{-6}	0,126	0,6	1 cm

Životnost každé vrstvy je vypočítána z následujícího vzorce v souladu s francouzským technickým návodem pro konstrukci a dimenzování struktur vozovek.

Vzorec :

$$\varepsilon_t \quad - \quad \varepsilon_6 \left(\frac{N}{10^6} \right)^b \cdot K_c \cdot K_r \cdot K_s$$

kde :

ε_t : deformace na základně asfaltových vrstev

ε_6 : deformace vedoucí k životnost ekvivalentní 10^{-6} cyklů

N : počet cyklů

K_c : koeficient fixace

K_c = 1 pro BBTHM®

K_c = 1,3 pro Grave-Mousse

K_r = koeficient, kterým se přidává hodnota přípustné deformace k chybě výpočtu v závislosti na rozptyl šířky (standardní odchylka Sh) a výsledků zkoušek na únavu (standardní odchylka SN)

$$K_r = 10^{-ub\delta}$$

u : proměnná s nulovou pravděpodobností spojená s rizikem r

b : spád zákona o únavě materiálu (bilogaritmický zákon)

δ : proměnná disribuce logN pro přetržení

$$\delta = [SN^2 + (c^2/b^2)\, Sh^2]^{0,5}$$

c : koeficient, který spojuje odchylku deformace s náhodnou odchylkou tloušťky vozovky,

$$\Delta h, (\log\varepsilon - \log\varepsilon_0 - c\,\Delta h).$$

Pro běžné struktury je to řádově 0,02 cm^{-1}.

K_s : koeficient základny. Pro náš případ se rovná 1.

Při dalších výpočtů vezmeme U = 2,05, což odpovídá riziku porušení 2 % (riziko pro vozovky vystavené silnému provozu).

K vypočítání životnosti třívrstvé struktury byla stanovena četnost pravděpodobnosti porušení každé ze tří vrstev, která je uvedena na obr. 7.

Pravděpodobnost porušení třívrstvé struktury, která je výsledkem pravděpodobosti porušení každé vrstvy, je uvedena na obr. 8.

Zjistíme, že pro riziko porušení 2 % se počítá se životností :

$$\log(N) = 7{,}0^4$$

$$\text{když } N = 11.10^6$$

Je třeba poznamenat, že tloušťka monolitické struktury (provedené pouze z BBTHM®) ekvivalentní životnosti je 25 cm a klasické strukrury ze směsi štěrku s asfaltem 38 cm, což je hodnota srovnatelná s 20 cm tloušťky třívrstvé struktury.

Mechanické parametry třívrstvé struktury podle vynálezu umožňují významně snížit spotřebu materiálu. Tabulka V poskytuje přehled celkové materiálové bilance tří struktur ekvivalentní životnosti položených na stejný podklad.

- prvou strukturou je třívrstvá struktura o tloušťce 20 cm (6 cm BBTHM® + 8 cm Grave-Mousse® + 6 cm BBTHM®).
- druhou strukturou je monolitická struktura o tloušťce 25 cm provedená z BBTHM®. Je třeba upozornit, že tento typ materiálu má dnes nejlepší kvalitativní parametry, které umož- umožňují provádět tenší vrstvy.
- třetí struktura je rovněž monolitická a tvoří ji 38 cm štěrku třídy 2 s asfaltem (GB2)

TABULKA V

		Třívrstvá	BBTHM®	GB2
BBTHM® nebo GB2	Tloušťka (cm)	2 x 6	25	38
	Pokládané množství (kg/m^2) :	284	591	816
	- zrna	16	34	34
	- asfaltu	300	625	850
	- TOTALE			
Grave-Mousse®	Tloušťka (cm)	8	-	-
	Pokládané množství (kg/m^2) :	170	-	-
	- zrna	6	-	-
	- asfaltu	176	-	-
	- TOTALE			
Celkem	Tloušťka (cm)	20	+ 25 %	+ 90 %
	Pokládané množství (kg/m^2) :	454	+ 30 %	+ 80 %
	- zrna	22	+ 55 %	+ 55 %
	- asfaltu	476	+ 31 %	+ 79 %
	- TOTALE			

Vyhodnocením materiálové bilance jsou oproti klasické struktuře s nejlepšími parametry zřejmé tyto výhody :

- významná úspora nejdražšího materiálu, tzn. úspora více než poloviny asfaltu,
- úspora zrnitého materiálu (30 %) a tím navíc úspora nákladů na dopravu a vlastní provedení prací,
- omezení tloušťky, které při pokládání vozovky v prostředí aglomerací povede k úsporám při provádění zemních prací.

Příklad třívrstvé struktury byl testován ve zkušebním zařízení "Fatigue du Laboratoir Central des Ponts et Chaussées (LCPC = Ústřední laboratoř pro zkoušky na únavu mostů a vozovek) v Nantes.Cílem zkoušek bylo určit reálný způsob funkce a chování při únavě materiálu třívrstvé vozovky.

Na obr. 9 je znázorněna struktura vozovky, která byla provedena z klasického materiálu a položena obvyklým způsobem. Z tohoto hlediska je zkušební vzorek dobře reprezentativní.

Kromě obnoveného zvlhčeného štěrku (GRH) užitého do podsypné vrstvy, obsahuje třívrstvá struktura dva druhy materiálu.

a) BBTHM®

Jedná se živičnou směs se zvýšeným modulem a zrnitosti 0/10, která obsahuje 90 % zrn drceného kameniva a 10 % přírodního těženého písku. Pojivem je 5,8 % hmotnostních tvrdého asfaltu stupně 10/20.

Tato živičná směs odpovídá normě NPF 98 128, která definuje živičné směsi se zvýšeným modulem (EME třídy 2).

Hlavní mechanické vlastnosti této živičné směsi jsou :

- celkový modul při 15°C a 10 Hz :

  /E*/ = 17 800 MPa

- mez únavy (zkouška při nuceném přetvoření)

  přípustná deformace při 10^6 cyklů

  (15°C - 10 Hz) : $\varepsilon_6 = 132\ 10^{-6}$

  spád přímky únavy : b = - 0,175

b) Grave-Mousse®

Grave-Mousse® je pevný materiál, vyráběný přidáním teplého pěnového asfaltu do nezahřátého zrnitého materiálu.

Zrnitost je stejná jako u obnoveného zvlhčeného štěrku (GRH) s plnou křivkou, která je krátkodobě dobře stabilní. Celý zkušební vzorek granulometrie 0/10 obsahuje zrna drceného kameniva. Obsah asfaltu je 3,5 % hmotnostních. Vzhledem k pěnivosti a střední trvanlivosti se jedná o asfalt stupně 70/100.

Hlavní mechanické vlastnosti tohoto materiálu jsou :

- celkový modul při 15°C a 10 Hz :

$/E^*/ = 5\,500$ MPa

- mez únavy (15°C a 10 Hz)

$\varepsilon_6 = 109\ 10^{-6}$

- spád přímky únavy : b = - 0,126

Průběh zkoušky na únavu :

Zkoušky byly provedeny ve čtyřech fázích postupného zvyšování zatížení (obr. 10) :

- Prvou fází byla fáze předzátěžová. Jejím cílem bylo vytvořit přirozené a obvyklé podmínky zrání materiálu, zejména Grave-Mousse®, které bylo uspíšeno vlivem provozu. V této fázi, která byla prováděna v listopadu 1994, bylo provedeno přibližně 70 000 přejezdů spřažených kol se zatížením 4,5 tuny.

- Druhá fáze, která je hlavním testem na únavu, byla zahájena v srpnu 1995 po ukončení experimentů probíhajících na dvou jiných pásech zkušební dráhy. V této fázi se předpokládalo provést 1,5 milionu přejezdů, avšak ve skutečnosti bylo provedeno 2,1 milionu přejezdů spřažených kol se zatížením 6,5 tuny, což je zatížení 13 tun na nápravu (standardní francouzská náprava). Druhá fáze byla ukončena v listopadu 1995.

- Cílem třetí fáze, prodloužené do čtvrté fáze, bylo posoudit mezní únosnost nové struktury, která v předcházející fázi nevykazovala žádné vnější znaky únavy. V průběhu těchto dvou fází byla spřažená kola zatížena na 7,5 tuny pro 100 000 přejezdů, poté na 8,5 tuny (standardní náprava při přetížení 17 tun) pro 500 000 dalších přejezdů.

Testy byly zastaveny poté, kdy struktury absolvovaly ekvivalent 4,7 milionu přejezdů náprav se zátěží 13 tun.

V průběhu této etapy zkoušek se vyvíjely hydrické a tepelné podmínky. Tyto podmínky jsou uvedeny na obr. 11 (úroveň hladiny podzemní vody) a na obr. 12 (teploty ve struktuře).

Počet ekvivalentních náprav byl vypočítán podle vzorce :

$$Neq = \Sigma n_i \left[\frac{P_i}{6,5} \right]^{4,1/b}$$

V průběhu zkoušek na únavu bylo chování struktury sledováno měřením prováděným na povrchu (odchylky, hloubka vyjeté koleje, profil) nebo v těle struktury (přístroje na měření deformace, ovalizace).

Výsledky měření odchylky jsou uvedeny na obr. 11. Jsou změřeny ve zkouškách za provozu spřažených kol, jejichž hmotnost se měnila ze 4,5 tuny na počátku měření na 8,5 tuny na konci experimentu.

Tyto hrubé hodnoty byly úměrně korigovány tak, aby bylo dosaženo standardní francouzské zatížení dvojité montáže (6,5 tuny).

Upozorňujeme, že prvé dvě hodnoty získané měřením při zatížení 4,5 tuny jsou hodnoty zjištěné před položením druhé vrstvy BBTHM®.

Z grafu je zřejmé, že odchylka se mění s teplotou ve struktuře.

Podrobnější analýza tohoto jevu ukazuje, že tato odchylka je lineární (obr. 12) a že při změně teploty o 1°C dochází ke změně odchylky o 0,02 mm.

Korekcí změn zatížení a teploty se deflexe významně nemění s vyjímkou závěrečné fáze experimentu, kdy bylo zaznamenáno mírné zvýšení, které může být způsobeno zvýšenou úrovní hladiny podzemní vody. Na základě těchto zjištění lze usuzovat, že struktura nebyla v průběhu zkoušek na únavu poškozena.

Míra hloubky koleje a tvorby kolejí na zkušebním úseku byla zjišťována zařízením pro příčné měření profilu.

Graf na obr. 13 znázorňuje vývoj tohoto parametru v průběhu zatěžování.

Původní kolejová deformace po položení třetí vrstvy je 5 mm. Odpovídá vadě profilu, která vznikla spíše při příčném zhutňování než v důsledku provozu. Pak kolejová deformace stoupá lineráně s počtem zatížení, ale velmi pomalu, tj. o 1 mm na 1 milion přejezdů dvou spřažených kol 6,5 tuny.

Chování struktury vzhledem ke kolejové deformaci je tedy velmi uspokojivé, a to jak z hlediska stlačování asfaltových vrstev, tak vhledem k úrovni stálé deformace nosného podkladu, který je touto strukturou dobře chráněn.

K tomu je třeba dodat, že v průběhu experimentů nebylo zjištěno žádné povrchové poškození.

Při zkoušce ovalizace byla v průběhu zatěžování struktury použita karotážní mechanická metoda ke zjištění změn ve vrtu. Podle výsledků nastaly změny ve struktuře před karotáží a tedy při normálním provozu.

Byly provedeny dvě zkoušky, jedna na pojížděcím pásu, který byl případně poškozen únavou (1,645 milionu přejezdů), druhá mimo tento pás. Druhá zkouška reprezentovala funkci struktury před jakýmkoli poškozením.

Graf takto stanovených deformací (obr. 14), týkající se průběhu zkoušky na nepoškozené struktuře, znázorňuje téměř shodný průběh jako graf vypočítaný pomocí numerického modelu.

Grafy vztahující se k průběhu zkoušky na pojížděcím pásu (obr. 15) ukazují na prudké změny ve spodní polovině střední vrstvy. Tento typ profilů naznačil, že na této úrovni je kluzná plocha (později provedený výřez ve struktuře tuto hypotézu potvrdil).

Modelování tohoto jevu prostou kluznou styčnou plochou vede k nadměrným deformacím. Dobrá shoda byla dosažena modelováním tohoto poškozeného pásu tenkou vrstvou o tloušťce 1,5 mm a malé tuhosti 500 MPa, která téměř odpovídá tuhosti netříděného štěrku. Tyto úpravy jsou znázorněny na obr. 16.

V průběhu zkoušek s porušením byla karotáž a odsekávání ve strukuře prováděno na konci fáze 2.

Karotáže potvrdily porušení spodní části střední vrstvy v zóně provozu. Naopak karotážemi provedenými mimo tuto zónu nebylo porušení zjištěno.

Toto zjištění potvrdily také příčné výseky. Ty umožnily opticky zjistit plochu poškození a prokázaly, že se vyskytují pouze na pojížděcím pásu.

Toto konstatování naznačuje, že se jedná o porušení vlivem únavy Grave-Mousse® a nikoli defektu vzniklého předtím.

Protože je povrch lomu horizontální, není výsledkem únavy prohýbáním, která způsobí vertikální popraskání. Mohl by být spíše důsledkem únavy vlivem smyku. Výpočet smykového napětí ve střední vrstvě tuto hypotézu potvrzuje.

Grafy na obr. 17 skutečně ukazují, že smykové napětí pod spřaženými koly dosahuje hodnotu 0,2 MPa. Této hodnotě odpovídá deformace řádově 70.10^{-6} (pro modul 4000 MPa a Poissonův poměr 0,35), která je významná pro tento materiál, jehož přípustná hodnota pro 1 milion cyklů je :

$$\varepsilon_6 = 109\ 10^{-6}$$

Navíc, toto maximum je relativně konstantní po celé tloušťce střední vrstvy, zatímco vertikální napětí se silně zmenšuje s hloubkou, což je výhodné z hlediska tvoření trhlin ve spodní části této vrstvy.

Tato třívrstvá struktura vykazuje málo obvyklý způsob porušení, který se odlišuje od výše popsaného způsobu porušení. Jedná se o některý z možných způsobů procesu, který je obecně znázorněn na obr. 18.

Na závěr je třeba uvést, že výše popsané zkoušky ukázaly, že je možné snižovat cenu struktury vozovky pečlivou volbou hmot podle jejich mechanických vlastností.

Teoretický přístup umožnil definovat vztah tuhosti hmot k vytvoření optimální funkce struktury ($E_s = E_i$) a $10 > E_s/E_m > 2$).

Zkoušky na zkušební dráze pro únavu materiálu v Nantes umožnily ověřit funkci takové struktury, která byla provedena ve skutečné velikosti obvyklými prostředky. Potvrdilo se, že funkce struktury je shodná s předpoklady získanými v průběhu modelování, přičemž tato struktura a prokázala výbornou odolnost v provozu.

V závěrečné fázi experimentů nevykazovala struktura zkušební dráhy žádná porušení, i když byla vystavena 2,7 milionu přejezdů, z nichž 600 000 při přetížení, které převyšovalo francouzskou normu zatížení nápravy. Ekvivalentní celkový provoz odpovídá přibližně 5 milionům náprav o 13 tunách.

02.08.99

1091-99

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Struktura vozovky, jejíž kryt nad zemním tělesem tvoří tři na sebe položené a slepené vrst-vrstvy provedené ze živičných materiálů, přičemž tuto strukturu tvoří

spodní vrstva položená na zemním tělese a proložená případně stabilizační vrstvou, když tloušťka H_i této spodní vrstvy je

$$4 \text{ cm} \leq H_i \leq 10 \text{ cm}$$

a modul pružnosti E_i,

střední vrstva, jejíž tloušťka H_m je

$$4 \text{ cm} \leq H_m \leq 20 \text{ cm}$$

a modul pružnosti E_m $2000 \text{ MPa} < E_m < 8\,000 \text{ MPa}$,

horní vrstva, jejíž tloušťka H_s je

$$4 \text{ cm} \leq H_s \leq 10 \text{ cm}$$

a modul pružnosti E_s,

když uvedené moduly pružnosti těchto vrstev odpovídají následujícím poměrům nerovnosti:

$$2 < \frac{E_i}{E_m} < 10 \quad \text{a} \quad 2 < \frac{E_s}{E_m} < 10$$

2. Struktura vozovky podle nároku 1, v y z n a č u j í c í s e t í m, že moduly pružnosti spodní vrstvy a horní vrstvy jsou alespoň téměř shodné.

3. Struktura vozovky podle nároku 2, v y z n a č u j í c í s e t í m, že moduly pružnosti spodní podní vrstvy a horní vrstvy jsou shodné.

4. Struktura vozovky podle kteréhokoli z nároků 1 až 3, v y z n a č u j í c í s e t í m, že tloušťka spodní vrstvy H_i a tloušťka horní vrstvy H_s jsou alespoň téměř shodné.

5. Struktura vozovky podle nároku 4, v y z n a č u j í c í s e t í m, že tloušťka spodní vrstvy H_i a tloušťka horní vrstvy H_s jsou shodné.

6. Struktura vozovky podle kteréhokoli z nároků 1 až 5, v y z n a č u j í c í s e t í m, že uvedené spodní a horní vrstvy jsou provedny ze štěrku a/nebo písku upraveného/upravených uhlovodíkovým pojivem.

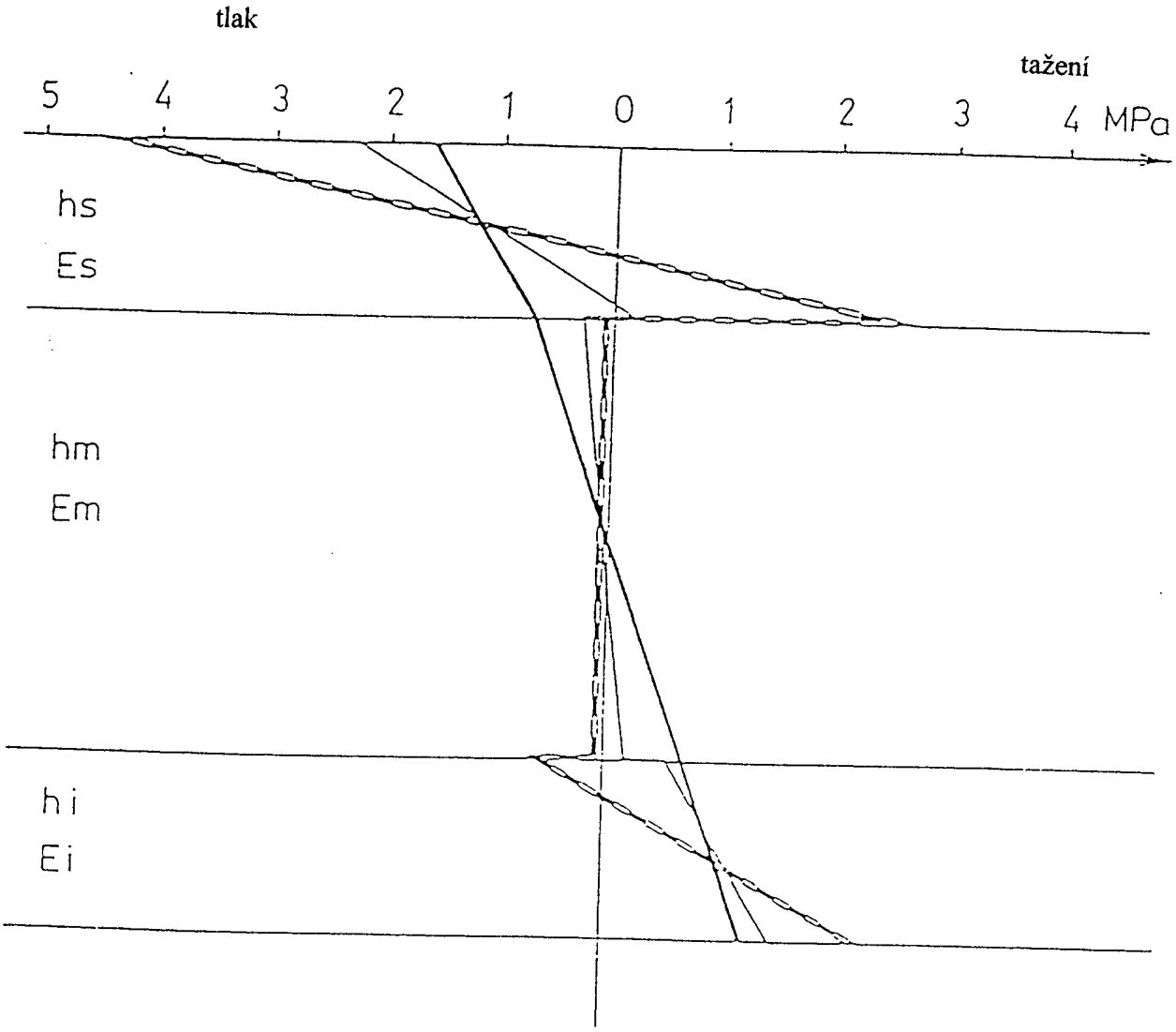
7. Struktura vozovky podle nároku 6, v y z n a č u j í c í s e t í m, že spodní a horní vrstvy jsou provedeny užitím asfaltového betonu se zvýšeným modulem.

8. Struktura vozovky podle kteréhokoli z nároků 1 až 7, v y z n a č u j í c í s e t í m, že střední vrstva je provedena ze štěrku a/nebo písku upraveného/upravených uhlovodíkovým nebo hydraulickým pojivem nebo směsí takových pojiv.

9. Struktura vozovky podle kteréhokoli z nároků 1 až 8, v y z n a č u j í c í s e t í m, že uvedené vrstvy jsou mezi sebou slepeny vložením záchytné vrstvy nebo impregnační vrstvy a záchytné vrstvy.

10. Struktura vozovky podle kteréhokoli z nároků 1 až 8, v y z n a č u j í c í s e t í m, že tuto strukturu překrývá obrusná vrstva.

02.08.99
1091-99



hi = hs = 6 cm

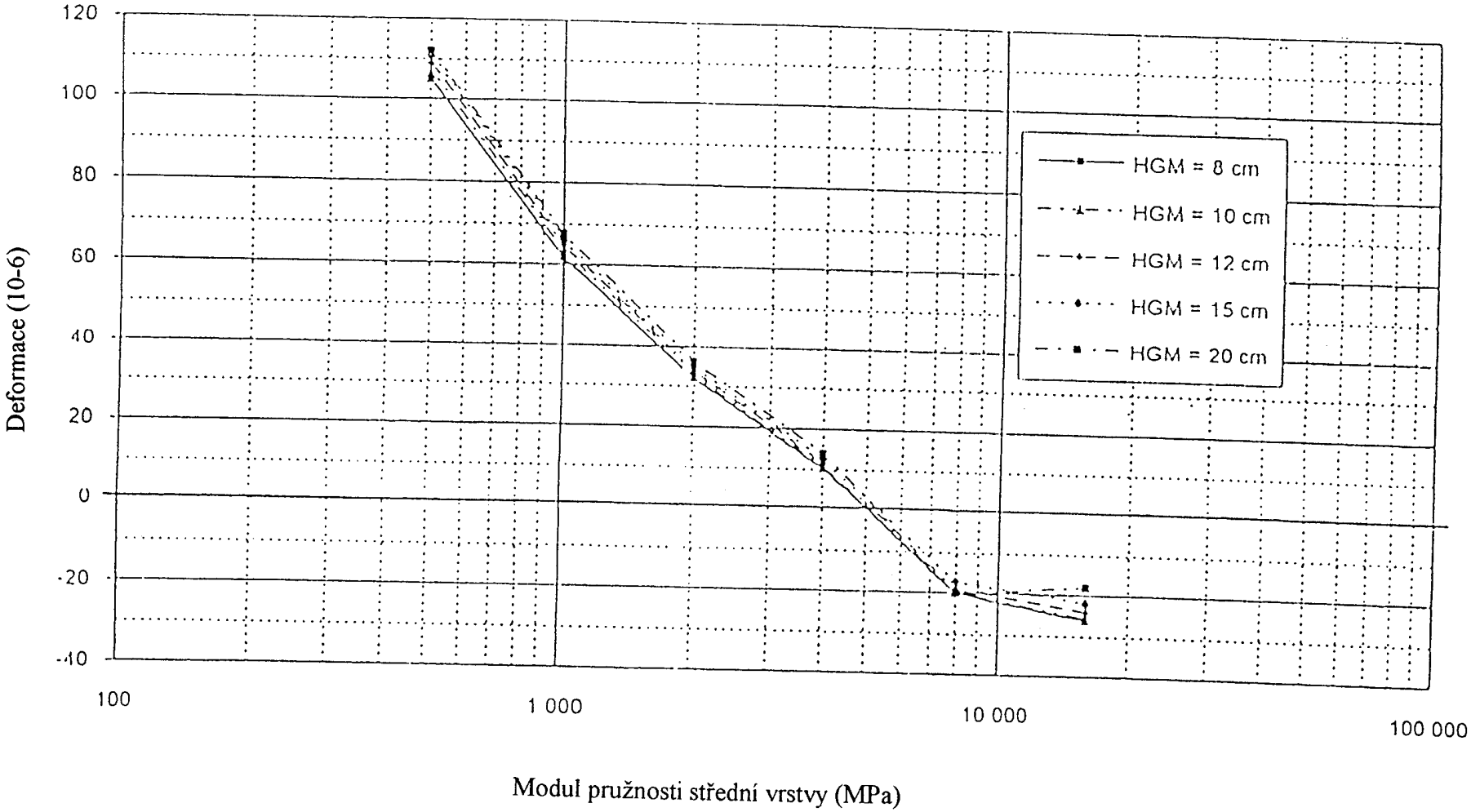
Ei = Es = 17800 Mla

Es / Em = 1 ——————

Es / Em = 4 ——————

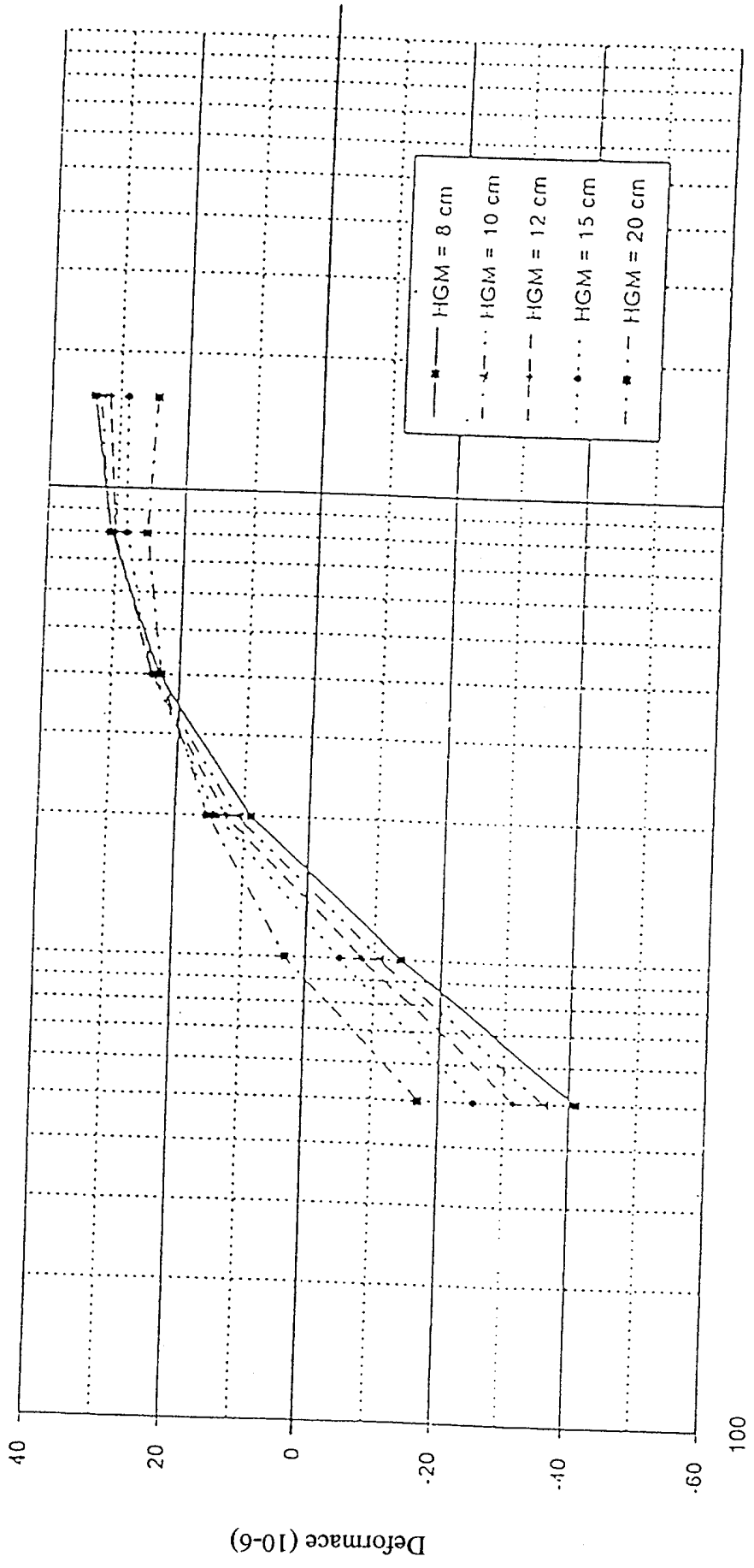
Es / Em = 35 ═══════

OBR. 1

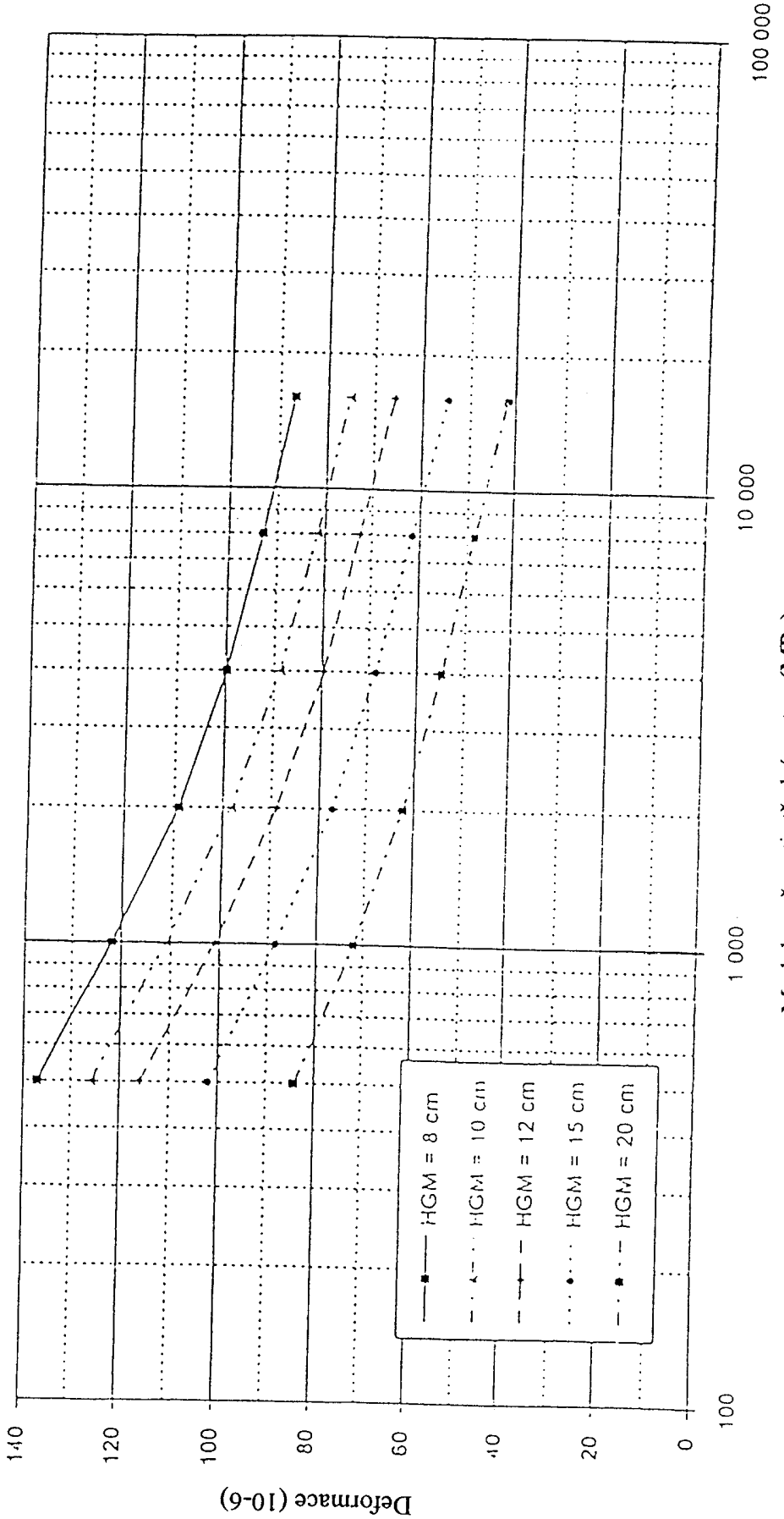

120
100
80
60
40
20
0
-20
-40
Deformace (10-6)
100
1 000
10 000
100 000
Modul pružnosti střední vrstvy (MPa)
HGM = 8 cm
HGM = 10 cm
HGM = 12 cm
HGM = 15 cm
HGM = 20 cm

OBR. 2

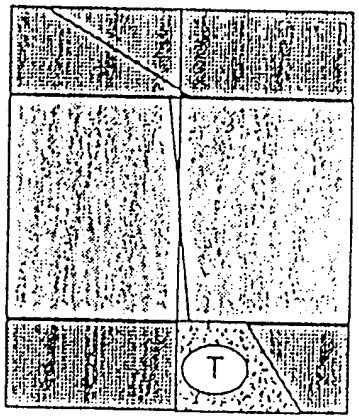
02.08.99


HGM = 8 cm
HGM = 10 cm
HGM = 12 cm
HGM = 15 cm
HGM = 20 cm
40
20
0
-20
-40
-60
100
10 000
Deformace (10-6)
Modul pružnosti střední vrstvy (MPa)

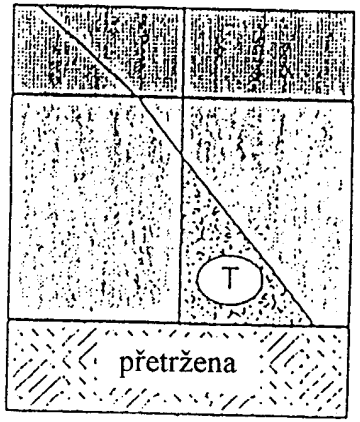
OBR. 3


Deformace (10-6)
140
120
100
80
60
40
20
0
100
1 000
10 000
100 000
Modul pružnosti střední vrstvy (MPa)
HGM = 8 cm
HGM = 10 cm
HGM = 12 cm
HGM = 15 cm
HGM = 20 cm

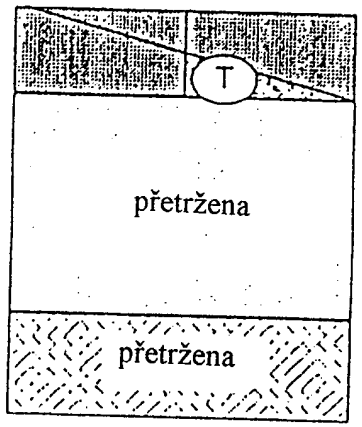
OBR. 4



OBR. 5a

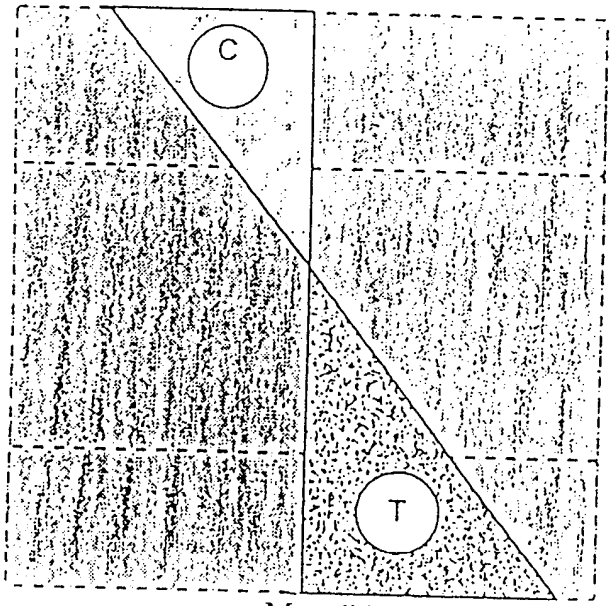


OBR. 5b



OBR. 5c

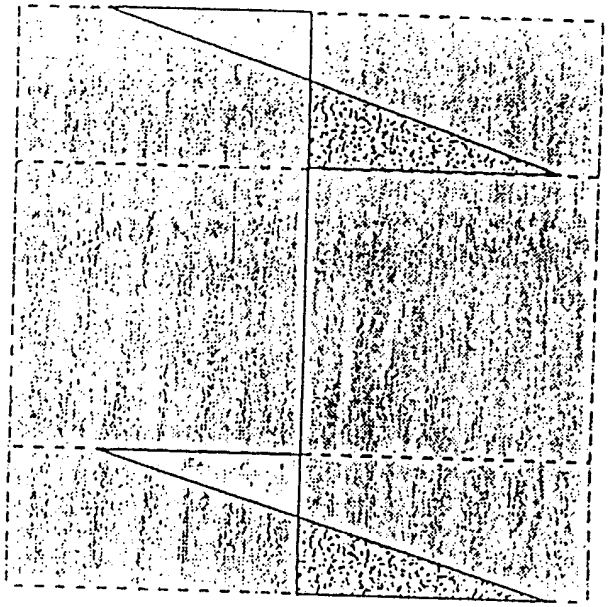
1091-99



Monolitická struktura

jediná fáze poškození

OBR. 6a

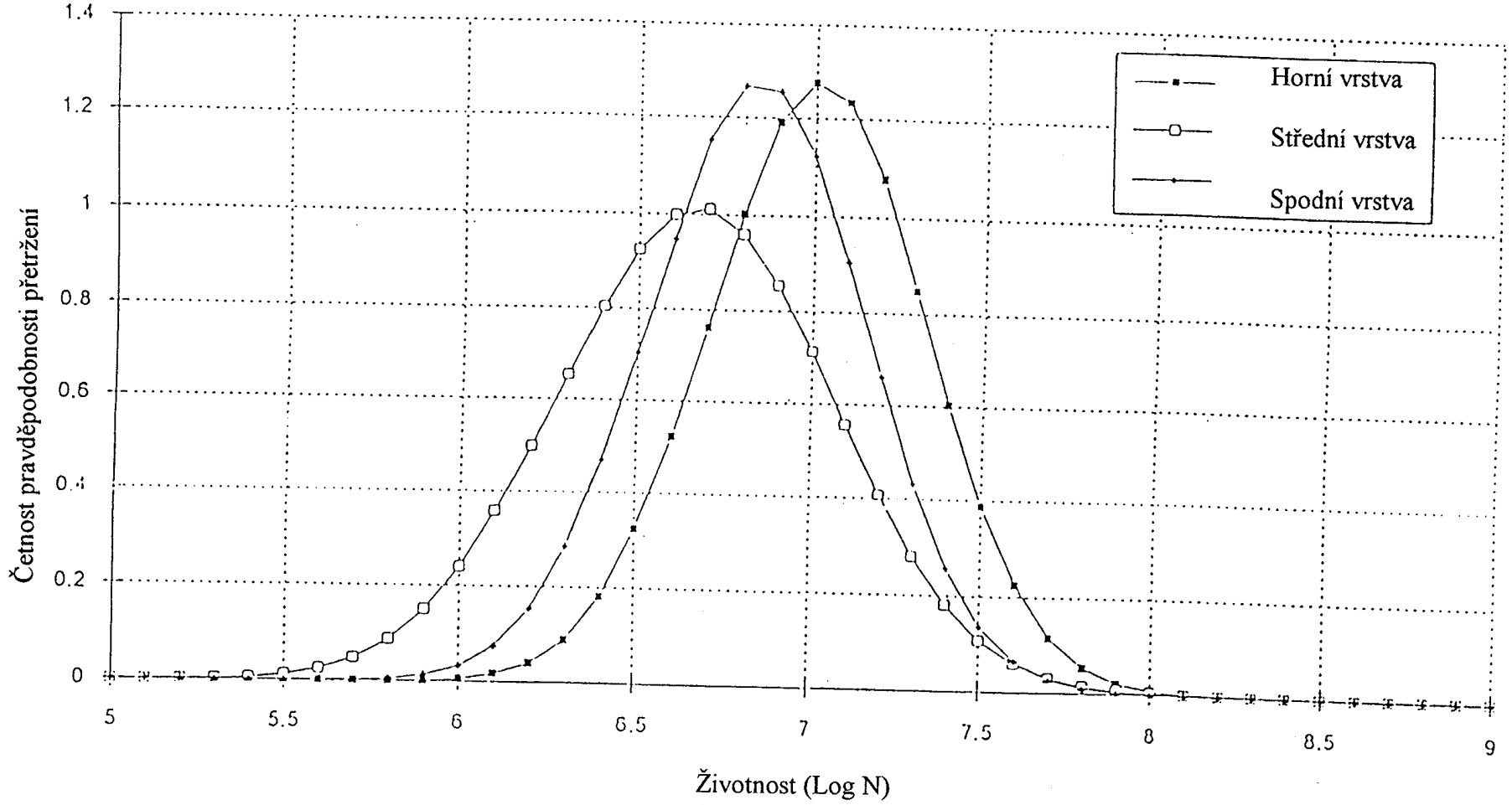


Obrácená struktura

obě vrstvy se poškodí současně

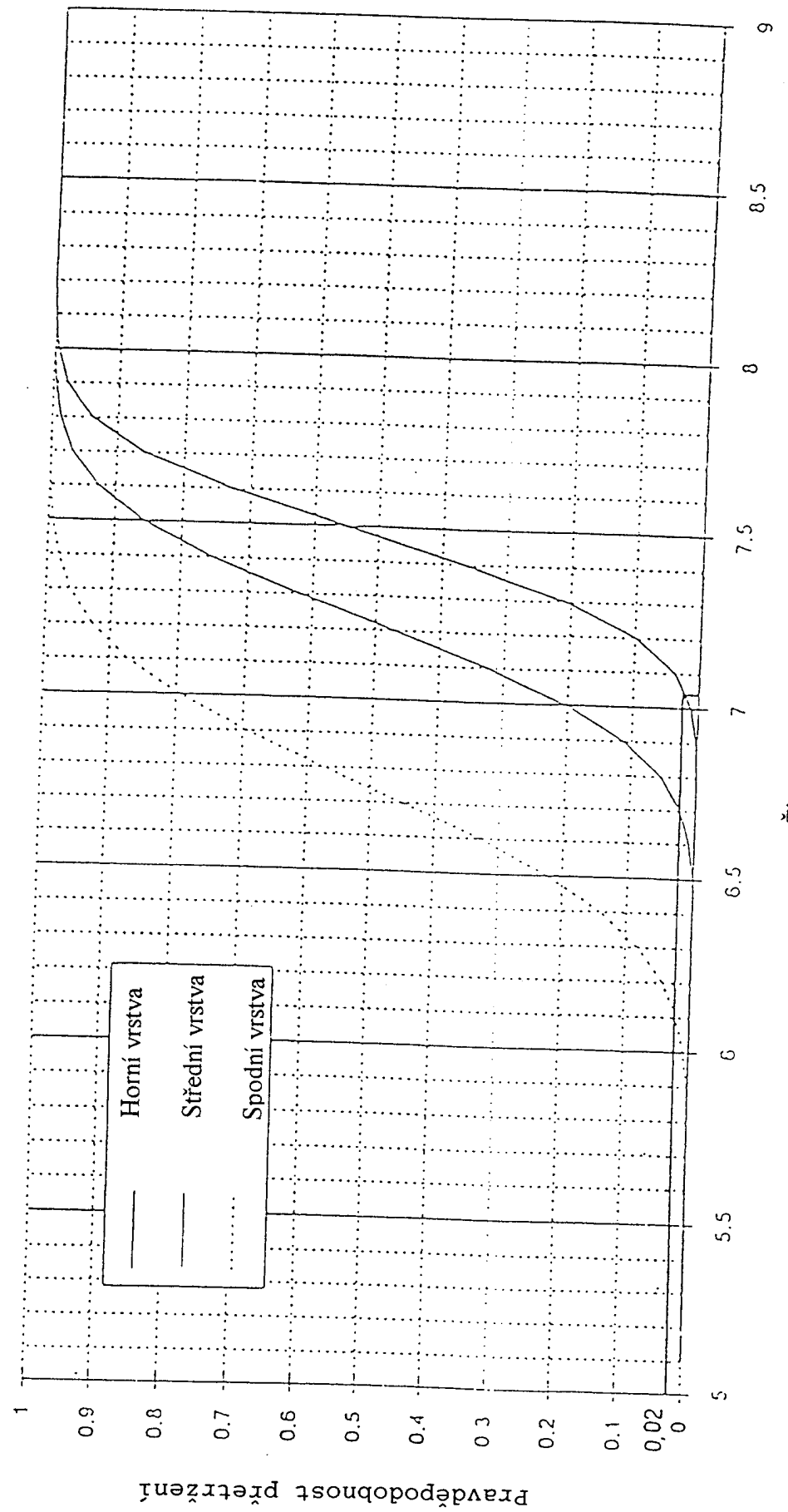
OBR. 6b

1091-99

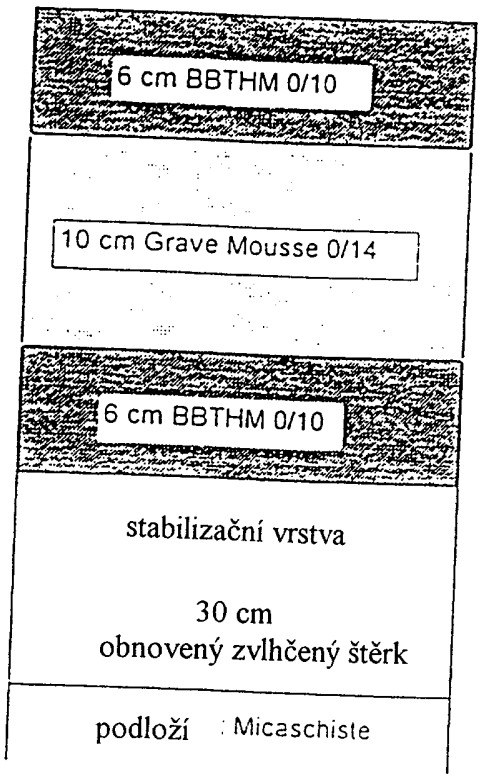


OBR. 7

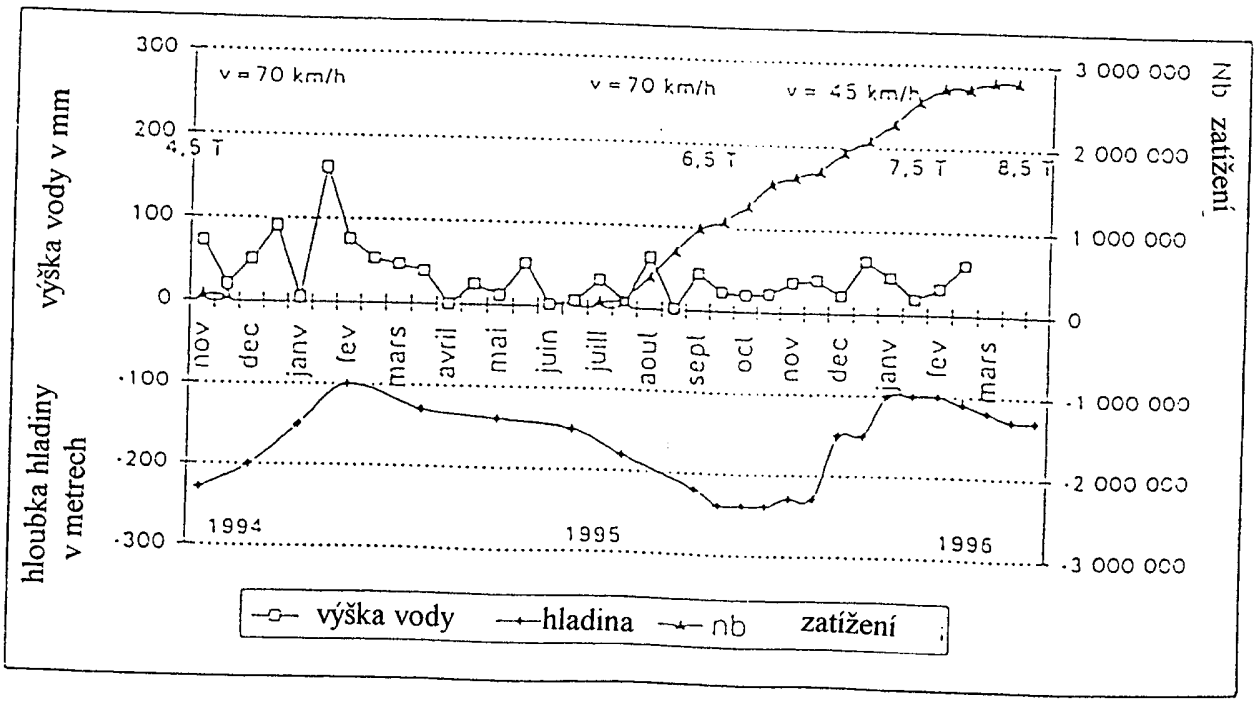
PV 1991-99


Pravděpodobnost přetržení
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,02
0
5
5,5
6
6,5
7
7,5
8
8,5
9
Životnost (Log N)
Horní vrstva
Střední vrstva
Spodní vrstva

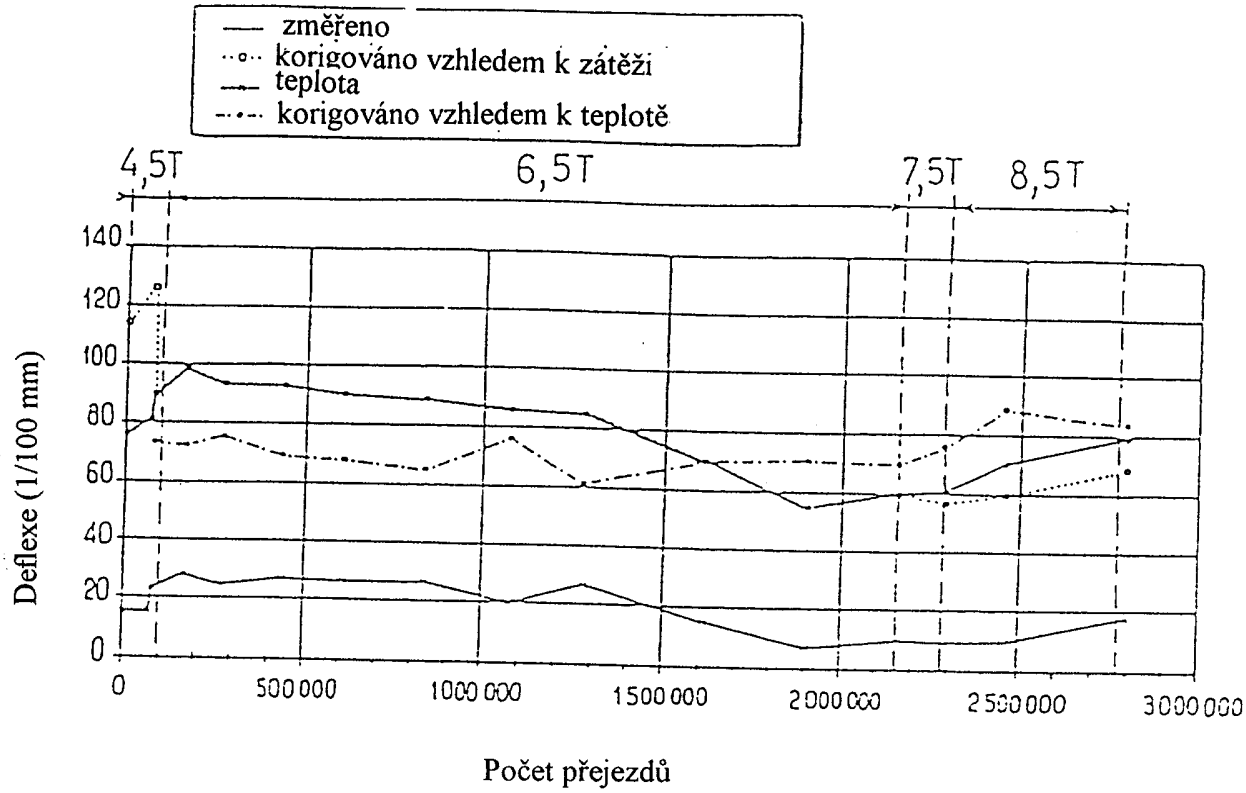
OBR. 8


6 cm BBTHM 0/10
10 cm Grave Mousse 0/14
6 cm BBTHM 0/10
stabilizační vrstva
30 cm
obnovený zvlhčený štěrk
podloží : Micaschiste

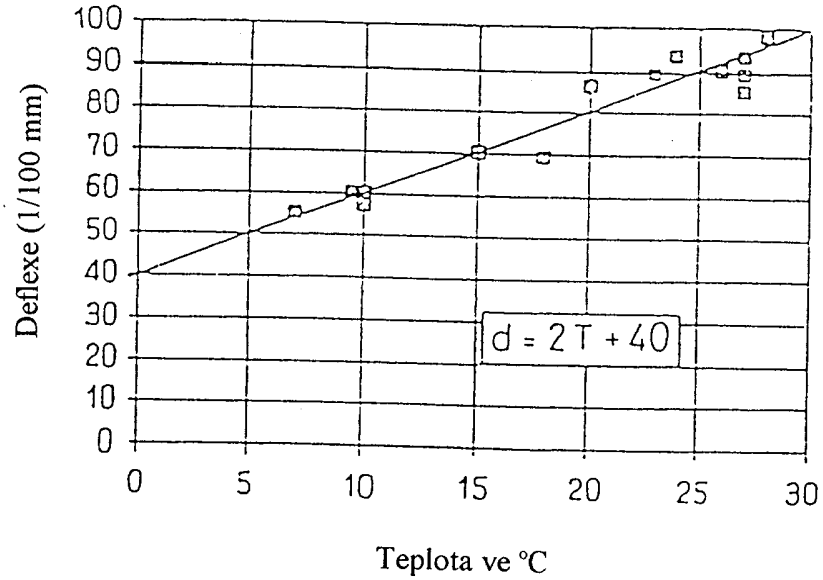
OBR. 9


v = 70 km/h
v = 70 km/h
v = 45 km/h
4,5 T
6,5 T
7,5 T
8,5 T
300
200
100
0
-100
-200
-300
3 000 000
2 000 000
1 000 000
0
-1 000 000
-2 000 000
-3 000 000
nov
dec
janv
fev
mars
avril
mai
juin
juill
aout
sept
oct
nov
dec
janv
fev
mars
1994
1995
1996
výška vody v mm
hloubka hladiny v metrech
Nb zatížení
výška vody
hladina
nb zatížení

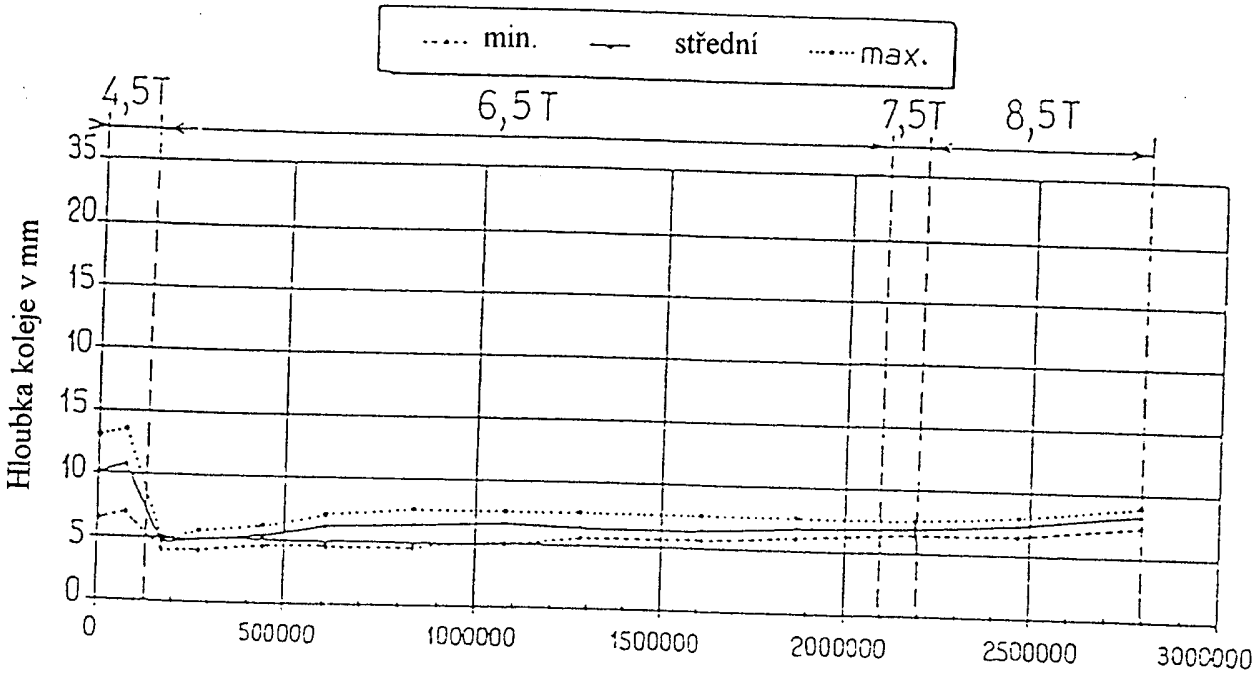
OBR. 10


změřeno
korigováno vzhledem k zátěži
teplota
korigováno vzhledem k teplotě
4,5T
6,5T
7,5T
8,5T
Deflexe (1/100 mm)
0
20
40
60
80
100
120
140
0
500 000
1000 000
1500 000
2000 000
2500 000
3000 000
Počet přejezdů

OBR. 11

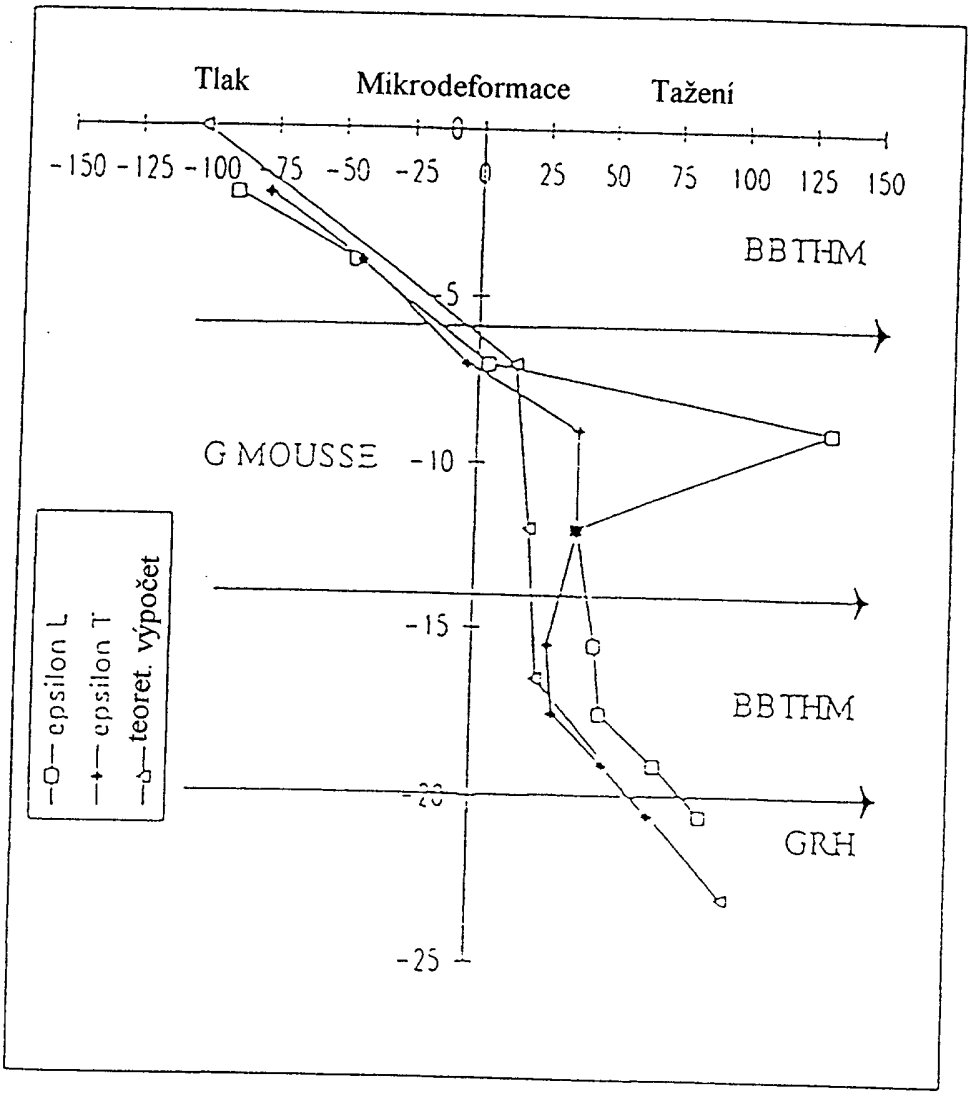

Deflexe (1/100 mm)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
d = 2 T + 40
0
5
10
15
20
25
30
Teplota ve °C

OBR. 12


min.
střední
max.
4,5T
6,5T
7,5T
8,5T
Hloubka koleje v mm
35
20
15
10
15
10
5
0
0
500000
1000000
1500000
2000000
2500000
3000000
Počet přejezdů

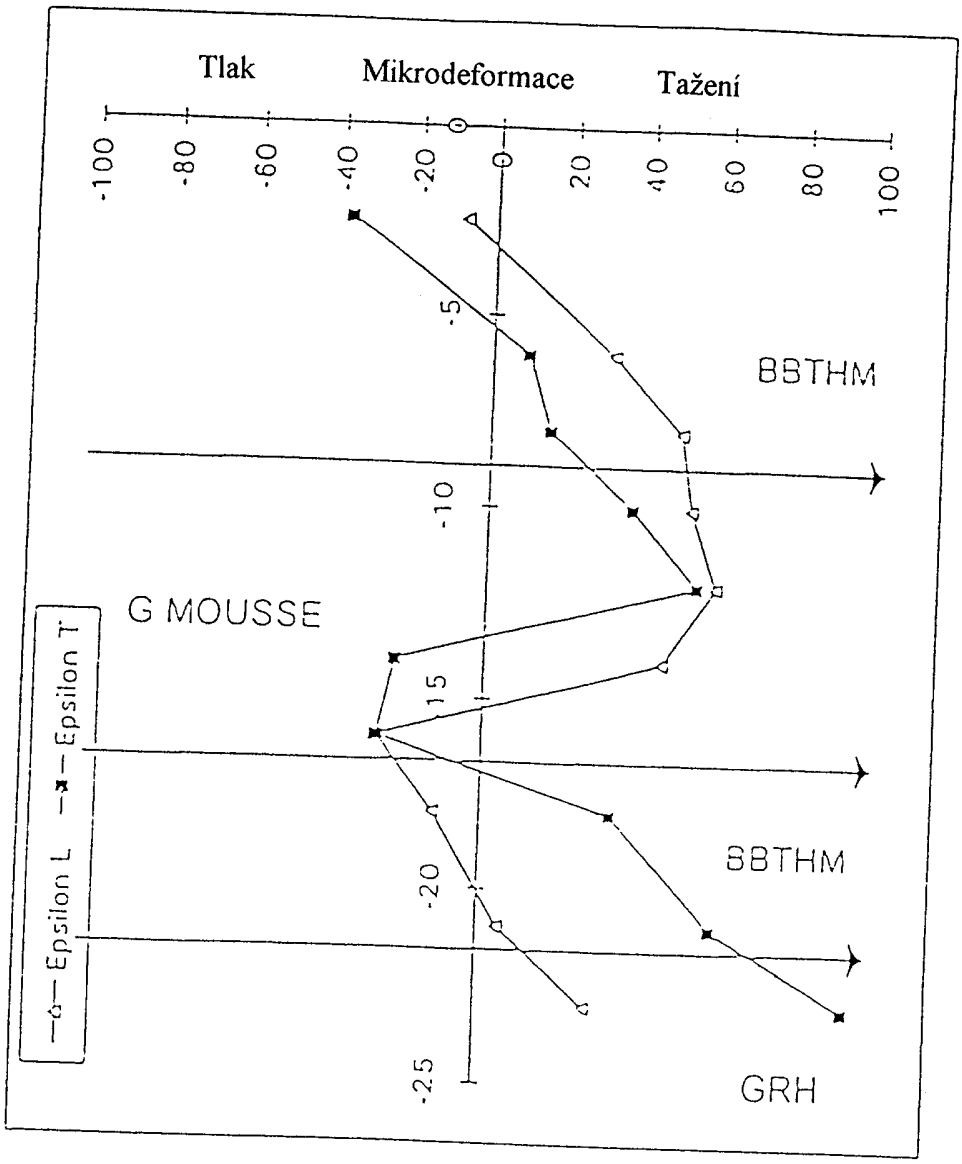
OBR. 13

02.08.99



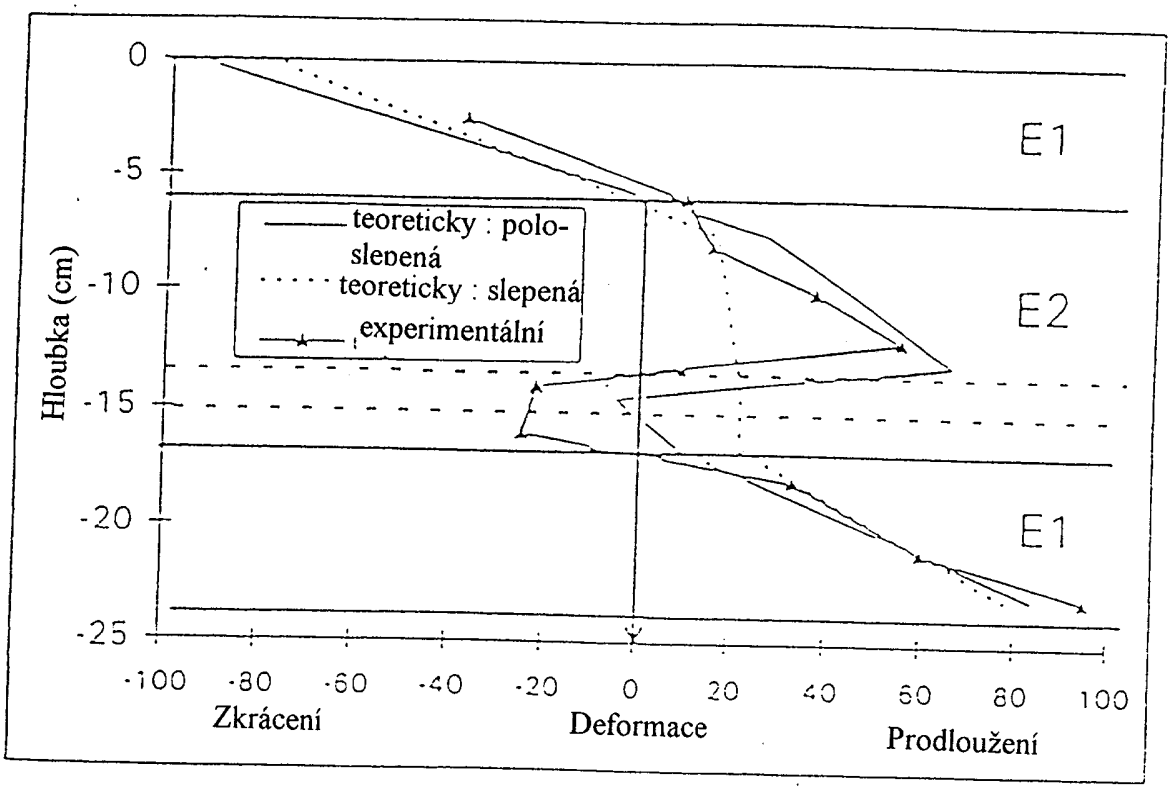
OBR. 14

02.08.99

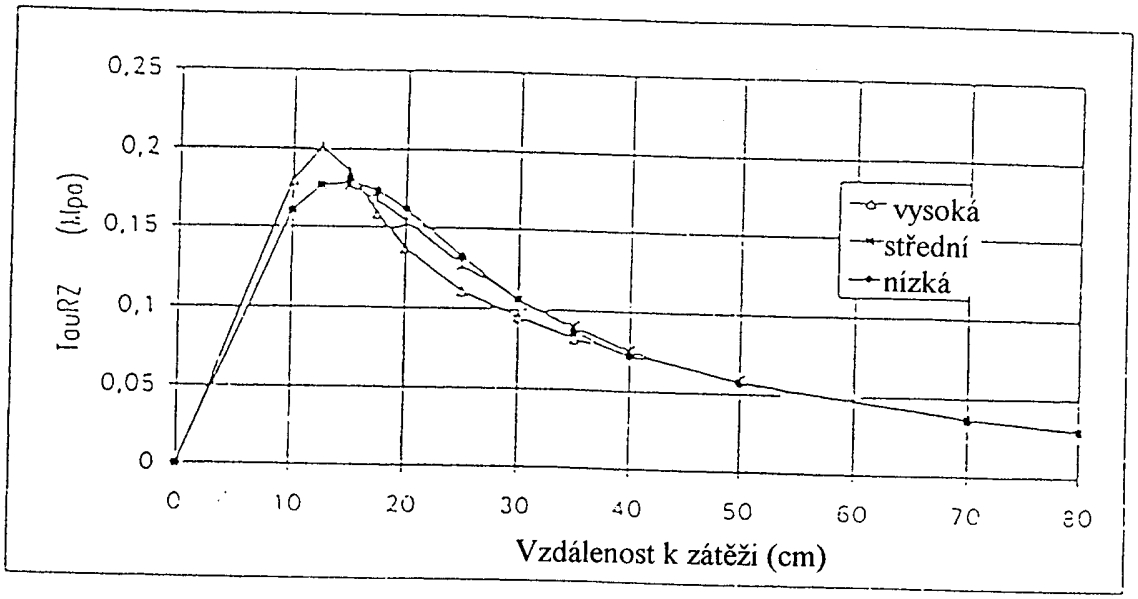


OBR. 15

1091-99
02.08.99



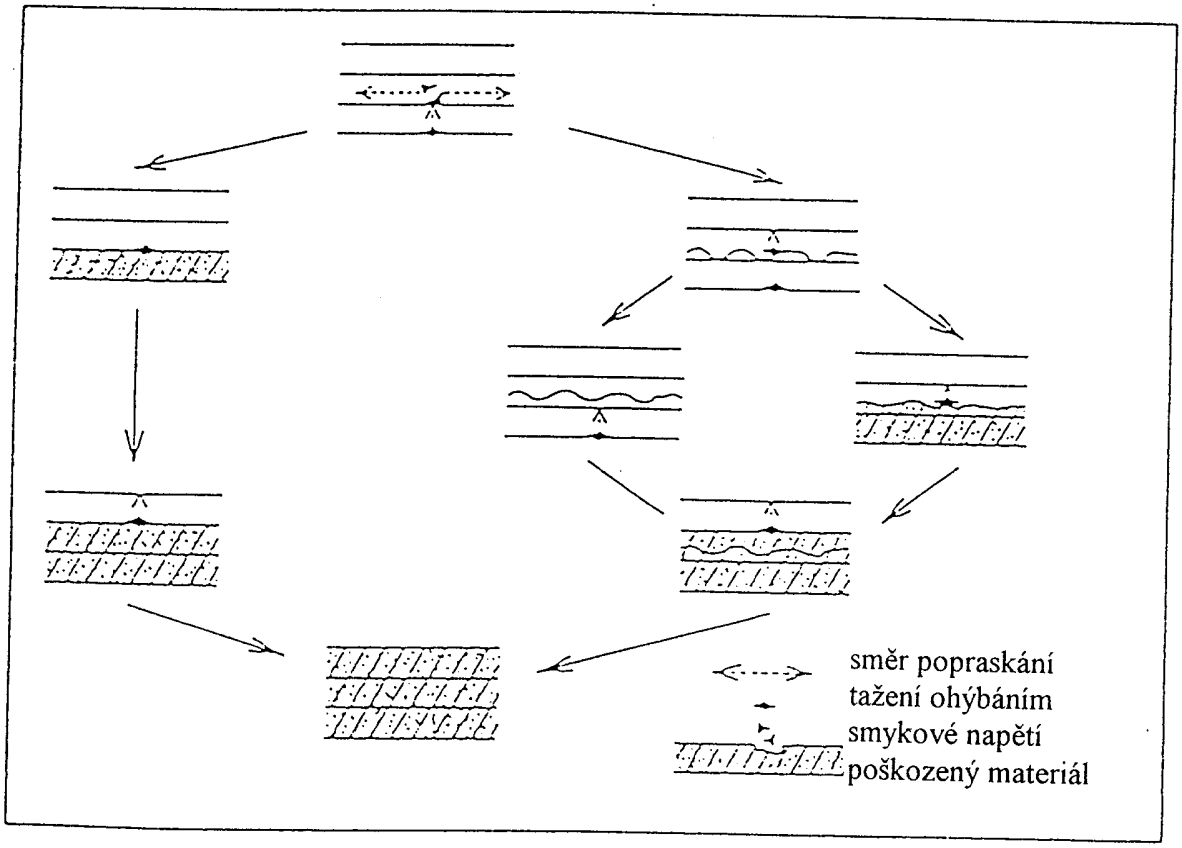
OBR. 16



OBR. 17

02.08.99

1091-99



OBR. 18