

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

295 040

(13) Druh dokumentu: **B6**

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

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

- (21) Číslo přihlášky: **1999-1091**
(22) Přihlášeno: **02.10.1997**
(30) Právo přednosti: **02.10.1996 FR 1996/9612001**
(40) Zveřejněno: **15.03.2000**
(Věstník č. 03/2000)
(47) Uděleno: **10.03.05**
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: **18.05.2005**
(Věstník č. 5/2005)
(86) PCT číslo: **PCT/FR1997/001740**
(87) PCT číslo zveřejnění: **WO 1998/014663**

(73) Majitel patentu:
ENTREPRISE JEAN LEFEBVRE, Neuilly-sur-Seine,
FR

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

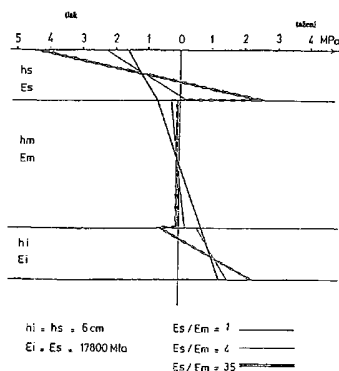
(74) Zástupce:
PATENTSERVIS PRAHA a.s., Jivenská 1, Praha 4,
14000

(54) Název vynálezu:
Konstrukce vozovky

(57) Anotace:
Řešení se týká konstrukce vozovky, jejíž kryt nad zemním tělesem tvoří tři na sebe položené a spojené vrstvy provedené ze živých materiálů. Tuto konstrukci tvoří spodní vrstva položená na zemním tělese, která je případně proložena stabilizační vrstvou. Tloušťka (H_i) 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 (E_m) pružnosti $2000 \text{ MPa} < E_m < 8000 \text{ MPa}$ a horní vrstva, jejíž tloušťka (H_s) je $4 \text{ cm} \leq H_s \leq 10 \text{ cm}$ a modul (E_s) pružnosti. Moduly (E_i , E_m , E_s) pružnosti těchto vrstev odpovídají poměrům nerovnosti

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

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



CZ 295040 B6

Konstrukce vozovky

Oblast techniky

5

Vynález se týká konstrukce vozovky, jejíž kryt nad zemním tělesem tvoří tři na sebe položené a spojené vrstvy provedené ze živičných materiálů, přičemž tuto konstrukci tvoří spodní vrstva položená na zemním tělese, která je případně proložena stabilizační vrstvou.

10

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.

15

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 konstrukce je provedena s živičným pojivem.

20

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

25

VRSTVY	TLI OUŠŤKA	MATERIÁLY	MODUL PRUŽNOSTI
Obrusná	6 cm	Živičná směs	5400 Mpa
Horní vrstva podkladu	20 cm	(GRH) Štěrka Obnovený Zvlhčený 0/20	360 Mpa
Spodní vrstva podkladu	25 cm	Směs neupravená 0/31,5	120 Mpa
Zemní těleso		zemina	20 MPa

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

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

30

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

35

V praxi tedy rozlišujeme:

- konstrukce (skupina F1 v tabulce II), jejichž horní a spodní vrstva podkladu mají stejnou pružnost. Jsou vytvořeny převážně ze stejných nebo podobných materiálů,

40

- 5 – konstrukce (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).

Z konstrukčního hlediska jsou horní a spodní vrstvy podkladu nejsilnější a zajišťují trvanlivost konstrukce. Kryt vozovky zajišťuje uživatelům bezpečnost a pohodlí.

Typ konstrukce	Polotuhá	Beton	Asfaltová silná	Smíšená	Obrácená
Obrusná vrstva	Živičná směs	Cementový beton	Živičná směs	Živičná směs	Živičná směs
Horní vrstva podkladu	MTLH	Cementový beton	Štěrka/asfalt	Štěrka/asfalt	GRH
Spodní vrstva podkladu	MTLH	Hubený beton	Štěrka/asfalt	MTLH	MTLH
Funkce	F1	F1	F1	F2	F2

- 10 GRH: Obnovený vlhčený štěrka
 F1: Konstrukce $E_{CB} \geq E_{CF}$
 F2: Konstrukce $E_{CB} \leq E_{CF}$

Poškození vozovky může nastat v podstatě ve dvou odlišných případech:

- 15 a) únavou, která je způsobena opakovaným prohýbáním nejvíce namáhané upravené vrstvy, kterou je převážně spodní vrstva podkladu a/nebo
 20 b) soustava deformací, která je výsledkem značného vertikálního tlaku na neupravené materiály, zejména na zemní těleso.

25 Aby nedošlo k poruše vozovky, spočívá stanovení rozměrů její konstrukce 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 konstrukce.

Podstata vynálezu

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

35 Konstrukci 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 konstrukce silničnímu provozu se dosahuje zvýšením přípustného ohybového momentu zvýšením ramena páky systému, tj. zvětšením tloušťky střední vrstvy, která je provedena z levnějšího materiálu.

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

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

5
$$4 \text{ cm} \leq H_i \leq 10 \text{ cm}$$
 a modul E_i pružnosti

- střední vrstva, jejíž tloušťka H_m je:

10
$$4 \text{ cm} \leq H_m \leq 20 \text{ cm}$$
 a modul E_m pružnosti je $2000 \text{ MPa} < E_m < 8000 \text{ MPa}$

- horní vrstva, jejíž tloušťka H_s je:

15
$$4 \text{ cm} \leq H_s \leq 10 \text{ cm}$$
 a modul E_s pružnosti

Uvedené moduly pružnosti těchto vrstev odpovídají následujícím poměrům nerovnosti

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

20 Pod pojmem „živičné materiály“ se 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.

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

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

Moduly pružnosti horní a spodní vrstvy jsou podle doplňkového znaku vynálezu v podstatě shodné a výhodněji zcela shodné.

35 Jiným znakem vynálezu je v podstatě shodná tloušťka spodní vrstvy a horní vrstvy.

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

40 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^(R) (živičný beton s velmi vysokým modulem).

45 Podle jiného výhodného znaku vynálezu je střední vrstva konstrukce provedena ze štěrku a/nebo písku upraveného uhlovodíkovým pojivem, hydraulickým pojivem nebo směsí takových pojiv. Příkladem takového pojiva GRAVE-MOUSSE^(R), 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

ných vrstev za tepla a zvláštní složení vrstev povede k jejich dostatečnému spojení, aniž by byla nutná aplikace přídavných vrstev jiných hmot.

5 Spojení uvedených vrstev může být výhodně provedeno vložením záchytné vrstvy nebo vnutném případě vložením impregnační a záchytné vrstvy.

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

10 Konstrukce vozovky může být případně překrytá 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.

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

20 Posuzování a vyhodnocování funkce konstrukce bylo prováděno nejprve na základě teoretických studií, poté zkouškami na modelu a matematickými výpočty.

20 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.

25 Parametry modelu třívrstvé konstrukce na podloží nekonečné tloušťky jsou následující:

- spodní a horní vrstva jsou malé tloušťky:

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

30

- tloušťka střední vrstvy je proměnná:

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

35

- rozdíl modulu

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

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

40

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

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

Přehled obrázků na výkresech

Vynález bude blíže osvětlen pomocí výkresů, na kterých znázorňuje obr. 1 diagramy napětí a deformací podél vertikální osy podle zatížení pro různé poměry E_s/E_m , obr. 2 deformaci u základny horní vrstvy, obr. 3 deformaci v základní vrstvě na úrovni horního vlákna, obr. 4 deformaci v základní vrstvě na úrovni spodního vlákna, obr. 5a první fázi procesu ničení konstrukce vozovky, a to únavu základní vrstvy třívrstvé konstrukce, obr. 5b druhou fázi procesu ničení konstrukce vozovky, a to únavu střední vrstvy, obr. 5c třetí fázi procesu ničení konstrukce vozovky, a to únavu horní vrstvy, obr. 6a monolitickou konstrukci vozovky, obr. 6b inverzní konstrukci vozovky, obr. 7 pravděpodobnost porušení každé ze tří vrstev, obr. 8 pravděpodobnost porušení vrstvené konstrukce vozovky, obr. 9 konstrukci vozovky, obr. 10 výsledky únavového testu provedeného ve čtyřech fázích s progresivně se zvyšujícím zatížením obr. 11 hydrické podmínky během testu, obr. 12 teploty ve struktuře konstrukce vozovky během testu, obr. 13 graf, jak se tyto parametry měnily se zatížením, obr. 14 diagram představující deformaci nepoškozené konstrukce vozovky, obr. 15 diagram získaný během testu v oblasti pojezdčího pásu, obr. 16 nastavení získaná modelováním degradované oblasti s použitím tenké vrstvy (1,5 cm) s nízkou tuhostí (500 MPa), obr. 17 graf představující hodnoty střížného napětí ve střední vrstvě a obr. 18 celkový proces poškození třívrstvé konstrukce vozovky.

20

Příklady provedení vynálezu

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

25

– Jestliže je konstrukce provedena ze stejného materiálu ($E_s / E_m = 1$), je průběh diagramů téměř lineární. Ohýbání se projevuje tlakem na povrch a tahem na spodní část.

30

– Jestliže rozdíl modulu je vyšší ($E_s / E_m = 35$), např. vložení neupraveného štěrku mezi obě vrstvy se zvýšeným modulem (BBTHM^(R)), potom obě vrstvy, horní i spodní, se prohýbají nezávisle na sobě, což má za následek:

35

– výrazné tažení na základně horní vrstvy a mírné zvýšení ohybového napětí na základně spodní vrstvy.

– omezení významu střední vrstvy a zejména její tloušťka E_m . Zvětšení tloušťky E_m střední vrstvy výrazněji neomezí ohybové napětí na spodní ploše horní vrstvy.

40

– V případě středních hodnot ($E_s / E_m = 4$), diagram namáhání probíhá stejně jako výše ve tvaru lomených čar, ale se třemi základními rozdíly, kterými jsou:

45

– 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).

50

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

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

55

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 šterku obrácené konstrukce) je deformace vyšší než $100 \cdot 10^{-6}$, což je kritický bod pro určení rozměrů.

10

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 H_s horní vrstvy. Takové řešení je nákladné, protože se jedná o materiál s nejlepšími kvalitativními parametry.

15

Při nízkých hodnotách poměru E_s/E_m shledáváme chování jako u klasických konstrukcí, které se vyznačují tím, že horní vrstva 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.

20

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

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

25

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

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

30

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

35

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 pružnosti, které vedou k deformacím tlakem nebo slabým tažením jsou:

40

$E_m > 2000$ MPa pro horní vlákno

$E_m < 800$ MPa pro spodní vlákno

45

Z předcházející analýzy vyplývá, že vhodné rozpětí pro modul E_m pružnosti 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

Rozměry třívrstvé konstrukce mohou být stanoveny následně.

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

5

– únava spodní vrstvy třívrstvé konstrukce (obr. 5a):

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

10

– únava střední vrstvy (obr. 5b):

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

15

– únava horní vrstvy (obr. 5c):

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

20

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

25

Tato zvláštnost se nikde nevyskytuje u klasických konstrukcí. Jako příklad můžeme posoudit oba extrémní příklady:

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

30

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

35

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

40

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

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

45

6 cm BBTHM[®] + 8 cm GM + 6 cm BBTHM[®] na základu PF2

GM označuje šterk upravený asfaltovou pěnou, v tomto případě tedy GRAVE-MOUSSE[®].

Modelování tří fází je uvedeno v tabulce III:

VRSTVA	1. FÁZE	2. FÁZE	3. FÁZE
HORNÍ	17 800	17 800	17 800
STŘEDNÍ	5 500	5 500	1000 (*)
SPODNÍ	17 800	3 500 (*)	3 500 (*)

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

5 Vypočítané kritické hodnoty deformací jsou:

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

Únavové charakteristiky potřebné k výpočtům jsou uvedeny v tabulce IV:

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

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

15

$$\text{Vzorec: } \varepsilon_t - \varepsilon_6 (N/10^6)^b \cdot K_c \cdot K_r \cdot K_s$$

kde:

- 20 ε_t : deformace na základě asfaltových vrstev
 ε_6 : deformace vedoucí k životnost ekvivalentní 10^6 cyklů
 N : počet cyklů
 K_c : koeficient fixace
 K_c : 1 pro BBTHM®
 25 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) $K_r = 10^{-ub\delta}$
- 30 u : proměnná s nulovou pravděpodobností spojená s rizikem r
 b : spád zákona o únavě materiálu (bilogarithmický zákon)
 δ : proměnná distribuce $\log N$ pro přetržení
 δ : $[SN^2 + (c^2/b^2)SH^2]^{0,5}$
 35 c : koeficient, který spojuje odchylku deformace s náhodnou odchylkou tloušťky vozovky,

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

Pro běžné konstrukce je to řádově $0,02 \text{ cm}^{-1}$.

40

K_s : koeficient základny. Pro náš případ se rovná.

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

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

Pravděpodobnost porušení třívrstvé konstrukce, která je výsledkem pravděpodobnosti porušení každé vrstvy, je uvedena na obr. 8.

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

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

$$\text{když } N = 11 \cdot 10^6$$

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

20 Mechanické parametry třívrstvé konstrukce umožňují významně snížit spotřebu materiálu. Tabulka V poskytuje přehled celkové materiálové bilance třívrstvé konstrukce ekvivalentní životnosti položených na stejný podklad.

– prvou konstrukcí je třívrstvá konstrukce o tloušťce 20 cm (6 cm BBTHM[®] + 8 cm Grave-Mousse[®] + 6 cm BBTHM[®]).

25 – druhou konstrukcí je monolitická konstrukce o tloušťce 25 cm provedená z BBTHM[®]. Je třeba upozornit, že tento typ materiálu má dnes nejlepší kvalitativní parametry, které umožňují provádět tenčí vrstvy.

30 – třetí konstrukce je rovněž monolitická a tvoří ji 38 cm šterku třídy 2 s asfaltem (GB2)

Tabulka V

		Třivrstvá	BBTHM®	GB2
BBTHM® Nebo GB2	Tloušťka (cm)	2 x 6	25	38
	Pokládání			
	Množství (kg/m ²) :	284	591	816
	-zrna	16	34	34
	-asfaltu	300	265	850
	-TOTALE			
Grave-Mousse®	Tloušťka (cm)	8	-	-
	Pokládání			
	Množství (kg/m ²) :	170	-	-
	-zrna	6	-	-
	-asfaltu	176	-	-
	-TOTALE			
Celkem	Tloušťka (cm)	20	+ 25 %	+ 90 %
	Pokládání			
	Množství (kg/m ²) :	454	+ 30 %	+ 80 %
	-zrna	22	+ 55 %	+ 55 %
	-asfaltu	476	+ 31 %	+ 79 %
	-TOTALE			

Vyhodnocení materiálové bilance jsou oproti klasické konstrukci s nejlepšími parametry zřejmě tyto výhody:

5

- významná úspora nejdražšího materiálu, tzn. úspora více než polovina 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.

10

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

15

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

20

Kromě obnoveného zvlhčeného šterku (GRH) užitého do podsypné vrstvy, obsahuje třívrstvá konstrukce 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 těžného 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 modu při 15 °C a 10 Hz:
 $E^* = 17\,800 \text{ MPa}$

– mez únavy (zkouška při nuceném přetvoření)
 přípustná deformace při 10^6 cyklů
 (15 °C – 10 Hz): $\epsilon_6 = 132 \cdot 10^{-6}$
 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 šterku (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:
 $E^* = 5\,500 \text{ MPa}$

– mez únavy (15 °C a 10 Hz)
 $\epsilon_6 = 109 \cdot 10^{-6}$

– spád přímky únavy: $b = -0,126$

Průběh zkoušky na únavu:

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

– První fází byla fáze předzátěžová. Jejím cílem bylo vytvořit přirozené a obvyklé podmínky zranění materiálu, zejména Grave–Mousse®, které bylo uspíšeno vlivem provozu. V této fázi, která byl prováděna v listopadu 1994, bylo provedeno přibližně 70 000 přejezdů sprážených 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 sprážených 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 konstrukce, 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.

5

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

10 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:

$$N_{eq} = \sum n_i [P_i / 6,5]^{-1/b}$$

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

20 Výsledky měření odchytky jsou uvedeny na obr. 11. Jsou změřeny ve zkouškách za provozu spřažených kol, jejichž hmotnost se mění 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).

25 První dvě hodnoty získané měřením při zatížení 4,5 tuny jsou hodnoty zjištěné před položením druhé vrstvy BBTHM®.

Z grafu je zřejmé, že odchytky se mění s teplotou v konstrukci.

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

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

40 Míra hloubky koleje a tvorba na zkušebním úseku byla zjišťována zařízením pro příčné měření profilu.

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

45 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 lineárně s počtem zatížení, ale velmi pomalu, tj. o 1 mm na 1 milion přejezdů dvou spřažených kol 6,5 tuny.

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

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

Při zkoušce ovalizace byla v průběhu zatěžování konstrukce použita karotážní mechanická metoda ke zjištění měn ve vrstu. Podle výsledků nastaly změny v konstrukci před karotáží a tedy při normálním provozu.

5

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

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

15 Grafy vztahující se k průběhu zkoušky na pojízděcím 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 v konstrukci tuto hypotézu potvrdil).

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

V průběhu zkoušek s porušením byla karotáž a odsekávání v konstrukci prováděno na konci fáze 2.

25 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 pojízděcím pásu.

30

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

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

40 Grafy na obr. 17 skutečně ukazují, že smykové napětí pod spřaženými koly dosahuje hodnotu 0,2 MPa. Této hodnotě odpovídá deformace řádově $70 \cdot 10^{-6}$ (pro modul 4000 MPa a Poissonův poměr 0,35), která je významná pro tento materiál, jehož přípustná hodnota pro 1 milion cyklů je:

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

45 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.

50 Tato třívrstvá konstrukce 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 konstrukce vozovky pečlivou volbou hmot podle jejich mechanických vlastností.

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

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

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

15

PATENTOVÉ NÁROKY

20 1. Konstrukce vozovky, jejíž kryt nad zemním tělesem tvoří tři na sebe položené a spojené vrstvy provedené ze živých materiálů, přičemž tuto konstrukci tvoří spodní vrstva položená na zemním tělese, která je případně proložena stabilizační vrstvou, **vyznačující se tím**, že tloušťka (H_i) spodní vrstvy je $4 \text{ cm} \leq H_i \leq 10 \text{ cm}$ a modul pružnosti (E_i),

25 střední vrstva, jejíž tloušťka (H_m) je $4 \text{ cm} \leq H_m \leq 20 \text{ cm}$,

a modul (E_m) pružnosti $2000 \text{ MPa} < E_m < 8000 \text{ MPa}$,

horní vrstva, jejíž tloušťka (H_s) je $4 \text{ cm} \leq H_s \leq 10 \text{ cm}$

30

a modul pružnosti (E_s),

když uvedené moduly (E_i , E_m , E_s) pružnosti těchto vrstev odpovídají následujícím poměrům nerovnosti:

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

35

2. Konstrukce podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že moduly (E_i , E_s) pružnosti spodní vrstvy a horní vrstvy jsou v podstatě shodné.

40 3. Konstrukce podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že moduly (E_i , E_s) pružnosti spodní vrstvy a horní vrstvy jsou shodné.

4. Konstrukce podle některého z nároků 1 a 3, **vyznačující se tím**, že tloušťka (H_i) spodní vrstvy a tloušťka (H_s) horní vrstvy jsou v podstatě shodné.

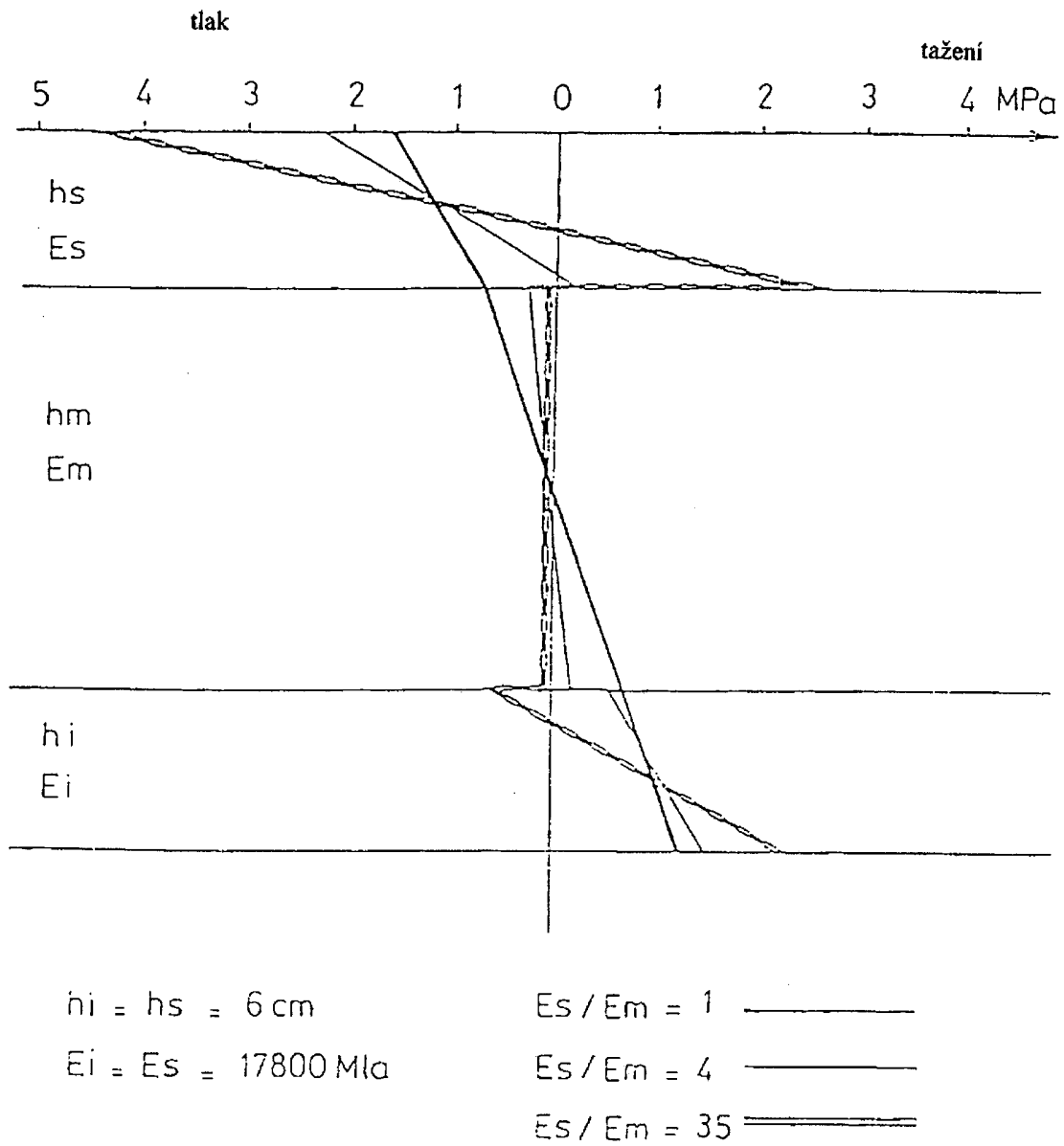
45 5. Konstrukce podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že tloušťka (H_i) spodní vrstvy a tloušťky (H_s) horní vrstvy jsou shodné.

6. Konstrukce podle některého z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že spodní a horní vrstvy jsou provedeny ze šterku a/nebo písku upraveného uhlovodíkovým pojivem.

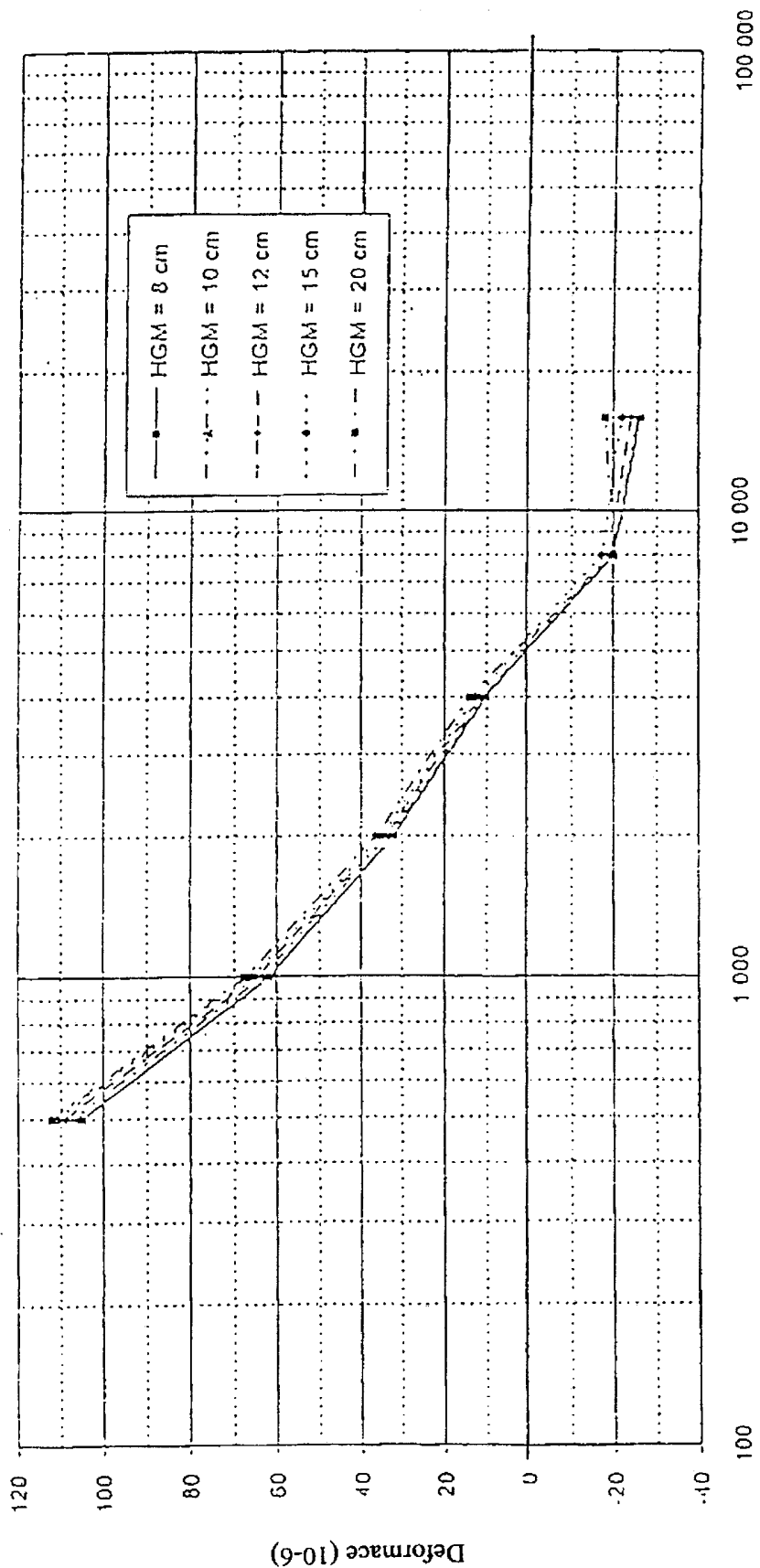
7. Konstrukce podle nároku 6, **vyznačující se tím**, že spodní a horní vrstvy jsou provedeny užitím asfaltového betonu se zvýšeným modulem.
- 5 8. Konstrukce podle některého z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že střední vrstva je provedena ze štěrku a/nebo písku upraveného uhlovodíkovým nebo hydraulickým pojivem nebo směsí takových pojiv.
- 10 9. Konstrukce podle některého z nároků 1 až 8, **vyznačující se tím**, že vrstvy jsou mezi sebou spojeny vložení záchytné vrstvy nebo impregnační vrstvy a záchytné vrstvy.
10. Konstrukce podle některého z nároků 1 až 8, **vyznačující se tím**, že tuto konstrukci překrývá obrusná vrstva.

15

15 výkresů

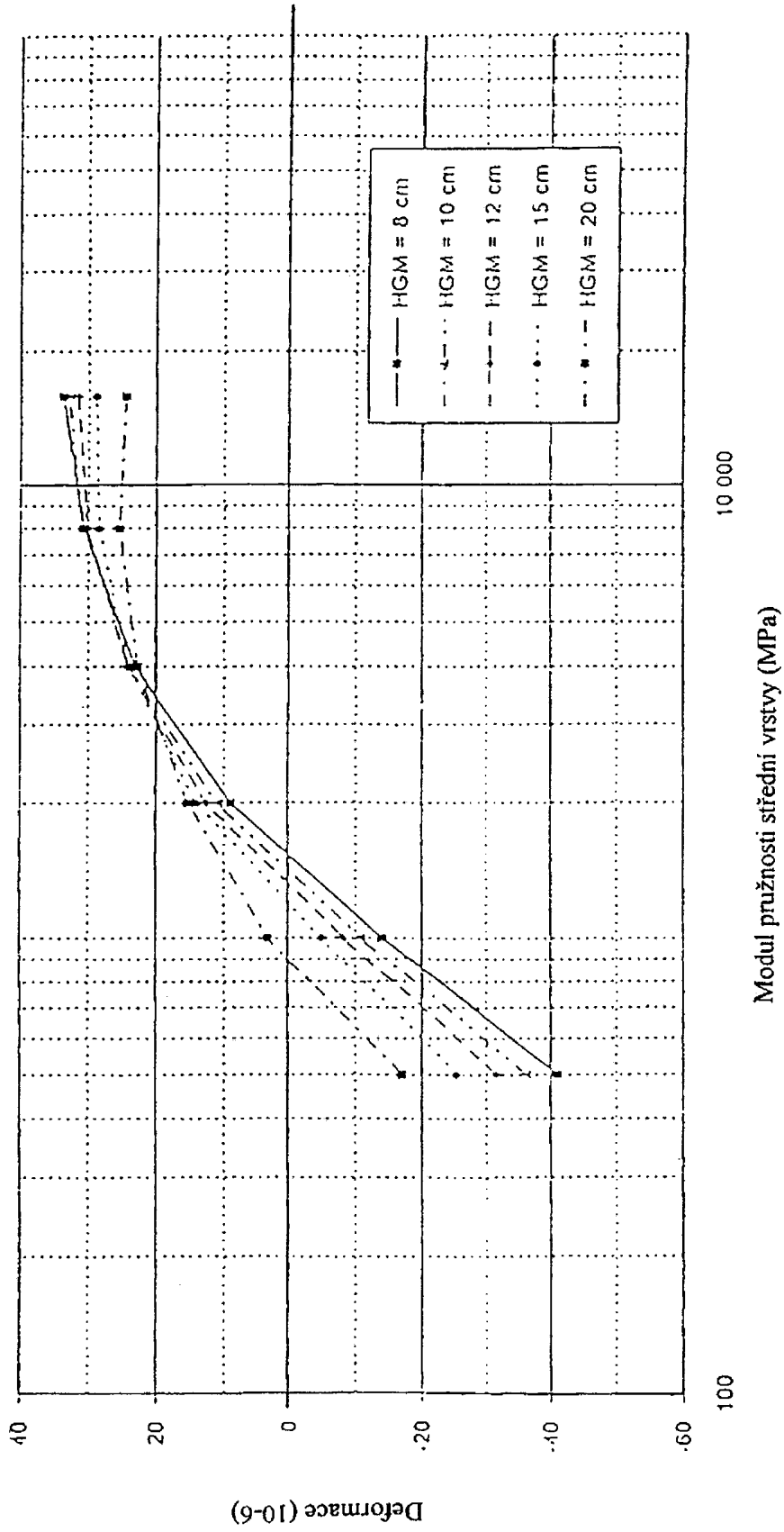


OBR. 1

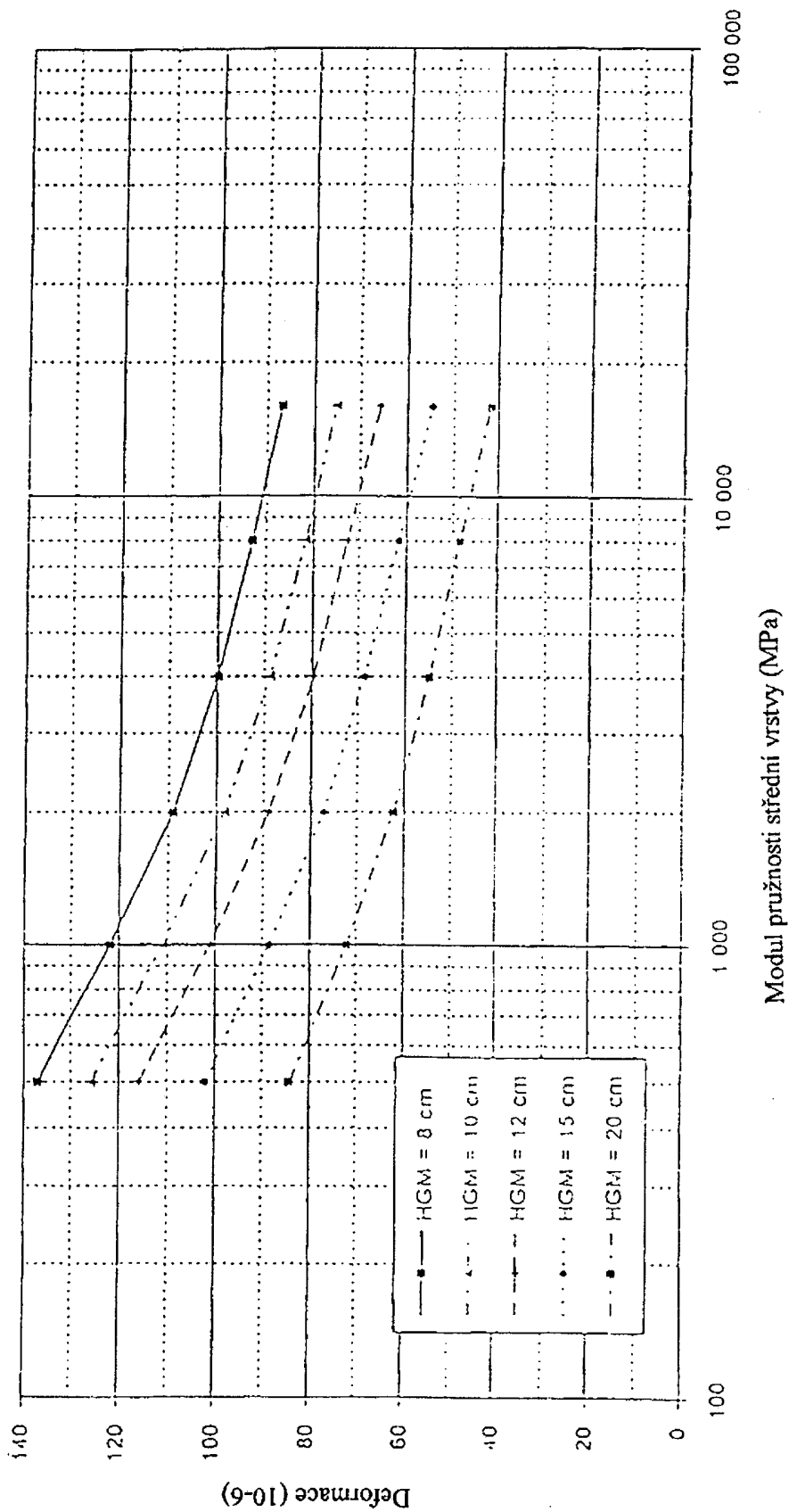


Modul pružnosti střední vrstvy (MPa)

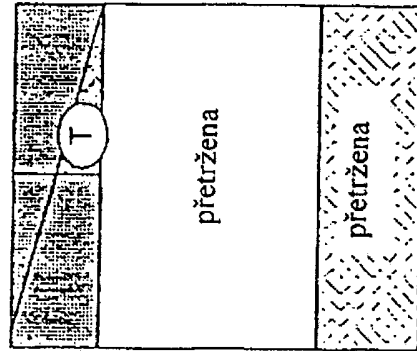
OBR. 2



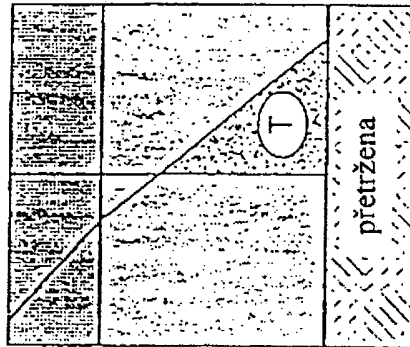
OBR. 3



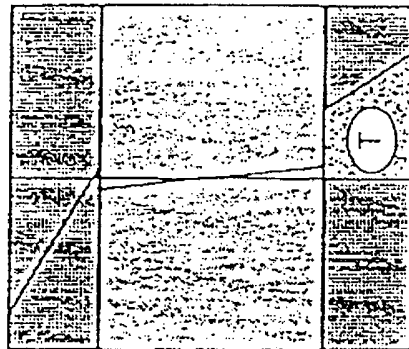
OBR. 4



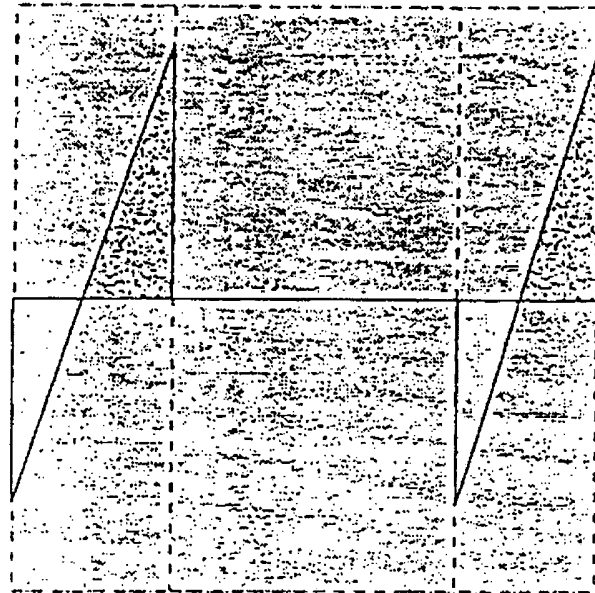
OBR. 5c



OBR. 5b



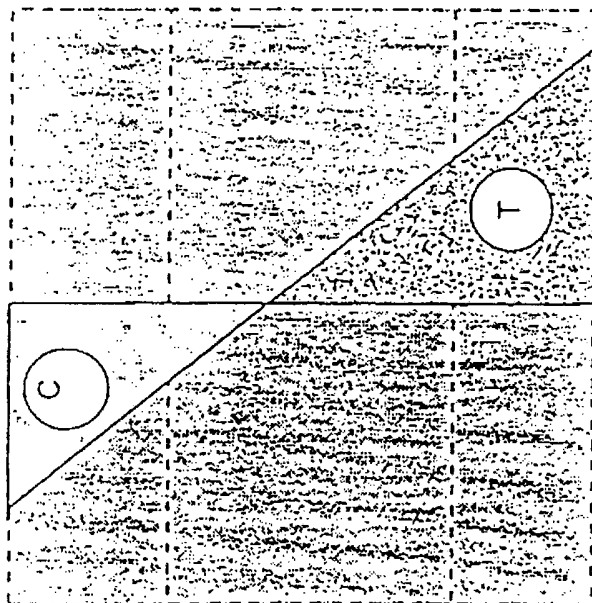
OBR. 5a



Obráčená struktura

obě vrstvy se poškodí současně

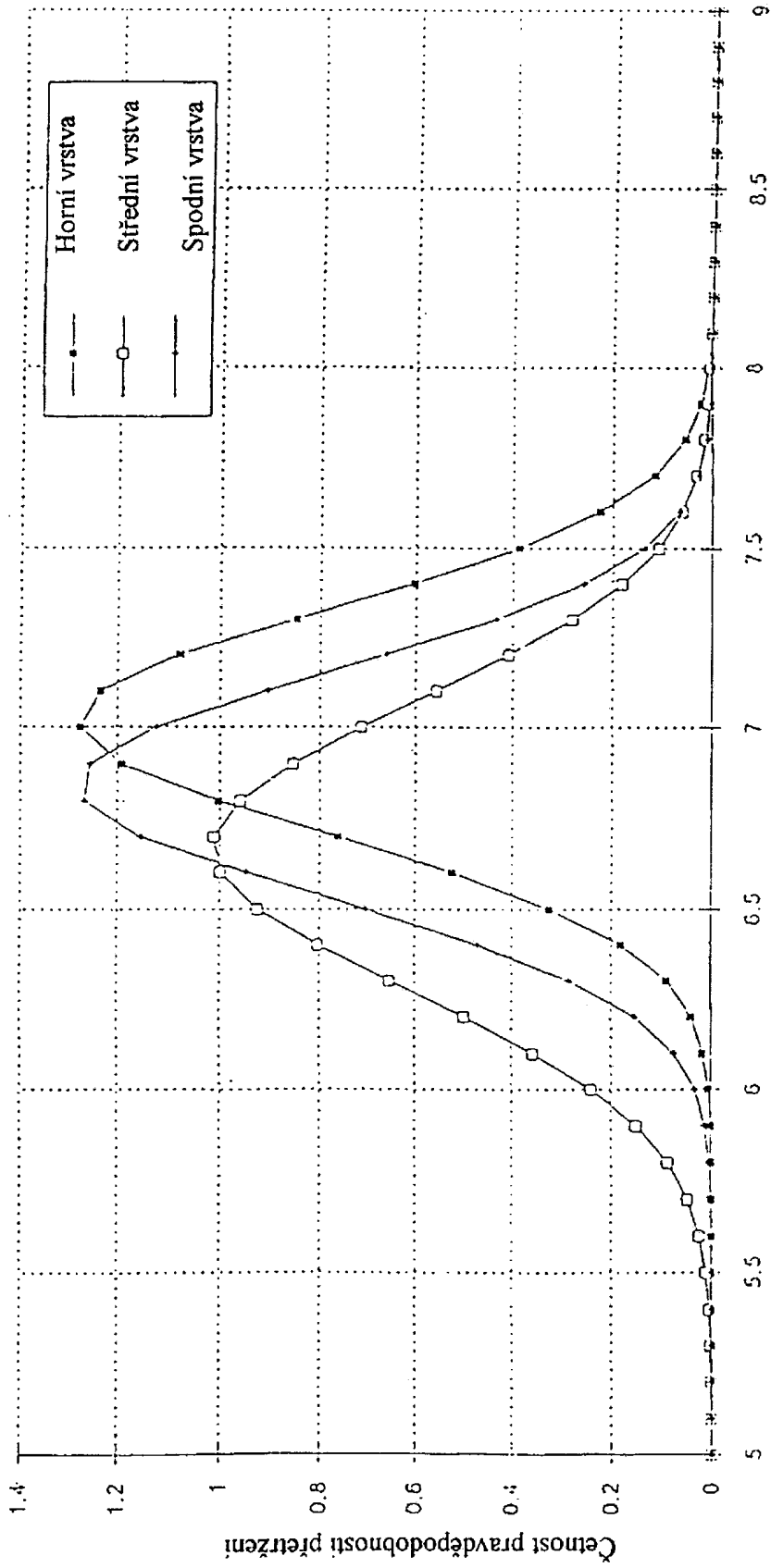
OBR. 6b



Monolitická struktura

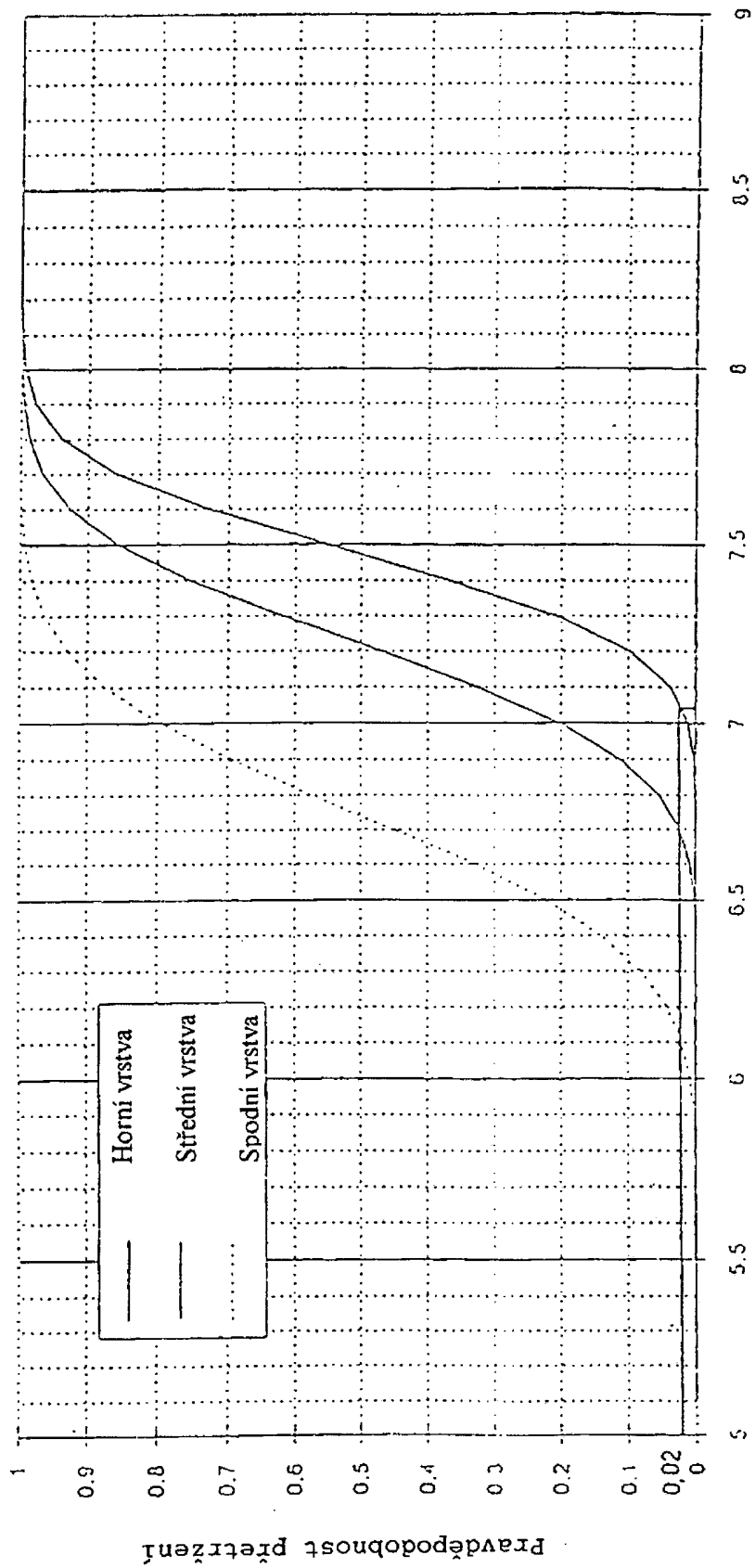
jediná fáze poškození

OBR. 6a



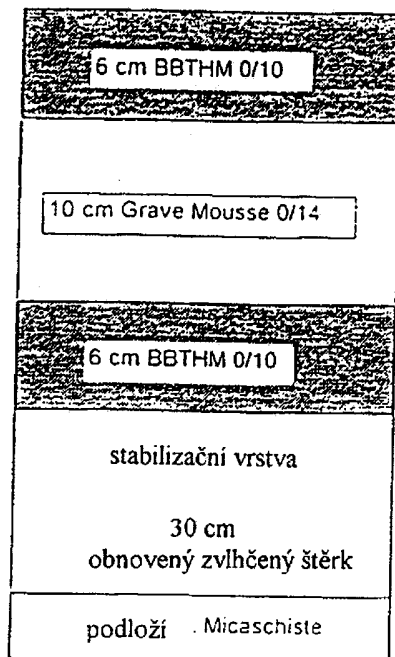
Životnost (Log N)

OBR. 7

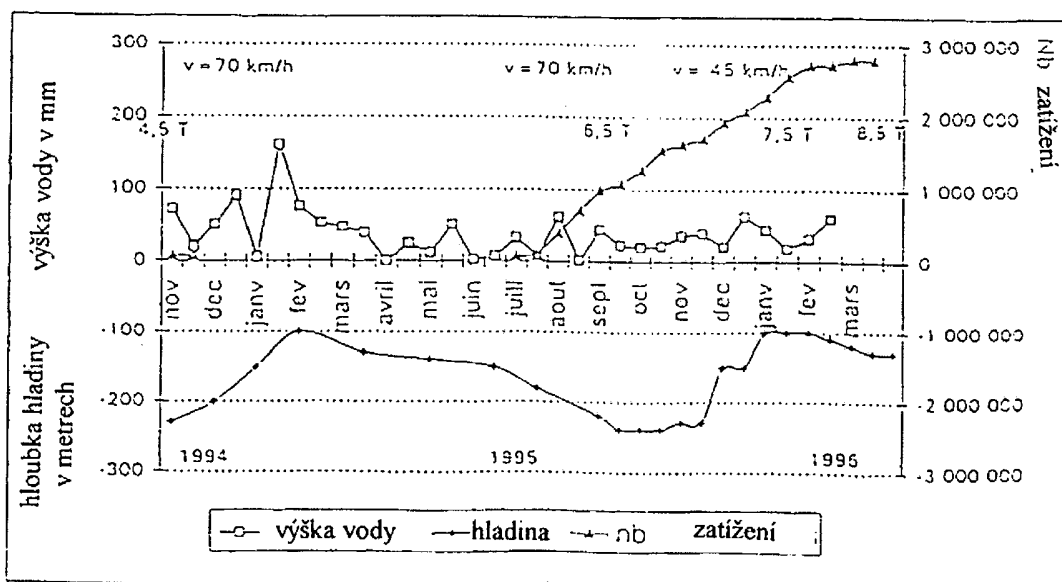


Životnost (Log N)

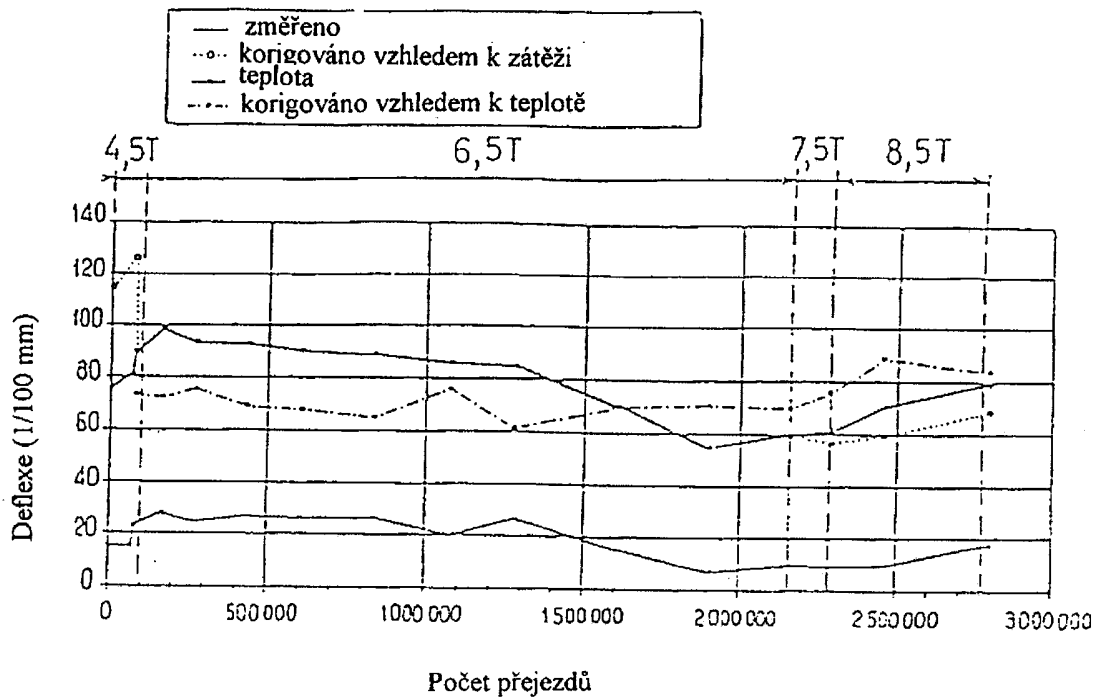
OBR. 8



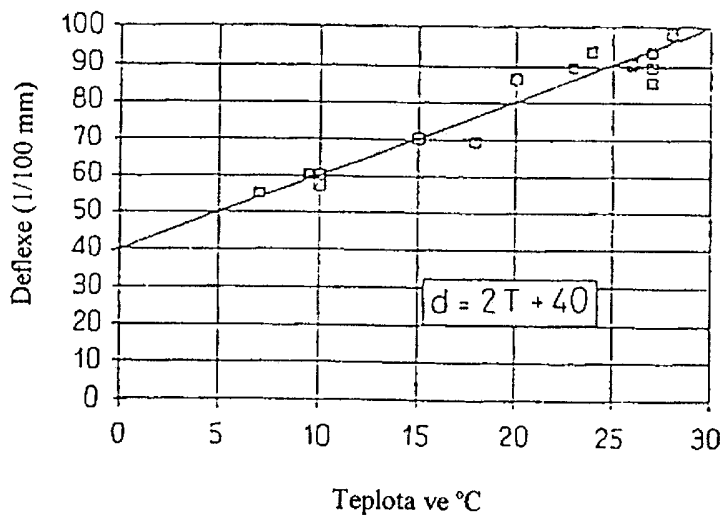
OBR. 9



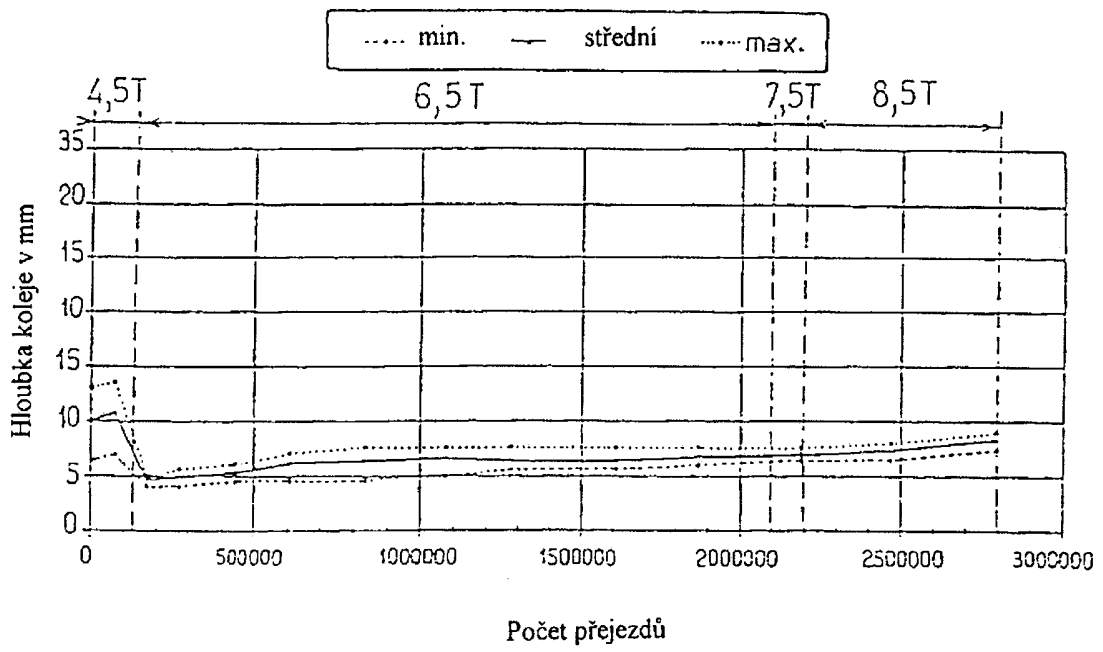
OBR. 10



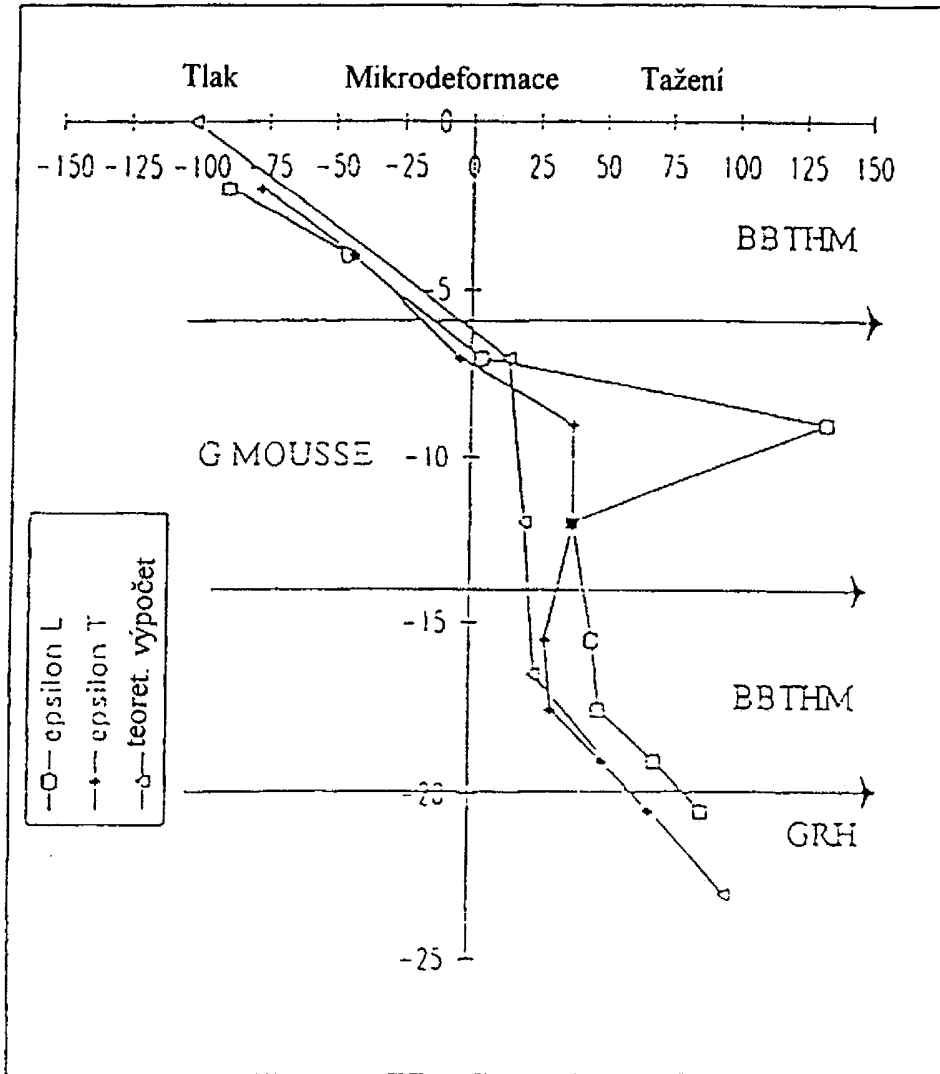
OBR. 11



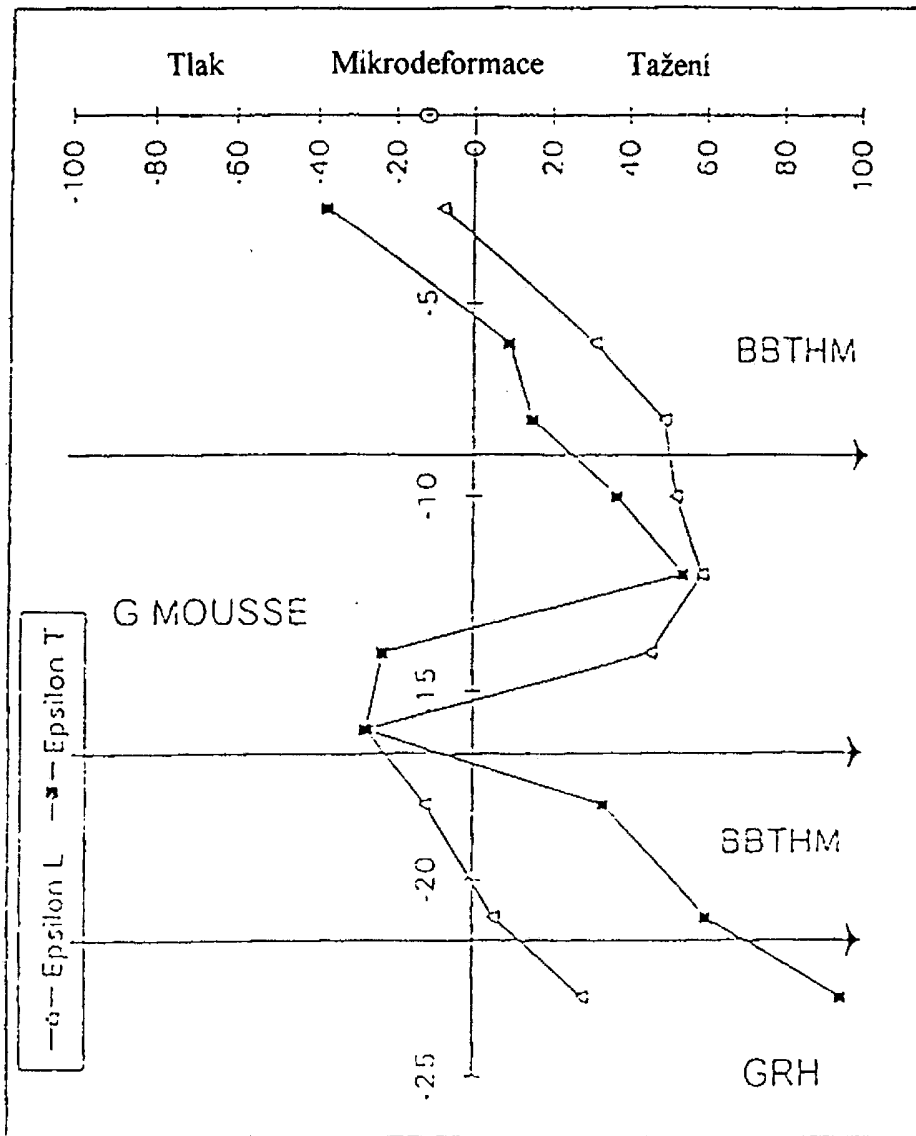
OBR. 12



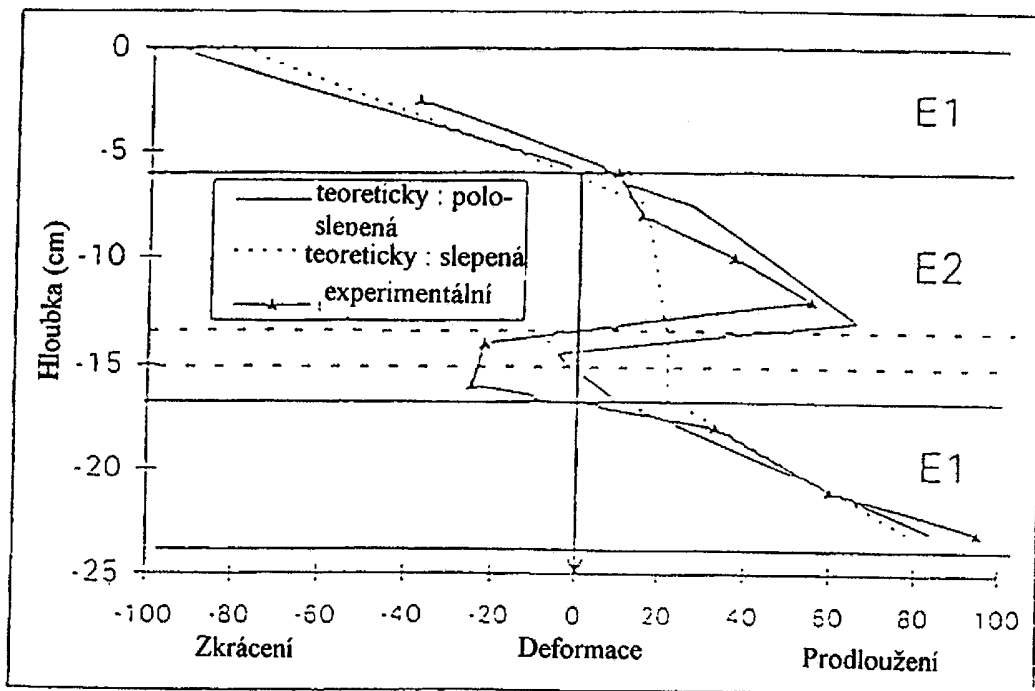
OBR. 13



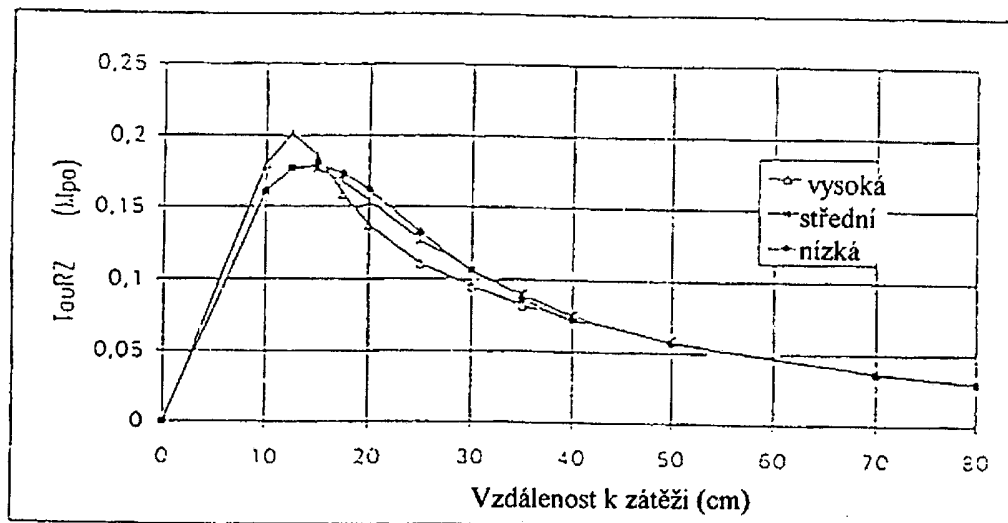
OBR. 14



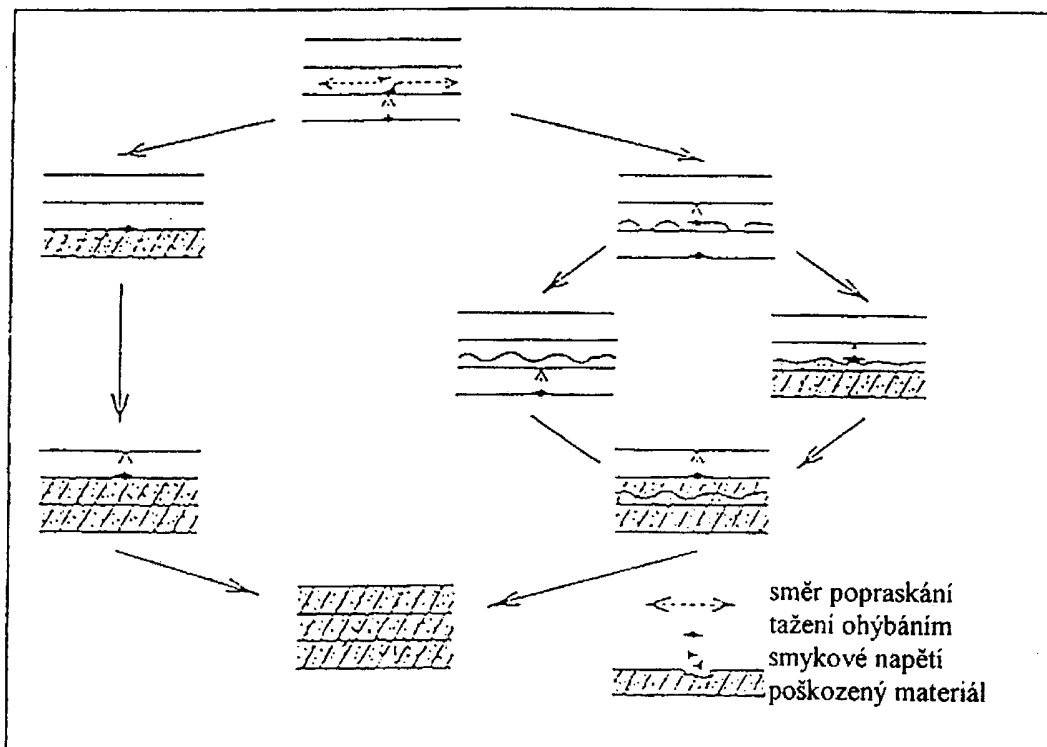
OBR. 15



OBR. 16



OBR. 17



OBR. 18

Konec dokumentu