

MODELOVÉ MERANIE LOMENIE
PRE VEĽKOROZPONOVÉ ZASTREŠENIE

Ing.Ján Chochula C.Sc.
Laboratórium betónových konštrukcií SvF
Slovenskej vysokej školy technickej
v Bratislave

Lomenica v stavebnom priemysle znamená kompromis medzi logikou teórie a potrebou praxe. V pojednaní sa popisuje typ lomenice, majúci priečny rez uzavretý trojuholník. Z hľadiska statického zapadá takýto typ do oblasti, ktorá sa v celosvetovom meradle považuje za neuspokojivo riešenú teoreticky.

Pre výpočet bola v uvádzanom prípade použitá metóda konečných pássov. Táto metóda predstavuje špeciálny variant metódy konečných prvkov. Umožňuje však zaviesť predpoklad deformovateľnosti priečnych rezov s výnimkou okrajových.

Výpočet je kontrolovaný skúškou na modeli z plexiskla. Pri meraní je extrémne dôležité zistenie mechanických vlastností modelového materiálu, ako aj jeho chovanie v čase. V dôsledku prečíznych meraní sa dosiahli výsledky, ktoré sú takmer zhodné s výsledkami teoretického výpočtu.

V pojednaní sa uvádzajú praktické rady na základe postrechov a skúseností získaných pri meraní.

Lomenica v stavebnom priemysle známená kompromis medzi logikou teórie a potrebou praxe. Ideálny je taký typ konštrukcie ktorý sleduje silový tok, predovšetkým tlakových síl. Takýmito konštrukciami sú škrupiny, ktorých strednica odpovedá vyslovenej požiadavke. Zložitosť formy však stavia neprekonatelné prekážky použitiu takýchto tvarov, ak ide o ich hromadnú výrobu a transport, alebo o monolit odliatý na mieste v zložitom debnení.

V ďalšom sa zameriame na konkrétny typ lomenice, tvoriaci v priečnom reze uzavretý trojuholníkový profil. Jeho konštruktívne výhody a špecifika veľkorozponových zastrešení nebudeme tu rozvádzat, nakoľko sa vymykajú obsahu tejto konferencie.

Z hľadiska statického zapadá takýto typ do výpočtovej oblasti, ktorá sa v celosvetovom meradle považuje teoreticky za neuspokojivo vyriešenú.

Považovali sme preto za potrebné overiť výsledky statického výpočtu na modeli.

Výpočet bol prevedený metódou konečných pásov, ktorej bol venovaný samostatný seminár v dňoch 15. - 18. mája 1973 tu v Plzni.

Táto metóda predstavuje špeciálny variant metódy konečných prvkov. Výpočet je možné použiť pri takých konštrukciach, ktoré majú pozdĺž jedného smeru konštantné geometrické a fyzikálne charakteristiky. Princíp riešenia potom spočíva v tom, že pozdĺž jednotlivých pásov rozvinieme funkcie premiestnení a deformácií, ako aj zataženie do Fourierových radov a v priečnom smere použijeme rozvoj do polynomov, obvyklý v metóde konečných prvkov.

Pri rozdelení konštrukcie na pozdĺžne pásy sa redukuje počet uzlov na počet pozdĺžnych spojovacích hrán. Tým sa pochopiteľne podstatne zmenší počet neznámych veličín.

Použitie harmonického rozvoja je možné len za predpokladu, že pásy sú na oboch koncoch jednoducho podoprete.

Tento predpoklad je pri navrhovanej lomenici splnený. Koncová stienka je vo svojej rovine dokonale tuhá, čím sa zaručuje nemennosť priečneho rezu. Kolmo na túto rovinu má stena nulovú tuhosť, takže nebráni pootočeniu. Jej uloženie umožňuje tiež posun.

Pri všetkých ostatných priečnych rezoch výpočet predpokladá, že sa deformujú a práve tento predpoklad pri iných výpočtových metódach tenkostenných uzavretých profílov sa nepripúšťa. Modelové meranie je potom jediný spôsob, akým je možné správnosť predpokladu netuhého priečneho rezu overiť.

Na obrázku 1 je rez lomenice rozponu 36 m z ľahkého betónu, za použitia mäkkej výstuže.

Základný materiál použitý pre model je plexisklo. Na tomto základnom materiáli mimo presných rozmerov sme zistili modul pružnosti, Poissonovo číslo, vplyv časového faktora na pretvorenie plexiskla, pružné dotvarovanie a dopružovanie.

Pretože model lomenice bol vyrobený z dvoch základných hrúbok, merali sme modul pružnosti pre obe. Merali sme hodnoty odporovými tenzometrami, v strednom úseku pásky bez šmykových napäti, zrejmých z obr.2.

Meranie Poissonovho čísla sme realizovali na páiske dížky 600 mm, ako je zrejmé z obrázku 3. Pretiahly tvar pásky zaručí, aby uchytenie v koncovej oblasti neovplyvňovalo stred pásky, kde sa prevádzka meranie viacsmerňimi odporovými tenzometrami typu KC 120. Tomuto účelu slúži špeciálne uchytenie koncov pásky podľa obrázku 3.

Ako je známe, ak pôsobí konštantné zaťaženie na konštrukčný materiál, zväčšuje sa časom pretvorenie. Zo začiatku sa pretvorenie zväčšuje rýchlo, neskôr sa spomaluje až po určitú dobu, ktorá je pre umelú hmotu charakteristickou.

Po odťažení naopak sa materiál až po určitej dobe vráti do pôvodnej polohy. Zväčšovanie deformácie od konštantnej sily jedine v dôsledku časového trvania nie je nenávratné, lebo po odťažení sa za určitú dobu bez zbytku vráti.

Niektoří autori preto zavádzajú pre tento jav označenie pružné dotvarovanie /po zatažení/ a dopružovanie /po odťažení/. Je treba si uvedomiť, že z fyzikálneho hľadiska nemá tento jav so skutočným dotvarovaním nič spoločného.

Zistovanie týchto charakteristik je dôležité pre stanovenie presnej doby čítania po zatažení a po odťažení.

Z našho merania sme zistili, že po 5 minutách je pretvorenie zaťaženého prvku 99,82 % z pretvorenia po 10 minútach.

Znamená to, že odčítanie prevedieme 5 minút po vnesení zataženia. Dopružovanie prebieha v cca dvojnásobne dlhších intervaloch.

K overeniu napäťia a deformácií sú dostatočné merítka 1/50 - 1/20.

Model z plexiskla je teda vyrobený v mierke M = 1 : 20. V tomto merítku sú zmenšené všetky rozmery, čím sa dosahuje úplne fyzikálna podobnosť.

Uloženie modela pevné a posuvné je názorne vykreslené na obr.4.

Zataženie je realizované osamelými bremensami vo vzájomnej vzdialosti 75 mm. Krajné bremeno je položené v polovičnej vzdialosti. V položiabku, ktorý vzniká v dotykovej ploche vodorovnej hornej dosky a šikmej steny, sú roznášacie pásky. Tieto majú za účel prenášať osamelú silu na zatažovací úsek. Takýto spôsob zataženia odpovedá skutočnosti, kde sa zataženie na lomenicu dostáva prostredníctvom strešných či stropných panelov.

Na obr.5 je rozmiestnenie zatažovacích bremien.

Meranie priehybu indikátormi na modeli z plexiskla.

Priehyby na modeli sme merali indikátormi s presným odčítaním 1×10^{-2} .

Priehyby po zatažení a návrat konštrukcie po odtažení sme merali v 6 cykloch, pričom doba odčítania po vnesení a po odtažení sa riadila zásadami už uvedenými.

Na obr.6 sú vynesené namerané hodnoty priehybov. Týmito hodnotami je preložená parabola tretieho stupňa. Táto sa veľmi dobre zhoduje s nameranými priehybmi.

Empirický vzorec vo tvare mnohočlena je vyjadrený nasledovne

$$y = f/x \approx B_0 + B_1x + B_2x^2 + B_3x^3 + \dots + B_mx^m$$

Ak predpokladáme, že hodnoty ϵ , t.j. zvislé vzdialenosťí nameraných bodov od teoretickej krivky sú také, že ich celkový súčet je nulový, hľadáme potom krivku, pre ktorú platí $\sum \epsilon = 0$, dostávame sústavu rovnic:

$$B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_1^2 + B_3 x_1^3 - y_1 = \varepsilon_1$$

$$B_0 + B_1 x_2 + B_2 x_2^2 + B_3 x_2^3 - y_2 = \varepsilon_2$$

$$B_0 + B_1 x_3 + B_2 x_3^2 + B_3 x_3^3 - y_3 = \varepsilon_3$$

$$B_0 + B_1 x_4 + B_2 x_4^2 + B_3 x_4^3 - y_4 = \varepsilon_4$$

$$B_0 + B_1 x_5 + B_2 x_5^2 + B_3 x_5^3 - y_5 = \varepsilon_5$$

$$B_0 + B_1 x_6 + B_2 x_6^2 + B_3 x_6^3 - y_6 = \varepsilon_6$$

$$B_0 + B_1 x_7 + B_2 x_7^2 + B_3 x_7^3 - y_7 = \varepsilon_7$$

Základná diferenciálna rovnica vyjadrujúca závislosť medzi y , x , $M/x/$ a EJ je

$$\pm \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\sqrt{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^3}} = \frac{M/x/}{EJ} = \frac{1}{\rho/y/}$$

Podnata $\frac{dy}{dx}$ vyjadrujúca uhol početenia rezu lemenice, je veľmi malá, takže jej kvadrát možno zanedbať, čím sa celý vzťah zjednoduší na:

$$\pm \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M/x/}{EJ}$$

Ked rovnicu krivky preloženú nameranými bodmi dvakrát zderivujeme, dostaneme hodnotu $1/\rho$.

V ďalšom uvádzame zrovnanie, aby sme získali predstavu o možných presnostiach hodnôt získaných popísaným spôsobom.

Tab.1

Načálenie VI. Výhrou plne						
Typ zátaženia	a cm	f cm	ρ MPa	E MPa	σ modelové dejúce MPa	σ modelové bez záťaženia napäťia MPa
45	0,0465	5443,57	3261,3	3,436	5,968	morené na modeli z plexiskla
"	"	"	"	ε,315	10,968	Prepracované na rozpon 36 m
				ε,652	11,464	Prepracované na "čara" 1013 - program S 27
				30500,0	5,06	dif. v kro- pech bezpečnosti
20	0,095	125,15	3261,3	3,554	6,172	mazanie indukč. entúrkami
				ε,557	11,343	Prepracované na rozpon 36 m
				ε,632	11,4639	prepracovat Odra 1013- program S 27
				1,6	1,05	dif. v %

V tab.1 vidíme aké pevnosti možno dosiahnuť pri správnom usporiadani skúšky.

V knihe D.A.Pitljuk: Rasčet stroiteľnych konstrukcií na osnove modelirovania, Leningrad - 1965 - Moskva sa tvrdí, že pri dobre postavenej metodike a technike modelovania je možné dosiahnuť nasledovné presnosti

pri prutovkách	$\pm 2,5 \%$
pri doskách	$\pm 5 \%$
pri prvkoch priestorove napäťich . . .	$\pm 8 \div 15 \%$
pri škrupinách	$\pm 10 \div 20 \%$

Meranie odporevými tenzometrami.

Na obrázkoch 7 a 8 sú zaznačené miesta nalepenia odporevých tenzometrov.

Meranie sme previedli na aparáture Hottinger NSR. Meracia súprava pozostáva z jednokanálového elektrónkového môtstika MWS II/5, ktorý pracuje na kmitočte 5 kHz. Na tento bol zapojený riadiaci prístroj Steuergerät US 100 St, ktorý prepína z prepínacích skriň US 10.

Použité tenzometry boli: typu M-120, D 200. Viscosové deformácie sme merali pomocou tenzometrov typu KC 120 a RC 120. Snímače sú výrobkom Mikrotechny Praha.

K meriacim páskam uvádzame niekoľko získaných poznatkov:

- a/ Pásy označené ako tr.II sa v priebehu merania ukázali ako bezcenné.
- b/ Pásy, ktoré prekrývajú lepený spoj plexiskla, nedávajú spôsahlivé hodnoty. Je tu tiež veľká pravdepodobnosť mechanického poškodenia pásky.
- c/ Podstatný vplyv na presnosť použitej pásky má prítlačná sila na ťu počas lepenia. Je veľmi dôležité, aby prítlačná sila na všetky pásky bola rovnaká.
- d/ Zaťažovacie bremena je treba voliť v rozmedzí, kde dosahované napäťia sú hlboko pod medzou úmernosti plexiskla. V opačnom prípade pri opakovanej zaťažení dochádza k zmenám v modelovom materiáli, priamym dôsledkom čoho je narastanie nameraných hodnôt pri tom istom zaťažení.

e/ Pre každú sériu pások je nutné urobiť overovaciu skúšku odporových tenzometrov a stanoviť koeficient "k", ktorý vyrovňáva nepresnosť v nameraných hodnotách. Takáto skúška sa dá robiť len na takej jednoduchej konštrukcii ako je ľahá páska, alebo prostý nosník s obojstrannými krakorcami. Meriame potom oblasť medzi podperami, kde sa nekombinuje námáhanie od ohybu a šmyku.

Pre prezentovanie zhody nameraných a vypočítaných hodnôt uvádzame obr.9, znázorňujúci zhodu priebehu pozdĺžnej osovej sily v strede rozponu lomenice.

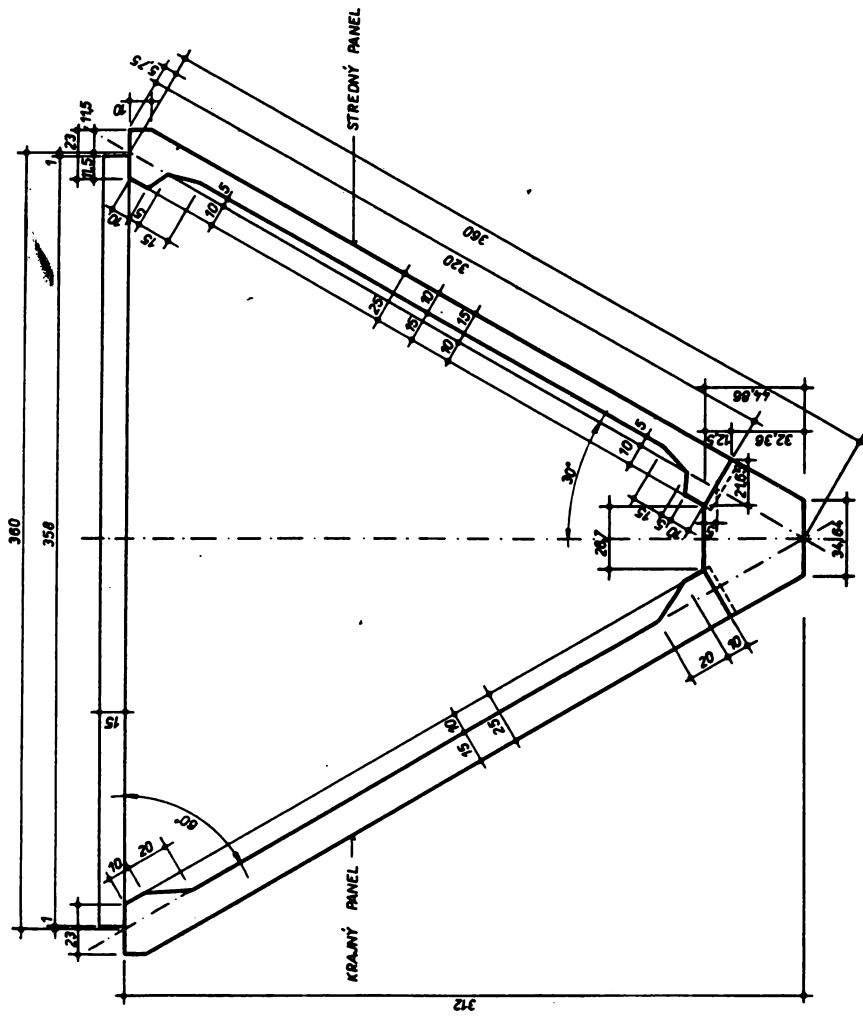
Na obrázku 10 je znázornený priebeh šmykových síl na okraji lomenice, a to podľa dvoch výpočtových metód a hodnôt získaných meraním.

Dosielenutú zhodu bolo možno považovať za dosťatočne preukaznú. Výsledky skúšok na konštrukcii z keramzitobetónu toto konštatevacie potvrdili.

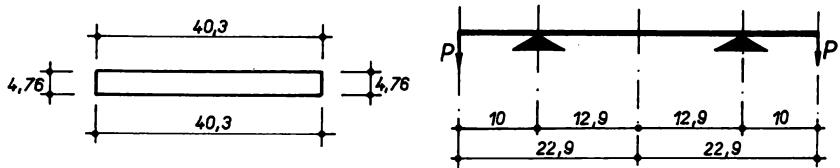
Takýto typ konštrukcie môže prekrývať priestory pri vzdialosti podopretia do 36 m za použitia mäkkej výstuže. Predpínanie umožní tento rozpon bez ťažkostí zvýčsiť.

Použitá literatúra:

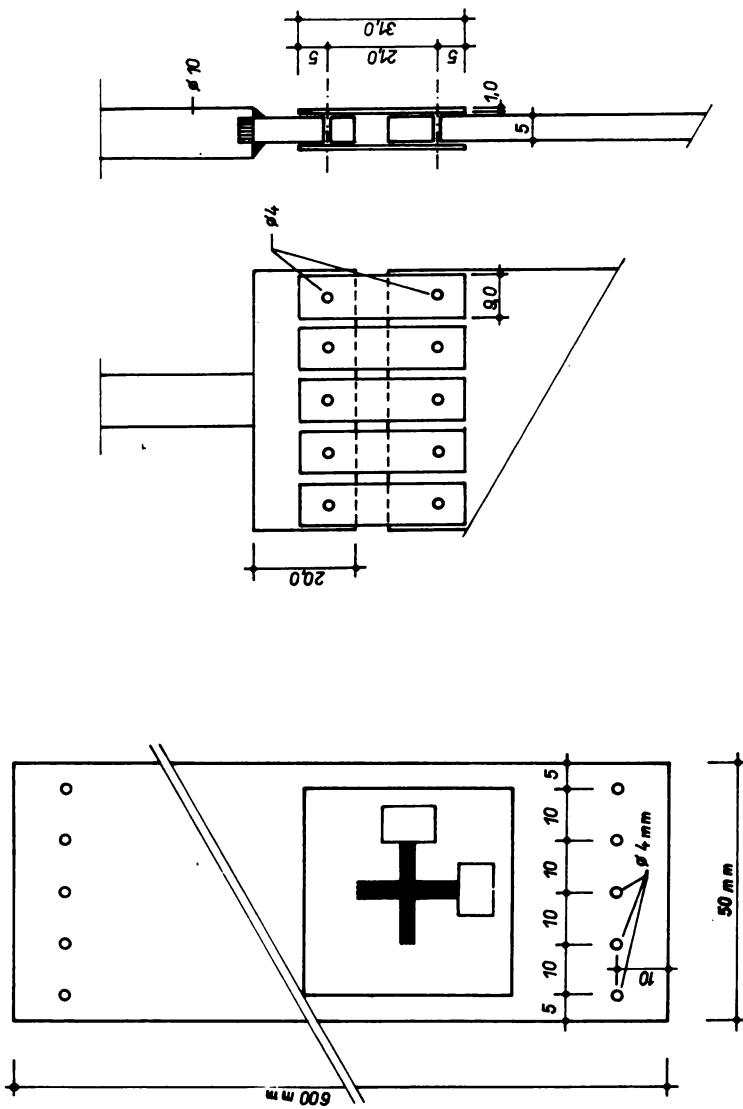
- Blažek - Horáček: Nepřímé metody experimentální statiky,
SNTL 1960.
- Hetényi: Handbook of Experimental Stress Analysis,
New York 1957.
- Charlton T.M.: Model Analysis of Structures,
Londýn 1954.
- Kirpičev M.V.: Teorija podobja
Izd AN SSSR, 1953.
- Potljuk D.A.: Razčet stroitelnyh konstrukcij na osnove
modelirovanija - Leningrad - Moskva 1965.
- Schmidt E.: Modelversuche zur Bemessung von Baukonstruk-
tionen, Schweiz, Bauzeitung 67 /1949/.
- Prof.Ing.Ján Sobota CSc - Ing.Ivan Harvan /programovanie/:
Príspevok o metóde konečných pásov.
II.Seminár o metodě konečných prvků,
Sborník referátů, Plzeň 15. - 18.mája 73-
Bohemie.



OBR. 1 PRIESTOROVÝ PANEL Z AGLOPORITU

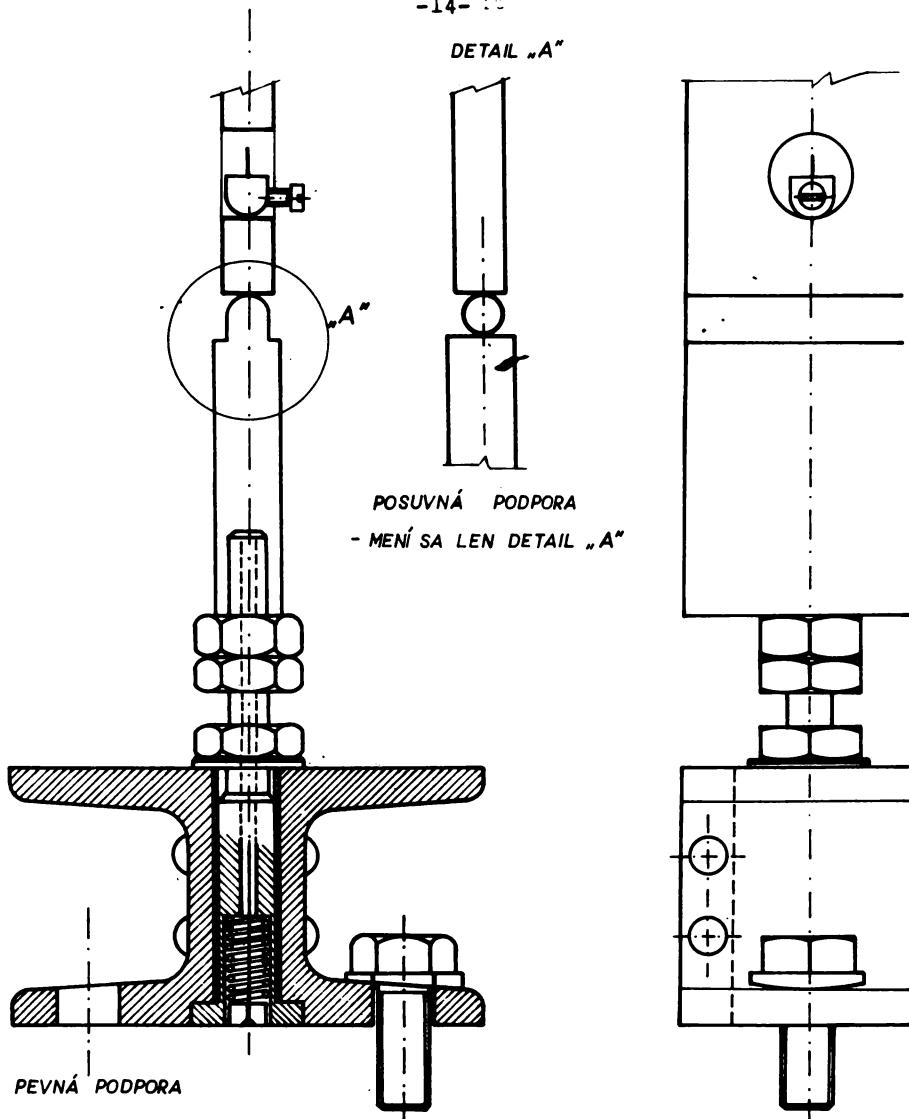


Obr.2 Geometrický tvar vzorky na skúšanie modulu pružnosti plexiskla, spôsob uloženia a zaťaženia.

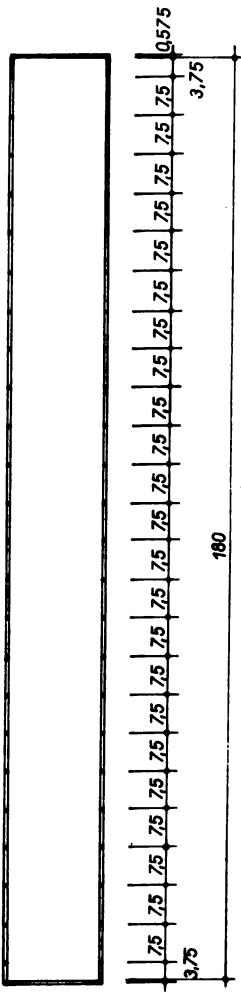
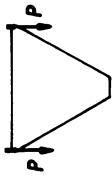


Obr.3 Vzorka pre meranie priosenovo ťisia. - Detail uchytenia vzorky

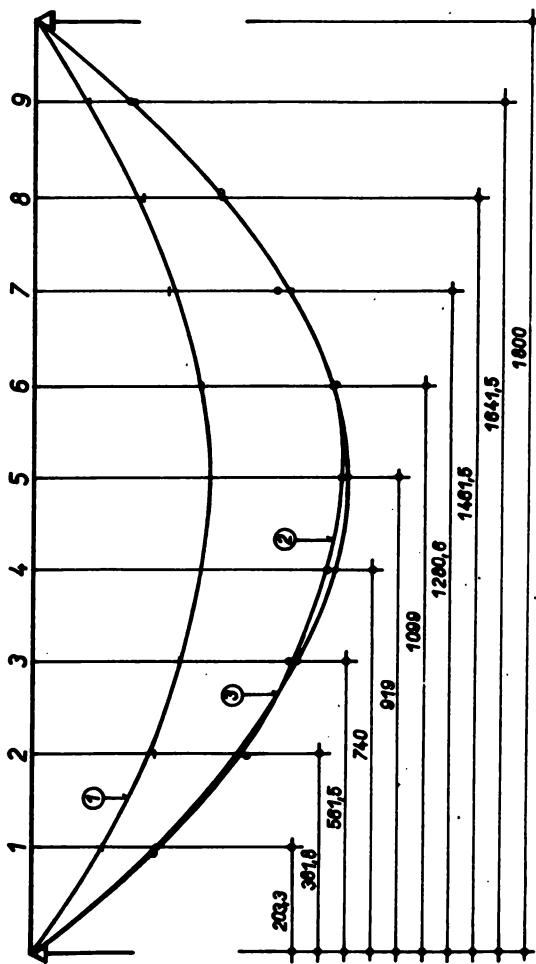
DETAIL "A"



OBR. 4

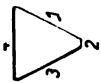


OBR. 5 ROZMIESTNENIE ZAŤAŽOVACÍCH BREMEN

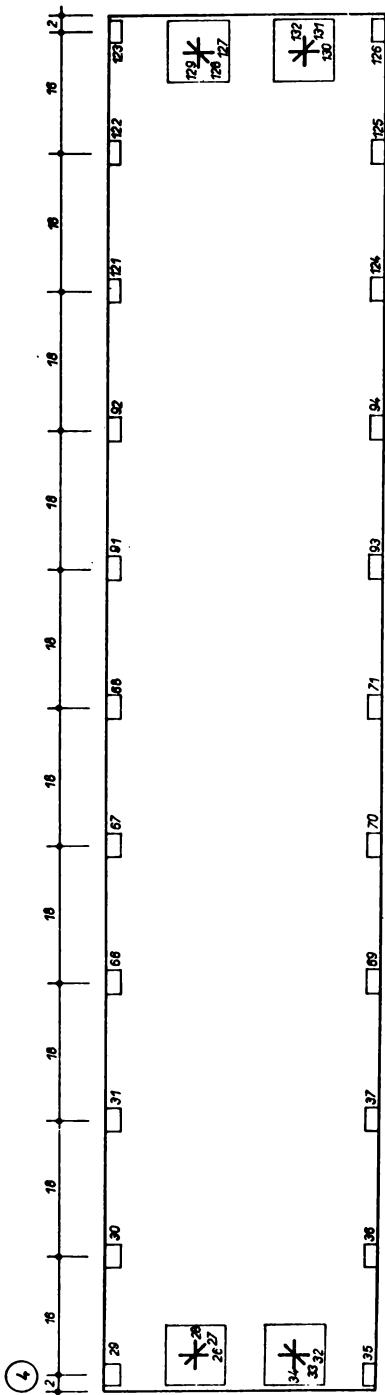
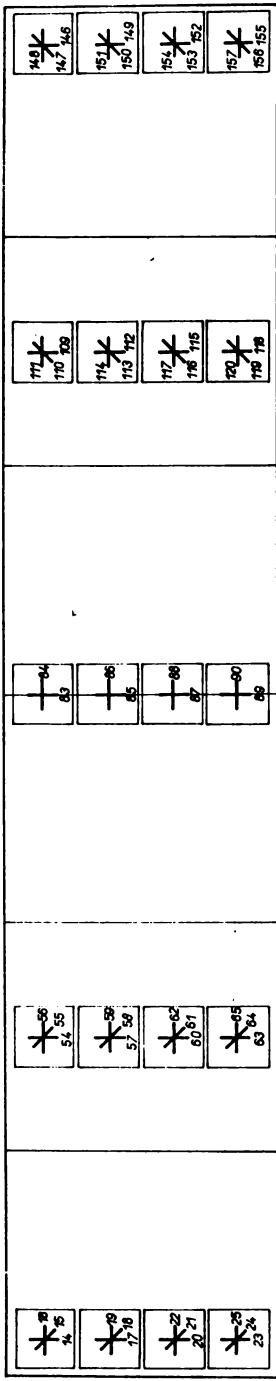


Obr.6

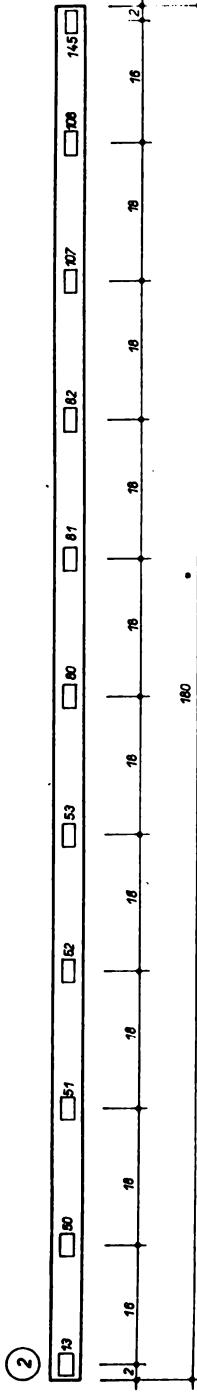
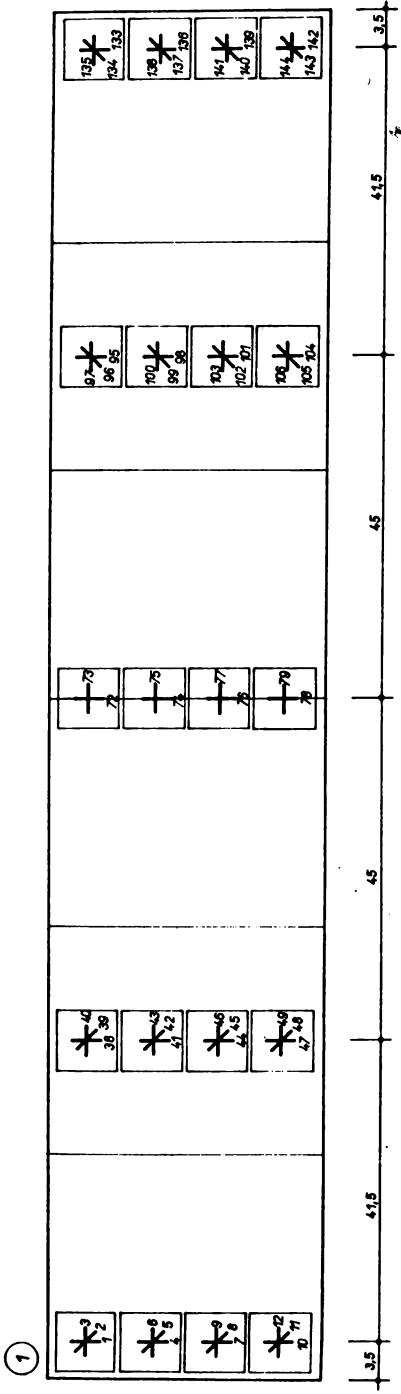
- ① - Priebeh nameraných hodnôt $\sigma \cdot 10^5$ na hornej strane lomenice
- ② - Prepočet nameraných napäť z modelu na lomenicu s rozponom 36 m
- ③ - Priebeh vypočítaných hodnôt napäť na počítači ODRA 1013



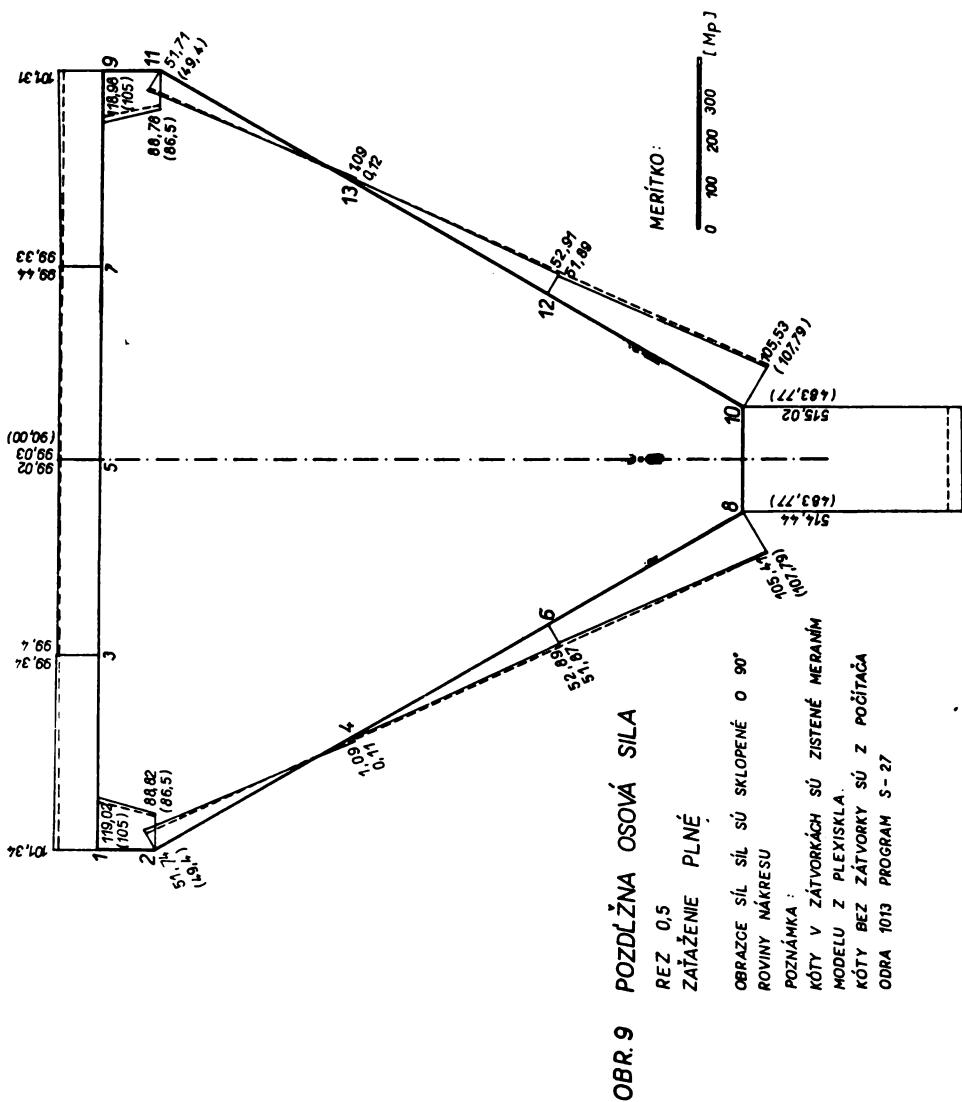
3



OBR. 7 OSADENIE ODPOROVÝCH TENZOMETROV



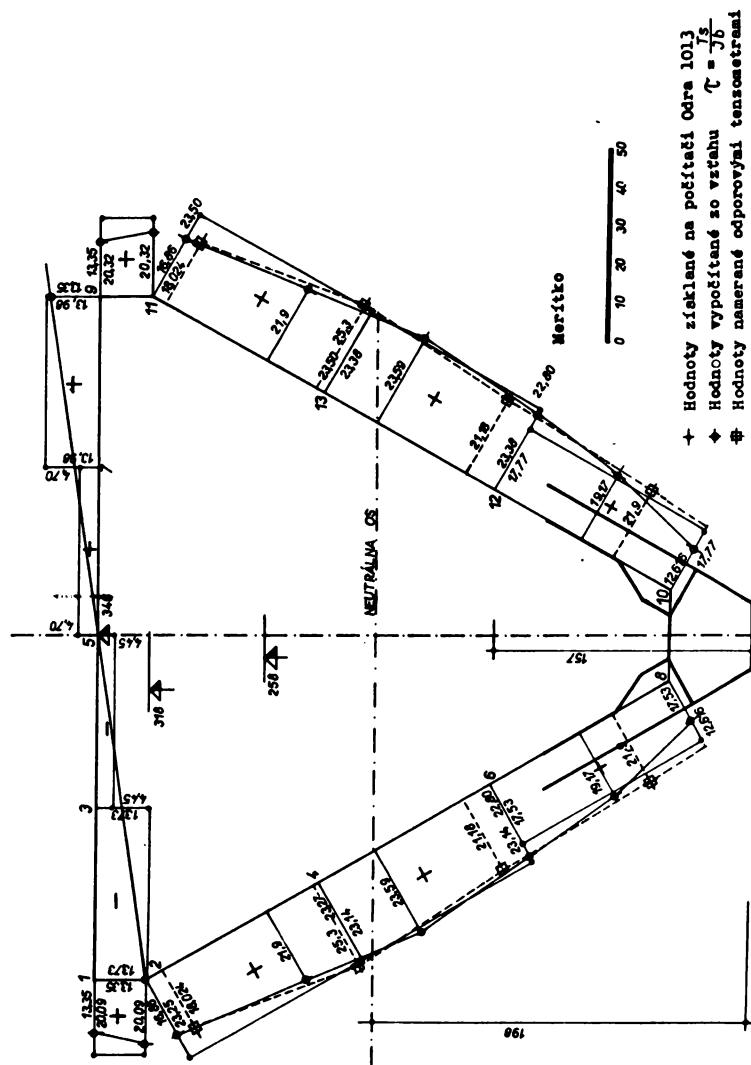
OBR. 8. OSADENIE ODPOROVÝCH TENZOMETROV



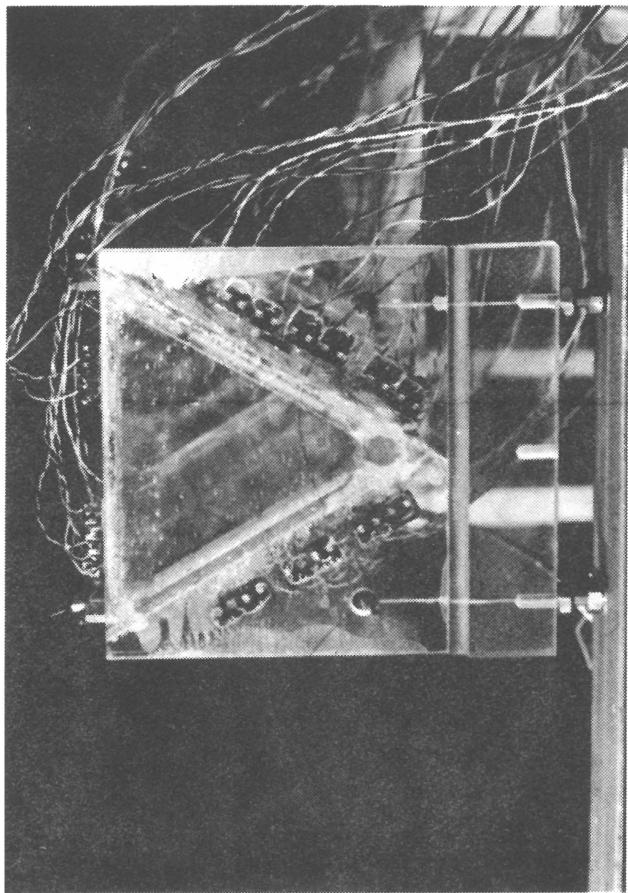
SUNY COLLEGE

Ross O'F

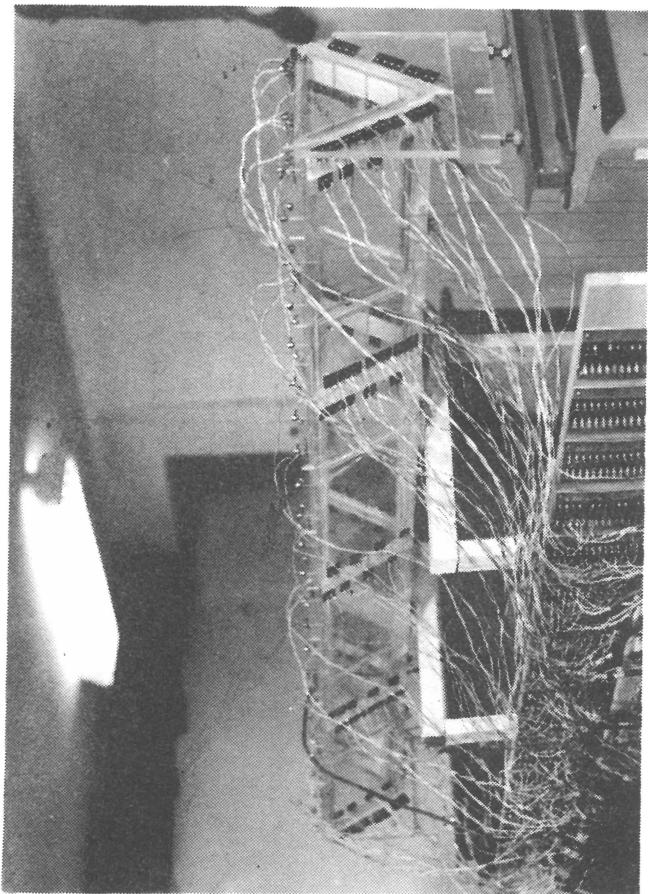
Zatčlenie 2



OBR. 10



Pot.1 Model lownicze z plexiskla - Seling poklad



Pot. 2 Model lichenów z plexiskla - do końca połączony

Zoznam vyobrazení.

- Obr.1 - Rez lomenice z ľahkého betónu
- Obr.2 - Geometrický tvar vzorky na skúšanie modulu pružnosti
- Obr.3 - Vzorka pre meranie Poissonovho čísla
- Obr.4 - Uloženie modela
- Obr.5 - Rozmiestnenie zaťažovacích bremien
- Obr.6 - Namerané hodnoty priehybov
- Obr.7 - Osadenie odporových tenzometrov
- Obr.8 - Osadenie odporových tenzometrov
- Obr.9 - Pozdĺžna osová sila
- Obr.10 - Šmykové sily

Fot.1 - Model lomenice zplexiskla - čelný pohľad

Fot.2 - Model lomenice zplexiskla - bočný pohľad