

### 3. Příklady použití volných kabelů

Volné kabely se uplatňují u stropních konstrukcí, u mostů a při rekonstrukcích betonových a zděných staveb. Některé charakteristické příklady použití volných kabelů se dále uvádějí.

#### 3 a. Stropní konstrukce

V zahraničí, zejména ve Spojených státech, Spojeném království a Švýcarsku, se vnitřní volné kabely užívají u monolitických deskových bezhlavicových stropů středních a velkých rozpětí. Lana opatřená ochranným povlakem vyplněným mazivem se ukládají do bednění a zabetonují. Zakřivený průběh lan se přizpůsobuje průběhu ohybových momentů vyvozených zatížením. Lana jsou trvale zabudována.

Lana  $\varnothing$  12,5 mm se na stavbu dodávají ve svitcích. Do bednění se ukládají tak, aby vytvářela dostatečně hustou osnovu výztuže. Lana se kotví v samosvorných kotvičkách, sestávajících z objímek a třídlých čelistí a napínají se lehkými hydraulickými válci. Objímka kotvičky se zapouští do kapsy v čele stropní desky. Po zavedení předpětí se kapsa s kotvou zabetonuje.

Spojité stropní desky jsou tlusté alespoň 1/42 rozpětí, ale nejméně 125 mm a dlouhé nejvýše 45 m. Počet lan v obou směrech se stanoví podle zatížitelnosti stropu. Lana osazená v podporovém pruhu se podílejí na nosnosti stropu výrazněji než lana v mezpodporovém pruhu. Proto se do podporového pruhu vkládá až 70 % lan. Vzdálenost lan nemá přestoupit v podporovém pruhu čtyřnásobek tloušťky desky, ale nejvíce 0,90 m, a v mezpodporovém pruhu šestinásobek, ale nejvíce 1,05 m. Lana mají v poli i nad podpěrou parabolický průběh. Inflexní bod mezi oběma parabolami je od podpěry vzdálen na 0,1 násobek rozpětí. V rozhodujících průřezích se volí největší výstřednost lan, kterou připouští požadavek na krytí lan z důvodů trvanlivosti a požární odolnosti.

Předpětí se v praxi navrhuje tak, aby svislý tlak zakřivených lan v poli odpovídal stálému zatížení zvětšenému o čtvrtinu nahodilého zatížení.

Pojednávané stropní konstrukce jsou v zahraničí užívány v občanské výstavbě, např. pro obchodní a administrativní budovy a garáže. Při jejich aplikaci se vykazují nízké výrobní náklady a malá pracnost. U nás zatím nenašly uplatnění.

#### 3 b. Mosty

U mostů se užívají vnější volné kabely sestavené obvykle až z 12 lan  $\varnothing$  15,5 mm v různých úpravách. U několika mostů v ČR se uplatnil kabel z lan, opatřených polyetylenovým povlakem vyplněným mazivem. Kabel se ukládá v polyetylenové trubce, která se před napínáním kabelu zainjektuje injektážní maltou. To umožní, že se lana kabelu mohou napínat a kotvit jednotlivě běžným zařízením. Ukotvení kabel se

v prostupu kotvou chrání zainjektováním. Při zainjektování kotvy injektážní maltou se kryje kotva běžně betonem, při zainjektování mazivem se chrání kotva mazivem a těsným ocelovým krytem.

Kabely procházejí kotevními bloky aniž by měnily směr, ale v průchodu sedly mění plynule směr mezi přilehlými příjmy úseky. Kotevní bloky a sedla, přenářející síly vyvozené kabely do konstrukce, se navrhuje jako železobetonové prvky.

#### 3 c. Rekonstrukce

Vnější volné kabely nalézají široké využití při rekonstrukcích betonových a zděných staveb. Jejich úprava záleží na velikosti požadovaných sil, na rozměrech a dispozici rekonstruované stavby apod.

Jednotlivá lana  $\varnothing$  12,5 a  $\varnothing$  15,5 mm opatřená ochranným povlakem vyplněným mazivem, kotvená v samosvorných kotvičkách a napínaná lehkými hydraulickými válci, jsou vhodná pro vyvození menších sil, např. při stahování zdí porušených trhlinami a posuvy. Pro omezení vlivu pokluzu v kotvičce, je vhodné tato lana použít v délkách nad 6 m.

Pro kratší kabely se mohou použít jednotlivě hladké tyče  $\varnothing$  26 a  $\varnothing$  32 mm se závitěm naválcovanými za studena, které se kotví na matici a šroub bez pokluzu a napínají poměrně lehkými hydraulickými válci. Tyto tyče se výhodně používají i u delších kabelů pokud dispozice stavby umožní manipulaci s tyčemi dlouhými přes 6 m. Tyče se mohou spojit na závit a šroub v dlouhé kabely.

Větší síly je možné vyvodit volnými kabely sestavenými z lan  $\varnothing$  15,5 mm popsány ve statí 3 b.

Kotevní blok a sedla bývají navrženy jako ocelové prvky, přichycené k betonové či zděné konstrukci ocelovými svorníky.

Kabely z jednotlivých lan byly např. použity při zajišťování zdí rekonstruovaných historických budov v Praze. Kabely z tyčí se uplatňují např. v západních Čechách při zesilování příhradových vazníků z předpjatého betonu, které byly poškozeny při požáru. Kabely sestavené z lan byly použity na Slovensku při opravě trámového mostu z předpjatého betonu, u něž se objevily trhliny.

#### 4. Závěr

Volné kabely nenašly zatím v ČR, kromě mostů, širší uplatnění. Dá se ale očekávat, že se jako další výsledek průběžného vývoje předpjatého betonu prosadí i u nás.

*Prof. Ing. Bohumír Voves, DrSc.*

*Pod Fialkou 7, 150 00 Praha 5*

## NAVRHOVANIE ČIAŠTOČNE PREDPĚTÝCH BETONOVÝCH KONŠTRUKCIÍ VYSTUŽOVANÝCH S LANAMI BEZ SÚDRŽNOSTI

**Predpínacie laná - betonárska výstuž - pôsobenie - medzné stavy: únosnosť, šírky trhlín, pretvorenia - tvar prierezu - rozmiestenie výstuže - príklad použitia.**

#### Úvod

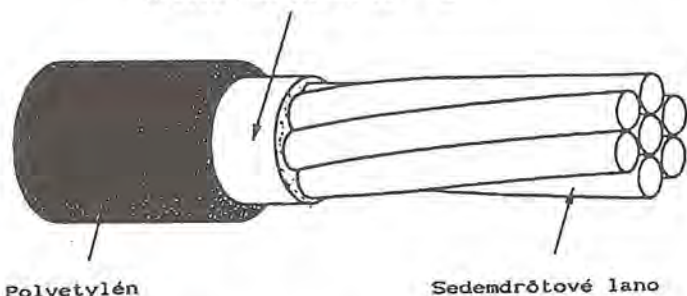
Použitie technológie predpínania betónových nosných prvkov pozemných stavieb umožňuje vo všeobecnosti zvyšovať ich únosnosť a rozpätie. Popri bežných klasických technológiach výroby predpätých prvkov (vopred predpätý betón a dodatočne predpätý betón) sa používa v posledných rokoch v zahraničí tiež technológia dodatočného predpínania pomocou lán bez súdržnosti - monostrandov. Princípom tejto technológie je použitie predpínacích lán s vysokou pevnosťou, ktoré sú chránené polyetylenovým plášťom kruhového prierezu. Vo vnútri plášťa je priestor okolo lana vyplnený špeciálnym mazivom. Toto mazivo jednak zabezpečuje pohyb lana v plášti s minimálnym trením a jednak chráni lano pred koróziou. V zmysle ČSN 73 1201-86 je možné aplikovať pre riešenú problematiku vysokopevnostné laná zo siedmich patentovaných drôtov s menovitým priemerom 12,5 alebo 15,5 mm. Ide o laná s označením LA (normová pevnosť  $R_{pn}=1620$  MPa) a s označením LSA (normová pevnosť  $R_{pn}=1800$  MPa). Väčšina výrobcov dodáva laná monostrandy s najmenším priemerom 19,5 mm. Celkový priemer lana monostrandu i s plášťom je o 4,5 mm väčší ako menovitý priemer samotného lana s toleranciou  $\pm 0,5$  mm.

Takéto laná v plášti bez adhézneho spojenia s okolitým betónovým prostredím umožňujú vniesť prakticky ľubovoľné pred-

pätie do nosného konštrukčného prvku. Je ich možné vložiť do debnenia prvku obdobne ako bežnú betonársku výstuž pred betónovaním. Tvar trasy predpínacej jednotky z monostrandu je možné prispôbiť smeru hlavných ťahových napätí po dĺžke staticky určitého alebo neurčitého prvku (priame laná, zakrivené laná pomocou kruhových alebo parabolických oblúkov s minimálnym polomerom krivosti  $r_{min}=1,5m \pm 0,15m$ ). Po nadobudnutí potrebnej pevnosti betónu sa laná napínajú predpínacími zariadeniami opretými o hotový betónový prvok a zakotvujú pomocou kompaktných kuželíkových samosvorných kotiev. Kotvy sa vkladajú do debnenia prvku spolu s monostrandmi. Umožňujú prípadné dodatočné dopnutie predpínacích lán, resp. ich napínanie v etapách podľa nárastu zaťaženia betónového prvku. Ochrana lana v miestach uchytenia do kotvy je zabezpečená plastikovou čiapkou naplnenou ochrannou vazelinou na vonkšej strane a prechodovou teplotom zmráziteľnou hadicou (polyetylenovým konektorom) na vnútornej strane kotvy. Kotvy sú presne odliaty z legovanej ocele, ktorá po zušľachtení dosahuje pevnosť až 1000 MPa a sú odzkušované pre laná s maximálnou nor-



*Doc. Ing. Ivan Harvan, CSc.*

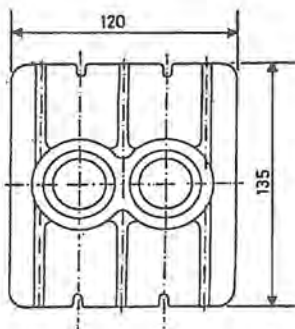
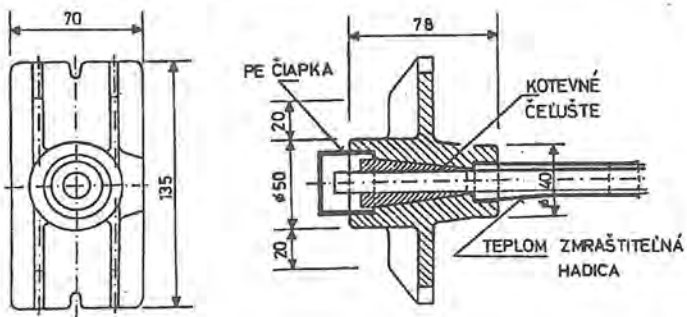


Polyetylén

Sedemdrôtové lano

Obr. 1 Predpínacie lano bez súdržnosti - monostrand

movou pevnosťou  $R_{pn}=1900$  MPa. Napínanie lana v betónovom prvku môže byť obojstranné alebo jednostranné. Potom pre tzv. mŕtve kotvenie na nenapínanej strane sa použijú kotvy v úprave s kovovou skrutkovateľnou čapicou a prítlačnou pružinou na zatlačenie kotevného kúžlíka. Kompaktné kotevné systémy sa dodávajú pre kotvenie jedného alebo dvoch lán bez súdržnosti. Cenovo výhodnejšie je používanie spoločného kotvenia dvoch lán v združenej kompaktnej kotve.



Obr. 2 Kompaktné kuželíkové samosvorné kotvy pre laná bez súdržnosti

Pre vytvorenie tvaru betónového prvku postačuje ľahké bežné debenie, ktoré nie je namáhané napínacím zariadením. Toto je najväčšia výhoda použitia lán bez súdržnosti, nakoľko je potom možné predpínať ako prefabrikované tak i monolitické betónové nosné prvky. Ďalšia veľká výhoda spočíva v dvojnásobnej ochrane lana pred koróziou. Odpadá nutnosť vnášať do betónového prvku tzv. plné predpätie (plné predpätie zamedzí vznik trhlin, čo je podmienka ochrany bežnej nechránenej predpínacej výstuže s adhéziou pred koróziou), resp. kontrolované čiastočné predpätie (kontrolované čiastočné predpätie pripúšťa odmedzené trhliny pri celkovom zaťažení, pri stálom zaťažení sa musia trhliny z hľadiska ochrany bežnej predpínacej výstuže úplne uzavrieť). Môžeme teda používať čiastočné predpäté betónové prvky, v ktorých vzhľadom na ochranu lán bez súdržnosti pripúšťame šírky trhlín ako v bežných železobetónových prvkoch v závislosti od vonkajšieho prostredia. Pre dosiahnutie pravidelne rozptýlených trhlín s malou šírkou je potrebné predpäté prvky s lanami bez súdržnosti vystužovať ako pozdĺžnou, tak i priečnou výstužou podľa konštrukčných zásad pre nosné železobetónové prvky. Táto betonárska výstuž sa zúčastňuje na nosnosti čiastočne predpätého prvku veľmi významným spôsobom.

### Pôsobenie lana bez súdržnosti v predpätom prvku

Statické pôsobenie lana bez súdržnosti je zásadne odlišné od lán spolupôsobiacich s betónom pomocou súdržnosti. Zrušenie súdržnosti na kontaktnej ploche lana s betónom má za následok v priereze nezávislé pomerné pretvorenie lana  $\epsilon_p$  od pomerného pretvorenia betónu  $\epsilon_b$ . Pretvorenia lana  $\epsilon_p$  závisí iba od napätia  $\sigma_p$  vneseného pri predpínaní a od celkových pretvorení  $\Delta\epsilon_p$  betónového prvku v miestach zakotvenia lana. To znamená, že potrebné predpätie sa vznáša do prvku iba v miestach kotiev a v miestach radiálnych tlakov v zakrivených úsekoch lana (predpínacia sila je jednoznačne vonkajším zaťažením).

Pomerné pretvorenia lana  $\Delta\epsilon_p$  od celkového vonkajšieho extrémneho zaťaženia  $q_d$  je prakticky zanedbateľné oproti pretvoreniu od predpätia  $\sigma_p$ . Na medzi únosnosti prvku závisí  $\Delta\epsilon_p$  od priehybu pri jeho porušení. Podľa zahraničných predpisov býva hodnota  $\Delta\epsilon_p$  v rozmedzí 5 - 12% z celkového pomerného pretvorenia lana  $\epsilon_p$ . Spätne zavedenie zväčšenia pretvorenia lana  $\Delta\epsilon_p$  do posúdenia medze únosnosti predpätého prvku lanami bez súdržnosti má za následok zvýšenie  $\Delta q_d$  možného extrémneho zaťaženia pri porušení prvku o 2 - 6%. Pri prevádzkovom zaťažení prvku  $q_s$  je hodnota  $\Delta\epsilon_p$  výrazne nižšia. Pri výpočtoch staticky jednoduchších prvkov sa bežne účinok pomerného pretvorenia  $\Delta\epsilon_p$  zanedbáva, čo v skutočnosti o niečo zlepšuje technické parametre predpätého prvku ako z hľadiska jeho únosnosti, tak i z hľadiska priehybu a šírky trhlín.

Z uvedeného vyplývajú postupy pre návrh a posúdenie betónových prvkov predpätých s lanami bez súdržnosti. Laná oslabujú jednotlivé betónové prierezy kruhovými dutinami s priemerom, ktorý sa rovná celkovému priemeru lana. Vzhľadom na zrušenie súdržnosti s betónom skutočná plocha prierezu lana  $A_p$  sa nezapočítava do ideálnych prierezových veličín  $A_{bi}$  a  $J_{bi}$  (tieto veličiny na medzi vzniku trhlín sú nižšie ako pri použití lán so súdržnosťou).

### Prirastok pomerného pretvorenia $\Delta\epsilon_p$ lana bez súdržnosti na medzi únosnosti predpätého prvku

Prvok predpätý lanami bez súdržnosti sa v podstate chová ako bežný železobetónový prvok, na ktorý okrem vonkajšieho zaťaženia  $q_d$  pôsobí predpätie vyjadrené výpočtovou predpínacou silou  $N_{pd}$  pôsobiaceou na excentricite  $e_{pd}$ . V dobe užívania prvku  $t = \infty$  pri pôsobení zaťaženia  $q_d$  bude predpínacie napätie v lane bez súdržnosti približne  $\sigma_{p(\infty)} = 0,7 \sigma_{pd}$  ( $\sigma_{pd}$  je výpočtová pevnosť lana). V najviac namáhanom priereze prvku môže na medzi jeho únosnosti vzrásť predpínacie napätie o hodnotu  $\Delta\sigma_p = 0,3 \sigma_{pd}$ . Tento nárast je podmienený nárastom pretvorenia  $\Delta\epsilon_p$  v predpínacom laně (najviac po výpočtovú hodnotu medzného pretvorenia  $\epsilon_{pd} = 0,015$ ). Nárast pomerného pretvorenia  $\Delta\epsilon_p$  je dôsledkom priehybu  $w_m$  predpätého prvku v mieste vzniku plastického kľbu pri dosiahnutí medze únosnosti v najviac namáhanom priereze prvku. Na výpočet nárastu pretvorenia  $\Delta\epsilon_p$  (maximálna reálna hodnota nárastu je 12%) sa bežne môžu použiť zjednodušené metódy výpočtu vzhľadom na nevýznamnosť následného zvýšenia momentu na medzi únosnosti  $M_{qu}$  pre vonkajšie extrémne zaťaženie mimo účinkov predpätia (reálna hodnota nárastu  $M_{qu}$  v dôsledku nárastu pretvorenia  $\Delta\epsilon_p$  je do 6%).

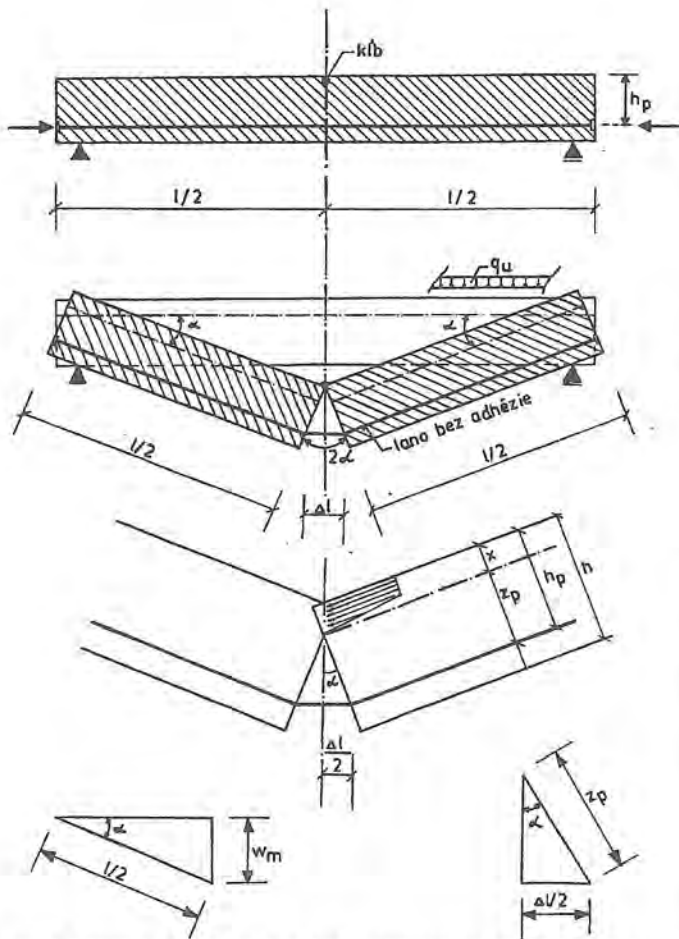
Rôzne jednoduchšie i zložitejšie modely na výpočet nárastu pretvorenia  $\Delta\epsilon_p$  sú popísané v lit. [1] až [5]. K jednoducho aplikovateľným patria kinematické modely medznej rovnováhy v betónových prvkoch pozemných stavieb.

Na proste podopretom predpätom nosníku s rovnomerným zaťažením  $q_u$  vznikne plastický kľb v strede jeho rozpätia zároveň s dosiahnutím medzného priehybu  $w_m$  (obr. 3). Ak zanedbáme malé zmeny priehybovej čiary mimo plastického kľbu, dostaneme kinematický mechanizmus pretvorenia prostého nosníka pozostávajúci z dvoch tuhých celkov spojených v ľahanej zóne prierezu lanom bez súdržnosti (toto spolupôsobí s nosníkom iba zakotvením v jeho čelách). Potom pootočenie  $\alpha$  v podperách nosníka bude

$$\operatorname{tg} \alpha = 2w_m / l \quad (1)$$

V mieste plastického kľbu bude platiť

$$\sin \alpha = \Delta l / 2 z_p \quad (2)$$



Obr. 3 Prírastok  $\Delta l$  dĺžky lana bez súdržnosti pri dosiahnutí medznej únosnosti predpätého prostého nosníka.

Pre malé úhly  $\alpha$  môžeme približne položiť  $\sin \alpha = \tan \alpha = \alpha$  a prírastok pomerného pretvorenia  $\Delta \varepsilon_p$  v lane bez súdržnosti na prostom nosníku dostaneme z výrazu

$$\Delta \varepsilon_p = \frac{\Delta l}{l} = \frac{4 w_m z_p}{l^2} \quad (3)$$

V posledných vzťahoch jsme označili

$z_p$  ... rameno medzi silovým ťažiskom predpínacích lán v ťahanej zóne prierezu a polohou neutrálnej osi na medzi únosnosti prierezu, ktorá je vo vzdialenosti  $x$  od tlačenej okraja prierezu. Približne platí

$$z_p = h_p - h / 10 \approx 0,8 h$$

$l$  ... teoretický rozpon nosníka,

$h$  ... celkovú výšku betónového prierezu nosníka v mieste plastického kľbu,

$w_m$  ... medzný prieťah nosníka pri dosiahnutí medze únosnosti najviac namáhaného prierezu. Tento prieťah sa obyčajne vyjadruje ako podiel z rozpätia  $l$

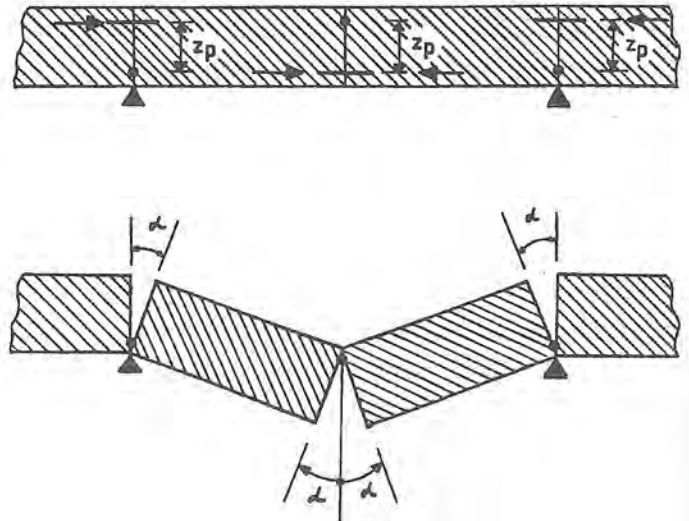
$$w_m = l / n$$

kde  $n$  sa buď odhaduje, alebo stanovuje požiadavkou na pretvorenie prvku tesne pred jeho porušením. Obyčajne uvažujeme  $n$  v rozpätí hodnôt 30 až 80.

Pre vnútorné pole spojitého nosníka (alebo pre rámovú priečfu) by sme dostali prírastok pomerného pretvorenia  $\Delta \varepsilon_p$  v lane bez súdržnosti (obr. 4) z výrazu

$$\Delta \varepsilon_p = \frac{\Delta l}{l} = \frac{2 w_m z_p}{l^2} \quad (4)$$

Iný model výpočtu nárastu pretvorenia  $\Delta \varepsilon_p$  v predpínacej výztuži na medzi únosnosti najviac namáhaného prierezu vychádza z podrobnejšej analýzy pretvorenia  $\varepsilon_p$  samotného plastického kľbu (obr. 5). Za predpokladu lineárneho priebehu pretvorenia  $\varepsilon$  v posudzovanom



Obr. 4 Kinematický mechanizmus pretvorenia vnútorného poľa spojitého nosníka na medzi únosnosti predpätého prvku s lanami bez súdržnosti

priereze na medzi únosnosti poznáme pri aplikovaní metódy medzných pretvorenia pretvorenie oboch okrajov prierezu  $\varepsilon_h$ ,  $\varepsilon_d$ . Pomocou týchto pretvorenia môžeme určiť pootočenie prierezu  $\omega$  a pretvorenie  $\varepsilon_p$  v plastickom kľbe

$$\omega = (\varepsilon_d - \varepsilon_h) / h \quad \bar{\varepsilon}_p = \omega z_p \quad (5)$$

Prírastok  $\Delta l$  dĺžky lana v oblasti plastického kľbu za predpokladu maximálneho pretvorenia  $\varepsilon_p$  v najviac namáhanom priereze a postupne klesajúcej hodnoty na nulu po dĺžke (približne  $z_p$ ) ťahovej plastickej zóny bude

$$\Delta l = 1/2 \bar{\varepsilon}_p 2 z_p = \bar{\varepsilon}_p z_p \quad (6)$$

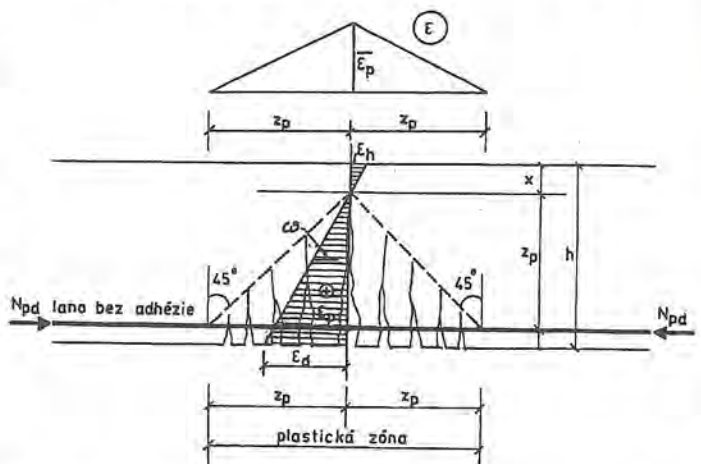
Prírastok pretvorenia  $\Delta \varepsilon_p$  je závislý na celkovej dĺžke lana bez súdržnosti  $L_p$ . Pomocou prírastku  $\Delta \varepsilon_p$  určíme prírastok predpätia v lane  $\Delta \sigma_p$  a následne výsledné predpínacie napätie v lane  $\sigma_p$  pre zvýšenú medznú únosnosť prierezu  $M_{qu}$ .

$$\Delta \varepsilon_p = \Delta l / L_p \quad \Delta \sigma_p = E_p \Delta \varepsilon_p$$

$$\sigma_p = \sigma_{p(\infty)} + \Delta \sigma_p \leq 0,9 \sigma_{pd} \quad (7)$$

Zvýšená medzná únosnosť  $M_{qu}$  sa určí s hodnotou zvýšeného napätia  $\sigma_p$  prostredníctvom výpočtovej predpínacej sily

$$N_{pd} = \gamma_{pp} \sigma_p \sum_i A_{pi} \quad (8)$$



Obr. 5 Model nárastu pretvorenia  $\Delta \varepsilon_p$  v plastickej zóne na medzi únosnosti predpätého prvku s lanami bez súdržnosti

## Posúdenie prvku predpätého lanami bez súdržnosti

Posúdenie prvku predpätého lanami bez súdržnosti (podrobnejšie v lit. [6], [7]) je potrebné realizovať pre tieto medzné stavy:

- Medzný stav únosnosti má značne vyšší význam ako pri predpätých prvkoch s adhéziou (tu vždy rozhodne medza vzniku trhlin). Medzná únosnosť je obdobná ako u železobetónových prvkov s tým, že predpätím lanami bez súdržnosti vnášame do prierezu tlak a opačný moment ako od zvislého zaťaženia  $q_d$ . Medzná únosnosť prvku s lanami bez súdržnosti je nižšia (v štádiu užívania na medzi únosnosti v lanách bude napätie  $\sigma_p \approx 0,7 R_{pd}$ , kde  $R_{pd}$  je výpočtová pevnosť lana) ako únosnosť obdobného prvku predpätého lanami s adhéziou (v dobe užívania na medzi únosnosti v lanách bude napätie  $\sigma_p \approx R_{pd}$ ). Je to dôsledok rozptylu prírastku pretvorenia  $\Delta l$  pri dosiahnutí medznej únosnosti na celú dĺžku  $L_p$  lana bez súdržnosti (viď. (7)). Posúdením medze únosnosti preukazujeme bezpečnosť predpätého prvku pri pôsobení extrémneho zvislého zaťaženia  $q_d$  so súčiniteľmi  $\gamma_f > 1$  a predpínacej sily  $N_p$  so súčiniteľom spoľahlivosti predpätia  $\gamma_{pp} = 0,9$ .
- Medzný stav šírky trhlin umožňuje posúdiť túto šírku pre dané prostredie obdobne ako pri železobetónových prvkoch s ohľadom na koróziu betonárskej výstuže (zabezpečenie životnosti nosného prvku). Ochrana lán bez súdržnosti a ich kotiev je technologicky tak zabezpečená, že k problematike ich korózie nie je potrebné prihliadať. Vhodný rozvoj trhlin v ťahových zónach prvku (ich pravidelné vzdialenosti a malá šírka) sa zabezpečuje dodržaním konštrukčných zásad vystužovania betonárskou výstužou (minimálne množstvo výstuže, krytie betónom a pod.). Posúdenie šírky trhlin prvku predpätého lanami bez adhézie je potrebné vzhľadom na spôsob jeho namáhania vždy urobíť. Šírky trhlin sa posudzujú pri prevádzkových hodnotách zvislého zaťaženia  $q_s$ . V prípade predpínania prvkov, u ktorých trhliny sú neprípustné, posudzujeme medzu vzniku trhlin pri zvislom extrémnom zaťažení  $q_d$ . Je vhodné posúdiť možnosť vzniku trhlin v štádiu predpínania prvku pri zaťažení pôsobiacom v dobe vnesenia predpätia do prvku (obvyčajne extrémna hodnota vlastnej tiaže prvku so súčiniteľom  $\gamma_f < 1$  a predpínacia sila  $N_p$  so súčiniteľom spoľahlivosti predpätia  $\gamma_{pp} = 1,06$ ).
- Medzný stav pretvorenia má značne väčší význam ako pri predpätých prvkoch lanami s adhéziou. Prípustením trhlin v ťahových oblastiach predpätého znižujeme jeho ohybovú tuhosť  $B_{tm}$ . Táto je však vyššia ako u železobetónových prvkov s ohľadom na priaznivý vplyv tlakovej predpínacej sily  $N_p$  v najviac ohybom namáhaných prierezoch. Posúdením pretvorenia predpätého prvku preukazujeme v štádiu užívania jeho použiteľnosť v priebehu prevádzky konštrukcie. Viditeľný priehyb betónového prvku bez dodatočne upravovaného podhľadu posudzujeme na celkový účinok všetkých prevádzkových zaťažení  $q_s$  (aj s okamžitým priehybom od vlastnej tiaže prvku).

Návrh tvaru betónového prierezu a polohy výstuže súvisí s požiadavkami na vlastnosti betónového predpätého prvku (účel prvku, technológia výroby a stavby, statika nosnej konštrukcie a pod.). Vzhľadom na splnenie podmienok spoľahlivosti pre jednotlivé medzné stavy konštrukcie je potrebné rozmery jej priečných rezov navrhovať tak, aby bolo v nich možné bez problémov umiestniť predpínacie láná bez súdržnosti monostrandy a betonársku výstuž. Najmenšia hrúbka každej časti betónového prierezu musí umožniť kvalitné spracovanie betónu vyššej triedy i medzi výstužou pri dolnom okraji konštrukcie. To vyžaduje, aby svetlá vzdialenosť medzi povrchmi betonárskej výstuže, resp. povrchmi ochrany lán bez adhézie bola aspoň 40 mm. Pre zabezpečenie rovnomerného rozptýlenia trhlin s malou šírkou a dosiahnutie únosnosti je potrebné čiastočne predpäté nosníky vystužovať ako pozdĺžnou, tak i priečnou výstužou podľa požiadaviek pre nosné železobetónové prvky. Táto betonárska výstuž sa zúčastňuje na nosnosti čiastočne predpätého nosníka veľmi významným spôsobom. Problematika rozmiestnenia a správneho pomeru betonárskej a predpínacej výstuže je v niektorých stiesnených rozmeroch betónového prierezu rozhodujúca ako z hľadiska statického tak i ekonomického. Pri vyšších hladinách zaťaženia alebo pri väčších rozpätiach konštrukcie môže byť výška prierezu nedostatočná a potom sa dostávame s viacradovou nosnou výstužou do blízkosti ťažiska prierezu. Dôsledkom je nižšie napätie v betonárskej výstuži (menej ako výpočtová pevnosť  $R_{sd}$ ) a u predpínacej výstuži malé rameno vnútorných síl na prenášaní momentov od vonkajšieho zaťaženia. Preto

parametre nízkeho prierezu často zvyšujeme pomocou pomerne silnej tlačenej betonárskej výstuže.

Vo všeobecnosti treba povedať, že určenie polohy a množstva výstuže (ako betonárskej tak i predpínacej) vzhľadom na rozpätia a zaťaženia je vecou určitého optimalizačného riešenia pre stanovenie minimálnej plochy výstuže v prierezoch celej navrhovanej konštrukcie. Optimalizačný proces spočíva v opakovanej sérii posúdení predpätej konštrukcie podľa všetkých troch medzných stavov s vhodnými množstvami a polohami výstuže. Vzhľadom na náročnosť a pracnosť problematiky týkajúcej sa posudzovania predpätých prierezu, je nutné na tieto účely využívať vhodné programové vybavenie počítača (pozri [8]).

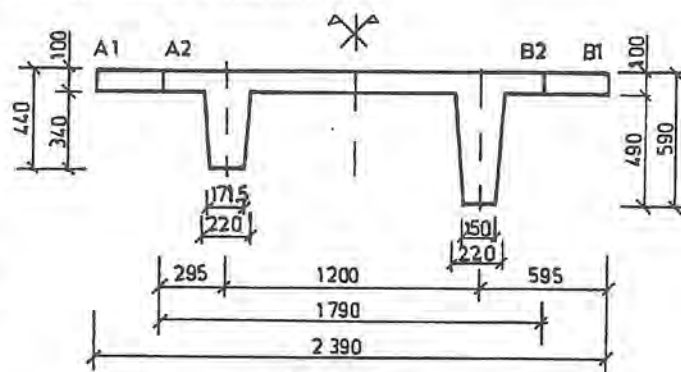
Pri predpínaní staticky neurčitých montovaných konštrukcií a monolitických konštrukcií betónovaných po častiach dochádza k zmene primárnych účinkov predpätia (tieto účinky vznikajú na staticky určitom prvku pri jeho predpínaní mimo konštrukcie) o sekundárne účinky, ktoré sú dôsledkom silových a deformačných staticky neurčitých väzieb obdobne ako pri bežných vonkajších zaťaženiach. Pri analýze prvkov montovanej konštrukcie je potrebné zohľadniť postupne sa meniacu statickú schému pre výpočet vnútorných síl na každom predpätom prvku.

Ukážka aplikácie predpätia na prvkoch s lanami bez súdržnosti v oblasti pozemných stavieb

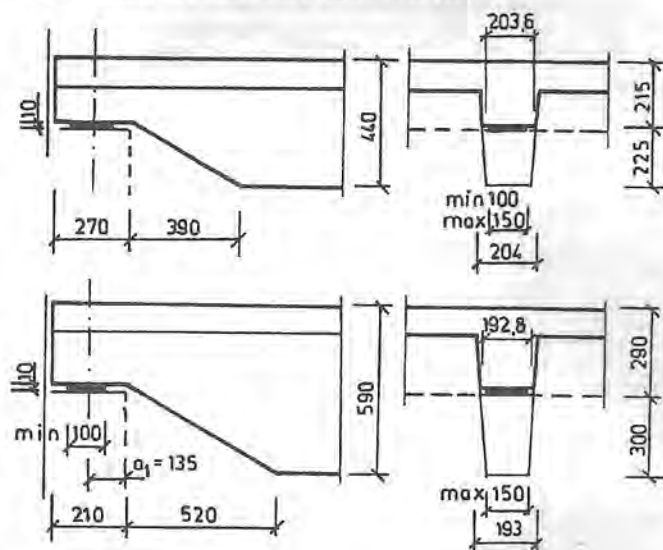
Návrh čiastočne predpätých konštrukcií s lanami bez súdržnosti sme aplikovali na analýzu zvýšenia zaťažiteľnosti a rozpätí prvkov montovaného skeletu PREMO. Tento montovaný skelet je v súčasnosti vyrábaný akciovou spoločnosťou Preming Chrudim v železobetónovej variante pre použitie jeho nosnej konštrukcie v občianskych stavbách a pre ťahký priemysel.

Ako ukážku sme vybrali návrh dvoch typov čiastočne predpätých rebrových stropných panelov PREMO (obr. 6). Tieto panely boli riešené s rôznymi stupňami predpätia a s jenotnou betonárskou výstužou.

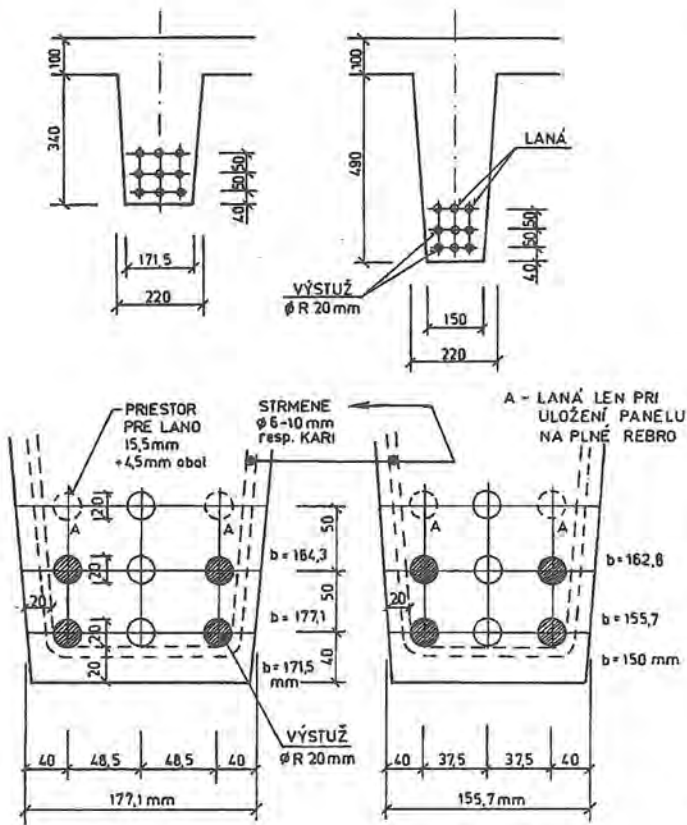
## ZÁKLADNÉ PRIEREZY



## ULOŽENIE NA ZNÍŽENOM REBRE

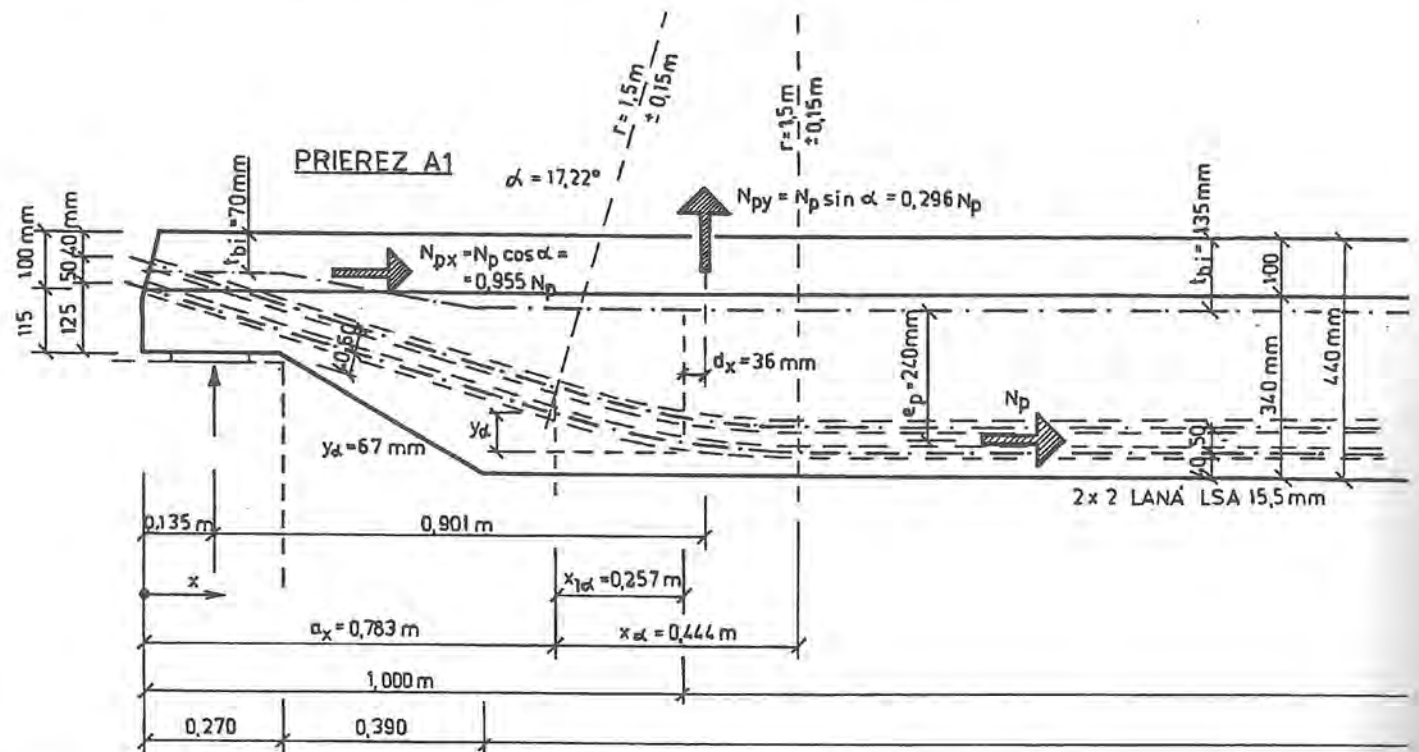


Obr. 6 Tvar rebrových panelov PREMO

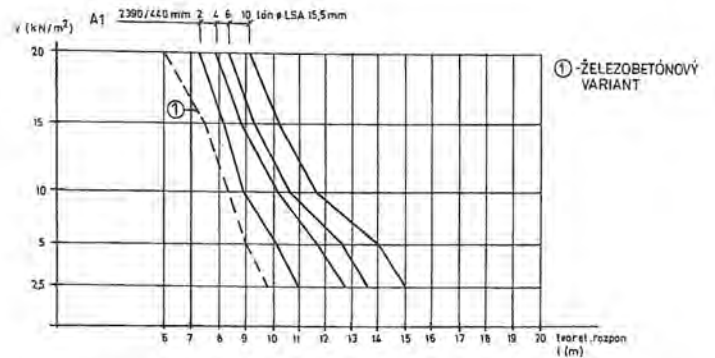


Obr. 7 Umiestnenie predpínacích lán bez súdržnosti a betonárskej výstuže v priečnom reze panelov

Vybrané panely PREMO majú priečný rez TT so šírkou hornej dosky 2390 mm, hrúbka tejto dosky je 100 mm. Dve rebrá lichobežníkového prierezu majú buď výšku 340 mm (panel s priečnym rezom A1 má celkovú výšku 440 mm) alebo výšku 490 mm (panel s priečnym rezom B1 má celkovú výšku 590 mm).



Obr. 8 Zakrivenie lán bez súdržnosti v podperovej oblasti panelu výšky 440 mm s tvarom priečného rezu A1

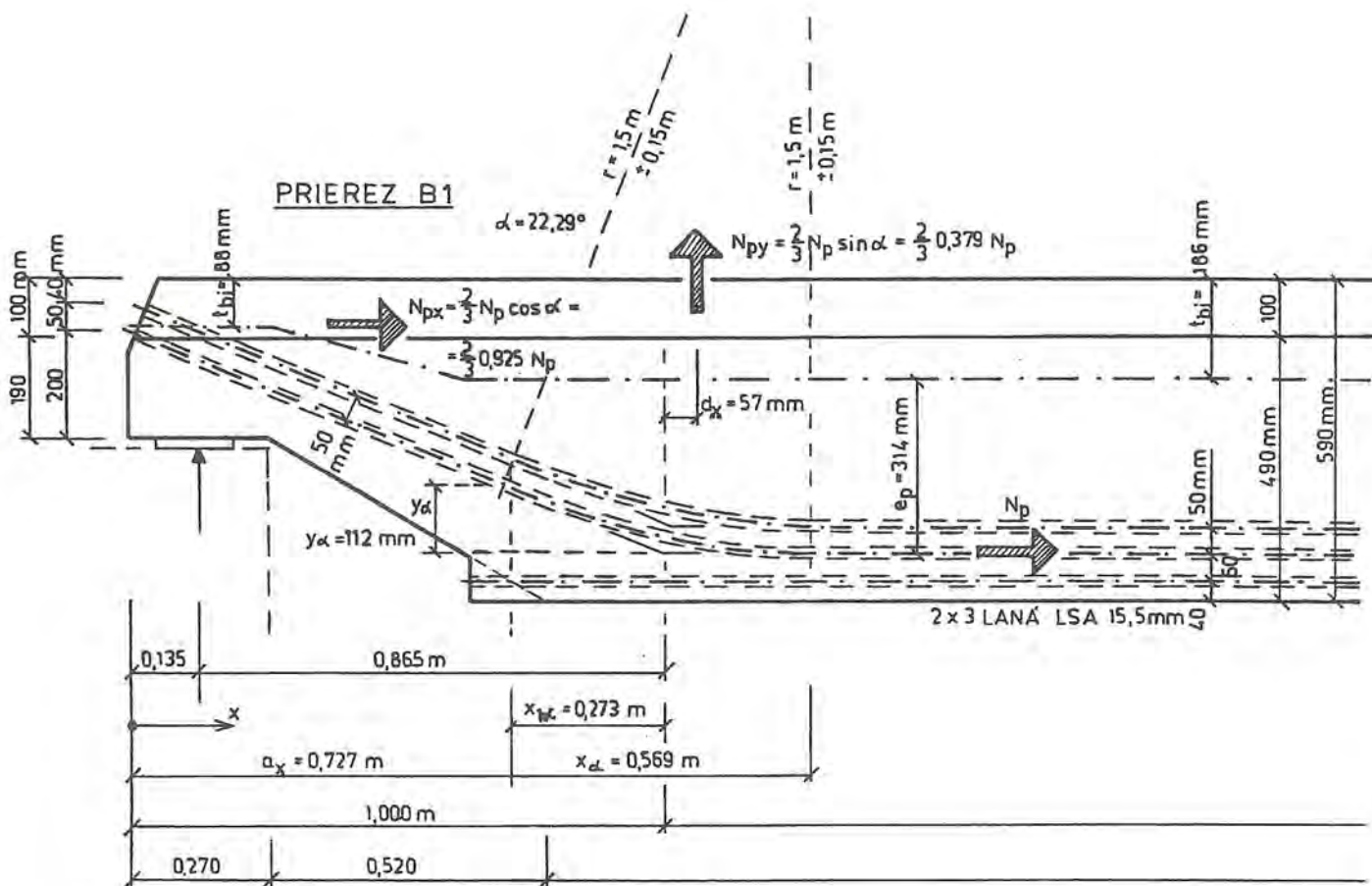


Obr. 10 Závislosť medzi náhodným zaťažením  $q$  a teoretickým rozpätím  $l$  rebrového panelu výšky 440 mm s priečnym rezom A1

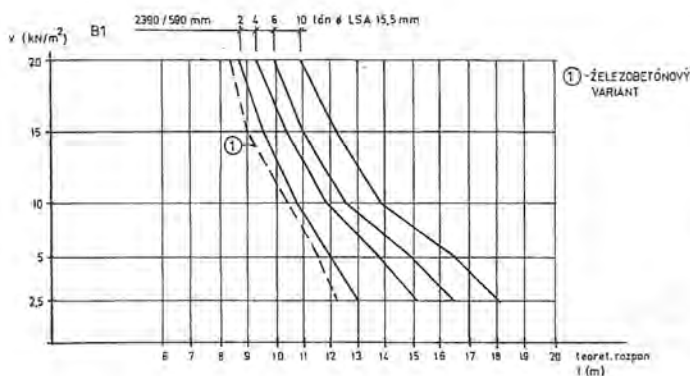
Na obr. 7 sú uvedené možnosti umiestnenia predpínacích lán  $\varnothing$ LSA 15,5 mm a betonárskej výstuže  $\varnothing$ R 20 mm v priereze panelov. Pri navrhovanom rozmiestnení pozdĺžnej výstuže predpokladáme ešte možnosť kvalitného spracovania betónu pri dolnom okraji rebriev, aby bolo možné v paneloch dosiahnuť betón triedy B40. V navrhovanom umiestnení pozdĺžnej výstuže sa predpokladá vystužiť každé rebro betonárskou výstužou 4  $\varnothing$ R 20 mm a aspoň jedným lanom  $\varnothing$ LSA 15,5, resp. maximálne piatimi lanami  $\varnothing$ LSA 15,5 mm. Napätie v predpínacej výstuži v čase užívania panelov sa uvažovalo hodnotou  $\sigma_p = 1000$  MPa.

Panely uložené v podpere na zníženom rebre môžeme predpínať tiež vhodne zakrivenými lanami bez súdržnosti. Tvar trasy predpínacích lán v podpere panelov je schematicky naznačený na obr. 8 a obr. 9. Uplatnenie zakrivenia lán bez súdržnosti v podperovej oblasti rebrového panelu má tieto statické výhody:

- Znížené uloženie je predpäté silou  $N_{px}$ , čo podstatne zvyšuje únosnosť  $Q_{bu}$  betónovej časti prierezu v šmyku. Tým sa obmedzí rozvoj šikmých šmykových trhlin v oblasti podpory rebrového panelu.
- Zvislá zložka  $N_{py}$  predpínacej sily  $N_p$  v mieste zalomenia lana výrazne znižuje hodnotu priečnej sily  $Q_{qd}$  od celkového extrémneho zvislého zaťaženia.



Obr. 9 Zakrivenie lán bez súdržnosti v podperovej oblasti panelu výšky 590 mm s tvarom priečného rezu B1



Obr. 11 Závislosť medzi náhodilým zaťažením v a teoretickým rozpätím l rebrového panelu výšky 590 mm s priečnym rezom B1

Závislosť medzi maximálne prípustným prevádzkovým náhodilým zaťažením  $v$  (kN/m<sup>2</sup> pôdorysu) pri stálom prevádzkovom zaťažení  $g_1 = 2,25$  kN/m<sup>2</sup> pôdorysu (okrem vlastnej tiaže  $g_0$ ) a teoretickým rozpätím panelov  $l$  (m) s priečnymi reznami A1, B1 je graficky spracovaná na obr. 10 a obr. 11. Čiarkovou čiarou je vyznačená závislosť pre bežne vyrábané železobetónové panely bez predpätia. Plnými čiarami sú znázornené závislosti zaťaženia a rozpätia pri rôznom počte použitých predpínacích lán bez súdržnosti. Znárodné závislosti zohľadňujú medznú únosnosť panelov (rozhodujúci medzný stav pri náhodilých zaťaženiach  $v$  nad 10 kN/m<sup>2</sup>), ich limitný prieťah (medzný stav pretvorenia rozhoduje pri zaťaženiach  $v$  pod 10 kN/m<sup>2</sup>) ako i medznú šírku trhlín v bežnom prostredí. Z obrázkov je zrejme výrazné zvýšenie zaťažiteľnosti a rozpätí riešených rebrových panelov so stúpajúcim počtom použitých predpínacích lán bez súdržnosti.

## LITERATÚRA

- [1] Ritz, Matt, Tellenbach, Schlub, Aeberhard: POST - TENSIONED CONCRETE IN BUILDING CONSTRUCTION VSL International LTD, Bern, Switzerland 1985.
- [2] Dilger, Suri: STEEL STRESSES IN PARTIALLY PRESTRESSED CONCRETE MEMBERS PCI JOURNAL, Chicago, USA 1986.
- [3] Virlogeux: NON - LINEAR ANALYSIS OF EXTERNALLY PRESTRESSED STRUCTURES FIP Symposium, Jerusalem, 1988.
- [4] Leonhardt: CRACKS AND CRACK CONTROL IN CONCRETE STRUCTURES PCI JOURNAL, Chicago, USA 1988.
- [5] Shunji Inomata: AN APPROACH FOR CREEP ANALYSIS OF CRACKED PARTIALLY PRESTRESSED CONCRETE MEMBERS PCI JOURNAL, Chicago, USA 1987.
- [6] Harvan: VÝPOČET PRIEHYBOV A ŠÍROK TRHLÍN ČIASTOČNE PREDPÄTÝCH PRVKOV S LANAMI BEZ SÚDRŽNOSTI Zborník 12. konferencie o predpätom betóne, Praha 1993.
- [7] Harvan: NAVRHOVANIE ŽELEZOBETÓNOVÝCH PRVKOV PREDPÄTÝCH S LANAMI BEZ SÚDRŽNOSTI Výskumná úloha, Stavebná fakulta STU, Bratislava 1992
- [8] Harvan: PREDPÄTÝ BETÓN Popis k edícii programov ŽELEZOBETÓN, Bratislava 1992
- [9] Chandoga: TECHNOLÓGIA A PROSTRIEDKY PRE REALIZÁCIU DODATOČNÉ PREDPÄTÝCH STROPNÝCH KONŠTRUKCIÍ Správa pre Ministerstvo dopravy, verejných prác a spojov SR, Bratislava 1992.

Doc. Ing. Ivan Harvan, CSc.

pracovník Katedry betónových konštrukcií a mostov Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave.