

DELAMINATION PROCESS OF COMPOSITE LAYERED CONCRETE ELEMENTS  
UNDER STEADY AND REPEATED LOADING.PROCES DELAMINÁCIE VRSTEVNATÝCH BETÓNOVÝCH PRVKOV  
PRI STÁLOM I OPAKOVANOM ZŤAŽENÍ

Ľudovít Nasch

## Résumé:

The setup for the experimental analysis of the delamination process under steady as well as fatigue loading is presented. Both, force and deformation controlled loading procedures are applied. The three, *cohesion*, *interlock*, and *friction*, components of the shear capacity of the joints without bond reinforcement are investigated with respect to operational reliability of the composite load-bearing elements.

## ÚVOD

K posúdeniu splnenia požiadaviek spoľahlivosti a bezpečnosti rôznych hlavných prvkov, ktoré tvoria konštrukciu, je potrebná analýza chovania sa jednotlivých prvkov a ich súčastí [ 1 ].

Analýza procesu delaminácie *nevystužených* spojov medzi jednotlivými vrstvami kompozitných betónových prvkov je aktuálna nielen pre stále, ale najmä pre opakované, únavové zaťaženie, ktoré sa vyskytuje v niektorých odvetviach ľahkého priemyslu, v skladoch, resp. v stavbách spojených s dopravou (garáže, autobusové nádražia, a pod.).

Dôsledkom delaminácie spoja medzi vrstvami kompozitného prvku je výrazná strata jeho schopnosti prenášať šmykové namáhanie, čo podstatne znižuje jeho tuhosť i únosnosť a môže spôsobiť jeho (náhlu) deštrukciu.

Proces delaminácie prebieha v niekoľkých charakteristických etapách, ktoré priamo súvisia s jednotlivými zložkami šmykovej únosnosti spoja, pričom :

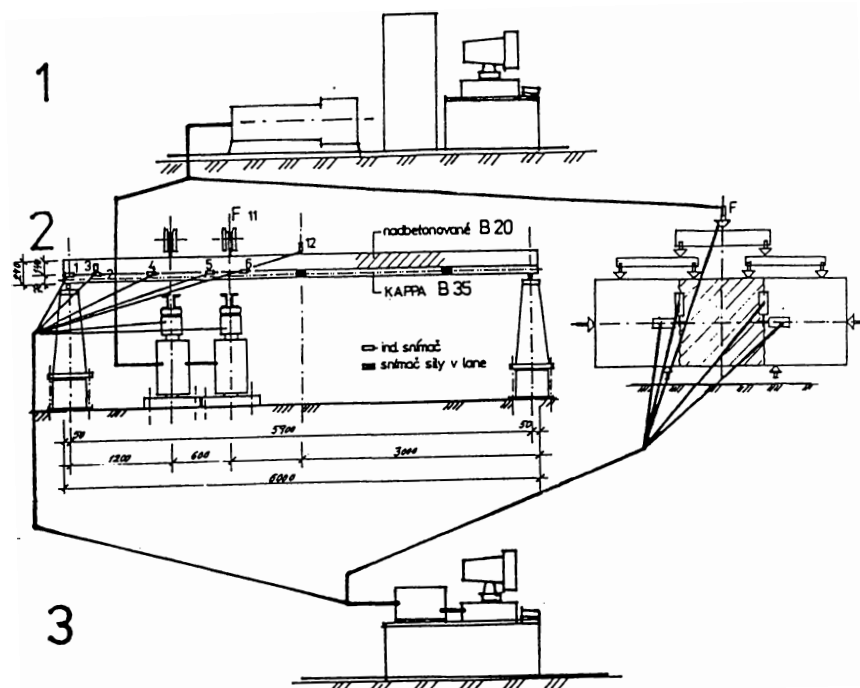
-*kohézia*, ako dôsledok fyzikálno-chemických procesov medzi materiálmi susediacich vrstiev, prispieva k únosnosti spoja bez porušenia geometrickej kompatibility medzi susediacimi vrstvami, -*vzájomné mechanické zaklínenie (interlock)*, sa mobilizuje a výrazne prejavuje pri vzniku vzájomného posunutia medzi susediacimi vrstvami. Pri prekročení určitej medznej hodnoty vzájomného posunutia susediacich vrstiev má klesajúcu tendenciu. Z definície nie je závislé na prítlačnej sile.

-*trenie*, je závislé na prítlačnej sile. Do vzniku vzájomného posunutia medzi susediacimi vrstvami je úmerné kludovému, v procese vzájomného posúvania vrstiev kinetickému súčiniteľu trenia. Z definície nie je závislé na veľkosti vzájomného posunutia medzi vrstvami.

#### METODIKA

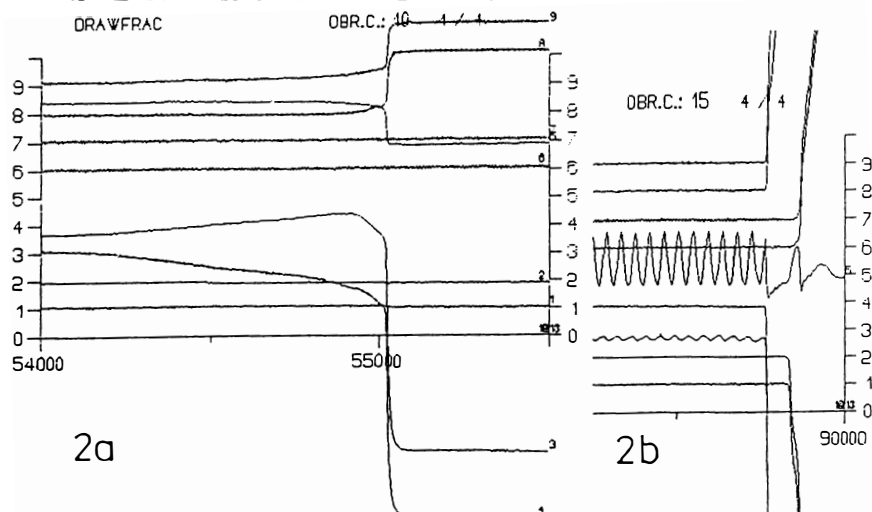
Analýzu sledovaného javu robíme pomocou metodiky rýchleho snímania a registrácie deformačných a silových parametrov procesu porušovania, a to tak v mäkkom (silovo kontrolovanom) ako aj v tvrdom (deformačne kontrolovanom) zaťažovacom režime. Pri zaťažovaní sa jedná o jednorazové zaťaženie, ako aj o únavové opakované zaťaženie. Na sledovanie hodnôt premiestnení používame dva typy integrovaných indukčných snímačov. Citlivosť snímačov je  $0.5 \times 10^{-3}$  mm/digit pre snímače s rozsahom  $\pm 1.0$  mm a  $2.0 \times 10^{-3}$  mm/digit pre snímače s rozsahom  $\pm 10.0$  mm. Rýchlosť snímania sa pohybuje v rozsahu 100 až 600 Hz. Počet registrovaných miest je 9 až 15. Frekvencia opakovaného zaťaženia je pre "veľký" model 3 Hz čo zodpovedá cca  $1.0 \times 10^4$  cyklom/hodinu, a 14 Hz pre "malý", trojvrstvový model, čo zodpovedá cca  $5.0 \times 10^4$  cyklom/hodinu.

Schéma usporiadania experimentu je na Obr.č.1, kde je označené číslom 1 zaťažovacie a riadiace zariadenie SCHENCK, číslom 2 analyzované modely a schéma snímaných miest, číslom 3 snímacie a pamäťové zariadenie (personálny počítač PC/AT, doplnený A/D prevodníkom a streamerom).



Obr.č.1 Schéma usporiadania experimentu

# NIEKOTRÉ ILLUSTRATÍVNE PRÍKLADY A ZÁVER



Obr.č.2a Poškodzovanie a delaminácia pri jednorazovom zaťažení

Obr.č.2b Poškodzovanie a delaminácia pri opakovanom zaťažení

Na predchádzajúcich dvoch obrázkoch je uvedený primárne registrovaný priebeh poškodzovania a delaminácie nevystuženého spoja, zisťovaný na "malých" (200.200.600 mm) trojvrstvových modeloch.

Na Obr.č.2a sú uvedené hodnoty sily i premiestnení, registrované na vzorku série 10, kde je použitý B-35 pre kocky na okraji a B-25 pre strednú, dobetónovanú, časť vzorky. Prirodzená drsnosť povrchu okrajových kociek v spoji, vyjadrená hĺbkou zaplnenia, je  $R_z \approx 500-600 \mu\text{m}$ . Zaťažovanie prebehlo v tuhom režime rýchlosťou 1mm za 100 sec. Maximálne dosiahnuté šmykové napätie v styku bolo  $\phi\tau \approx 0.74 \text{ MPa}$ .

Na Obr.č.2b sú uvedené registrované hodnoty sily i premiestnení na vzorku tej istej série pre opakované zaťaženie, tentoraz v mäkkom, silovo kontrolovanom zaťažovacom režime. Model bol v čase rozhodujúceho poškodenia zaťažovaný premennou silou  $F$  v intervale  $\langle 10 \text{ až } 50 \text{ kN} \rangle$ , čomu zodpovedá v spoji  $\phi\tau \approx 0.1 \text{ až } 0.5 \text{ MPa}$ , frekvenciou 14 Hz. K poruche prišlo po cca  $1.0 \times 10^5$  cykloch.

Ako naznačujú dosiahnuté výsledky, umožňuje použitá meracia metodika kvalitatívne i kvantitatívne analyzovať príspevky jednotlivých zložiek šmykovej únosnosti k medznej únosnosti nevystužených spojov kompozitných vrstevnatých betónových prvkov a to tak pre stále, ako aj pre opakované (únarové) zaťažovanie.

## POĎAKOVANIE

Výskum na sledovanej problematike sa robí v rámci grantového projektu GA-SAV 221 Slovenskej akadémie vied, za spoluúčasti š.p. ZIPP-Bratislava.

## LITERATÚRA

[1.] Ľ. Nasch: "Operačná spoľahlivosť kompozitných prvkov pod opakovaným zaťažením". v zborníku prednášok konferencie *Späžené železobetonové konstrukce*, Betonárska spol. ČSSI a Kloknerov ústav ČVUT, Pardubice, 9.12.1992

Ľudovít NASCH, Ing., CSc.

Ústav stavebníctva a architektúry SAV,

Dúbravská cesta 9,

842 20 BRATISLAVA

tel. /07/ 373548 fax /07/ 372494