

VYHODNOCENÍ LOMOVÉHO EXPERIMENTU S KATASTROFICKOU ZTRÁTOU STABILITY

P. Frantík¹⁾ a Z. Keršner²⁾

Abstract:

Paper deals with the correction of load–deflection diagram of a specimen obtained by displacement-controlled loading with catastrophic loss of stability. The loss of stability of the loading, so-called snap-down phenomenon, can be caused by the low stiffness of loading unit.

1. ÚVOD

Kvazikřehké materiály vyžadují pro popis svého chování řadu lomových parametrů. Určování hodnot těchto parametrů se tradičně provádí zatěžovací zkouškou vzorku se zářezem/zářezy, přičemž zatěžování probíhá pomocí vnuceného posunu v daném zatěžovacím bodě. Takovýto experiment klade velké nároky na tuhost zatěžovacího zařízení – lisu. Není-li lis dostatečně tuhý vzhledem k tuhosti testovaného vzorku, může dojít k přeskoku v zatěžovacím diagramu v důsledku vzniku záhybu, viz obr. 1. Tento dynamický přeskok je nazýván *snap-down*, viz [1]. V rámci teorie katastrof, která je vhodná pro popis tohoto efektu, mluvíme o katastrofické ztrátě stability zatěžování, viz [2]. Je zřejmé, že v důsledku přeskoku nedochází k naměření celého „teoretického“ zatěžovacího diagramu vzorku, což má neblahé důsledky pro tradiční vyhodnocení lomového experimentu.

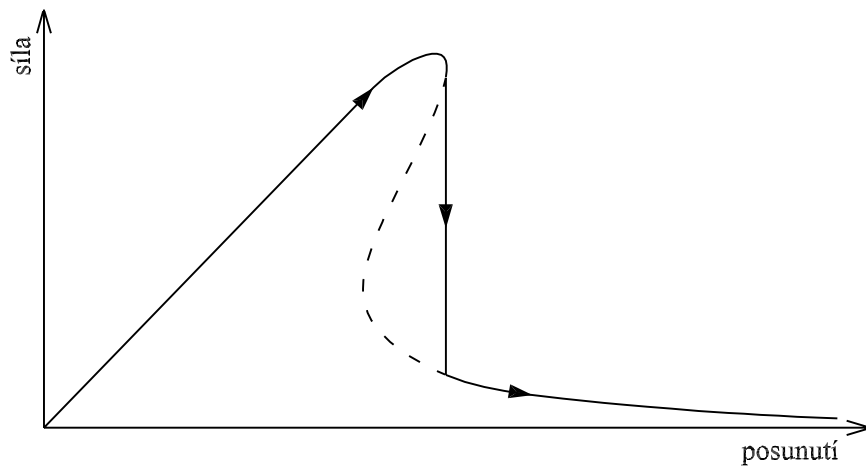
2. ROZPOZNÁNÍ KATASTROFY

Teoretický zatěžovací diagram vzorku většinou není dopředu znám. Obecně tedy nelze předem vědět, zda-li ke katastrofě v zatěžování dojde. Rozpoznání vzniku katastrofy je proto prvořadou podmínkou k možnosti zpracování takto „postiženého“ experimentálního měření. Ukazuje se, že nejvhodnější přístup k analýze naměřených dat vede skrze časové řady posunů a sil získaných při zatěžování, viz [3]. Bylo ukázáno, za jakých podmínek ke katastrofě v zatěžování dochází, a jak se přeskok v zatěžovacím diagramu projeví na časových řadách posunů a sil. Na obr. 2 vidíme vybraný experimentálně získaný zatěžovací diagram

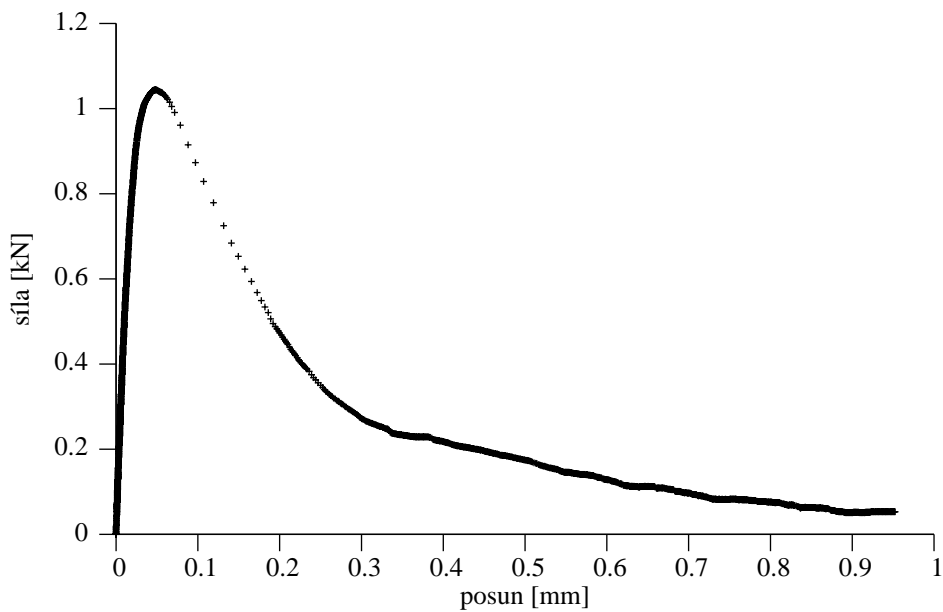
¹⁾ Ing. Petr Frantík, PhD., Ústav stavební mechaniky, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veverí 331/95, 602 00 Brno, e-mail: kitnarf@centrum.cz

²⁾ Doc. Ing. Zbyněk Keršner, CSc., dtto, e-mail: kersner.z@fce.vutbr.cz

ze zkoušky tříbodovým ohybem vzorku s centrálním zářezem v tažené oblasti. V sestupné části diagramu, kde došlo k výraznému snížení počtu naměřených bodů lze očekávat katastrofický průběh zatěžování.

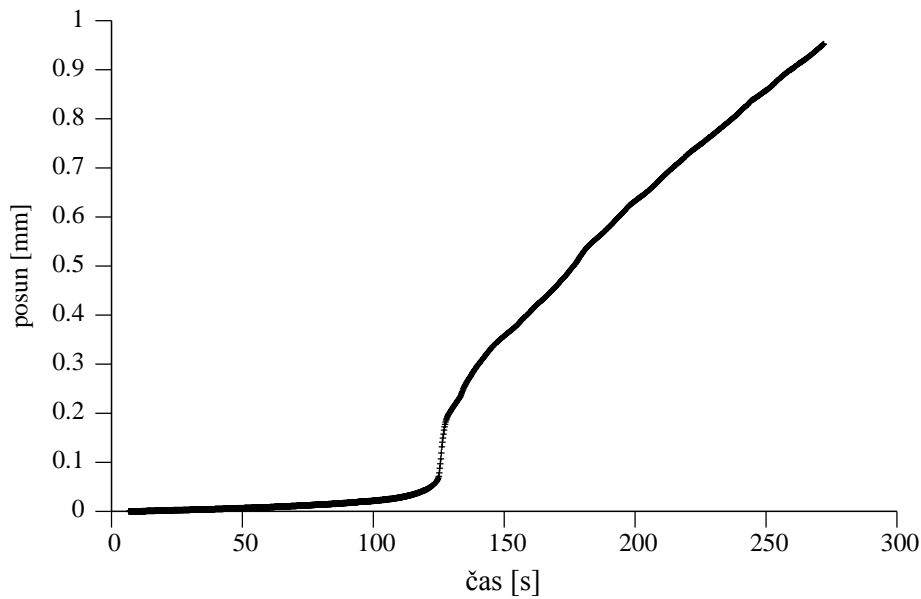


Obr. 1 Přeskok v zatěžovacím diagramu



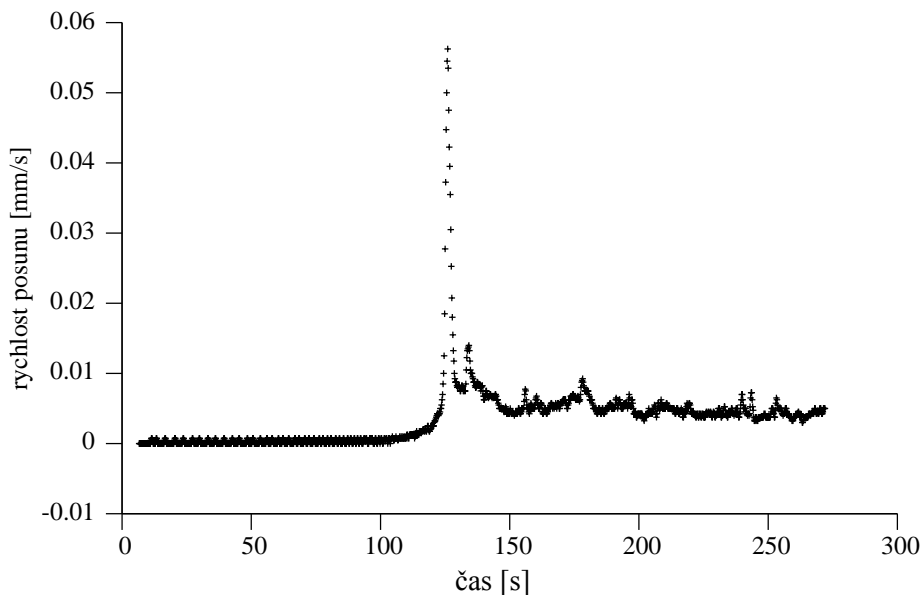
Obr. 2 Naměřený zatěžovací diagram

Tento závěr lze potvrdit analýzou časových řad. Na obr. 3 je ukázána odpovídající časová řada posunu zatěžovacího bodu. Je zde dobře patrná nerovnoměrnost rychlosti zatěžování a především náhlý nárůst posunu zatěžovacího bodu v čase okolo 125 sekund.



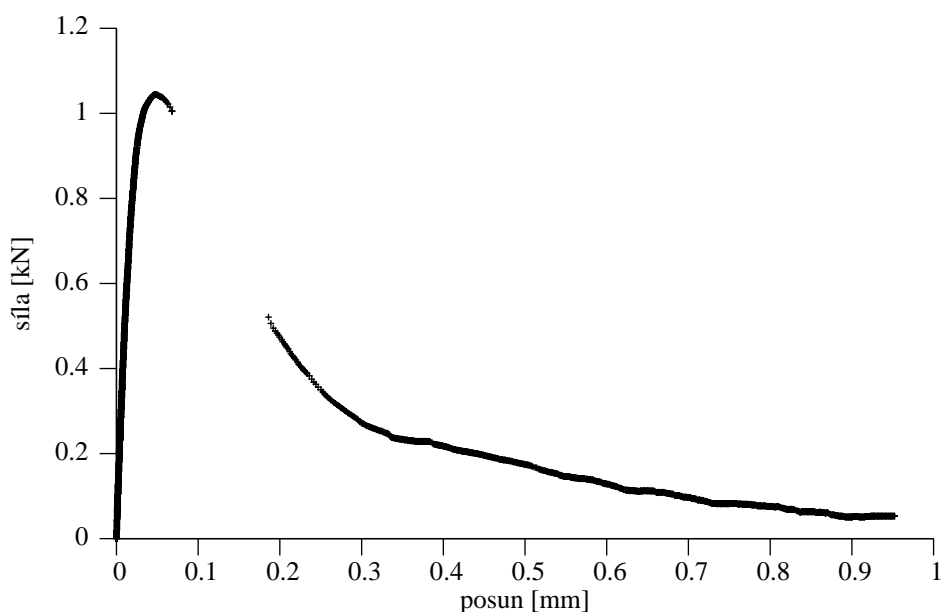
Obr. 3 Naměřená časová řada posunu zatěžovacího bodu

Vhodným kritériem pro rozpoznání katastrofického jevu je derivace časové řady posunu zatěžovacího bodu. Na obr. 4 je zobrazen průběh derivace časové řady z obr. 3. Katastrofa je zde patrná prostřednictvím extrémních hodnot rychlosti zatěžování. Ze „zahuštění“ zatěžovacího diagramu bezprostředně po zakončení katastrofického jevu, viz obr. 2, lze usuzovat, že spodní hranicí akceptovatelných naměřených bodů bude rychlost zatěžování okolo $0.02 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 4 Derivace naměřené časové řady posunu zatěžovacího bodu

Díky tomuto kritériu lze odstranit vymezené naměřené body ze zatěžovacího diagramu. Na obr. 5 je diagram zobrazen po uplatnění tohoto kritéria.



Obr. 5 Zatěžovací diagram po odstranění špatně podmíněných bodů

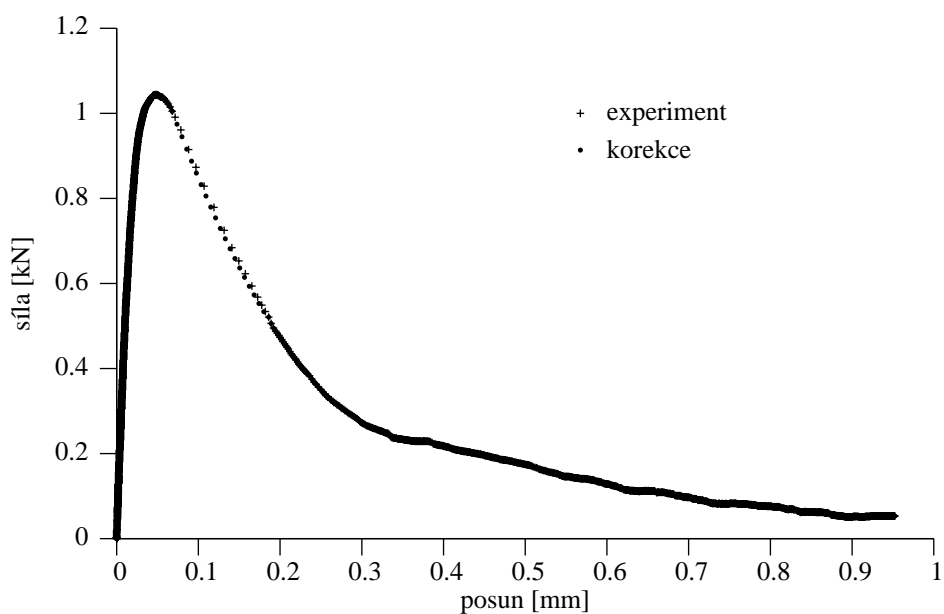
3. APROXIMACE TEORETICKÉHO ZATĚŽOVACÍHO DIAGRAMU

Odstranění špatně podmíněných bodů ze zatěžovacího diagramu nám pro napravení stanovení lomově-mechanických parametrů nemusí postačovat. Díky vlastnostem teoretického zatěžovacího diagramu lze relativně snadno a přesně usuzovat na jeho průběh. Víme, že jeho poloha nikde nepřesahuje přímou spojnicí „roztržených“ konců naměřeného zatěžovacího diagramu. Navíc máme k dispozici derivace diagramu na těchto koncích. Předpokládáme-li monotónnost neznámé části teoretického zatěžovacího diagramu, lze provést jeho aproximaci s dostatečnou přesností. Pro algoritmizaci tohoto korekčního postupu byla jako první přiblížení užitá aproximace pomocí kvadratické paraboly. Tato funkce byla zvolena pro svou jednoduchost a také pro svou dobrou podmíněnost vzhledem k jejímu zakřivení. Výše bylo řečeno, že máme k dispozici derivace diagramu na obou „roztržených“ koncích. Nicméně užití obou těchto derivací může způsobit horší podmíněnost aproximace v důsledku omezení možných poloh aproximační funkce (viz poznámka o spojnici konců). Algoritmus aproximuje koncový bod (popř. krátký interval) první části zatěžovacího diagramu a zvolený interval na počátku druhé části „roztrženého“ diagramu, dostatečně dlouhý pro získání derivace. Navržený algoritmus je tedy řízen obecněji třemi parametry:

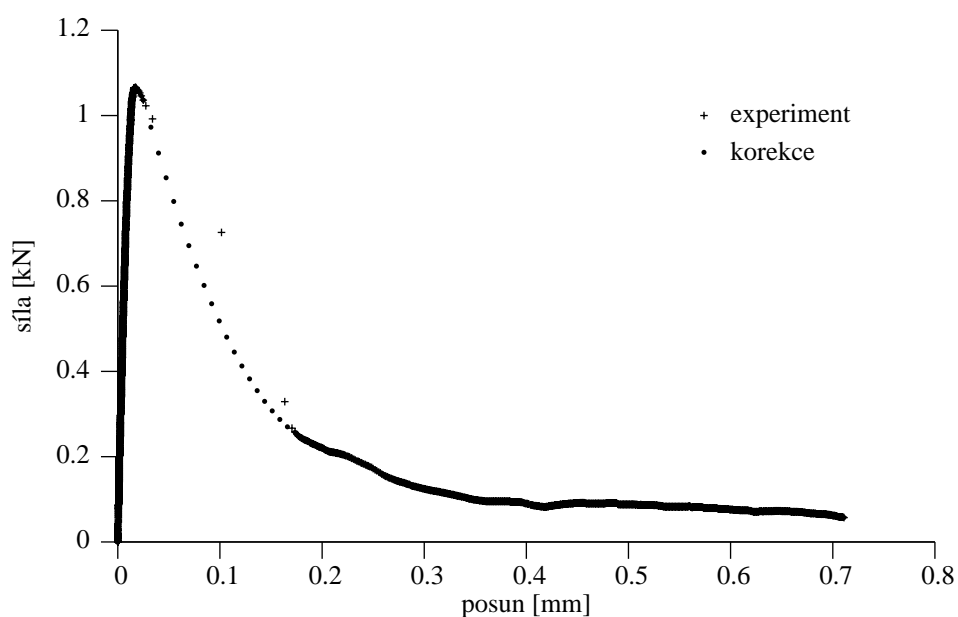
- maximální rychlostí posunu zatěžovacího bodu,
- intervalem na konci první části „roztrženého“ zatěžovacího diagramu,
- intervalem na počátku druhé části diagramu.

Dodejme, že pro praktické účely je třeba doplnit parametry, které určí výběr bodů na aproximační funkci. Především tedy počet „nových“ bodů.

Na obr. 6 je patrný výsledek užití popsaného algoritmu na vybraný zatěžovací diagram. Na tomto diagramu se korekce příliš neprojevila, proto ukažme případ zatěžovacího diagramu s výraznějším katastrofickým průběhem, viz obr. 7.



Obr. 6 Srovnání zatěžovacího diagramu před korekcí a po ní



Obr. 7 Výsledek korekčního postupu pro zatěžovací diagram, který se vyznačuje výraznějším katastrofickým průběhem

4. ZÁVĚR

V článku byl představen a zdůvodněn algoritmus korekce naměřených zatěžovacích diagramů pro stanovení lomově-mechanických parametrů materiálu testovaného vzorku. Ukázalo se, že vhodné kritérium ztráty stability zatěžování přírůstkem posunu představuje jeho časová řada. V ní je dobře patrné náhlé zrychlení zatěžovacího procesu.

Poznamenejme, že zatěžovací lisy jsou konstruovány tak, aby nedocházelo ke kmitání, tj. jsou nadkriticky tlumeny, což způsobuje obtížnost odhalení náhlých jevů, jako je popsána ztráta stability v důsledku vzniku záhybu zatěžovacího diagramu.

Pro aproximaci neznámé části „teoretického“ zatěžovacího diagramu byla užitá kvadratická parabola. Otázkou zůstává optimalizace této aproximační funkce a vystižení teoretického zatěžovacího diagramu. Z tohoto důvodu bude vhodné provést odpovídající studie.

PODĚKOVÁNÍ

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT, projekt 1M6840770001, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS „Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí“. Při řešení byly částečně využity teoretické výsledky dosažené v projektu AVČR 1ET409870411 VITESPO „Virtuální testování bezpečnosti a spolehlivosti konstrukcí“.

LITERATURA

- [1] Bažant Z. P., Cedolin L.: Stability of Structures, Elastic, Inelastic, Fracture, and Damage Theories. Oxford University Press, New York, 1991.
- [2] Arnold, V. I.: Teória katastrof (orig. Teorija katastrof, vydavateľstvo Moskevské univerzity 1983). Vydavateľstvo Alfa, Bratislava.
- [3] Frantík, P.: Dynamická simulace lomového experimentu. Problémy lomové mechaniky VI., sborník přednášek semináře, UFM AV ČR a STM FAST VUT v Brně, Brno 2006.