

VYHODNOCENÍ LOMOVÝCH EXPERIMENTŮ: EFEKTIVNÍ NÁHRADY ZATĚŽOVACÍCH DIAGRAMŮ

P. Frantík¹, D. Lehký² a Z. Keršner³

Abstract

The paper is focused on description and application of various transformations of a point sequence obtained for example from a fracture experiment. Typical reason for such transformation is to decrease number of measured points.

Klíčová slova

transformace, posloupnost bodů, zatěžovací diagram

1 ÚVOD

V současnosti je vyhodnocení experimentálních měření či výsledků numerických výpočtů vždy doprovázeno požadavkem na standardní a efektivní postup. Zvláště, je-li objem dat značný nebo jedná-li se o zpracování velkého množství jednotlivých testů. Často zde existuje dilema mezi výhradním strojovým zpracováním a provedením vyhodnocení člověkem používajícím pouze základní funkcionalitu stroje – počítače. V případě výhradního strojového zpracování existují následující nevýhody:

- standardní postup může být nefunkční vlivem odchylky od předpokladů,
- lidský operátor nezíská dostatečné zkušenosti s naměřenými daty a jejich variabilitou a může podléhat významně mylným představám,
- daty zaznamenaný neznámý fenomén bude standardním postupem potlačen, v horším případě úplně odstraněn,
- analýza standardního postupu může být obtížná či nemožná v důsledku uzavřeného řešení (počítačového programu).

¹ Ing. Petr Frantík, Ph.D., Ústav stavební mechaniky, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, tel.: 5 4114 7376, e-mail: kitnarf@centrum.cz.

² Ing. David Lehký, Ph.D., dtto, tel.: 5 4114 7376, e-mail: lehky.d@fce.vutbr.cz.

³ doc. Ing. Zbyněk Keršner, CSc., dtto, tel.: 5 4114 7362, e-mail: kersner.z@fce.vutbr.cz.

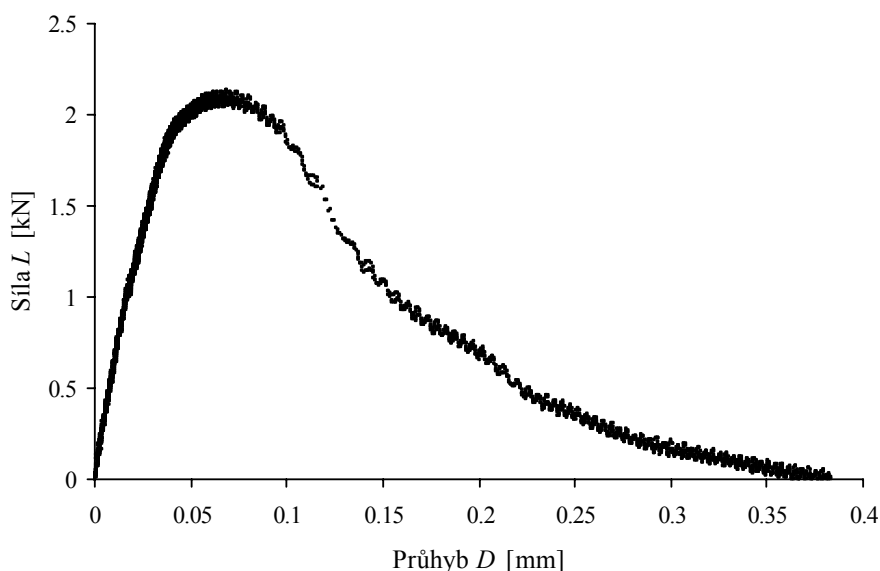
Zpracování prováděné člověkem používajícím pouze základní funkcionalitu počítače má rovněž své nevýhody:

- vyhodnocení může být příliš pracné a dlouhotrvající,
- v důsledku chybovosti a nestálosti stavu člověka může být standardizace postupu prakticky nemožná,
- zkušenosti se zpracováním jsou obtížně přenositelné, což při záměně konkrétní osoby způsobí odchytku od požadovaného standardu.

Lze říci, že výhody obou extrémů jsou opakem jmenovaných nevýhod. Zvláštní místo mezi jmenovanými faktory zauímají zkušenosti člověka. Díky zvyšujícímu se zájmu o nelineární systémy hrají zkušenosti v jejich výzkumu stále významnější roli. Toto je způsobeno komplexností jejich stavů, viz např. [1]. Východiskem může být kombinace obou přístupů: Lze použít výhradní strojové zpracování, ale operátor si postup vyzkouší odděleně na určité podmnožině dat. Dále je vhodné, aby postup strojového zpracování umožňoval jeho podrobné sledování a změnu všech vstupních parametrů.

2 EFEKTIVNÍ NÁHRADY ZATĚŽOVACÍHO DIAGRAMU

Příspěvek se věnuje vyhodnocení zatěžovacích diagramů – tzv. $l-d$ diagramů – získaných z lomových zkoušek tříbodovým ohybem na zářezem v tažené oblasti opatřených vzorcích z kvazikřehkého materiálu, konkrétně z cementového kompozitu, viz obr. 1.



Obr. 1 Testovací zatěžovací diagram ($l-d$ diagram)

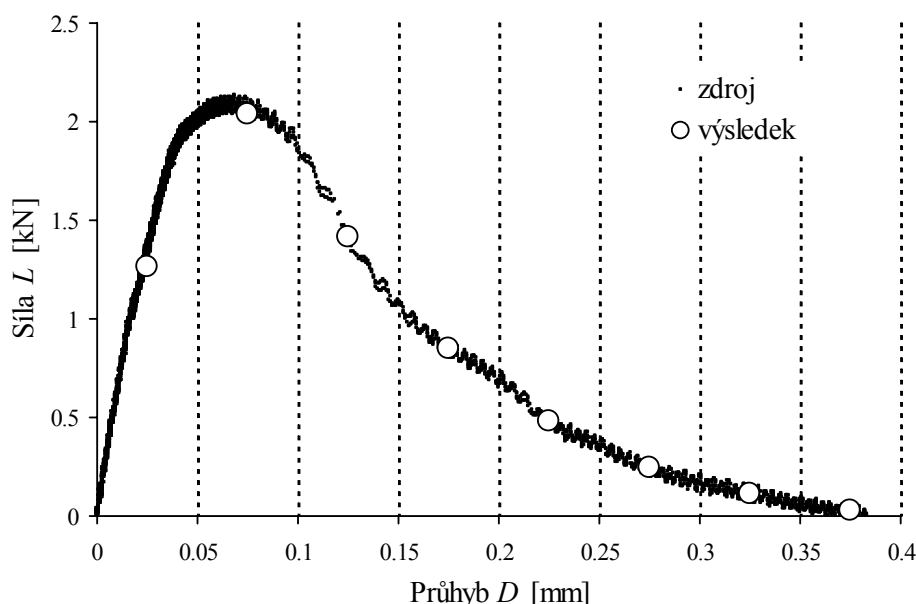
Při současném experimentálním měření jednoho vzorku jsou získávány řádově až desítky tisíc bodů. Tento počet je někdy potřeba efektivně snížit, protože by následné zpracování (např. regrese, identifikace apod.) trvalo příliš dlouho, popřípadě by bylo prakticky nemožné. Pro

snížení počtu bodů zatěžovacího diagramu bylo navrženo několik transformací, které jsou popsány v následujících podkapitolách.

Pro usnadnění popisu transformací definujeme zatěžovací diagram jako posloupnost diskretních bodů o souřadnicích (D, L) , kde D odpovídá průhybu (angl. deflection, obecněji posunutí) a L odpovídá velikosti zatěžovací síly (angl. load, obecněji velikosti zatížení).

2.1. Ekvidistantní transformace

Ekvidistantní transformace vytváří body, jejichž souřadnice D leží ve středu intervalů (ok) ekvidistantní mřížky definované počáteční souřadnicí D_{origin} a šířkou oka mřížky $D_{distance}$. Pro každou souřadnici D středu oka mřížky je vypočten jeden bod, jehož souřadnice L je aritmetickým průměrem L souřadnic zdrojových bodů ležících v oku mřížky, viz obr. 2.

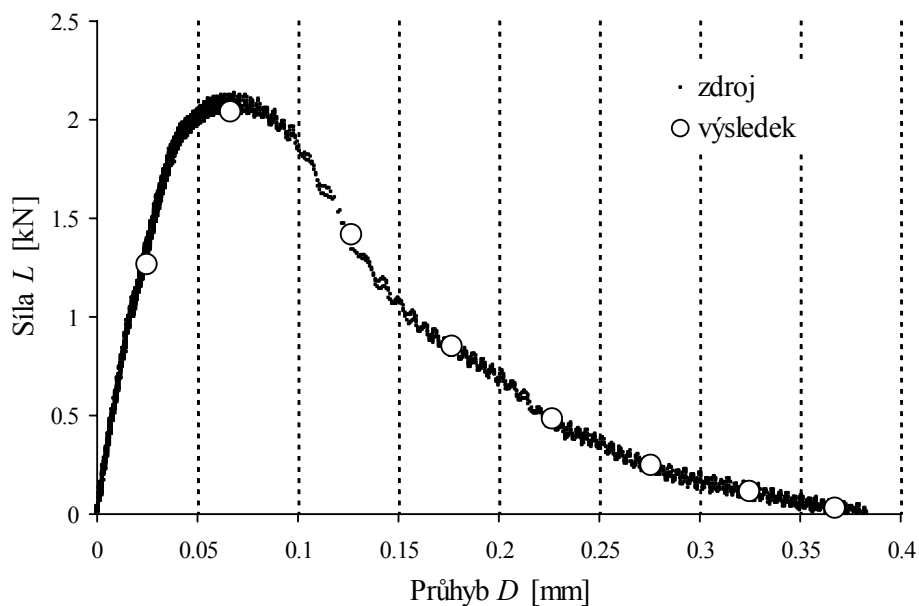


Obr. 2 Výsledek ekvidistantní transformace pro $D_{origin} = 0$ mm a $D_{distance} = 0.05$ mm

Ze způsobu výpočtu této transformace je patrné, že ji nebude možno použít pro zatěžovací diagramy, jimž nelze přiřadit funkční závislost $L = f(D)$ (každému D přísluší právě jedno L). Další nevýhodou je, že výsledné body nerepresentují těžiště zdrojových bodů, čímž dochází k určitému zkreslení. Toto zkreslení však klesá s klesající vzdáleností $D_{distance}$. Ekvidistantní transformaci autoři používají pro identifikaci parametrů numerických modelů pomocí neuronových sítí, viz [2].

2.2 Těžišťová transformace

Těžišťová transformace vytváří nové body v místech těžišť zdrojových bodů ležících v intervalech ekvidistantně rozdělené souřadnicové osy D . Rozdělení souřadnicové osy D , obdobné jako u předchozí transformace, je dáno počáteční souřadnicí D_{origin} a délkou intervalu $D_{distance}$, viz obr. 3.

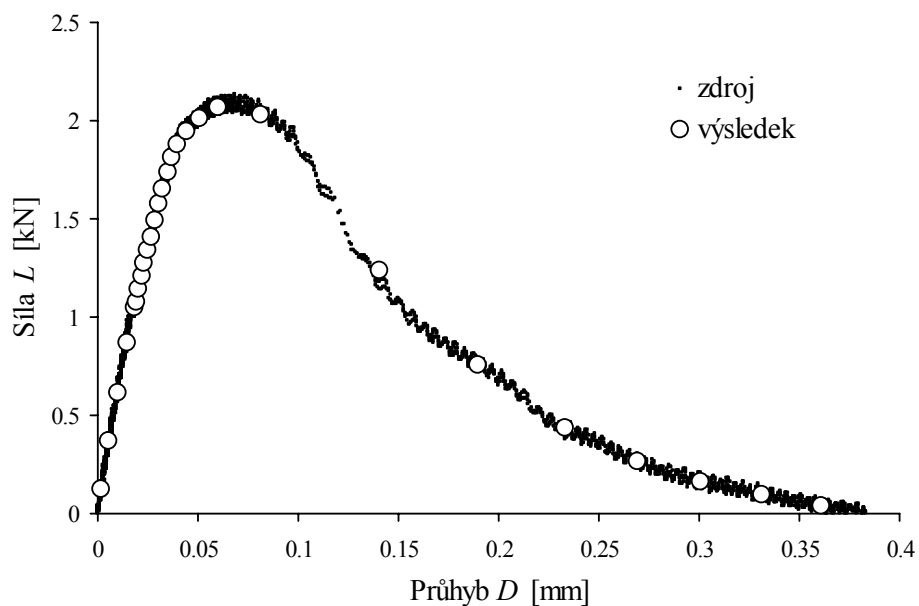


Obr. 3 Výsledek ťžišťovej transformácie pre $D_{origin} = 0$ mm a $D_{distance} = 0.05$ mm

Tato transformace odstraňuje nevýhodu ekvidistantní transformace – výsledné body jsou v ťžišti zdrojových bodů – na úkor jejich nerovnoměrnějšího rozdělení. Lze ji použít opět jen pro zatěžovací diagramy s „funkční“ závislostí.

2.3 Váhová transformace

Váhová transformace vytváří body v místě ťžiště určeného počtu – váhy N – po sobě jdoucích zdrojových bodů. Výsledkem je menší nebo stejný počet bodů s konstantní váhou N , viz obr. 4.



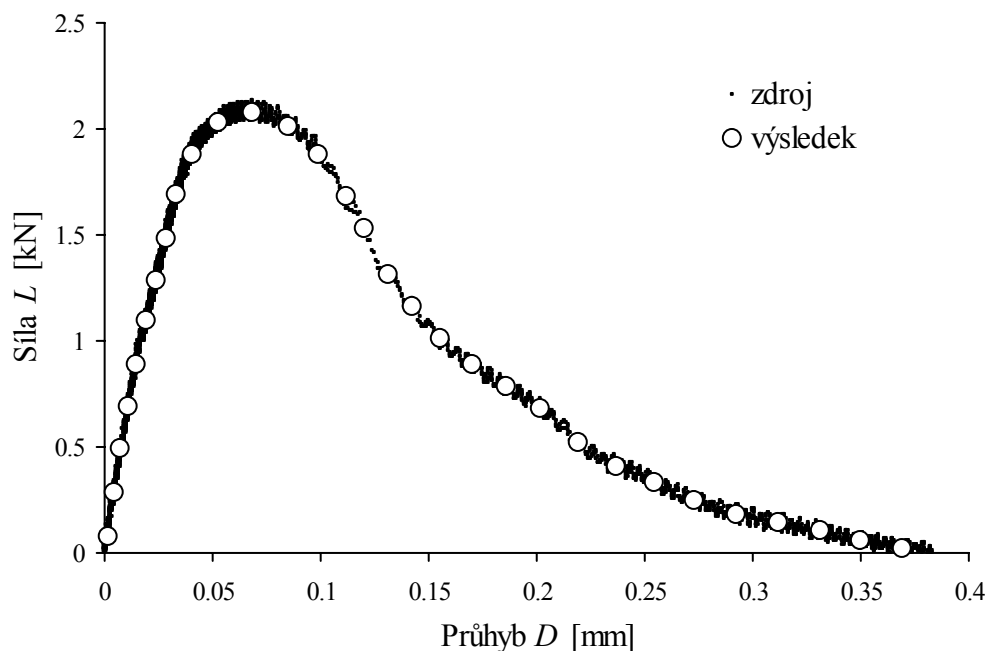
Obr. 4 Výsledek váhové transformace pro $N = 200$

Na obr. 4 je patrné, že transformace odhalila změnu frekvence snímání bodů zatěžovacího diagramu na vzestupné větvi okolo hodnoty průhybu $D = 0.025$ mm. Dále je patrné „zrychlení“ průhybu na sestupné větvi. Z tohoto hlediska tato transformace nevystihuje efektivně tvar zatěžovacího diagramu.

Z popsaných tří transformací tato nejvíce reflektuje zdrojová data: Každý nový bod je v místě těžiště původních bodů a navíc má odpovídající váhu, tj. nedochází ke znevýhodnění vyšší hustoty naměřených bodů. Další velkou výhodou oproti předchozím transformacím je její použitelnost i pro diagramy, které neodpovídají funkční závislosti.

2.4 Trasovací transformace

Trasovací transformace, nejnáročnější ze zde popsaných, nahrazuje zdrojové body ležící uvnitř dále definované tzv. *výběrové kružnice* o poloměru $D_{distance}$ těžištěm těchto bodů. Poloha kružnice je dána počátkem nebo posledním vypočteným bodem. Výběrová kružnice je kružnice se středem v bodě (D_o, l_o) v lineárně transformované souřadné rovině. Pro tuto rovinu platí $(D, l) = (D, cL)$, kde c je transformační koeficient a l je transformovaná osa L tak, aby jednotky této transformované osy byly jednotkami osy D . Tento koeficient je pro zatěžovací diagramy subjektivním nastavením. Cílem transformace je získat body s přibližně konstantní vzdáleností v souřadné rovině (D, l) , viz obr. 5.



Obr. 5 Výsledek trasovací transformace pro $c = 0.1$ mm/kN a $D_{distance} = 0.02$ mm

Z obr. 5 je patrné, že trasovací transformace rovnoměrně vystihuje tvar zatěžovacího diagramu. Lze říci, že odstraňuje nevýhodu váhové transformace (vystižení tvaru), ale ztrácí výhodu správné váhy výsledných bodů. Tato transformace rovněž zvládá zatěžovací diagramy, které nemají charakter funkční závislosti. Autoři používají trasovací transformaci pro optimalizaci parametrů numerických modelů genetickými algoritmy, viz [3].

Následující popis upřesňuje algoritmus této transformace:

- 1) Nastavení počátečního bodu – středu první výběrové kružnice (D_o, l_o).
- 2) Vytvoření a naplnění zásobníku všemi zdrojovými body.
- 3) Cyklus prováděný dokud existuje bod (D_o, l_o).
 - a) Cyklus výpočtu nového těžiště.
 - I. Nalezení zdrojových bodů v zásobníku ležících ve výběrové kružnici o poloměru $D_{distance}$ se středem v bodu (D_o, l_o).
 - II. Rozhodovací blok: jestliže byl v kružnici nalezen alespoň jeden bod, pak pokračovat, jinak vystoupit z tohoto cyklu.
 - III. Výpočet těžiště nalezených bodů, vytvoření nového bodu v místě těžiště a nastavení středu (D_o, l_o) do tohoto bodu.
 - IV. Odstranění nalezených bodů ze zásobníku.
 - b) Nalezení nového počátečního bodu (D_o, l_o) v zásobníku. K tomu slouží dva algoritmy: První algoritmus hledá nejbližší bod ke středu poslední výběrové kružnice v souřadnicové rovině (D, l). Druhý algoritmus nastaví jako bod (D_o, l_o) zbývající zdrojový bod s nejnižším pořadovým číslem v posloupnosti bodů.
- 4) Konec výpočtu.

3 ZÁVĚR

V článku byly popsány čtyři transformace posloupností diskrétních bodů (zatěžovacích diagramů) sloužících pro efektivní snížení počtu bodů. Důvodem pro snížení počtu bodů bylo snížení časových nároků na analýzu naměřených zatěžovacích diagramů.

V úvodu článku byla věnována pozornost úskalí strojového respektive „lidského“ zpracování většího objemu experimentálních dat. Dále byly specifikovány zvolené transformace.

První dvě z popsaných transformací (ekvidistantní a těžišťová) jsou vhodné pouze pro zatěžovací diagramy mající charakter funkční závislosti. Druhé dvě toto omezení nemají. Třetí popsaná váhová transformace reflektuje nejpřesněji hustotu bodů, čtvrtá naopak tvar zatěžovacího diagramu.

PODĚKOVÁNÍ

Prezentované výsledky byly získány za finanční podpory MŠMT, projekt MSM0021630519, a částečně za finančního přispění grantu GA ČR 103/07/1276.

LITERATURA

- [1] Coveney P., Highfield R., *Mezi chaosem a řádem* (orig. *Frontiers of Complexity*), nakladatelství Mladá fronta (orig. Faber and Faber, London 1995), edice Kolumbus, Praha 2003.
- [2] Novák, D., Lehký, D., ANN Inverse Analysis Based on Stochastic Small-Sample Training Set Simulation. *Engineering Application of Artificial Intelligence*, 19 (2006), 731-740.
- [3] Frantík, P., Keršner, Z., *Ohybové porušení betonu s vlákny: Model a jeho aplikace*, CD sborník konference *New trends in statics and dynamics of buildings*, Bratislava, 2005, 7 stran.