

C ROZDĚLENÍ MODELŮ PORUŠENÍ BETONU A JEJICH HIERARCHIE

Přehled konstitutivních teorií pro modelování poškození a porušení (z hlediska výpočtové mechaniky)

Analyzovaná konstrukce je obvykle sestavena z jistých elementárních entit. Konstitutivní model dává do vztahu deformace těchto entit a síly, které tyto entity přenášejí. Materiálové modely se pak dají rozdělit na modely **spojité**, **diskrétní** a **smíšené**.

Spojité modely

Základní jednotkou **spojitých modelů** (kontinuum) je infinitesimální objem. Chování materiálu je popsáno zákony napětí–deformace. Speciální třída konstitutivních modelů mechaniky kontinua, která byla vyvinuta pro případy převážně tahového namáhání betonu, je označována pojmem *modely rozetřené trhliny*. Rozdělují celkovou deformaci na elastickou a neelastickou (podobně jako teorie *plasticity* a *poškození*). Neelastická deformace odpovídá otevření trhliny a souvisí přímo s napětím přenášeným mezi lícemi trhliny podle zákona napětí–otevření trhliny. Do této skupiny patří např. Bažantův *model pásu trhlín*. Postupující trhliny buď svůj směr nemění a přenášejí smyk (*fixované trhliny*), nebo se natačejí podle směrů hlavních napětí (*rotované trhliny*).

Mikroploškové (microplane) modely pro beton byly odvozeny od plasticistních teorií vyvinutých pro kovy (*slip theory* – pokluz mikroploch). V těchto modelech je předepsán vztah mezi vektory získanými průmětem tenzorů napětí a deformace na sadě ploch určitých orientací. Tensorový zákon napětí–deformace se pak získá průměrováním těchto veličin ze všech možných orientací mikroploch v materiálovém bodě (Pro třidimenzionální problém je nutno použít materiálový bod – sférický objekt – s alespoň 21 mikroplochami, aby byly výsledky dostatečně přesné. Používá se 28 nebo 61 (i 122) mikroploch.)

Pro lepší vystižení mikrostruktury heterogenního materiálu při jeho modelování jako materiálu s rovnoměrným rozložením vlastností se využívá *mikropolárního (micropolar) kontinua* bratří Cosseratů.

Přehled konstitutivních teorií pro modelování poškození a porušení (z hlediska výpočtové mechaniky)

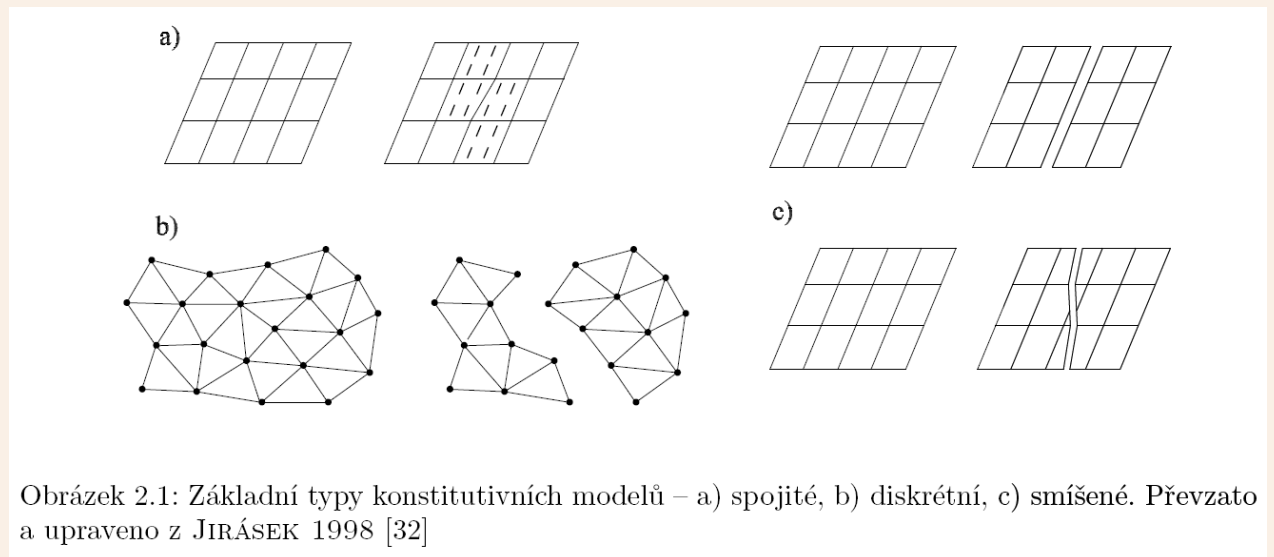
Smíšené modely

Smíšenými modely rozumíme takové, které rozšiřují kontinuum o oblasti, kde je pole posunů nespojité. Tyto diskontinuity odpovídají makroskopickým trhlinám nebo pásům poškození vyvolaných intenzivním smykem. Ta část tělesa, která zůstává kontinuem, se popisuje pomocí zákona napětí–deformace (obecně neelastického), pro popis existujících (popř. vznikajících) diskontinuit musí být postulováno kritérium jejich šíření (popř. vzniku a šíření).

Do této kategorie lze zařadit např. **lineární lomovou mechaniku** a **modely ekvivalentní elastické trhliny** rozšířené o ***R*-křivky**. Z kohezivních modelů využívaných v moderní výpočetní mechanice sem patří třeba Hillerborgův **model fiktivní trhliny**. Trhliny jsou ve smíšených přístupech modelovány jako diskontinuity mezi jednotlivými konečnými prvky – **koncept diskrétní trhliny** (jestliže není dopředu známa dráha trhliny, pak tento přístup vyžaduje časté přetváření sítě konečných prvků) –, nebo mohou být vloženy do prostoru konečných prvků – **koncept vložené trhliny**.

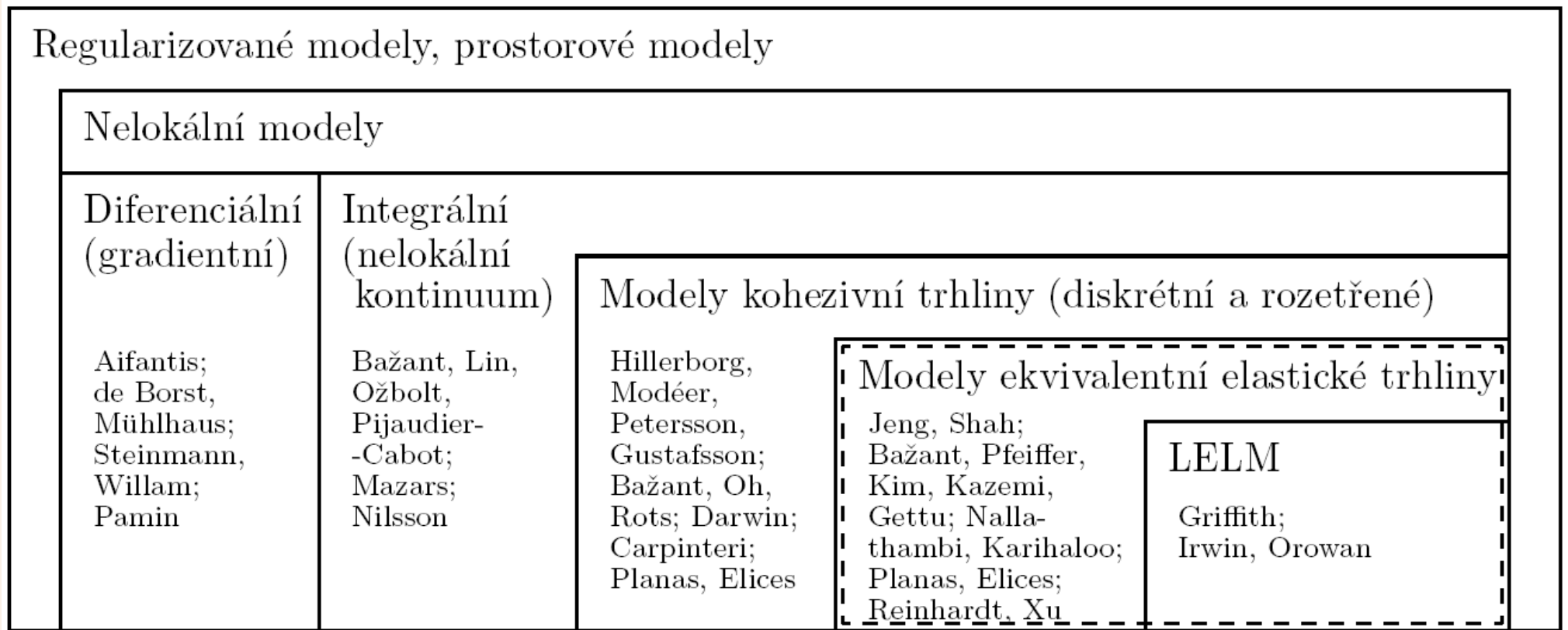
Diskrétní modely

Diskrétní modely pracují s entitami konečných rozměrů, jako např. pruty, nosníky, pružiny, a sestavují vztahy mezi (zobecněnými) vnitřními silami působícími na jejich koncových průřezích a (zobecněnými) posuny těchto průřezů. Uvedené vztahy lze samozřejmě odvodit na základě mechaniky kontinua, ale pro nelineární analýzy je mnohdy výhodnější sestavovat přímo rovnice vystihující chování elementární entity konečných rozměrů bez vztahu ke spojitému modelu. Diskrétní modely se s výhodou používají k simulaci materiálu na úrovni mikrostruktury a nazývají se souhrnně **částicovými modely**.



Obrázek 2.1: Základní typy konstitutivních modelů – a) spojité, b) diskrétní, c) smíšené. Převzato a upraveno z JIRÁSEK 1998 [32]

Hierarchie lomových modelů (dle Elices a Planas 1996)



Obrázek 2.2: Hierarchie lomových modelů pro kvazikřehké materiály. Převzato a upraveno z ELICES A PLANAS 1996 [21] Elices, M., Planas, J. (1996) Fracture mechanics parameters of concrete. *Advanced Cement Based Materials*, 4, 116–127.

Hierarchie lomových modelů (dle Elices a Planas 1996)

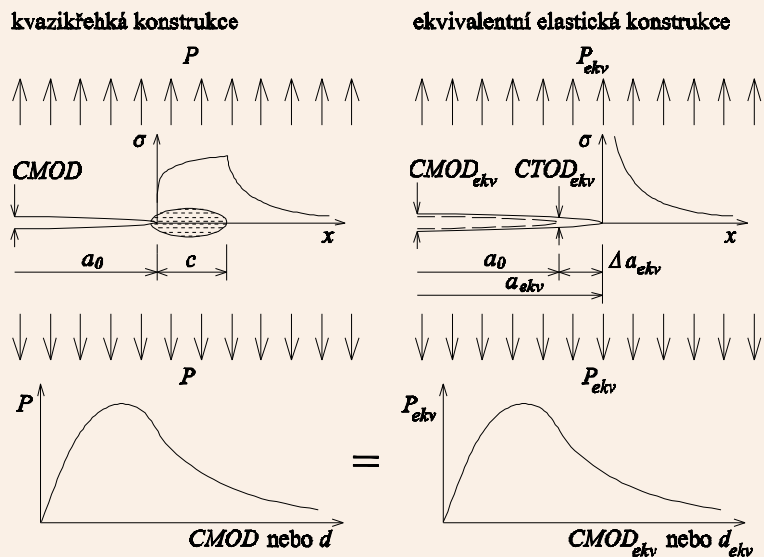
Hierarchie lomových modelů pro beton

Regularizované modely, prostorové modely

Nelokální modely

Modely kohezivní trhliny

Modely ekvivalentní elastické trhliny

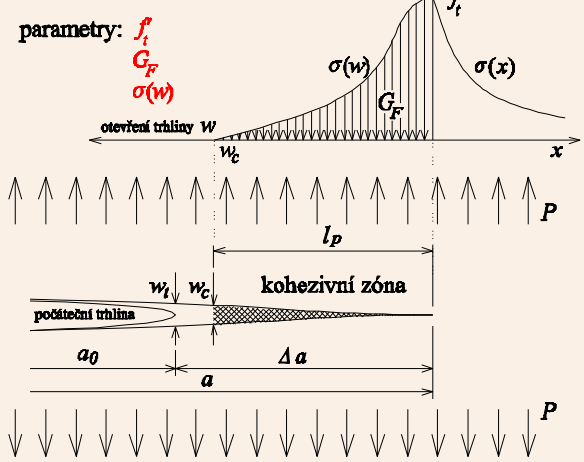


- Model o dvou parametrech parametry: $K_{Ic, ekv}$
 $CTOD_{c, ekv}$
- Model efektivní trhliny parametry: $K_{Ic, ekv}$
 $a_{c, ekv}$
- Model rozměrového efektu parametry: G_f, ekv
 c_f, ekv

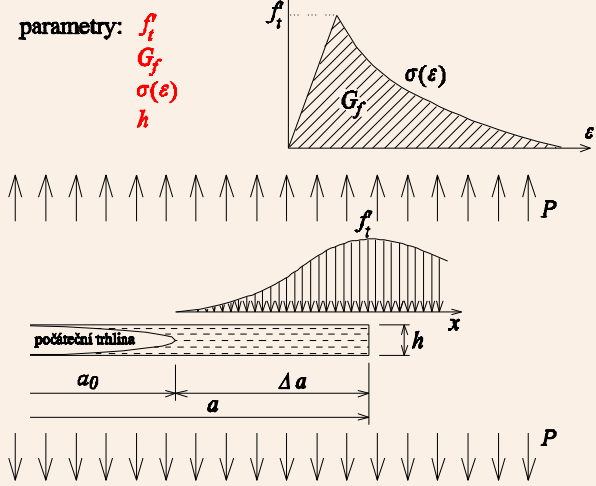
Lineární elastická lomová mechanika

parametry: G_{Ic} nebo K_{Ic} nebo a_c nebo $CTOD_c$ nebo ...

Model fiktivní trhliny



Model pásu trhlin



Integrální (nelokální kontinuum)

Diferenciální (gradientní modely)