

# Failure and size effect for notched and unnotched concrete beams

*INTERNATIONAL JOURNAL FOR NUMERICAL AND ANALYTICAL METHODS IN GEOMECHANICS  
Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech. 2013; 37:1434-1452*

## Zniszczenie i efekt skali dla naciętych i nienaciętych belek betonowych

*D. Grégoire, L. B. Rojas-Solano and G. Pijaudier-  
Cabot*

*Opracowanie: Cezary  
Łoś*

# AGENDA

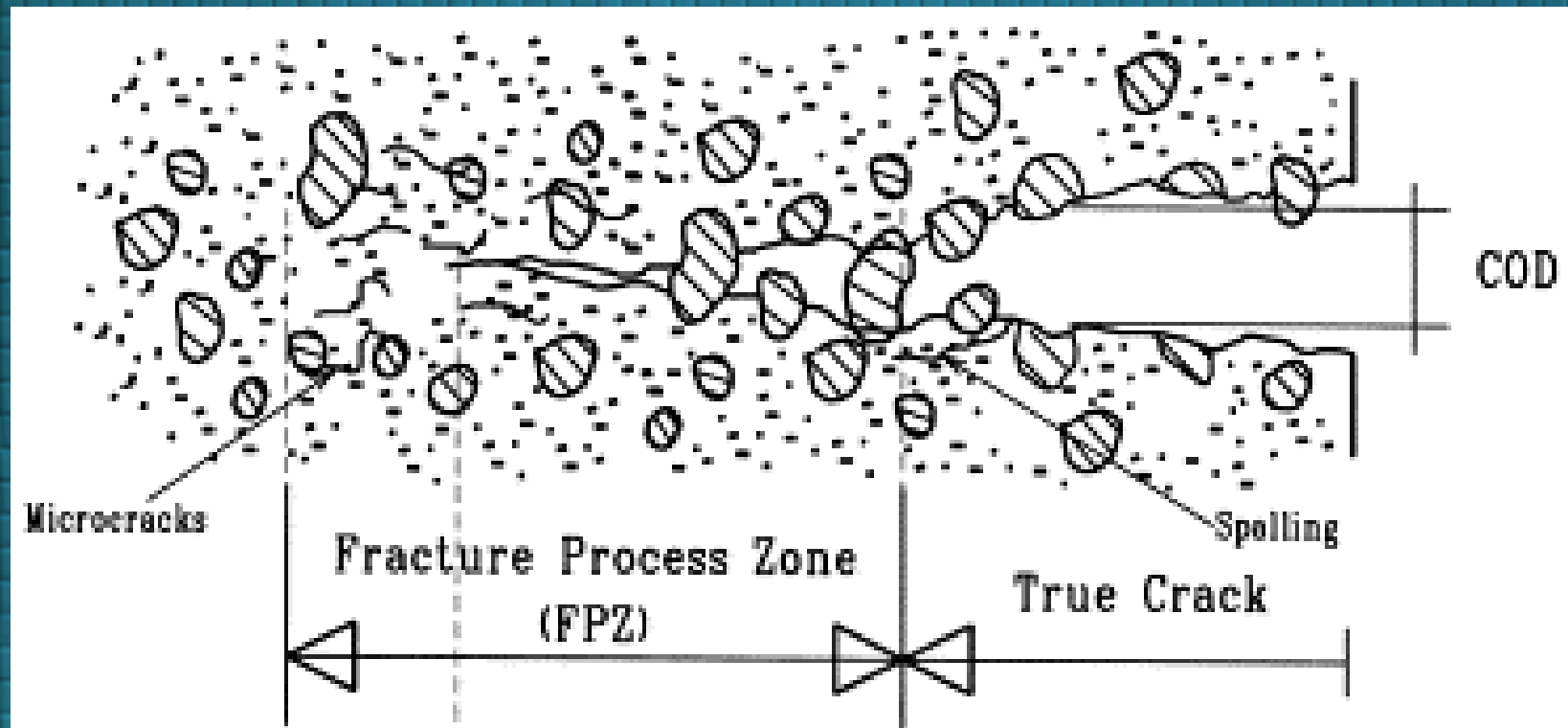
- WPROWADZENIE
- DOŚWIACZENIA  
EKSPERYMENTALNE
- SYMULACJE NUMERYCZNE
- ANALZIA EFEKTU SKALI
- WNIOSKI



# WPROWADZENIE

- Podczas modelowania betonu i quasi-kruchych materiałów należy uwzględnić odpowiedni rozmiar, geometrię oraz efekty brzegowe
- Quasi-kruche materiały ukazują FRACTURE PROCESS ZONE (FPZ – obszar procesu pękania)

# FRACTURE PROCESS ZONE



Kształt i rozmiar FPZ jest różny w zależności czy rysa propaguje z brzegu bez nacięcia czy z brzegu z nacięciem – to właśnie zjawisko określamy mianem

## EFEKTÓW BRZEGOWYCH



Efekty brzegowe i efekty skali są ważne z inżynierskiego punktu widzenia, ponieważ:

- Projektowanie dużych konstrukcji opiera się na parametrach materiałowych pomierzonych na próbkach w laboratorium,
- W większości przypadków rysy propagują z powierzchni na których istnieją efekty brzegowe.

# **DOŚWIADCZENIA EKSPERYMENTALNE**

**GŁÓWNE ZAŁOŻENIA:**



- W testach użyto belek o różnych wymiarach, ale każda została wykonana z takiej samej mieszanki betonowej,
- Próbkę została wyjęta ze swojej formy 24 h po wykonaniu odlewu. Były przechowywane w wodzie w temperaturze pokojowej i potem wyjęte 24 h przed testem,
- Testy nie trwały dłużej niż godzinę dla każdej próbki,
- W celu zbadania właściwości materiałowych wykonano na każdej partii betonu testy ściskania oraz rozłupywania (próba brazylijska)



# SKŁAD BETONU

Product	Designation	Mass (kg)
Sand	Cemex 0/4	740
Aggregates	Durruty 4/10	1140
Cement	Calcia CEM II/A	286
Admixture	Axim Cimplast 115	1
Water	Clarified water	179
Total		2346

# WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE BETONU

Compressive strength			Young modulus			Poisson ratio			Splitting tensile strength		
$\mu$ (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$c_v$ (%)	$\mu$ (GPa)	$\sigma$ (GPa)	$c_v$ (%)	$\mu$ (-)	$\sigma$ (-)	$c_v$ (%)	$\mu$ (MPa)	$\sigma$ (MPa)	$c_v$ (%)
42.3	2.8	6.6	37.0	0.9	2.4	0.21	0.02	8.7	3.9	0.2	6.0

$\mu$ , mean value;  $\sigma$ , standard deviation;  $c_v = \mu/\sigma$ , coefficient of variation.



# TESTY TRZY-PUNKTOWEGO ZGINANIA

Cztery rozmiary geometrycznie podobnych próbek o:

- stosunku długość / wysokość równym 2.5,
- wysokość od 50 do 400 mm,
- szerokości (grubości) stałej równej 50 mm.

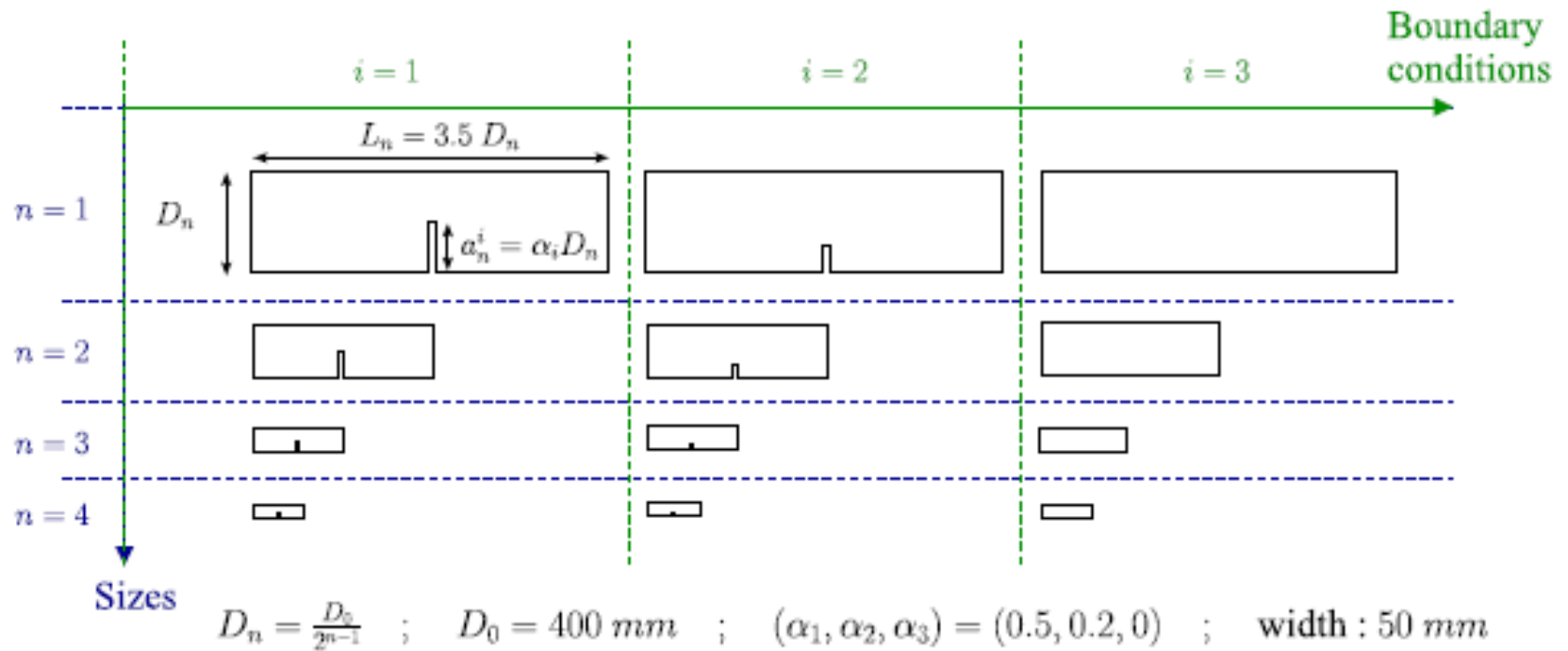
Aby ukazać wpływy efektów brzegowych użyto trzech różnych form z innymi ustawieniami nacięcia (notch):

- Nienacięta – nacięcie do wysokości = 0
- 1/5 nacięta – nacięcie do wysokości = 0.2
- 1/2 nacięta – nacięcie do wysokości = 0.5

Szerokość nacięcia stała równa 2 mm

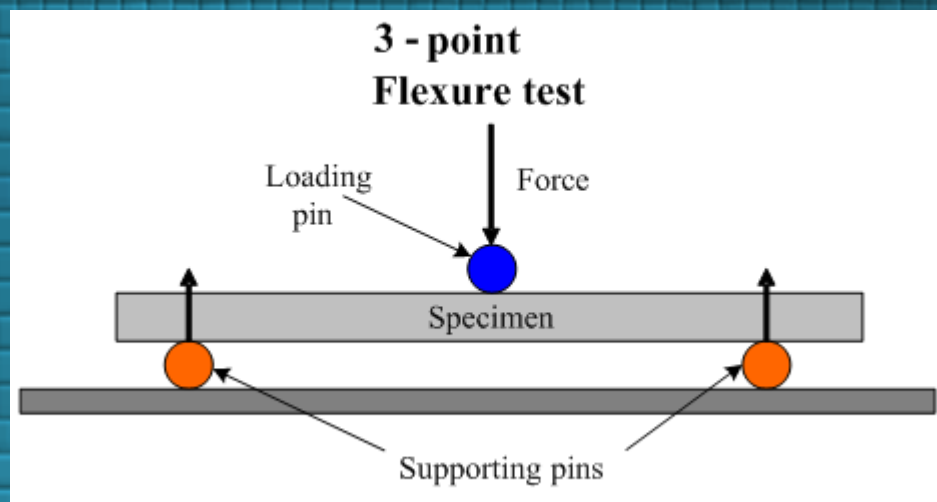
Dla każdego rozmiaru i każdej konfiguracji nacięć wykonana 3 belki – łącznie 34 testy

# GEOMETRIA PRÓBEK



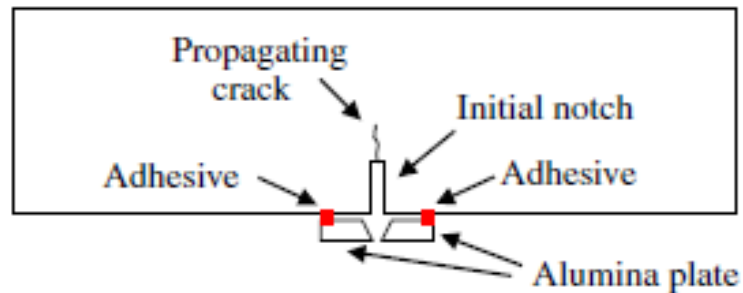


# Testy wykonano na maszynie HB250 Zwick/Roell

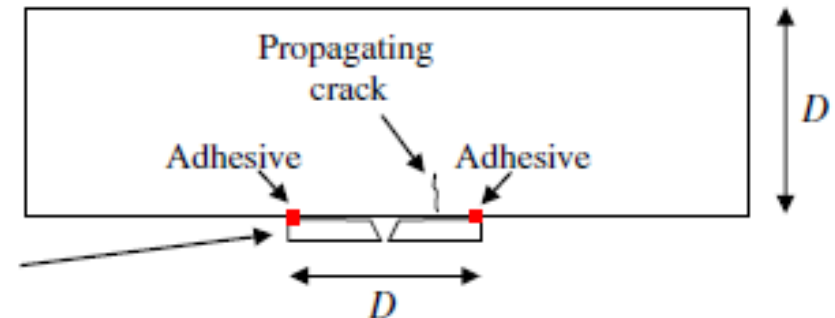


# Crack Mouth Opening Displacement

(a) Notched beams



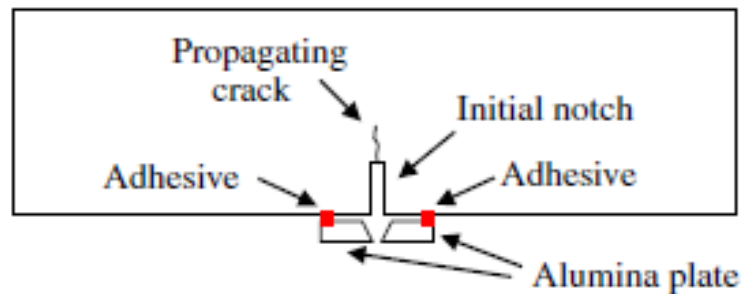
(b) Unnotched beams



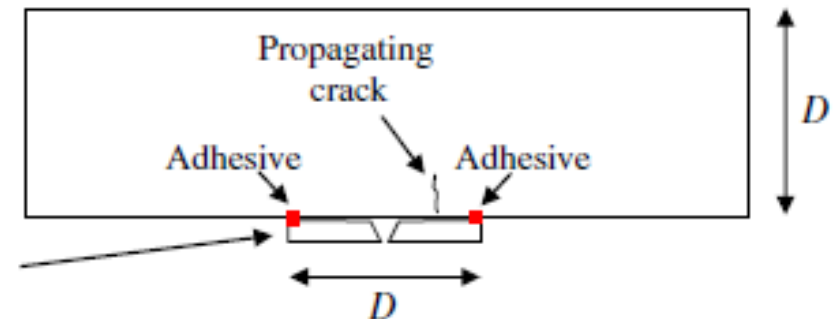


# Crack Mouth Opening Displacement

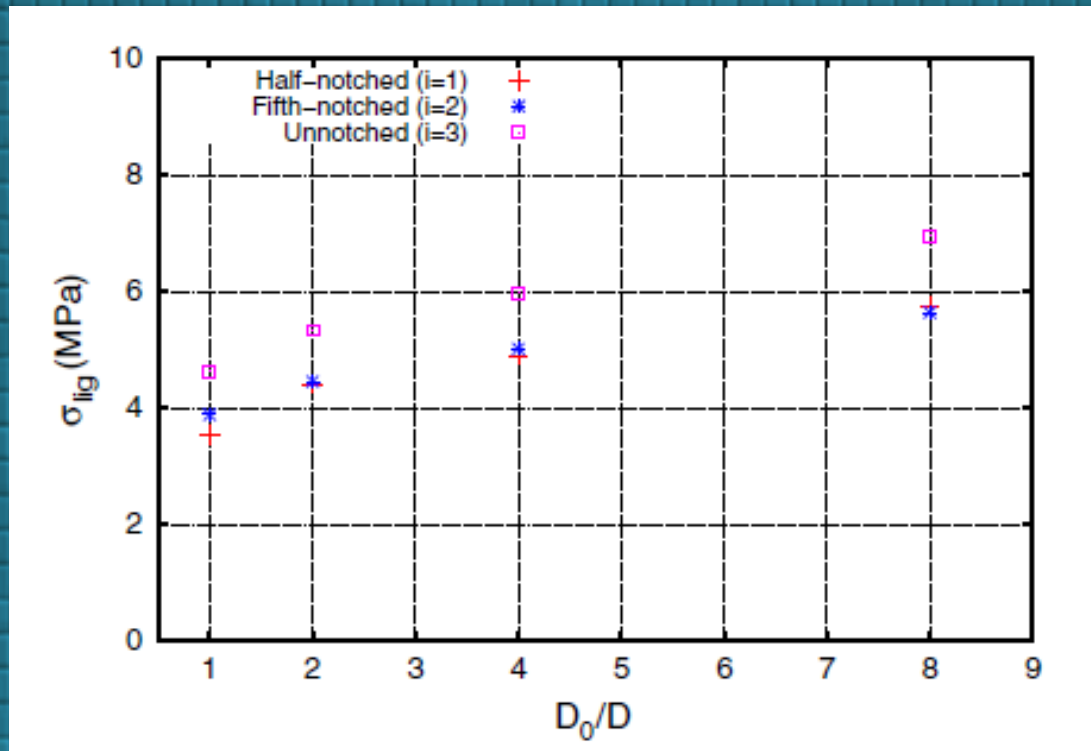
(a) Notched beams



(b) Unnotched beams



# WYNIKI

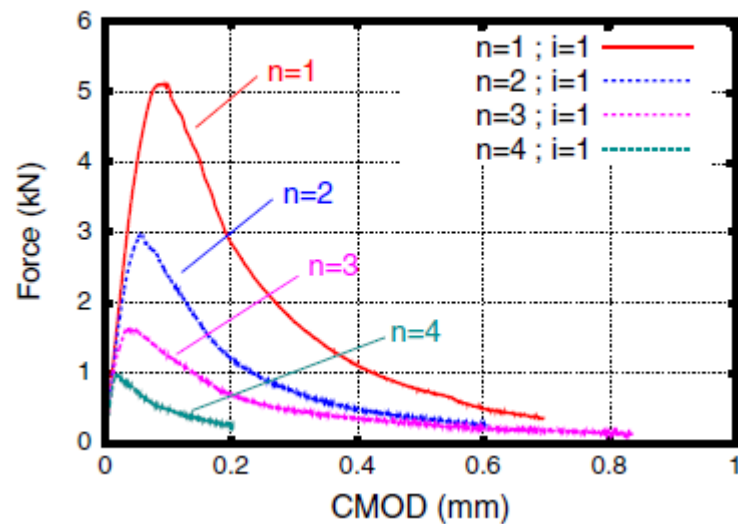


$$\sigma_{lig} = \frac{3}{2} \frac{FS}{bh^2}$$

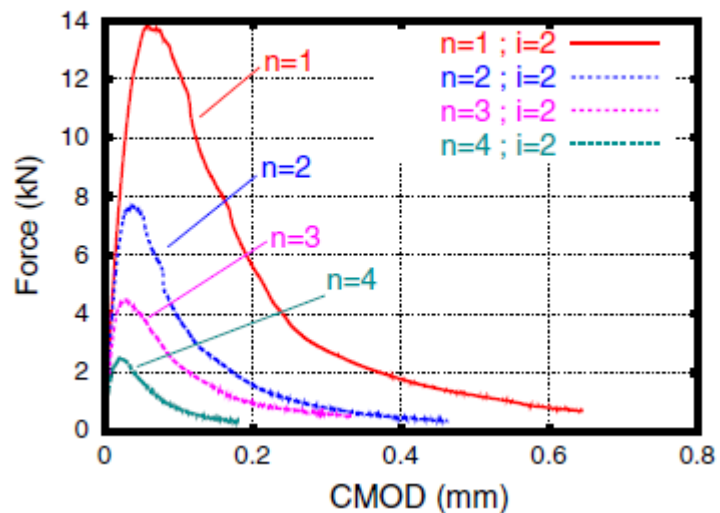
**F** - przyłożona siła  
**S** - rozpiętość belki  
**b** - szerokość belki  
**h** - wysokość belki



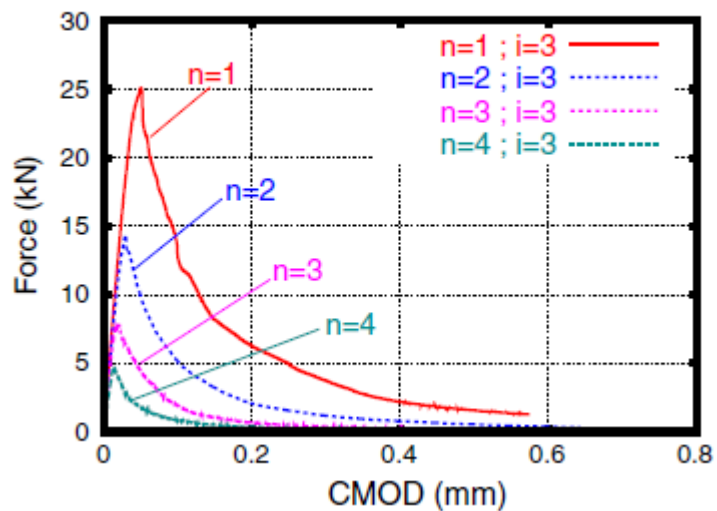
Half-notched specimens



Fifth-notched specimens



Unnotched specimens



# SYMULACJE NUMERYCZNE

Model konstytutywny

Relacja naprężenie – odkształcenie:

$$\sigma = (1 - D)C : \varepsilon$$

$\sigma$ ,  $\varepsilon$ ,  $C$  – tensory naprężenia,  
odkształcenia oraz sztywności,

$D$  – skalarna zmienna zniszczenia  
– odpowiada degradacji materiału  
(0,1), 0 dla dziewiczego  
materiału, 1 dla całkowicie  
zniszczonego.

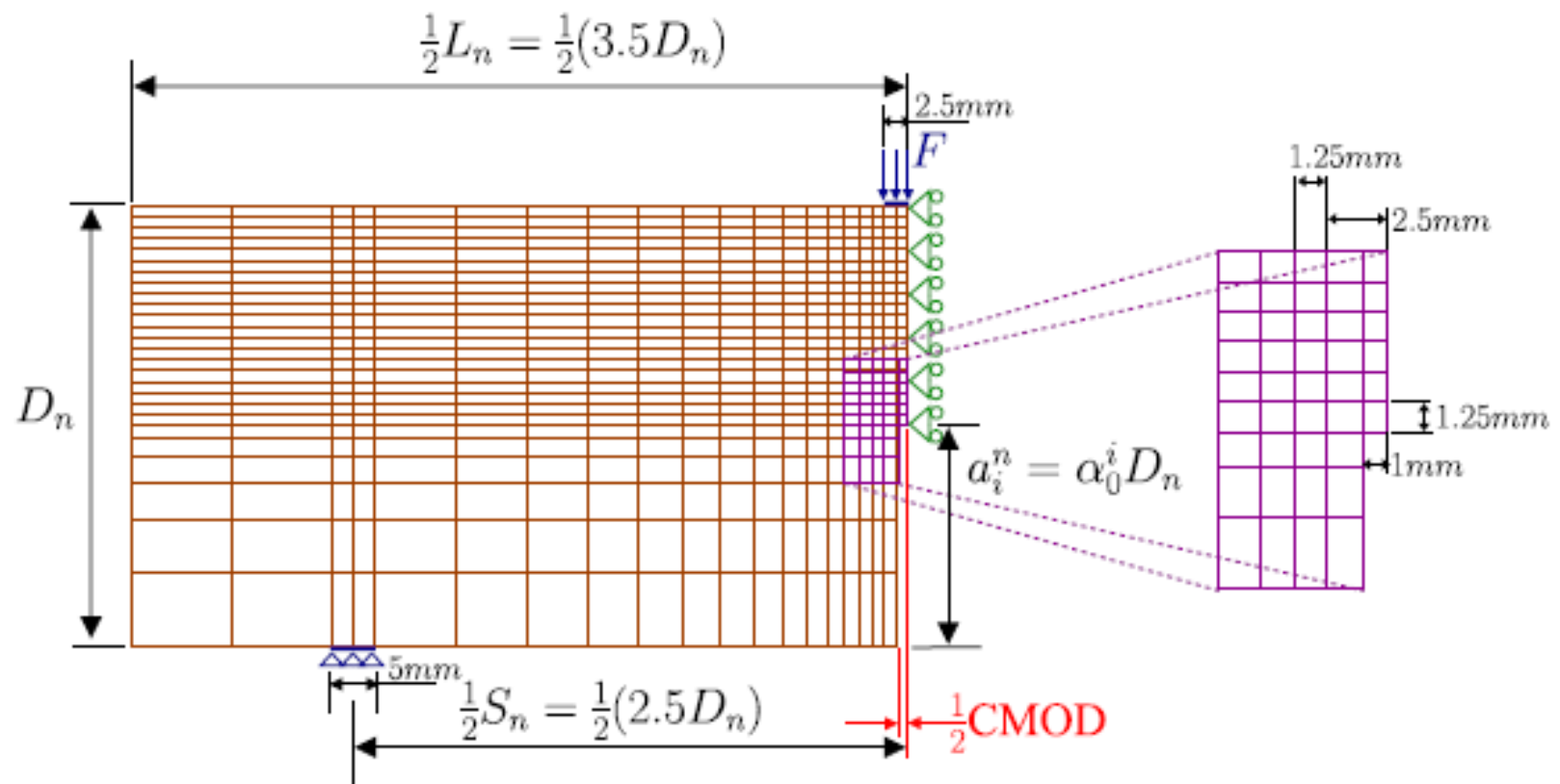


# MODEL MES

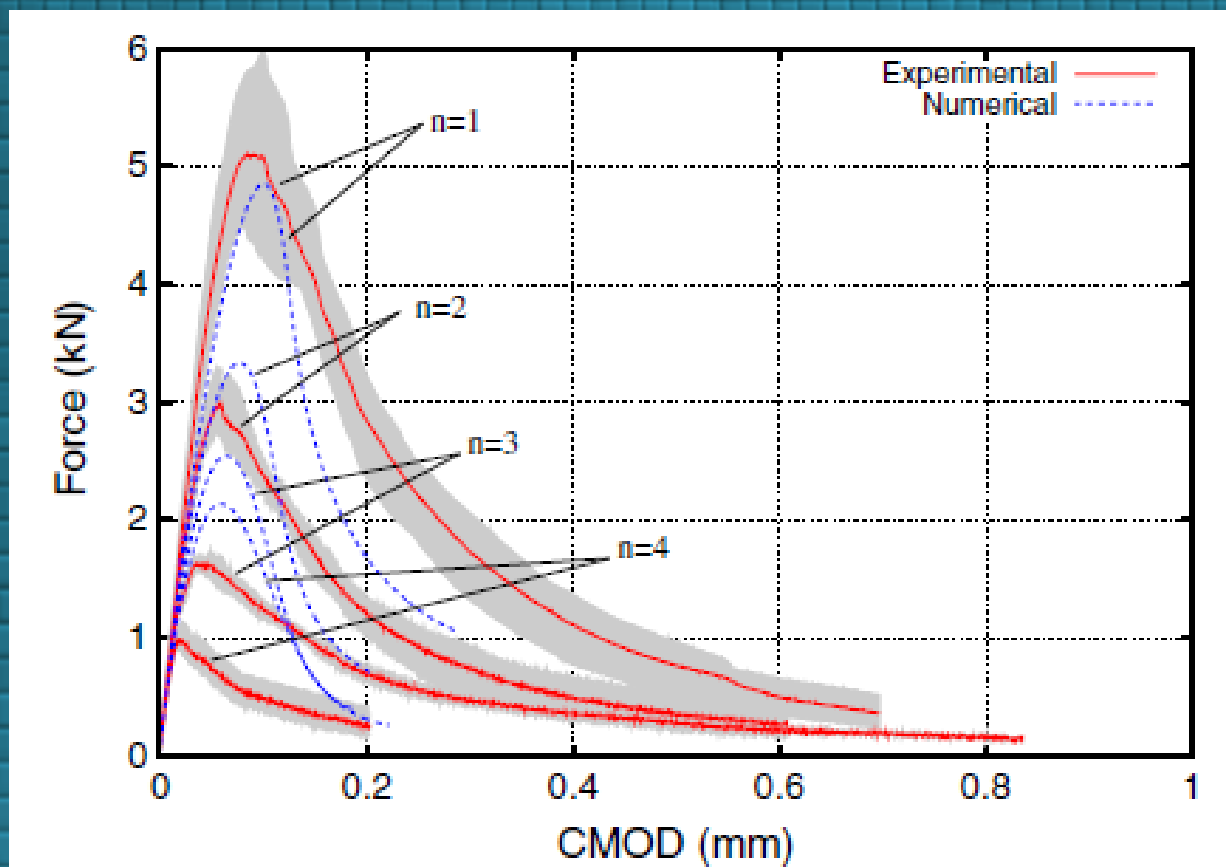
- Dwu-wymiarowe geometrycznie podobne siatki zostały zaprojektowane dla każdej konfiguracji belek,
- Siatka ES zawierała 4 węzłowe elementy z czterema punktami całkowania FIG 9 – typowa siatka,
- Aby uniknąć fałszu, rozmiar elementu w sąsiedztwie nacięcia i przyszłego FPZ przyjęto stały dla wszystkich próbek – 1 x 1.25 mm,
- Korzystając z symetrii układu posiatkowano połowę elementu,
- Trzy podparcia zostały zdefiniowane jako stałe przemieszczenie pionowe ,
- Obliczenia są kontrolowane przez parametr CMOD,
- Szerokość nacięcia równa 2 mm, co odpowiada rozmiarowi jednego elementu w połowie próbki,
- Moduł Younga i wsp. Poissona wynosi 37 GPa i 0.21 – wartości uśrednione,
- Zniszczenie przez zginanie w górnej części belki nie jest oczekiwane.



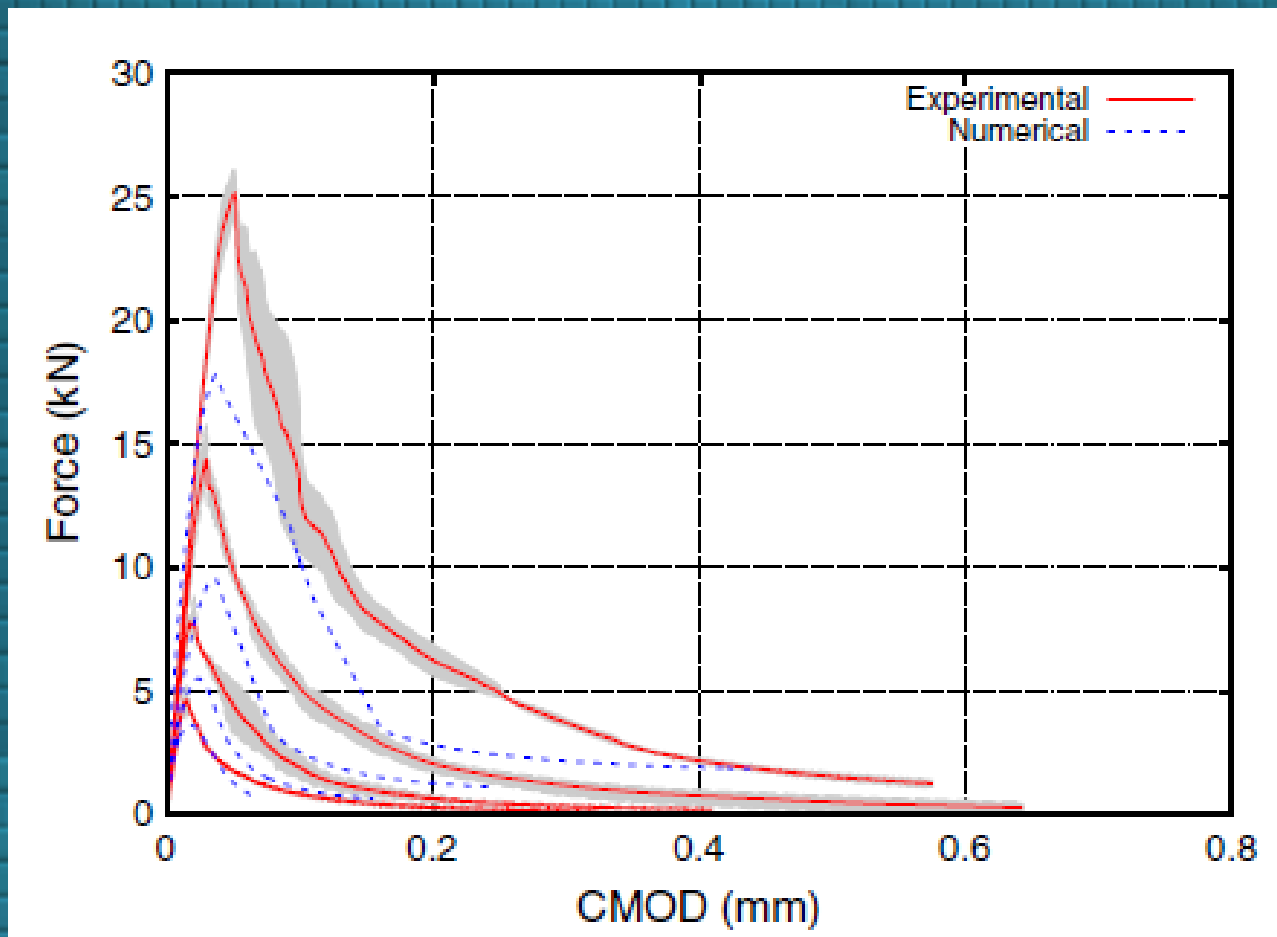
# SIATKA ES



# MOŻLIWOŚĆ ODTWORZENIA EFEKTU SKALI NA INNYCH GEOMETRIACH



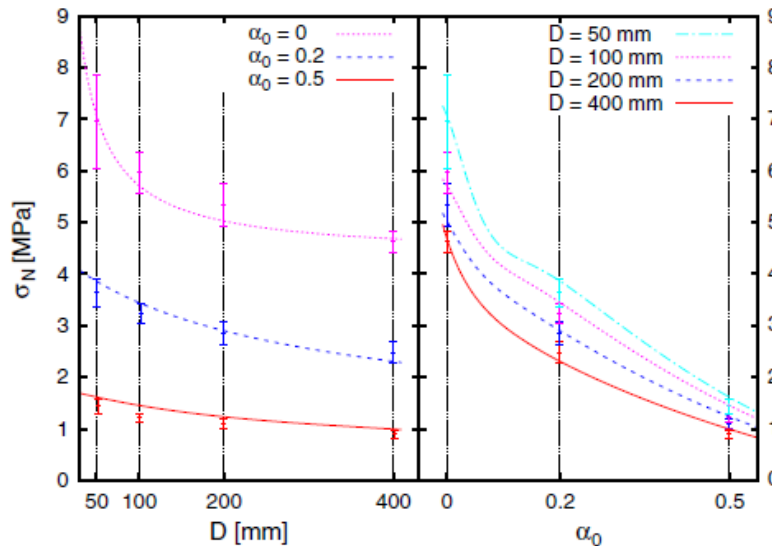
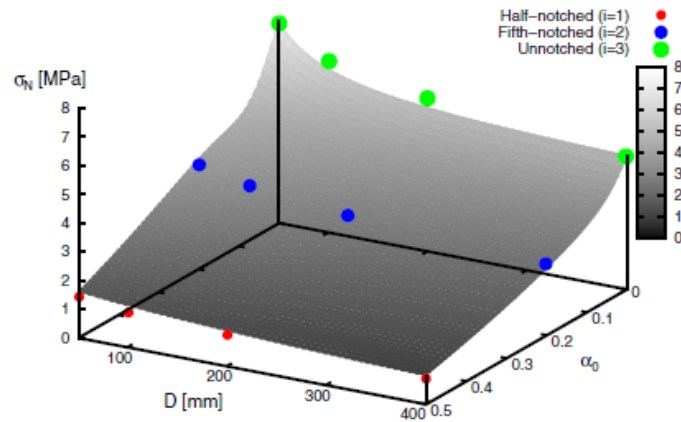
Belki z nacięciem



Belki bez nacięcia



# ANALIZA EFEKTU SKALI



Porównanie wyników  
eksperymentalnych z  
uniwersalnym prawem  
efektu skali wg  
Bazanta

WNIOSKI



# WNIOSKI

- Testy trzypunktowego zginiania badające efekt skali i efekty brzegowe geometrycznie podobnych belek z nacięciem i bez zostały zaprezentowane.



# WNIOSKI

- Testy trzypunktowego zginiania badające efekt skali i efekty brzegowe geometrycznie podobnych belek z nacięciem i bez zostały zaprezentowane.
- Względna wytrzymałość zależy od rozmiaru – mniejsze obiekty są wytrzymalsze. Co więcej wyniki dla naciętych i nienaciętych belek są inne.

# WNIOSKI

- Testy trzypunktowego zginiania badające efekt skali i efekty brzegowe geometrycznie podobnych belek z nacięciem i bez zostały zaprezentowane.
- Względna wytrzymałość zależy od rozmiaru – mniejsze obiekty są wytrzymalsze. Co więcej wyniki dla naciętych i nienaciętych belek są inne.
- Wyniki eksperymentalne zostały porównane z symulacją numeryczną wykorzystując model nielokalny. Porównanie ilustruje niedociągnięcia klasycznego sformułowania. Model nie potrafi opisać efektu skali dla zróżnicowanej geometrii i różnych rozmiarów elementu. Ta analiza powinna zostać rozszerzona dla innych, bardziej zaawansowanych, modeli konstytutywnych. Potwierdza to fakt, że jest konieczna potrzeba dalszych badań i ulepszania modeli konstytutywnych w celu osiągnięcia lepszego opisu geometrii i efektu skali dla zniszczenia konstrukcji.



# WNIOSKI

- Testy trzypunktowego zginiania badające efekt skali i efekty brzegowe geometrycznie podobnych belek z nacięciem i bez zostały zaprezentowane.
- Względna wytrzymałość zależy od rozmiaru – mniejsze obiekty są wytrzymalsze. Co więcej wyniki dla naciętych i nienaciętych belek są inne.
- Wyniki eksperymentalne zostały porównane z symulacją numeryczną wykorzystując model nielokalny. Porównanie ilustruje niedociągnięcia klasycznego sformułowania. Model nie potrafi opisać efektu skali dla zróżnicowanej geometrii i różnych rozmiarów elementu. Ta analiza powinna zostać rozszerzona dla innych, bardziej zaawansowanych, modeli konstytutywnych. Potwierdza to fakt, że jest konieczna potrzeba dalszych badań i ulepszania modeli konstytutywnych w celu osiągnięcia lepszego opisu geometrii i efektu skali dla zniszczenia konstrukcji.
- Wyniki eksperymentalne zostały również porównane z USEL zaporponowanym przez Bażanta. Uzyskano zgodność wyników w zakresie nominalnej wytrzymałości.



PORA NA PYTANIA

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ