

Modele zarysowania

Wykład 3 z SOKI, specjalność BIM

Jerzy Pamin

e-mail: Jerzy.Pamin@pk.edu.pl

Katedra Technologii Informatycznych w Inżynierii
Politechnika Krakowska

Podziękowania:

A. Winnicki, A. Wosatko

DIANA FEA www.dianafea.com

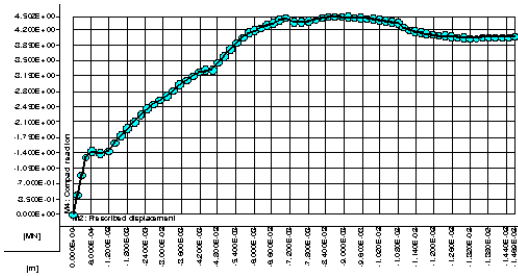
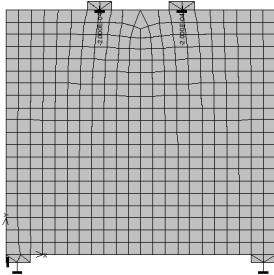
ATENA www.cervenka.cz/products/atena

MIDAS en.midasuser.com/

SOKI, BIM, 2020   

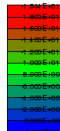
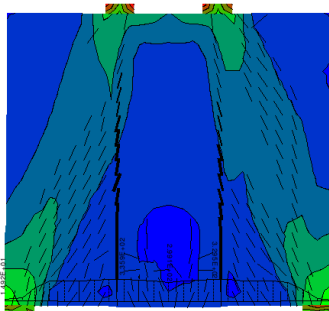
Zarysowanie tarczy żelbetowej (ATENA, Kwasek)

Step 1, single span deep beam



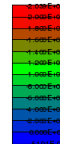
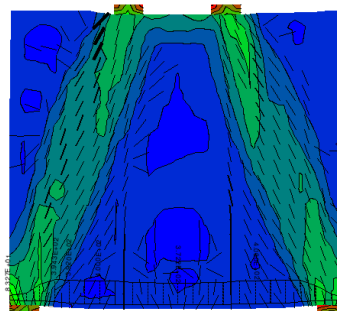
Step 20, single span deep beam

Scale: zscoreas, Basic material, in nodes, Principal Stress, Min., -1.884E+01, 4.784E-01 [MPa]
C scale: in elements, opening -3.887E+01, 1.89E-01 [Pa], Sigma_xx -0.000E+00, 8.79E-01 [MPa], Sigma_TT -0.1128E+01, 7.49E-01



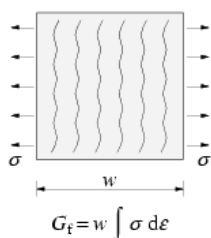
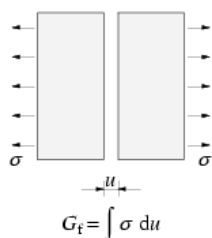
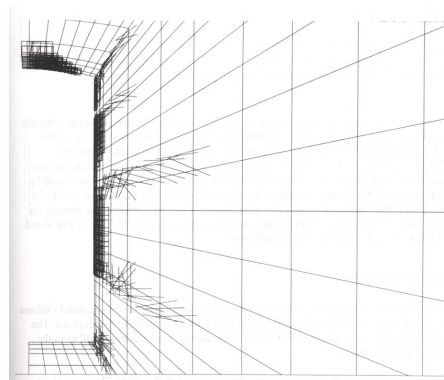
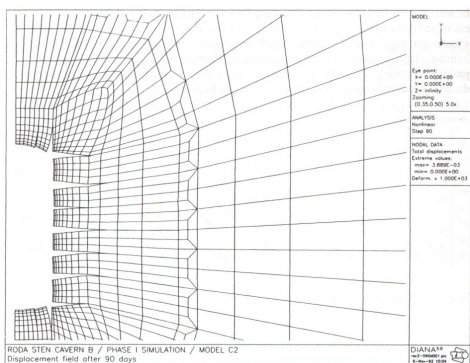
Step 55, single span deep beam

Scale: zscoreas, Basic material, in nodes, Principal Stress, Min., -0.090E+01, 5.191E-01 [MPa]
C scale: in elements, opening -1.916E+01, 2.79E-01 [Pa], Sigma_xx -0.000E+00, 8.79E-01 [MPa], Sigma_TT -0.1174E+01, 8.18E-01



SOKI, BIM, 2020   

Rysy dyskretne lub rozmyte (DIANA)



Energia pękania G_f jest zużyta na powstanie jednostki powierzchni rysy w - szerokość pasma mikrozarysowań (*crack band width*)

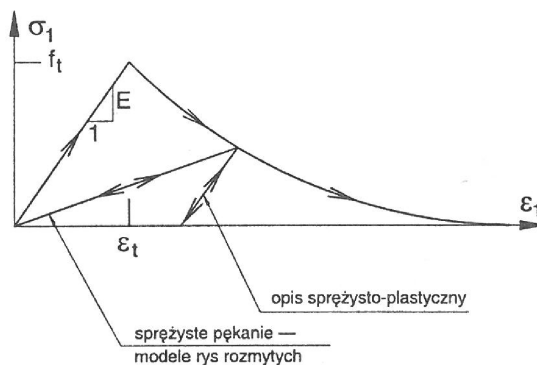
Idea rys rozmytych (płaski stan naprężenia)

Kryterium zarysowania

$$\sigma_1 \leq f_t \text{ lub } \epsilon_1 \leq \epsilon_t$$

Kierunek n normalny do rysy może być:

stały (*fixed cracks*) lub zmienny (*rotating cracks*)

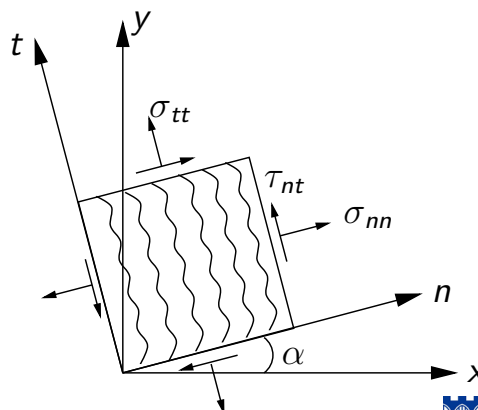


Wektor naprężenia

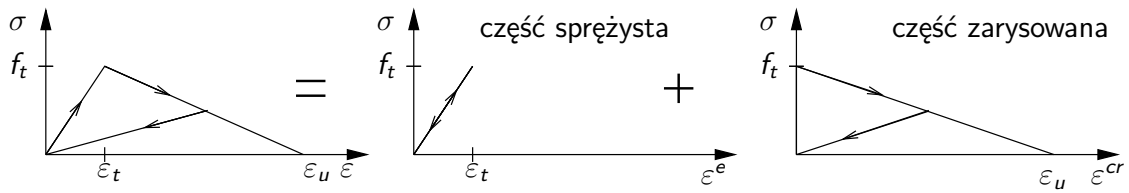
$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{nn} \\ \sigma_{tt} \\ \tau_{nt} \end{bmatrix}$$

Wektor odkształcenia

$$\epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_{nn} \\ \epsilon_{tt} \\ \gamma_{nt} \end{bmatrix}$$



Rysy rozmyte



Dekompozycja odkształcenia

$$\epsilon = \epsilon^e + \epsilon^{cr}$$

Odkształcenie sprężyste

$$\epsilon^e = \mathbf{C}^e \sigma, \quad \mathbf{C}^e = (\mathbf{D}^e)^{-1}$$

Odkształcenie zarysowania

$$\epsilon^{cr} = \mathbf{C}^{cr} \sigma$$

Operator podatności

$$\epsilon = (\mathbf{C}^e + \mathbf{C}^{cr}) \sigma = \mathbf{C} \sigma$$

$$\mathbf{C} = \mathbf{C}^e + \mathbf{C}^{cr}$$

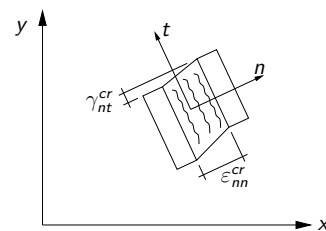
Operator sztywności (sieczonej)

$$\sigma = \mathbf{D} \epsilon$$

$$\mathbf{D} = (\mathbf{C}^e + \mathbf{C}^{cr})^{-1}$$

Odkształcenia w rysie

$$\epsilon^{cr} = \begin{bmatrix} \epsilon_{nn}^{cr} \\ 0 \\ \gamma_{nt}^{cr} \end{bmatrix}$$

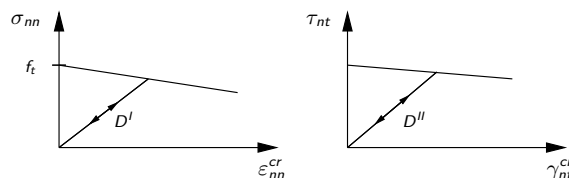


Związki dla zarysowania

Naprężenia w rysie

$$\sigma_{nn} = D^I \epsilon_{nn}^{cr}$$

$$\tau_{nt} = D^{II} \gamma_{nt}^{cr}$$



Operator podatności

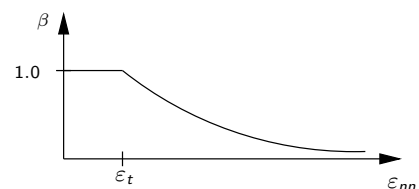
$$\mathbf{C} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & 0 \\ -\nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{D^I} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{D^{II}} \end{bmatrix}$$

Parametry uszkodzenia ($1 \rightarrow 0$): $\mu = \frac{D^I}{E+D^I}$, $\beta = \frac{D^{II}}{G+D^{II}}$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E} & \frac{-\nu}{E} & 0 \\ \frac{-\nu}{E} & \frac{1}{E} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1-\mu}{\mu E} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\beta}{\beta G} \end{bmatrix}$$

Operator sztywności

$$\mathbf{D} = \mathbf{C}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{\mu E}{1-\mu\nu^2} & \frac{\mu\nu E}{1-\mu\nu^2} & 0 \\ \frac{\mu\nu E}{1-\mu\nu^2} & \frac{E}{1-\mu\nu^2} & 0 \\ 0 & 0 & \beta G \end{bmatrix}$$



Naprężenie styczne $\tau_{nt} = \beta G \gamma_{nt}$, $\beta = \beta(\epsilon_{nn})$

Relacje we współrzędnych globalnych

Związek konstytutywny we współrzędnych lokalnych (n, t)

$$\sigma = \mathbf{D}\epsilon$$

Transformacja

$$\epsilon = \mathbf{T}\epsilon_{gl}, \quad \sigma_{gl} = \mathbf{T}^T\sigma$$

Związek konstytutywny we współrzędnych globalnych (x, y)

$$\sigma_{gl} = \mathbf{T}^T\mathbf{D}\mathbf{T}\epsilon_{gl}$$

Związek konstytutywny zapisany w prędkościach

$$\dot{\sigma} = \mathbf{D}_{tang}\dot{\epsilon}$$

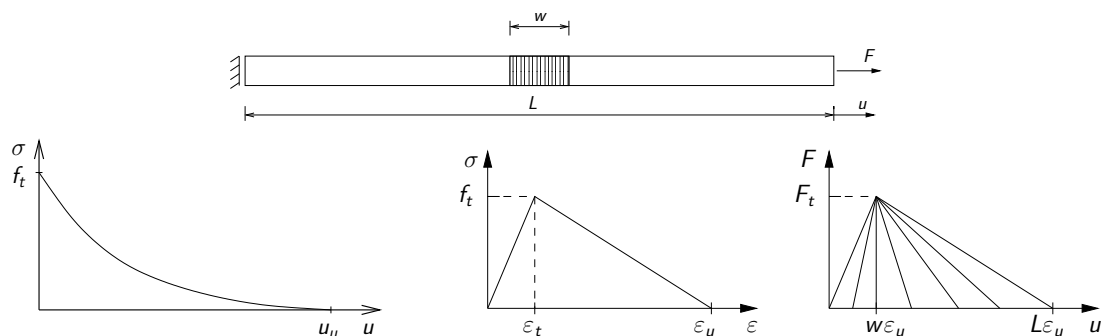
Ustalony kierunek rys (*fixed cracks*)

$$\dot{\sigma}_{gl} = \mathbf{T}^T\mathbf{D}_{tang}\mathbf{T}\dot{\epsilon}_{gl}, \quad \mathbf{D}_{tang} = \frac{\partial\sigma}{\partial\epsilon}$$

Rysy obracające się (*rotating cracks*)

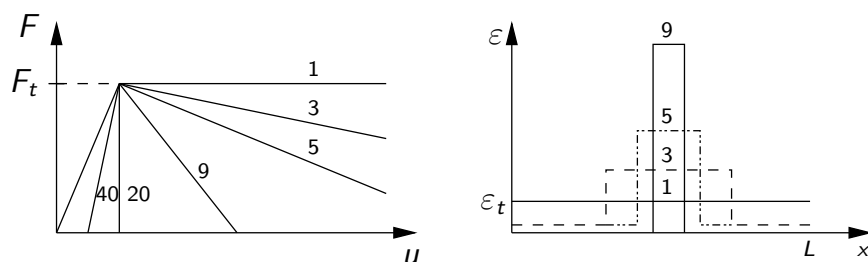
$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{nn} \\ \sigma_{tt} \end{bmatrix}, \quad \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_{nn} \\ \epsilon_{tt} \end{bmatrix}, \quad \dot{\epsilon} = \dot{\mathbf{T}}\epsilon_{gl} + \mathbf{T}\dot{\epsilon}_{gl}$$

Problem lokalizacji odkształceń



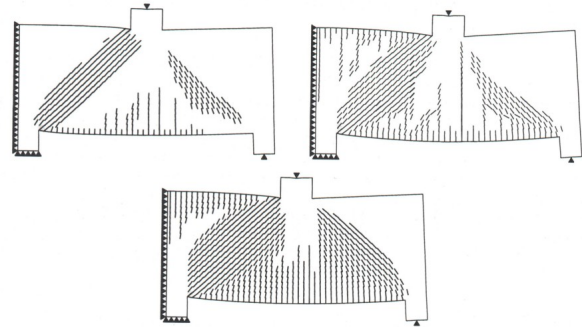
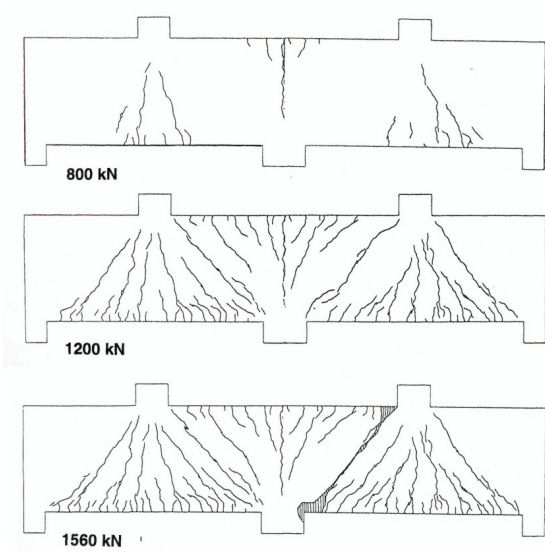
$$G_f = \int_0^{u_u} \sigma du$$

$$g_f = \int_0^{\epsilon_u} \sigma d\epsilon^{cr}$$



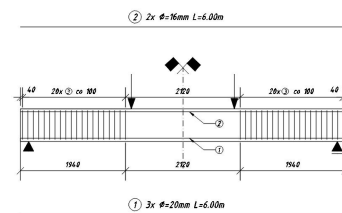
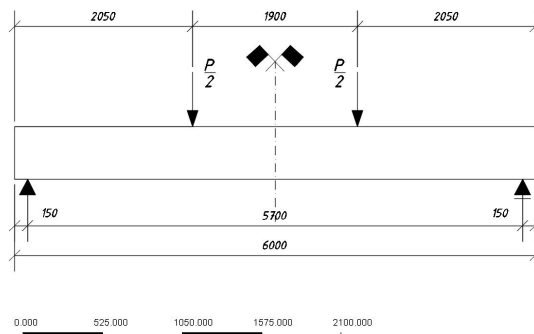
Dostosowanie osłabienia do dyskretyzacji: $g_f = G_f/h^e$ ($w = h^e$)

Nośność tarcz wieloprzęstowych (DIANA, Asin)



SOKI, BIM, 2020

Zarysowanie belki żelbetowej (MIDAS, Nowakiewicz)

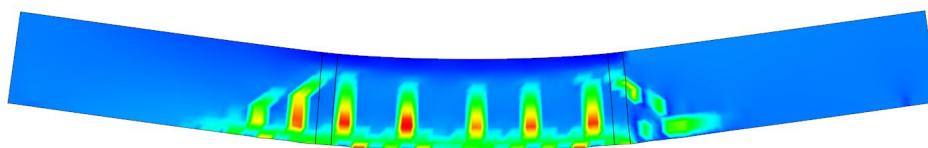


Midas FEA

2D ELEMENT STRAIN

EXX, None








0.2%	-3.27817e-003
1.1%	-3.03788e-003
1.7%	-2.72970e-003
2.3%	-2.55719e-003
2.9%	-2.31702e-003
3.6%	-2.07674e-003
4.3%	-1.83645e-003
5.0%	-1.59616e-003
5.7%	-1.35587e-003
6.4%	-1.11558e-003
7.1%	-8.75309e-004
7.8%	-6.35032e-004
8.5%	-3.94725e-004
9.2%	-1.54438e-004
9.9%	8.58433e-005
1.0%	3.20137e-004
1.2%	-2.86246e-004



[UNIT] N , mm
 [DATA] Analiza(Construction Stage) , STAGE 2, STEP 1(LF 0.600)(D) , LO-Plane Stress, EXX , [Output CSys] Element Local CSys

SOKI, BIM, 2020

Literatura

-  [1] R. DE BORST, M.A. CRISFIELD, J.J.C. REMMERS AND C.V. VERHOOSSEL. *Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures*. Second Edition, J. Wiley & Sons, Chichester 2012.
-  [2] U. HAEUSSLER-COMBE *Computational Methods for Reinforced Concrete Structures*. Ernst & Sohn, Berlin 2015.
-  [3] M. JIRÁSEK AND Z.P. BAŽANT. *Inelastic Analysis of Structures*. J. Wiley & Sons, Chichester, 2002.
-  [4] A. GARSTECKI, W. GILEWSKI, Z. POZORSKI (EDYTORZY). *Współczesna mechanika konstrukcji w projektowaniu inżynierskim*. Studia z zakresu inżynierii nr 92, KILiW PAN, Warszawa 2015.
-  [5] M. ASIN. *The behaviour of reinforced concrete continuous deep beams*. Delft University of Technology, 2000.
-  [6] M. KWASEK. *Advanced static analysis and design of reinforced concrete deep beams*. Diploma work, Politechnika Krakowska, 2004.
-  [7] J. NOWAKIEWICZ. *Analiza nieliniowej odpowiedzi żelbetowej belki pod obciążeniem statycznym*. Praca dyplomowa, Politechnika Krakowska, 2017.

Pytania

1. Jakie jest kryterium zarysowania w modelu rys rozmytych?
2. Przedstawić graficznie diagram osłabienia materiału przy zarysowaniu jako sumę modeli reprezentujących odkształcenie sprężyste i odkształcenie zarysowania. Podać związek pomiędzy tensorem naprężenia i odkształcenia dla tego modelu.
3. Jakie stałe materiałowe trzeba zadać w modelu zarysowania?
4. Jaki jest sens fizyczny energii pęknięcia w analizie zarysowania materiału?
5. Czym różni się model zarysowania od modelu teorii plastyczności z kryterium Rankine'a?
6. Jak modeluje się zachowanie materiału przy (wieloosiowym) ściskaniu?