

Dr inż. Danuta MIEDZIŃSKA, email: dmiedzinska@wat.edu.pl

Dr inż. Robert PANOWICZ, email: Panowicz@wat.edu.pl

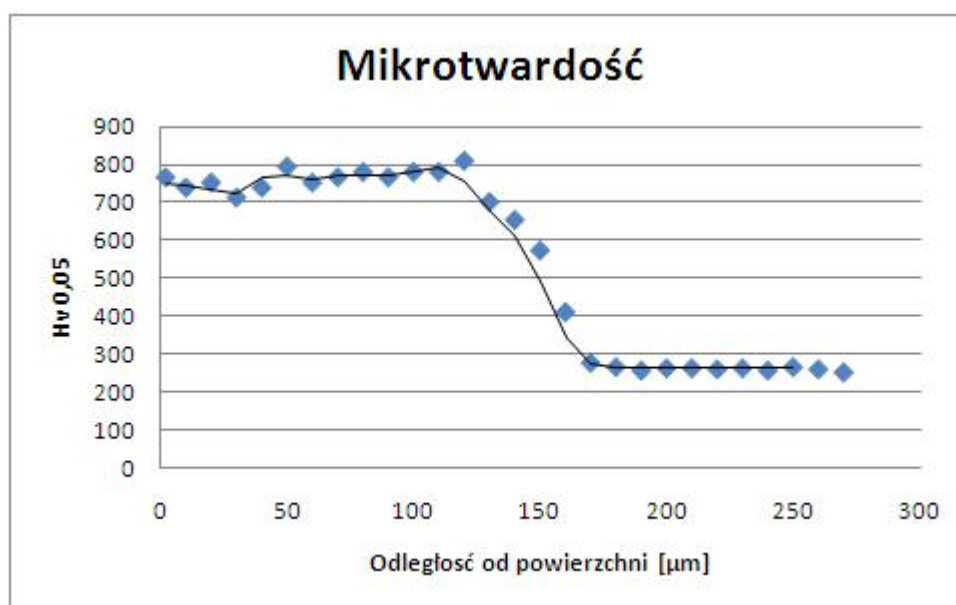
Wojskowa Akademia Techniczna, Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej

MODELOWANIE WARSTWY POWIERZCHNIOWEJ O ZMIENNEJ TWARDOŚCI

Streszczenie: W pracy przedstawiono metodę modelowania numerycznego warstwy powierzchniowej stali C45 powstałej w wyniku obróbki laserem. Obróbka ta spowodowała utwardzenie warstwy powierzchniowej. Warstwę tę potraktowano jako rodzaj materiału funkcjonalnie gradientowego o zmiennych właściwościach. Jako zmienną zastosowano zbadaną mikrotwardość warstwy w zależności od odległości od powierzchni. Zastosowano metody homogenizacji numerycznej właściwe dla takich materiałów.

1. OPIS PROBLEMU

W opracowaniu przedstawiono metodę modelowania warstwy powierzchniowej stali C45 powstałej w wyniku obróbki laserem. Obróbka ta spowodowała utwardzenie warstwy powierzchniowej. W celu określenia zmiany twardości oraz głębokości tej warstwy wykonano badania eksperymentalne, których wynik przedstawiono na rys. 1. Wyniki te staną się podstawą do budowy zastępczego modelu numerycznego warstwy powierzchniowej.



Rys. 1. Wyniki pomiarów twardości warstwy powierzchniowej stali C45

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań parametrów globalnych (dużej próbki) wykonanej ze stali C45. Wyniki te nie odzwierciedlają wpływu warstwy powierzchniowej. Zostaną one przyjęte w modelowaniu jako parametry dla materiału pod warstwą powierzchniową, na którą laser już nie działał.

Tabela 1. Wyniki badań stali C45

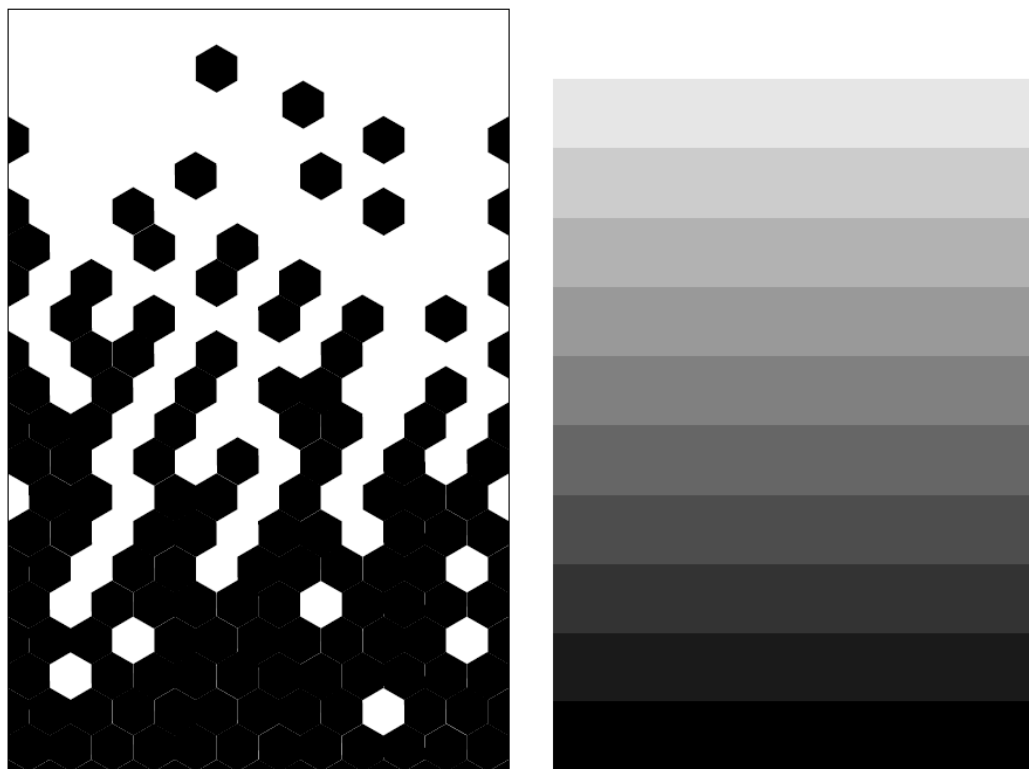
Lp	Oznaczenie próbki	R_m	σ_{rzecz}^{max}	ϵ_{rzecz}^{max}	Re	ϵ_{niesz}^{ex}	ϵ_{niesz}^{Ar}	E_{ex}	E_{Ar}	v
		[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[-]	[-]	[GPa]	[GPa]	[-]
1	C45_1	699,9	-	-	427,0	0,145	0,141	200,1	211,4	0,338
2	C45_2	698,6	919,4	0,606	429,5	0,132	0,168	203,2	197,2	0,325
3	C45_3	698,9	927,3	0,569	431,0	0,131	0,154	199,2	195,8	-
4	C45_4	695,2	909,3	0,499	429,0	0,149	0,139	196,5	202,1	0,331
Wartość średnia		698,1	918,7	0,558	429,1	0,139	0,150	199,8	201,6	0,331

2. METODA MODELOWANIA

Opisaną powyżej warstwę powierzchniową można uznać za materiał funkcjonalnie gradientowy i zastosować metody homogenizacyjne służące do modelowania zastępczego takich materiałów.

Wybór metody homogenizacji materiałów gradientowych został dokonany na podstawie przeglądu literatury. Najważniejsze wydają się tu pozycje [1, 2, 3], w których autorzy podjęli próbę homogenizacji materiału gradientowego.

Generalną metodę homogenizacji takiego materiału przedstawiono na rys. 2. Wykonuje się ją poprzez podział mikrostruktury na znaczące elementy (paski), dla których dokonuje się homogenizacji. Dobór szerokości takiego paska, tak aby błąd homogenizacji był jak najmniej znaczący, odbywa się na podstawie obserwacji lokalnie mikrostruktury oraz wykonaniu serii obliczeń dla różnych szerokości pasków.



Rys. 2. Przyjęta w pracy metoda homogenizacji

3. WPŁYW TWARDOŚCI NA PARAMETRY WYTRZYMAŁOŚCIOWE STALI

Zależność wytrzymałości na rozciąganie od twardości Vickersa została określona przez D. Tabora w pracach [4, 5].

Tabor wykazał, że średni nacisk w punkcie kontaktu P_m (lub twardość) może zostać powiązana z wytrzymałością na rozciąganie tego materiału.

Wartość liczbowa twardości wyrażaną w skali Vickersa HV otrzymuje się dzieląc siłę F w kilogramach siły (kgf) przez pole powierzchni bocznej odcisku A w milimetrach kwadratowych:

$$HV = \frac{F}{A}$$

Zależność między twardością Vickersa HV a wytrzymałością na rozciąganie Y jest określona zależnością:

$$HV = 2,9 \cdot Y$$

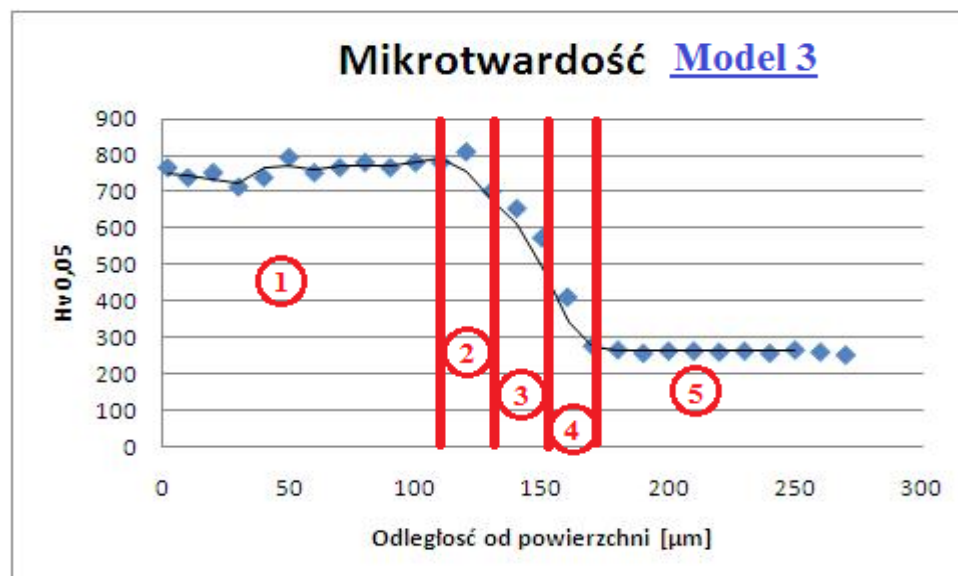
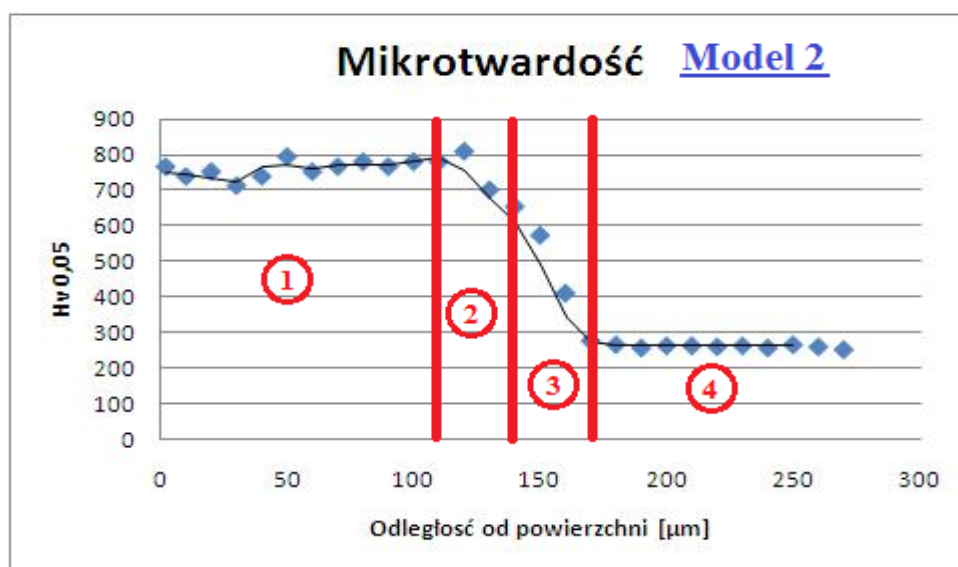
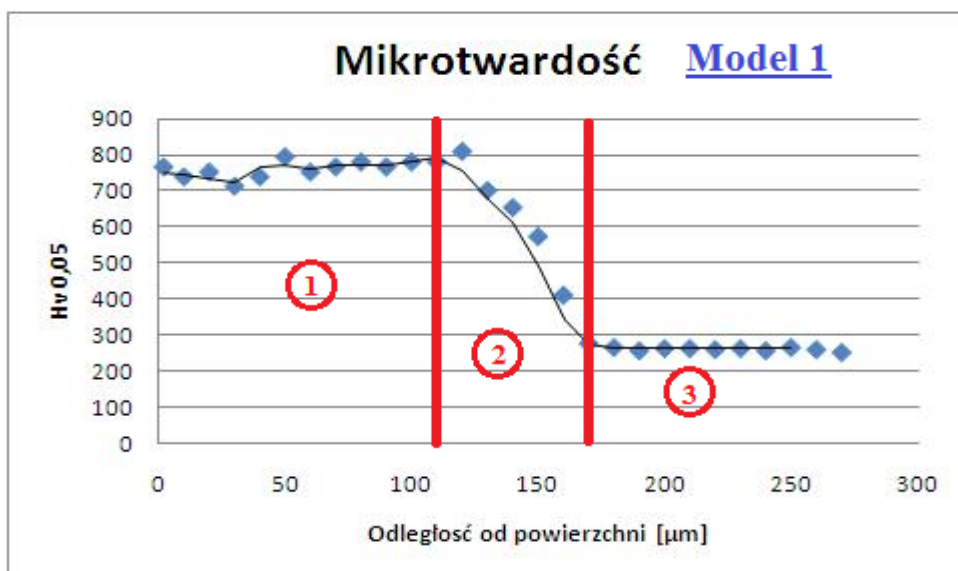
Moduł Younga oraz granica plastyczności natomiast rośnie wraz ze wzrostem twardości. Przyjęto więc taką samą zależność pomiędzy modułem Younga a twardością, jako bazowy przyjmując moduł Younga z badań.

Przyjęto więc taką samą zależność pomiędzy modułem Younga a twardością, jako bazowy przyjmując moduł Younga z badań. Trzeba jednakże zaznaczyć, iż zależność ta wymagałaby przeprowadzenia dokładniejszych badań eksperymentalnych.

4. MODEL ZASTĘPCZY WARSTWY POWIERZCHNIOWEJ

W celu zamodelowania warstwy powierzchniowej zbudowano trzy modele warstwowe o różnej dokładności (grubości uśrednianych warstw). Sposób podziału przedstawiono na rysunku 3. Są to modele odpowiednio 3-, 4- i 5-cio warstwowe. Parametry materiałowe dla poszczególnych warstw w modelach przedstawiono w tabeli 2. Twardość w poszczególnych warstwach jest wartością uśrednioną z całego obszaru $((\max+\min)/2)$.

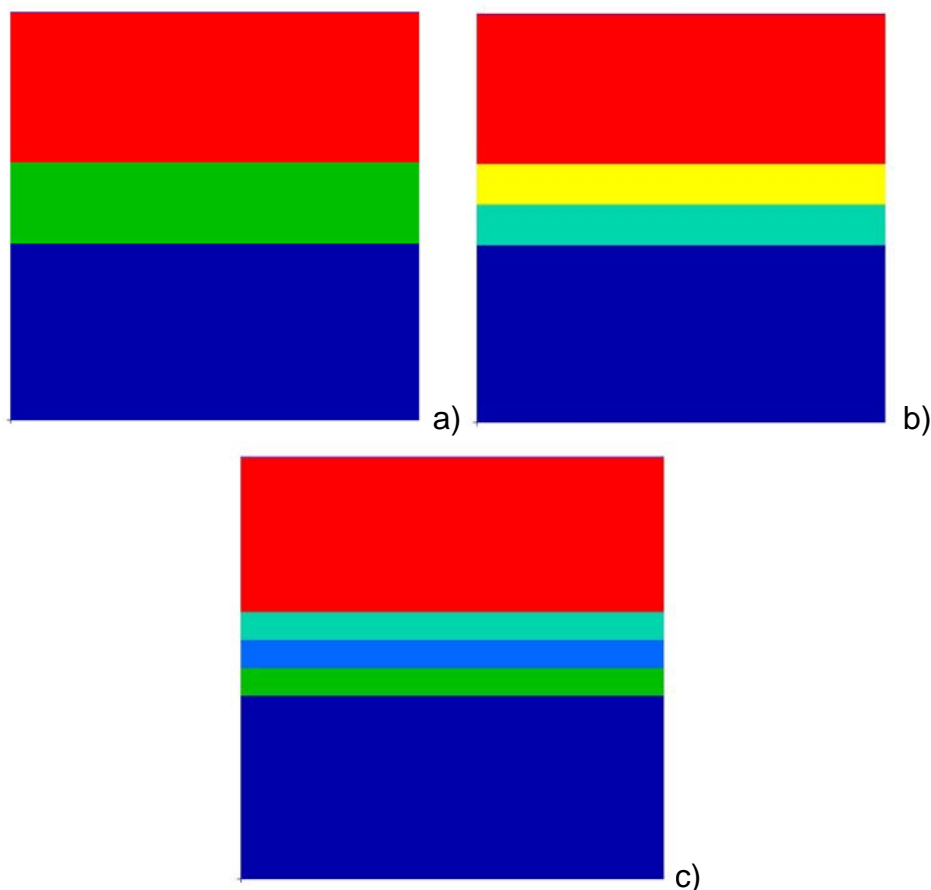
Modele numeryczne zbudowano przy użyciu oprogramowania MSC.Patran. Są to modele zbudowane za pomocą elementów dwuwymiarowych czterowęzłowych. Wymiar elementu $10 \times 10 \mu\text{m}$. Zastosowano model materiału biliniowy sprężysto-plastyczny. Modele przedstawiono na rysunku 4, natomiast warunki brzegowe na rysunku 5.



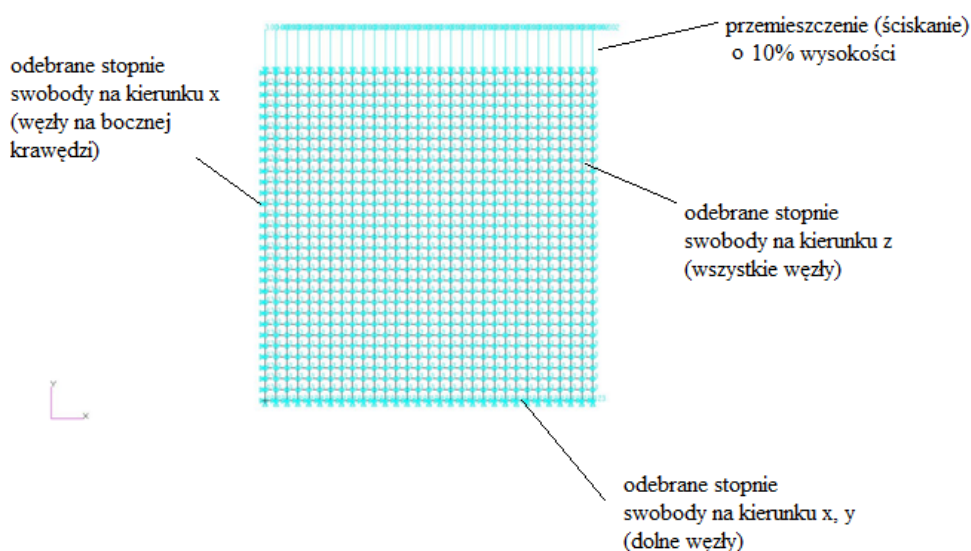
Rys. 3. Sposób podziału warstwy powierzchniowej: Model 1 - 3-warstwowy, Model 2 - 4-warstwowy i Model 3 - 5-warstwowy

Tabela 2. Parametry materiałowe poszczególnych warstw Modeli 1, 2 i 3

Model 1										
Nr warstwy	Odległość od powierzchni		Szerokość warstwy	Twardość	R _e	R _m	E	ν	ε _{niszcz}	ε _{max}
	Od	Do								
	[μm]	[μm]								
1	0	110	110	760,6	2570,3	2778,9	390	0,33	0,15	0,56
2	110	170	60	528,0	1784,2	1953,0	300	0,33	0,15	0,56
3	170	270	100	262,7	887,7	1168,7	200	0,33	0,15	0,56
Model 2										
Nr warstwy	Odległość od powierzchni		Szerokość warstwy	Twardość	R _e	R _m	E	ν	ε _{niszcz}	ε _{max}
	Od	Do								
	[μm]	[μm]								
1	0	110	110	760,6	2570,3	2778,9	390	0,33	0,15	0,56
2	110	140	30	717,0	2422,9	2665,9	387,7	0,33	0,15	0,56
3	140	170	30	466,5	1576,4	1979,2	287,3	0,33	0,15	0,56
4	170	270	100	262,7	887,7	1168,7	200	0,33	0,15	0,56
Model 3										
Nr warstwy	Odległość od powierzchni		Szerokość warstwy	Twardość	R _e	R _m	E	ν	ε _{niszcz}	ε _{max}
	Od	Do								
	[μm]	[μm]								
1	0	110	110	760,6	2570,3	2778,9	390	0,33	0,15	0,56
2	110	130	20	740,5	2502,3	2652,3	368,4	0,33	0,15	0,56
3	130	150	20	637,5	2154,3	2352,9	308,4	0,33	0,15	0,56
4	150	170	20	426,5	1441,2	1617,5	245	0,33	0,15	0,56
5	170	270	100	262,7	887,7	1168,7	200	0,33	0,15	0,56

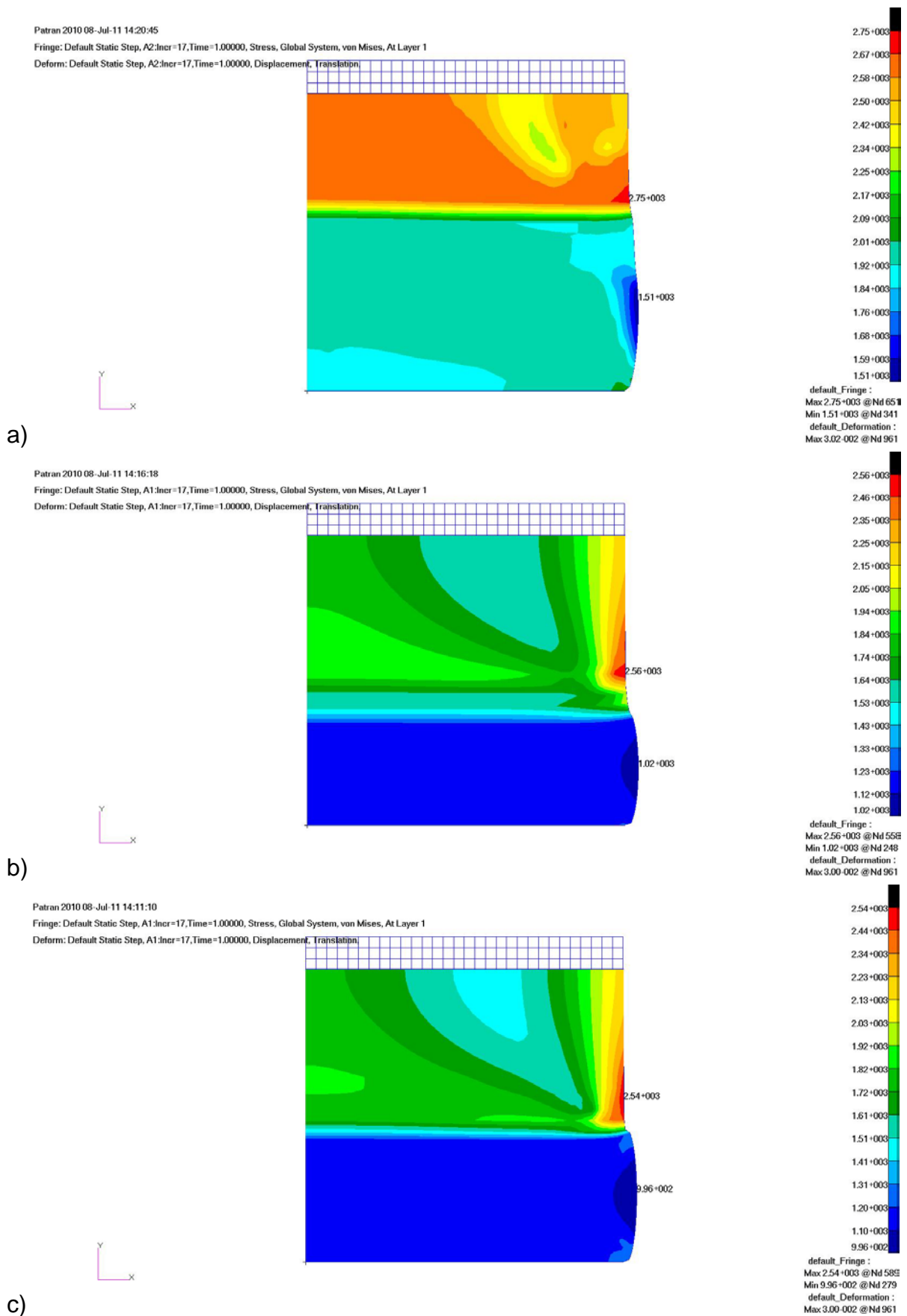


Rys. 4. Modele zastępcze warstwy powierzchniowej: a) Model 1, b) Model 2, c) Model 3

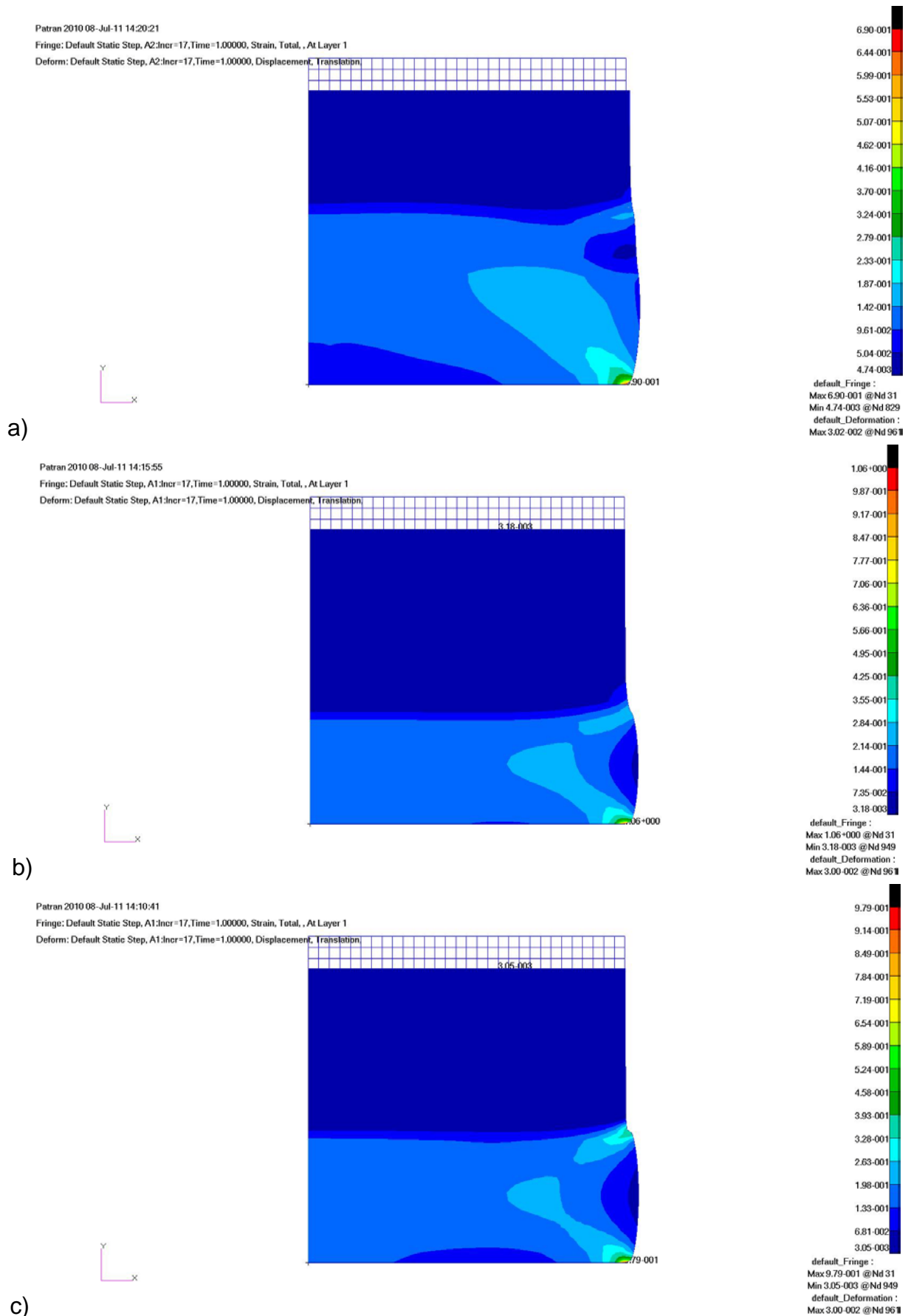


Rys. 5. Warunki brzegowe

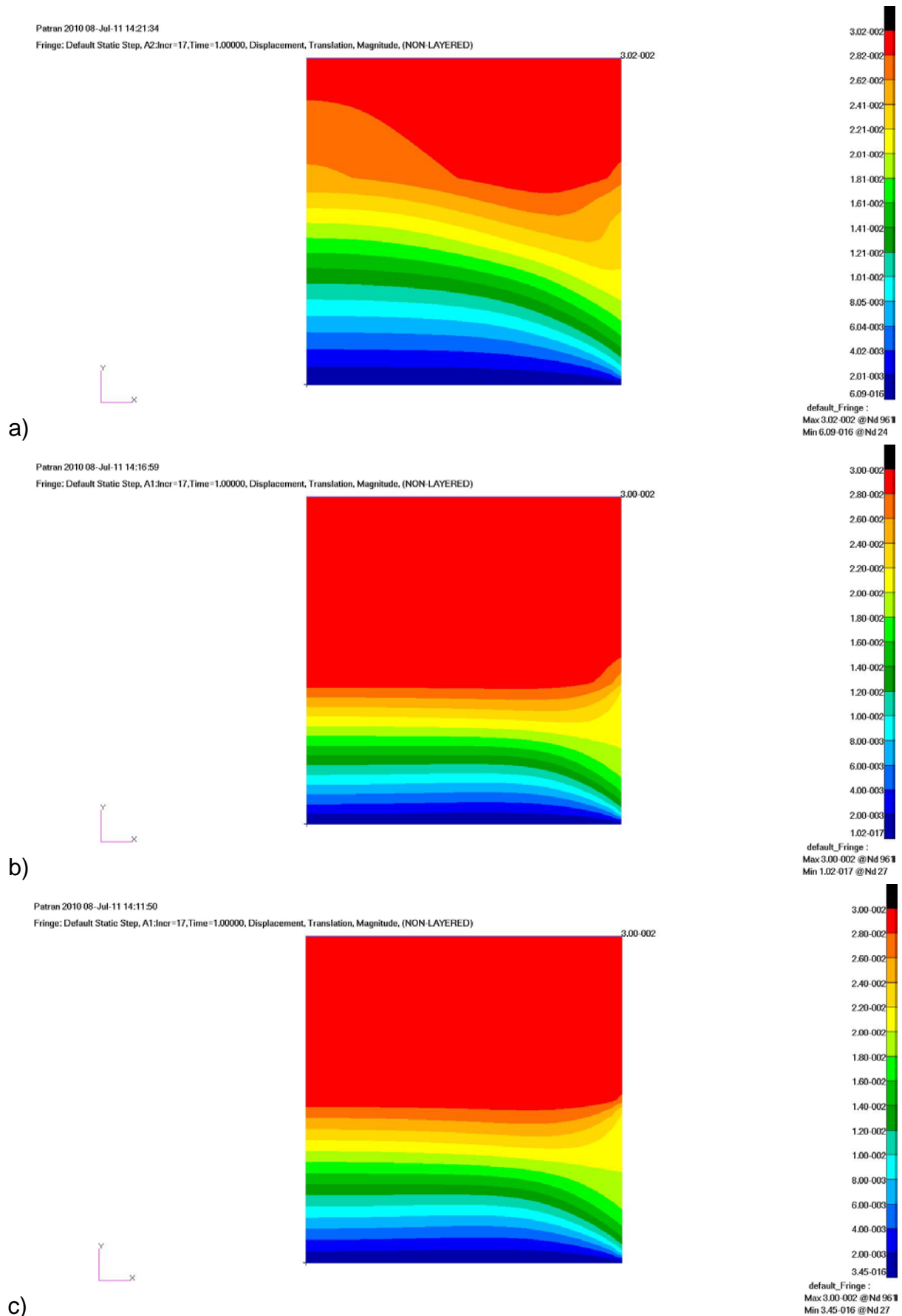
Przeprowadzono analizę statyczną ściskania modeli o 10% ich wysokości. Do obliczeń użyto programu MSC.Marc. Wyniki przedstawiono w postaci rozkładów naprężeń von Misesa, odkształceń, przemieszczeń i deformacji (rys. 6, 7, 8 i 9).



Rys. 6. Wyniki w postaci rozkładów naprężeń von Misesa dla: a) Modelu 1, b) Modelu 2, c) Modelu 3

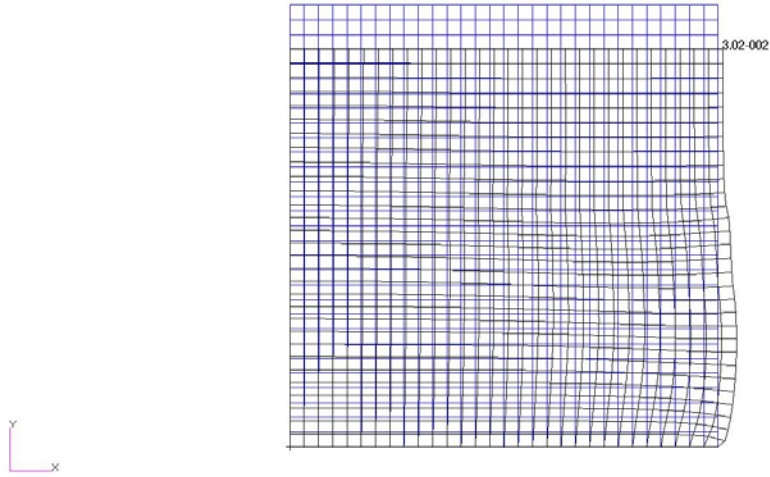


Rys. 7. Wyniki w postaci rozkładów odkształceń dla: a) Modelu 1, b) Modelu 2, c) Modelu 3



Rys. 8. Wyniki w postaci rozkładów przemieszczeń dla: a) Modelu 1, b) Modelu 2, c) Modelu 3

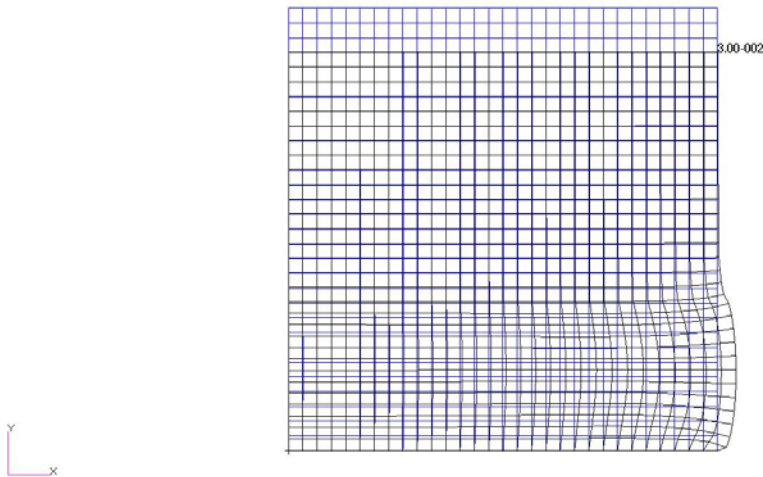
Patran 2010 08-Jul-11 14:21:14
Deform: Default Static Step, A2.Incr=17,Time=1.00000, Displacement, Translation., (NON-LAYERED)



a)

default_Deformation :
Max 3.02-002 @Nd 96

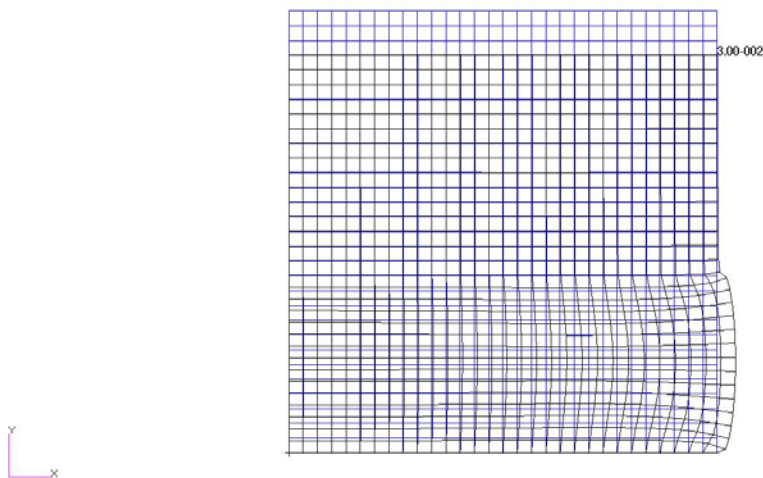
Patran 2010 08-Jul-11 14:16:38
Deform: Default Static Step, A1.Incr=17,Time=1.00000, Displacement, Translation., (NON-LAYERED)



b)

default_Deformation :
Max 3.00-002 @Nd 96

Patran 2010 08-Jul-11 14:11:30
Deform: Default Static Step, A1.Incr=17,Time=1.00000, Displacement, Translation., (NON-LAYERED)



c)

default_Deformation :
Max 3.00-002 @Nd 96

Rys. 9. Wyniki w postaci deformacji dla: a) Modelu 1, b) Modelu 2, c) Modelu 3

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie wyników modelowania warstwy powierzchniowej można wysnuć wniosek, iż ma ona istotny wpływ na pracę materiału. Przedstawiony został rozkład naprężeń i deformacji w tej warstwie, który znacząco różni się od globalnego makrostrukturalnego zachowania się tego materiału.

Należy zaznaczyć, iż dokładność rozwiązania (dokładność odwzorowania warstwy powierzchniowej) zależy od doboru szerokości i ilości uśrednionych warstw. Dobór szerokości poszczególnych pasków należy opierać na dokładności, jaką chcemy uzyskać w rozwiązaniu oraz możliwości dostępnych mocy obliczeniowych oraz czasu analizy.

LITERATURA

- [1] Vemaganti K., Deshmukh P.: *An adaptive global–local approach to modeling functionally graded materials*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering Volume 195, Issues 33-36, 1 July 2006, Pages 4230-4243,
- [2] Sills L., Eliasi R. and Berlin Y.: *Modeling of functionally graded materials in dynamic analyses*, Composites: Part B 33 (2002), pp. 7–15,
- [3] Dong S.B.: *Global–local finite element methods*, State-of-the-art Surveys on Finite Element Technology, American Society of Mechanical Engineers (ASME), New York (1983), pp. 451–474,
- [4] Tabor, D. (1947), “A Simple Theory of Static and Dynamic Hardness”, Proc. Roy. Society Series A., 192, pp 247-274
- [5] Tabor, D. (1951), *The Hardness and Strength of Metals*, Oxford Clarendon Press