



NUMPRESS

**System komputerowej analizy, optymalizacji
i niezawodności przemysłowych procesów tłoczenia blach**

Opis formatu pliku wejściowego do programów NUMPRESS-Explicit i NUMPRESS-Flow

Produkt, którego dotyczy niniejszy dokument,
powstał w ramach projektu, realizowanego w IPPT PAN w latach 2009–2014,
współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego
w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka

Spis treści

1 Uwagi ogólne	3
1.1 Struktura pliku wejściowego	3
1.2 Ogólne zasady budowy modelu obliczeniowego i definiowania jego właściwości	5
2 Opis bloków danych	8
Indeks	51

1 Uwagi ogólne

W obu programach do analizy numerycznej procesów tłoczenia blach, wchodzących w skład systemu NUMPRESS (czyli NUMPRESS-Explicit i NUMPRESS-Flow), dane wejściowe wprowadzane są w postaci pliku napisanego w języku XML, posiadającego nazwę zakończoną rozszerzeniem *.xml* lub *.XML*. Format danych wejściowych jest zasadniczo taki sam dla obu programów. Jedyne niektóre opcje i parametry mogą być specyficzne tylko dla tylko jednego z nich (w drugim programie są one pomijane).

Kolory w tekście używane są do opisu parametrów i specyfikacji właściwych **tylko dla programu NUMPRESS-Explicit** lub **tylko dla programu NUMPRESS-Flow**. Kolor czarny tekstu oznacza parametry i specyfikacje dotyczące obu programów.

1.1 Struktura pliku wejściowego

Zgodnie z zasadami języka XML plik danych zaczyna się od linii

```
<?xml version="1.0"?>
```

po której następują linie definiujące dane. Dane zorganizowane są w blokach¹, z których każdy ma następującą strukturę:

```
<NAZWABLOKU [Atrybuty] > [Zawartość] </NAZWABLOKU>
```

NAZWABLOKU jest słowem kluczowym definiującym blok, wybranym z listy dostępnych nazw bloków rozpoznawanych przez program. *Zawartość* oznacza pewne obiekty stanowiące zawartość bloku — w szczególności mogą to być kolejne bloki o podobnej strukturze, zwane w tym przypadku blokami podrzędnymi do bloku omawianego. Blok nieposiadający żadnej zawartości może też przybrać uproszczoną postać:

```
<NAZWABLOKU [Atrybuty] />
```

Atrybuty mają postać listy (może być ona w szczególności pusta) oddzielonych spacjami przypisać wartości pewnych zmiennych w postaci:

```
ATRYBUT1="wartość1"  ATRYBUT2="wartość2"  ...
```

gdzie **ATRYBUT1**, **ATRYBUT2**, ... to również słowa kluczowe, definiujące nazwy zmiennych rozpoznawanych przez program w kontekście danego bloku, zaś *wartość1*, *wartość2*, ... to wartości przypisywane tym zmiennym przez użytkownika. Zasadniczo wartości te są po prostu pewnymi ciągami znaków, jednak w zależności od typu atrybutu mogą być one interpretowane jako np. liczby całkowite lub rzeczywiste.

Struktura pliku danych schematycznie przedstawiona jest na rys. 1. Blok **PROJECT** jest blokiem nadrzędnym, zawierającym wszystkie dane analizowanego zadania. Bloki **STAGE** definiują kolejne etapy obliczeń. W tym przypadku użytkownik zdefiniował dwa etapy, którym nadał nazwy "**docisk**" i "**tłoczenie**". W każdym etapie mamy odrębne bloki definiujące parametry kontrolne (**CONTROL**), węzły i elementy siatki MES (**NODES** i **ELEMENTS**), własności materiałowe (**MATERIALS**) itp. W powyższym przykładzie wykropkowano rozbudowaną zawartość tych bloków, zawierających wszystkie szczegóły rozpatrywanego modelu

¹W tradycyjnych opisach składni języka XML używa się tu raczej pojęcia *elementy* lub *węzły*. W niniejszym podręczniku będziemy jednak konsekwentnie używali nazwy *bloki*, w celu uniknięcia pomyłki z węzłami i elementami siatki MES, którą m.in. definiujemy w pliku wejściowym.

```

<?xml version="1.0"?>
<PROJECT TITLE="pokrywa dolna" AUTHOR="A. Nowak">
  <STAGE ID="docisk">
    <CONTROL>          ... </CONTROL>
    <NODES>            ... </NODES>
    <ELEMENTS>         ... </ELEMENTS>
    <MATERIALS>        ... </MATERIALS>
    <CONDITIONS>       ... </CONDITIONS>
    <CONTACT_PAIRS>    ... </CONTACT_PAIRS>
    <CURVE_DEFINITIONS> ... </CURVE_DEFINITIONS>
  </STAGE>
  <STAGE ID="tloczenie">
    . . . . .
  </STAGE>
</PROJECT>

```

Rysunek 1: Schematyczna struktura pliku wejściowego

numerycznego. Dokładny opis tych bloków i ich zawartości znajduje się w dalszej części podręcznika.

Kolejność bloków równorzędnych (w powyższym przykładzie są to np. bloki **CONTROL**, **NODES**, **ELEMENTS**, ..., podrzędne do bloku **STAGE**) jest zasadniczo obojętna. Wyjątek stanowią sytuacje, gdy kolejne bloki równorzędne definiują pewne dane lub zdarzenia ułożone chronologicznie (np. bloki **STAGE**, podrzędne do bloku **PROJECT**).

Powyższy schematyczny opis struktury pliku wejściowego nie obejmuje bloku **SENSITIVITY**, dostępnego jedynie w programie NUMPRESS-Flow, a służącego do definiowania opcjonalnej analizy wrażliwości parametrycznej wyników. Umieszczenie tego bloku w strukturze pliku wejściowego rządzi się szczególnymi prawami. Szerzej omawiamy ten temat w sekcji *Opis bloków danych*, przy szczegółowym opisie bloku **SENSITIVITY**.

W formacie pliku wejściowego obowiązują pewne ograniczenia, które nie zawsze ściśle odpowiadają standardowi języka XML. Wymienimy tu w szczególności następujące kwestie:

- Małe i wielkie litery są nierozróżnialne. (W niniejszym podręczniku będziemy konsekwentnie używać wielkich liter w predefiniowanych nazwach słów kluczowych, a małych — w wartościach atrybutów zdefiniowanych przez użytkownika, robimy to jednak wyłącznie w celu zapewnienia większej przejrzystości tekstu.)
- Niedozwolone jest używanie znaków spoza tablicy ASCII, w szczególności polskich akcentów i ogonków.
- Program ignoruje wszelkie deklaracje XML, czyli konstrukcje typu `<! ... >`. W szczególności można umieszczać w pliku komentarze, standardowo konstruowane w języku XML jako: `<!-- komentarz -->`
- Jeśli wartość danego atrybutu jest w programie interpretowana jako liczba (całkowita lub rzeczywista), musi być ona zadana w systemie dziesiętnym w sposób jawny, np. `"-1"`, `"3.14159265"`. Niedozwolone są ciągi znaków zawierające symbole funkcji lub działań matematycznych. Dozwolony jest zapis wykładniczy liczb rzeczywistych, np. `"0.317e-6"`.

- Pola wartości atrybutów, przypisywanych im przez użytkownika, mają ograniczone długości (przez długość rozumie się tu liczbę znaków pomiędzy cudzysłowem otwierającym i zamykającym, z pominięciem ewentualnych spacji na początku i na końcu). W przypadku atrybutów przyjmujących wartości tekstowe (np. nazwy materiałów, powierzchni, funkcji czasowych itp.), program zachowuje w pamięci tylko pierwsze 24 znaki wczytanej wartości (wyjątek stanowi atrybut **TITLE** w bloku **PROJECT**, w którym dopuszcza się tekst długości do 80 znaków). W przypadku atrybutów przyjmujących wartości całkowite obowiązuje ograniczenie do 24 znaków, natomiast w przypadku atrybutów przyjmujących wartości rzeczywiste — do 64 znaków.

1.2 Ogólne zasady budowy modelu obliczeniowego i definiowania jego właściwości

Prawidłowa, pełna definicja modelu obliczeniowego składa się z następujących elementów:

- geometria i rozmieszczenie przestrzenne części biorących udział w modelowanym procesie tłoczenia,
- własności konstytutywne materiałów, z których zbudowane są części,
- warunki brzegowe,
- warunki kontaktowe,
- parametry kontrolne zadania
- parametry kontrolne procedur numerycznych (o ile użytkownik ma wpływ na ich wartości).

Części modelu dzielą się na odkształcalne (arkusze tłoczonej blachy) oraz sztywne (narzędzia – tłoczniaki). Jedne i drugie definiowane są w modelu jako powierzchnie. Blacha ze swojej natury ma grubość znacznie mniejszą niż pozostałe wymiary, więc jej geometria jest określona przez kształt tzw. powierzchni środkowej oraz dodatkowy parametr grubości blachy. Geometria narzędzia sztywnego jest określona poprzez geometrię jego zewnętrznej powierzchni (a przynajmniej tych jej fragmentów, które potencjalnie stykają się z arkuszem blachy).

W obu programach analizy procesu tłoczenia wykorzystuje się metodę elementów skończonych (MES). W metodzie tej wszystkie części modelu są poddane dyskretyzacji, czyli podzielone na elementy skończone, tworzące tzw. siatkę MES. Siatka składa się ze zbioru punktów, zwanych węzłami, stanowiących wierzchołki stykających się ze sobą wielokątów, zwanych elementami. (W obecnej wersji programu dozwolone są wyłącznie siatki składające się z elementów trójkątnych.) Wielokąty stykają się ze sobą, tworząc ciągłą powierzchnię, stanowiącą przybliżone odwzorowanie rzeczywistej powierzchni części.

W zadaniu obliczeniowym, definiowanym w pliku wejściowym, mamy do czynienia z częściami zdyskretyzowanymi — zakładamy więc, że siatka MES została już utworzona przez użytkownika, albo ręcznie, albo przy użyciu jakiegoś zewnętrznego procesora danych (np. GiD). W związku z powyższym, definicja geometrii i rozmieszczenia przestrzennego części w pliku wejściowym polega na podaniu wszystkich parametrów geometrycznych siatki MES każdej z tych części, a więc współrzędnych węzłów siatki oraz tzw. macierzy połączeń, czyli numerów identyfikacyjnych węzłów, na których rozpięte są poszczególne elementy skończone. Współrzędne węzłów podane są w bloku **NODES**, zaś macierze połączeń elementów — w bloku

ELEMENTS. Mówiąc o współrzędnych węzłów mamy oczywiście na myśli ich początkowe położenia w przestrzeni, zanim węzły te doznają przemieszczeń wskutek analizowanego procesu tłoczenia.

Współrzędne węzłów (oraz inne wielkości wektorowe, jak siły lub prędkości, o których będzie mowa poniżej) zadane są w pewnym wspólnym, jednoznacznie zdefiniowanym kartezjańskim układzie współrzędnych.

Części sztywne nie posiadają żadnych własności materiałowych. Jednak przy analizie deformacji odkształcalnego arkusza blachy niezbędne są parametry modelu konstytutywnego materiału blachy. Dlatego przy definicji grup elementów odpowiadających częściom odkształcalnym konieczne są odniesienia do własności materiałowych, zdefiniowanych w bloku **MATERIALS**

Warunki brzegowe zdefiniowane są w bloku **CONDITIONS**. Są to definicje obciążeń i kinematycznych ograniczeń ruchu działających na poszczególne części modelu lub poszczególne punkty tych części — węzły siatki MES. W pliku wejściowym definiuje się je poprzez podanie: nazwy części modelu lub numeru identyfikacyjnego węzła siatki, stopnia swobody ruchu, na który działa warunek, oraz wartości zadanej siły lub prędkości. Przez stopień swobody rozumiemy tu jeden z kierunków kartezjańskiego układu współrzędnych, oznaczony liczbą 1, 2 lub 3 (definiujemy zatem osobno poszczególne składowe wektora zadanej siły lub prędkości w tym układzie), lub — w przypadku użycia sformułowania elementu DKT w programie NUMPRESS-Flow — jedną ze składowych obrotu wokół tych osi, oznaczoną odpowiednio liczbą 4, 5, lub 6 (definiujemy wówczas składową wektora momentu siły lub prędkości obrotowej). Wartości siły lub prędkości są oczywiście zależne od czasu, zatem ich definicja składa się z podania wartości mnożnika pewnej funkcji czasowej oraz identyfikatora (nazwy) tej funkcji, zdefiniowanej w bloku **CURVE_DEFINITIONS**.

Szczególne przypadki warunków brzegowych to: zablokowanie przemieszczenia (równoznaczne z zadaniem prędkości o zerowym mnożniku wartości) oraz obciążenie ciśnieniem o zadanej wartości, czyli zadanie w wierzchołkach każdego elementu siatki MES sił działających zgodnie z wektorem normalnym elementu, o wypadkowej wartości odpowiadającej iloczynowi zadanej wartości ciśnienia i pola powierzchni elementu.

W bloku **CONTACT_PAIRS** zdefiniowane są pary części (powierzchni) znajdujących się w potencjalnym kontakcie. Każda para składa się z części odkształcalnej i części sztywnej (inne kombinacje są niedozwolone). Dla każdej pary użytkownik definiuje model kontaktu (poślizg lub sklejenie), model tarcia oraz kontrolne parametry numerycznej procedury analizy kontaktu (współczynniki kary).

Dane zadania zawierają jeszcze blok **CONTROL**, w którym użytkownik definiuje parametry kontrolne zadania (np. czas analizy i parametry sterujące wydrukami wyników) oraz niektóre parametry kontrolne procedur numerycznych (parametry procedury całkowania po czasie, kryteria zbieżności w procedurze iteracyjnej analizy równowagi w programie NUMPRESS-Flow, czy parametry kontroli krytycznej długości kroku czasowego w programie NUMPRESS-Explicit)

Zagadnienia tłoczenia nierzadko składają się z pewnych etapów, w czasie których obowiązują różne warunki brzegowe i warunki kontaktu. W pliku wejściowym można dokonać podziału zadania na etapy, definiując kilka następujących po sobie bloków **STAGE**. Każdy blok zawiera wymienione wyżej dane, specyficzne dla danego etapu.

Parametry kontrolne, warunki brzegowe i kontaktowe oraz funkcje czasowe zdefiniowane w danym etapie z zasady nie „przechodzą” do następnego etapu — jeżeli mają nadal obowiązywać, powinny zostać powtórnie zdefiniowane. Natomiast definicje początkowej geometrii (siatki MES) i własności materiałowych mogą się pojawić tylko w pierwszym bloku **STAGE**, ponieważ są one niezmiennie w trakcie całej analizy. Jeśli jakaś część (np. narzędzie) używana jest dopiero w drugim etapie, należy zdefiniować jej geometrię razem ze wszystkimi innymi

częściami w pierwszym etapie, ale pominąć ją przy definiowaniu par kontaktowych, jednocześnie blokując jej ruch odpowiednimi warunkami brzegowymi. Takie potraktowanie sprawi, że rozpatrywana część zostanie zignorowana w danym etapie analizy.

Na koniec tych ogólnych uwag warto poruszyć kwestię jednostek miary wielkości podawanych w pliku wejściowym. Podkreślmy tu, że program prowadzi obliczenia na liczbach, nie kontrolując jednostek. Zatem to na użytkownika spoczywa odpowiedzialność za to, aby wszystkie dane zostały podane w tym samym, spójnym systemie jednostek. Wyniki liczbowe zostaną bowiem podane w tym samym układzie jednostek, w jakim zostały zdefiniowane dane. Przykładem takiego systemu jest układ SI, oparty na jednostkach podstawowych metr-kilogram-sekunda (m-kg-s), z odpowiednimi jednostkami pochodnymi (np. prędkość: m/s, siła: $N \equiv \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$, naprężenie: $\text{Pa} \equiv \text{N}/\text{m}^2$, itp.). Innym, nierzadko używanym w zagadnieniach dynamiki systemem jest system oparty na jednostkach podstawowych milimetr-gram-milisekunda (mm-g-ms), z odpowiednimi jednostkami pochodnymi (np. prędkość: $\text{m}/\text{s} \equiv \text{mm}/\text{ms}$, siła: $N \equiv \text{g} \cdot \text{mm}/\text{ms}^2$, naprężenie: $\text{MPa} \equiv \text{N}/\text{mm}^2$, itp.). Wybór systemu jednostek jest pozostawiony do decyzji użytkownika, ważne jest jedynie — powtórzmy — aby był spójny, czyli obowiązywał we wszystkich danych liczbowych (a w konsekwencji również we wszystkich wynikach obliczeń).

2 Opis bloków danych

Niniejsza sekcja zawiera wykaz bloków danych wraz ze szczegółowym opisem każdego z nich. Przy oznaczaniu typów wartości atrybutów przyjęto: *T* = tekst, *R* = liczba rzeczywista, *I* = liczba całkowita.

Blok PROJECT	
blok nadrzędny	
charakter	wymagany
krotność	1
bloki podrzędne	STAGE
atrybuty	TITLE, AUTHOR, CRDATE, PTYPE, OUTPUT_PRECISION, CONSOLE_OUTPUT

Jest to główny blok pliku wejściowego, zawierający definicje kolejnych etapów analizy.

Atrybuty bloku PROJECT

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
TITLE	<i>T</i>	opcjonalny	" "		tytuł zadania
AUTHOR	<i>T</i>	opcjonalny	" "		autor zadania
CRDATE	<i>T</i>	opcjonalny	" "		data utworzenia zadania
PTYPE	<i>T</i>	opcjonalny	" "	"explicit" "flow" " "	p. poniżej
OUTPUT_PRECISION	<i>I</i>	opcjonalny	4	≥ 4	p. poniżej
CONSOLE_OUTPUT	<i>T</i>	opcjonalny	"yes"	"yes", "no"	kontrola wydruków na konsolę

Parametr **PTYPE** umożliwia wskazanie, dla którego z dwóch programów analitycznych dydykowane są dane. Zasadniczo dane wprowadzane do obu programów są takie same, więc w większości przypadków nie ma potrzeby zaznaczania takiego zastrzeżenia, co wyrażamy podając wartość pustą atrybutu. Parametr **OUTPUT_PRECISION** definiuje dokładność, z jaką liczby rzeczywiste są drukowane do tekstowego pliku wyników. Jest to liczba cyfr znaczących mantysy w rozwinięciu dziesiętnym liczby.

Blok STAGE	
blok nadrzędny	PROJECT
charakter	wymagany
krotność	liczba etapów, kolejność chronologiczna
bloki podrzędne	CONTROL, NODES, ELEMENTS, MATERIALS, CONDITIONS, CONTACT_PAIRS, CURVE_DEFINITIONS
atrybuty	ID

Blok zawiera definicję kolejnego etapu analizy, zawartą w siedmiu blokach podrzędnych. Bloki **NODES**, **ELEMENTS** i **MATERIALS**, zawierające definicje węzłów i elementów siatki MES oraz własności materiałowych, mogą się pojawić jedynie w pierwszym bloku **STAGE**, gdyż te własności nie zmieniają się w kolejnych etapach analizy (p. uwagi w sekcji 1.2).

Atrybuty bloku **STAGE**

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
ID	<i>T</i>	wymagany			nazwa etapu

Nazwa etapu, zadana w atrybucie **ID**, może być dowolna, z zastrzeżeniem, że nie może się ona powtórzyć w żadnym innym bloku **STAGE**.

Blok CONTROL

blok nadrzędny	STAGE
charakter	wymagany
krotność	1
bloki podrzędne	TIME, TIME_INTEGRATION, OUTPUT, TRACK
atrybuty	

Blok zawiera definicje parametrów kontrolnych etapu analizy, a więc czas początkowy i końcowy, parametry kontrolne całkowania po czasie i iteracji równowagi oraz parametry kontrolne wydruku wyników.

Blok TIME

blok nadrzędny	CONTROL
charakter	wymagany
krotność	1
bloki podrzędne	STRTM, ENDTM, STAMPING
atrybuty	

Blok definiuje początkową i końcową chwilę czasową analizy w danym etapie. Chwila końcowa może być podana albo w sposób jawny, w bloku podrzędnym **ENDTM**, albo poprzez zadanie parametrów tłoczenia (prędkość i głębokość) w bloku podrzędnym **STAMPING** — w takim przypadku czas tłoczenia jest wyznaczany jako iloraz głębokość/prędkość.

Blok STRTM

blok nadrzędny	TIME
charakter	wymagany
krotność	1
typ zawartości	<i>R</i>
atrybuty	

Blok definiuje początkową chwilę czasową analizy w danym etapie.

Blok ENDTM

blok nadrzędny	TIME
charakter	wymagany, zamiennie z STAMPING
krotność	1
typ zawartości	<i>R</i>
atrybuty	

Blok definiuje końcową chwilę czasową analizy w danym etapie.

Blok **STAMPING**

blok nadrzędny	TIME
charakter	wymagany, zamiennie z ENDTM
krotność	1
bloki podrzędne	
atrybuty	DEPTH, SPEED

Blok definiuje głębokość i prędkość tłoczenia dla typowego, prostego zadania tłoczenia ze stałą prędkością. W ten sposób — pośrednio — zdefiniowany jest również czas analizy, zatem blok **ENDTM** nie jest już potrzebny.

Atrybuty bloku **STAMPING**

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
DEPTH	R	wymagany		(0, ∞)	głębokość tłoczenia
SPEED	R	wymagany		(0, ∞)	prędkość tłoczenia

Użycie bloku **STAMPING**, oprócz przypisania wartości atrybutów, ma następujący efekt. Do listy funkcji czasowych zdefiniowanych przez użytkownika w blokach **CURVE**, podrzędnych do bloku **CURVE_DEFINITIONS**, zostaje dodana automatycznie domyślna funkcja o parametrach odpowiadających hipotetycznej definicji

```
<CURVE ID="default" TYPE="constant" AMPLI="prędkość" />
```

gdzie *prędkość* równa jest wartości atrybutu **SPEED** w bloku **STAMPING**. Fizycznie taka definicja nie pojawia się w pliku wejściowym, jednak użytkownik powinien mieć świadomość, że program w niewidoczny sposób ją dodaje, co w szczególności oznacza, że żadna inna funkcja, zdefiniowana przez użytkownika, nie może mieć nazwy **ID="default"**!

Jeżeli, przy odwołaniu się do funkcji czasowej w którymkolwiek z bloków podrzędnych do bloku **CONDITIONS**, pominięta zostanie nazwa funkcji **CURVE_ID**, program domyślnie zakłada, że chodzi o tę właśnie funkcję, **CURVE_ID="default"**.

Blok **TIME_INTEGRATION**

blok nadrzędny	CONTROL
charakter	wymagany
krotność	1
bloki podrzędne	DTIME , NCDLT , DTSCAL , MITER , TOLEF , TOLEV , ACOEf
atrybuty	TYPE

Blok definiuje parametry całkowania po czasie oraz procedury iteracyjnej w analizie równowagi. Niektóre z parametrów są specyficzne dla jednego z programów, NUMPRESS-Explicit lub NUMPRESS-Flow (np. w programie NUMPRESS-Explicit nie ma iteracji równowagi, więc bloki odpowiadające parametrom tej procedury są zbędne).

Atrybuty bloku **TIME_INTEGRATION**

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
TYPE	<i>T</i>	opcjonalny	"const"	"const" "auto"	stała długość kroku czasowego zmienna długość kroku czasowego

Więcej informacji na temat atrybutu **TYPE** znajduje się w opisie bloku **DTIME**

Blok **DTIME**

blok nadrzędny	TIME_INTEGRATION
charakter	opcjonalny
krotność	1
typ zawartości	<i>R</i>
atrybuty	

Blok definiuje długość kroku czasowego, zadaną przez użytkownika. Jeśli blok nie występuje, program przyjmuje automatycznie pewną wartość (p. wyjaśnienia poniżej).

W programie NUMPRESS-Explicit, jeśli użytkownik zadał długość kroku czasowego, program zakłada, że ta wielkość pozostaje niezmienną przez cały czas analizy w danym etapie, natomiast w przeciwnym przypadku program wylicza ją automatycznie na początku etapu (jako iloczyn tzw. krytycznej długości kroku oraz mnożnika zdefiniowanego w bloku **DTSCAL**), a następnie powtarza to wyliczenie z ustaloną częstotliwością, zadaną w bloku **NCDLT**.

Nieco inaczej sprawa wygląda w programie NUMPRESS-Flow. Tu użytkownik zadaje w bloku **DTIME** początkową wartość kroku. Jeśli blok nie występuje, program przyjmuje ją jako 0.001 czasu analizy w danym etapie. Dalsze działania programu zależą od wartości atrybutu **TYPE** w bloku **TIME_INTEGRATION** — jeśli **TYPE="const"**, długość kroku czasowego pozostaje niezmienną przez cały czas analizy w danym etapie, jeśli zaś **TYPE="auto"**, jest ona automatycznie modyfikowana po każdym kroku na podstawie analizy zbieżności procedury iteracji równowagi.

Blok NCDLT

blok nadrzędny	TIME_INTEGRATION
charakter	opcjonalny
krotność	1
typ zawartości	<i>I</i>
atrybuty	

Blok definiuje liczbę kroków, po której cyklicznie następuje ustalenie długości kroku czasowego w programie NUMPRESS-Explicit. Jeśli blok nie występuje, program przyjmuje domyślną wartość 100.

Blok DTSCAL

blok nadrzędny	TIME_INTEGRATION
charakter	opcjonalny
krotność	1
typ zawartości	<i>R</i>
atrybuty	

Blok definiuje współczynnik skalowania długości kroku czasowego w stosunku do kroku krytycznego w programie NUMPRESS-Explicit. Powinna to być liczba dodatnia mniejsza od 1. Jeśli blok nie występuje, program przyjmuje domyślną wartość 0.25.

Blok MITER

blok nadrzędny	TIME_INTEGRATION
charakter	opcjonalny
krotność	1
typ zawartości	<i>I</i>
atrybuty	

Blok definiuje maksymalną liczbę iteracji w analizie równowagi w programie NUMPRESS-Flow. Jeśli blok nie występuje, program przyjmuje domyślną wartość 15.

Blok TOLEF

blok nadrzędny	TIME_INTEGRATION
charakter	opcjonalny
krotność	1
typ zawartości	<i>R</i>
atrybuty	

Blok definiuje tolerancję dla warunku zbieżności sił resztkowych w programie NUMPRESS-Flow. Powinna to być liczba dodatnia, znacząco mniejsza od 1. Jeśli blok nie występuje, program przyjmuje domyślną wartość 0.005.

Blok TOLEV

blok nadrzędny	TIME_INTEGRATION
charakter	opcjonalny
krotność	1
typ zawartości	<i>R</i>
atrybuty	

Blok definiuje tolerancję dla warunku zbieżności poprawek wektora prędkości. w programie NUMPRESS-Flow. Powinna to być liczba dodatnia, znacząco mniejsza od 1. Jeśli blok nie występuje, program przyjmuje domyślną wartość 0.005.

Blok ACOEF

blok nadrzędny	TIME_INTEGRATION
charakter	opcjonalny
krotność	1
typ zawartości	<i>R</i>
atrybuty	

Blok definiuje wartość współczynnika niejawności całkowania ϑ w programie NUMPRESS-Flow. Powinna to być liczba dodatnia nie większa niż 1. Jeśli blok nie występuje, program przyjmuje domyślną wartość 1.

Blok OUTPUT	
blok nadrzędny	CONTROL
charakter	wymagany
krotność	1
bloki podrzędne	FREQ
atrybuty	POSITION, VELOCITY, REACTION, CONTACT, STRESS, STRAIN, STRAINRATE, THICKNESS

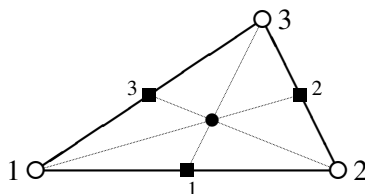
Blok definiuje parametry wydruku wyników analizy do plików wyjściowych. W programie NUMPRESS-Flow jest to plik o nazwie z rozszerzeniem .o, zawierający tablice wyników w formacie tekstowym, oraz plik o nazwie z rozszerzeniem .flavia.res, zawierający wyniki w formacie czytelny dla postprocesora GiD. Wartości atrybutów wskazują, które wielkości mają być drukowane, zaś blok podrzędny **FREQ** definiuje częstotliwość wydruków.

Warto zwrócić uwagę, że wydruki wyników są dość czasochłonne i mogą spowodować zajęcie znacznych obszarów dysku, zatem użytkownik powinien rozsądnie ustalać wartości tych parametrów.

Atrybuty bloku OUTPUT

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
POSITION	<i>T</i>	opcjonalny	"yes"	"yes", "no"	flaga wydruku współrzędnych węzłów
VELOCITY	<i>T</i>	opcjonalny	"yes"	"yes", "no"	flaga wydruku prędkości
REACTION	<i>T</i>	opcjonalny	"yes"	"yes", "no"	flaga wydruku sił reakcji
CONTACT	<i>T</i>	opcjonalny	"no"	"yes", "no"	flaga wydruku parametrów kontaktu
STRESS	<i>T</i>	opcjonalny	"no"	"yes", "no"	flaga wydruku naprężeń
STRAIN	<i>T</i>	opcjonalny	"no"	"yes", "no"	flaga wydruku odkształceń
STRAINRATE	<i>T</i>	opcjonalny	"no"	"yes", "no"	flaga wydruku prędkości odkształceń
THICKNESS	<i>T</i>	opcjonalny	"yes"	"yes", "no"	flaga wydruku grubości blachy

Prędkości, siły reakcji i parametry kontaktu są wyliczane i drukowane w węzłach. Naprężenia, odkształcenia, prędkości odkształceń, oraz wartości grubości blachy są wyliczane i drukowane w elementach, konkretnie w punktach całkowania Gaussa (p. rys. 2).



Rysunek 2: Lokalizacja punktów całkowania Gaussa (w których m.in. drukowane są wyniki dla elementów) w trójkątnym elemencie skończonym przy zadanej kolejności numeracji węzłów:

- dla elementów membranowych i powłokowych BST; ■ dla elementów powłokowych DKT

Blok **FREQ**

blok nadrzędny	OUTPUT
charakter	opcjonalny
krotność	1
typ zawartości	<i>I</i>
atrybuty	

Blok definiuje częstotliwość wydruku. Jeśli przyjmuje wartość dodatnią, oznacza liczbę wydruków wyników w trakcie obliczeń danego etapu, w równych odstępach czasowych. Np. zadanie wartości 3 spowoduje wygenerowanie wydruków po 1/3 czasu analizy, 2/3 czasu analizy oraz na końcu etapu. (Przez czas analizy rozumiemy tu oczywiście odstęp pomiędzy chwilą początkową i końcową, zdefiniowanymi w bloku **TIME**, a nie fizyczny czas obliczeń programu uruchomionego na komputerze). Jeśli blok nie występuje, program zakłada domyślną wartość 1 (wydruk tylko na końcu analizy etapu).

Zadanie zerowej wartości parametru spowoduje zablokowanie wydruku wyników. Dopuszczalna jest też wartość -1 , która zostanie zinterpretowana jako żądanie wydruku po każdym kroku analizy.

Blok TRACK	
blok nadrzędny	CONTROL
charakter	opcjonalny
krotność	1
bloki podrzędne	NODE, ELEMENT
atrybuty	POSITION, VELOCITY, REACTION, CONTACT, STRESS, STRAIN, STRAINRATE, THICKNESS

Blok definiuje parametry bieżącego wydruku wybranych wyników analizy do pliku komunikatów (nazwa z rozszerzeniem .msg). Umożliwia to bieżące kontrolowanie wyników jeszcze w trakcie trwania analizy. Wartości atrybutów wskazują, które wielkości mają być drukowane, zaś bloki podrzędne **NODE** i **ELEMENT** definiują węzły i elementy, w których interesujące użytkownika wielkości będą drukowane. Wszystkie zdefiniowane tu wydruki są realizowane po każdym kroku analizy.

Atrybuty bloku TRACK

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
POSITION	<i>T</i>	opcjonalny	"yes"	"yes", "no"	flaga wydruku współrzędnych węzłów
VELOCITY	<i>T</i>	opcjonalny	"no"	"yes", "no"	flaga wydruku prędkości
REACTION	<i>T</i>	opcjonalny	"no"	"yes", "no"	flaga wydruku sił reakcji
CONTACT	<i>T</i>	opcjonalny	"no"	"yes", "no"	flaga wydruku parametrów kontaktu
STRESS	<i>T</i>	opcjonalny	"no"	"yes", "no"	flaga wydruku naprężeń
STRAIN	<i>T</i>	opcjonalny	"no"	"yes", "no"	flaga wydruku odkształceń
STRAINRATE	<i>T</i>	opcjonalny	"no"	"yes", "no"	flaga wydruku prędkości odkształceń
THICKNESS	<i>T</i>	opcjonalny	"yes"	"yes", "no"	flaga wydruku grubości blachy

Prędkości, siły reakcji i parametry kontaktu drukowane są w węzłach. Naprężenia, odkształcenia, prędkości odkształceń, oraz wartości grubości blachy drukowane są w elementach, konkretnie w punktach całkowania Gaussa.

Blok NODE (jako podrzędny do TRACK)

blok nadrzędny	TRACK
charakter	opcjonalny
krotność	maks. 4
typ zawartości	<i>I</i>
atrybuty	

Blok definiuje węzeł, w którym drukowane będą wyniki zdefiniowane poprzez atrybuty bloku **TRACK**. Zawartością bloku jest liczba całkowita, odpowiadająca numerowi identyfikacyjnemu węzła siatki MES dla części odkształcalnej, zdefiniowanego w jednym z bloków **NODES_SET**, podrzędnych do bloku **NODES**. W danym etapie analizy można zdefiniować co najwyżej cztery takie węzły.

Blok ELEMENT (jako podrzędny do TRACK)

blok nadrzędny	TRACK
charakter	opcjonalny
krotność	maks. 4
typ zawartości	<i>I</i>
atrybuty	

Blok definiuje element, w którym drukowane będą wyniki zdefiniowane poprzez atrybuty bloku **TRACK**. Zawartością bloku jest liczba całkowita, odpowiadająca numerowi identyfikacyjnemu elementu siatki MES dla części odkształcalnej, zdefiniowanego w jednym z bloków **ELEMENTS_SET** podrzędnych do bloku **ELEMENTS**. W danym etapie analizy można zdefiniować co najwyżej cztery takie elementy.

Blok NODES

blok nadrzędny	STAGE , tylko pierwszy blok
charakter	wymagany
krotność	1
bloki podrzędne	NODES_SET
atrybuty	GSCALE

Blok zawiera definicje węzłów siatki MES, pogrupowanych w grupy, zazwyczaj odpowiadające wyodrębnionym częściom modelu. Może wystąpić tylko w pierwszym bloku **STAGE** w danym projekcie, ponieważ w dalszych etapach siatka MES pozostaje niezmieniona.

Atrybuty bloku NODES

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
GSCALE	<i>R</i>	opcjonalny	1	$(0, \infty)$	współczynnik skalowania wszystkich współrzędnych węzłów

Blok NODES_SET

blok nadrzędny	NODES
charakter	wymagany
krotność	liczba grup węzłów
bloki podrzędne	NODE
atrybuty	ID , INITIAL_SHIFT

Blok zawiera definicje węzłów siatki MES, należących do danej grupy.

Atrybuty bloku NODES_SET

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
ID	<i>T</i>	wymagany			nazwa grupy węzłów, nadana przez użytkownika
INITIAL_SHIFT	<i>R R R</i>	opcjonalny	0.0 0.0 0.0		początkowe przemieszczenie wszystkich węzłów w grupie

Nazwa grupy, zadana w atrybucie **ID**, może być dowolna, z zastrzeżeniem, że nie może się ona powtórzyć w żadnym innym bloku **NODES_SET**.

Wstępne przemieszczenie węzłów grupy zadane w atrybucie **INITIAL_SHIFT** to trzy wartości Δx_1 , Δx_2 , Δx_3 , o które zwiększone są odpowiednio współrzędne węzłów x_1 , x_2 , x_3 zadane w podrzędnych blokach **NODE**. Jest to bardzo wygodna opcja umożliwiająca szybkie przełączenie analizy kontaktu pomiędzy wariantem uwzględniającym i nieuwzględniającym grubości blachy przy wyznaczaniu odległości między powierzchniami (warianty te są szerzej opisane przy omawianiu bloku **CONTACT_PAIRS**).

Blok NODE (jako podrzędny do NODES_SET)

blok nadrzędny	NODES_SET
charakter	wymagany
krotność	liczba węzłów
typ zawartości	<i>R R R</i>
atrybuty	ID

Blok zawiera definicję węzła siatki MES. Jego zawartość stanowią dokładnie trzy liczby rzeczywiste oddzielone spacjami, oznaczające kolejne trzy współrzędne węzła x_1 , x_2 , x_3 w pewnym ustalonym kartezjańskim układzie współrzędnych.

Atrybuty bloku NODE jako podrzędnego do bloku NODES_SET

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
ID	<i>I</i>	wymagany		$(0, \infty)$	numer identyfikacyjny węzła nadany przez użytkownika

Numer identyfikacyjny, zadany w atrybucie **ID**, może być dowolny (dodatni), z zastrzeżeniem, że nie może się on powtórzyć w żadnym innym bloku **NODE**.

Blok ELEMENTS

blok nadrzędny	STAGE , tylko pierwszy blok
charakter	wymagany
krotność	1
bloki podrzędne	ELEMENTS_SET
atrybuty	

Blok zawiera definicje elementów siatki MES, pogrupowanych w grupy, zazwyczaj odpowiadające wyodrębnionym częściom modelu. Może wystąpić tylko w pierwszym bloku **STAGE** w danym projekcie, ponieważ w dalszych etapach siatka MES pozostaje niezmieniona.

Blok ELEMENTS_SET

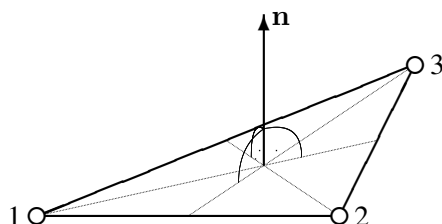
blok nadrzędny	ELEMENTS
charakter	wymagany
krotność	liczba grup elementów
bloki podrzędne	ELEMENT
atrybuty	ID, TYPE, MATERIAL_ID

Blok zawiera definicje elementów siatki MES, należących do danej grupy.

Atrybuty bloku ELEMENTS_SET

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
ID	<i>T</i>	wymagany			nazwa grupy elementów, nadana przez użytkownika
TYPE	<i>T</i>	wymagany		"shell" "membrane" "rigid"	elem. powłokowe elem. membranowe elem. sztywne
MATERIAL_ID	<i>T</i>	wymagany (nie dot. elementów sztywnych)			nazwa materiału przypisanego do elementów grupy

W programie dozwolone są trzy typy elementów. Zasadniczym elementem służącym do modelowania części odkształcalnych, czyli arkusza/y tłoczonej blachy, jest trójkątny element powłokowy, **TYPE="shell"**. Sformułowanie tego elementu jest nieco inne w programie NUMPRESS-Explicit (element typu BST z trzema przemieszczeniowymi stopniami swobody w węźle) i w programie NUMPRESS-Flow (element typu DKT z sześcioma stopniami swobody — trzema translacyjnymi i trzema rotacyjnymi). Ponadto w programie NUMPRESS-Flow można używać elementów trójkątnych membranowych, **TYPE="membrane"**, o znacznie uproszczonym sformułowaniu (z trzema przemieszczeniowymi stopniami swobody w węźle). Elementy te są zasadniczo niezalecane, można się jednak nimi posłużyć w niektórych zadaniach, w których występują problemy ze zbieżnością obliczeń. Z kolei do modelowania powierzchni sztywnych (narzędzi) używane są elementy sztywne, **TYPE="rigid"**.



Rysunek 3: Orientacja elementu trójkątnego (definicja wektora normalnego) przy zadanej kolejności numeracji węzłów

Nazwa grupy, zadana w atrybucie **ID**, może być dowolna, z zastrzeżeniem, że nie może się ona powtórzyć w żadnym innym bloku **ELEMENTS_SET**.

Blok **ELEMENT** (jako podrzędny do **ELEMENTS_SET**)

blok nadrzędny	ELEMENTS_SET
charakter	wymagany
krotność	liczba elementów
typ zawartości	<i>III</i>
atrybuty	ID

Blok zawiera definicję elementu siatki MES. Jego zawartość stanowią dokładnie trzy liczby całkowite dodatnie oddzielone spacjami, oznaczające numery identyfikacyjne trzech kolejnych węzłów, zdefiniowanych w bloku **NODES**, na których rozpięty jest definiowany element.

Kolejność podania tych trzech węzłów nie jest obojętna, gdyż określa orientację elementu. Każdemu elementowi przypisany jest bowiem jednostkowy wektor normalny, którego zwrot jest zgodny z regułą śruby prawoskrętnej, a obrót tej śruby wyznaczony jest właśnie przez kolejność numeracji węzłów (p. rys. 3). Orientacja elementu ma znaczenie w przypadku elementów sztywnych, które faktycznie definiują powierzchnię zewnętrzną pewnego ciała (narzędzia w procesie tłoczenia). Przyjmuje się bowiem regułę, że wektor normalny zwrócony jest zawsze na zewnątrz definiowanego ciała. Dlatego błąd w kolejności numeracji mógłby spowodować błędne określenie kontaktu narzędzia z węzłami części odkształcalnych (arkusza blachy). W przypadku elementów odkształcalnych orientacja ma znaczenie przy zadawaniu obciążenia ciśnieniem — dodatnia wartość takiego obciążenia rozumiana jest tu jako ciśnienie działające zgodnie ze zwrotem wektora normalnego.

Z powyższych faktów wynika, że węzły elementów powinny być tak ponumerowane, aby wszystkie elementy w danej grupie (niezależnie, czy jest to część sztywna, czy odkształcalna) miały tę samą orientację.

Atrybuty bloku **ELEMENT** jako podrzędnego do bloku **ELEMENTS_SET**

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
ID	<i>I</i>	wymagany		$(0, \infty)$	numer identyfikacyjny elementu nadany przez użytkownika

Numer identyfikacyjny, zadany w atrybucie **ID**, może być dowolny (dodatni), z zastrzeżeniem, że nie może się on powtórzyć w żadnym innym bloku **ELEMENT**.

Blok MATERIALS

blok nadrzędny	STAGE , tylko pierwszy blok
charakter	wymagany
krotność	1
bloki podrzędne	MATERIAL
atrybuty	

Blok zawiera definicje materiałów przypisanych grupom elementów części odkształcalnych. Może wystąpić tylko w pierwszym bloku **STAGE** w danym projekcie, ponieważ w dalszych etapach własności materiałowe pozostają niezmienione.

Blok MATERIAL

blok nadrzędny	MATERIALS
charakter	wymagany
krotność	liczba różnych materiałów
bloki podrzędne	GEOMETRICAL_PROPERTY, MATERIAL_PROPERTY
atrybuty	ID, MODEL, MIN_STRAIN_RATE

Blok zawiera definicje parametrów opisujących własności konstytutywne danego materiału.

Atrybuty bloku MATERIAL

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
ID	<i>T</i>	wymagany			nazwa materiału, nadana przez użytkownika
MODEL	<i>T</i>	wymagany		" plastic "	model konstyt. materiału
MIN_STRAIN_RATE	<i>R</i>	opcjonalny		$(0, \infty)$	min. prędkość odkształceń plast. (p. opis poniżej)

W obecnej wersji systemu NUMPRESS dozwolone jest jedynie stosowanie materiałów opisanych modelem sprężysto-lepkoplastycznym, **MODEL="plastic"**. Należy tu zaznaczyć, że poszczególne właściwości tego modelu są interpretowane nieco inaczej w programach NUMPRESS-Explicit i NUMPRESS-Flow. W programie NUMPRESS-Explicit właściwości lepkie są w obecnej wersji pomijane i materiał jest interpretowany jako sprężysto-plastyczny. W programie NUMPRESS-Flow z kolei właściwości lepkie mają istotne znaczenie (ich pominięcie powodowałoby znaczne problemy ze zbieżnością obliczeń), natomiast pomijane są właściwości sprężyste, gdyż stosowane tu podejście oparte jest na założeniu sztywno-plastycznego płynięcia materiału. (Uwaga: nie znaczy to, że w danych do programu NUMPRESS-Flow można pominąć stałe sprężyste — są one konieczne do bieżącej kontroli całkowitego odkształcenia i wykrywania np. sytuacji, w których podana przez użytkownika wartość minimalnej prędkości odkształceń plastycznych jest nieadekwatna do warunków rozwiązywanego zadania).

Atrybut **MIN_STRAIN_RATE** definiuje wartość minimalnej prędkości odkształceń plastycznych $\dot{\epsilon}^*$, przy których plastyczne płynięcie jest traktowane jako rozwinięte. Jest to parametr numerycznej procedury konstytutywnej, którego wartość rzutuje na zbieżność i czas obliczeń. Jeśli użytkownik nie poda tej wartości, zostanie ona automatycznie oszacowana przez program, jednak należy tu zauważyć, że jej właściwe oszacowanie jest trudne i często ta wartość nie będzie adekwatna do warunków zadania. Dlatego użytkownik jest zachęcany do oszacowania tej wielkości samodzielnie, na podstawie własnego wycucia, wspartego krytyczną analizą wyników otrzymywanych przy założeniu różnych konkretnych wartości tego parametru.

Nazwa materiału, zadana w atrybucie **ID**, może być dowolna, z zastrzeżeniem, że nie może się ona powtórzyć w żadnym innym bloku **MATERIAL**.

Blok **GEOMETRICAL_PROPERTY**

blok nadrzędny	MATERIAL
charakter	wymagany
krotność	1
bloki podrzędne	THICKNESS, NLAYR
atrybuty	

Blok zawiera definicje parametrów geometrycznych przypisanych do danego materiału. Ściśle biorąc, nie są to własności materiału, jednak sposób ich przypisania poszczególnym grupom elementów jest identyczny, jak w przypadku własności materiałowych, stąd w pliku danych są one traktowane jako „dodatkowe” własności materiału.

Blok **THICKNESS**

blok nadrzędny	GEOMETRICAL_PROPERTY
charakter	wymagany
krotność	1
typ zawartości	<i>R</i>
atrybuty	

Blok definiuje grubość modelowanej powłoki odkształcalnej (arkusza blachy).

Blok **NLAYR**

blok nadrzędny	GEOMETRICAL_PROPERTY
charakter	opcjonalny
krotność	1
typ zawartości	<i>I</i>
atrybuty	

Blok definiuje liczbę punktów (warstw) przy całkowaniu po grubości elementu w programie NUMPRESS-Explicit. Jeśli blok nie występuje, przyjmuje się domyślną wartość 4. (W programie NUMPRESS-Flow wielkość ta jest ustalona jako 3 i nie podlega kontroli użytkownika).

Blok MATERIAL_PROPERTY

blok nadrzędny	MATERIAL
charakter	wymagany
krotność	1
bloki podrzędne	ELASTIC, YIELD_CRITERION, YIELD_FUNCTION, VISCOSITY, DEATHT
atrybuty	DENSITY

Blok zawiera definicje parametrów modelu konstytutywnego, podzielone na trzy bloki: własności sprężyste, własności plastyczne oraz własności lepkoplastyczne.

Atrybuty bloku MATERIAL_PROPERTY

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
DENSITY	R	wymagany		$(0, \infty)$	gęstość materiału

Blok ELASTIC

blok nadrzędny	MATERIAL_PROPERTY
charakter	wymagany
krotność	1
typ zawartości	
atrybuty	YOUNG, POISS

Blok zawiera definicje parametrów sprężystych modelu konstytutywnego.

Atrybuty bloku ELASTIC

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
YOUNG	R	wymagany		$(0, \infty)$	moduł sprężystości Younga
POISS	R	wymagany		$(-1, 0.5)$	współczynnik Poissona

Blok YIELD_CRITERION

blok nadrzędny	MATERIAL_PROPERTY
charakter	wymagany / opcjonalny
krotność	1
bloki podrzędne	
atrybuty	TYPE, ANISOTROPY, RM, R_0, R_45, R_90, A, B, H, M, K1, K2

Blok zawiera definicję kryterium plastycznego płynięcia (postaci funkcji $f(\sigma)$) materiału.

Atrybuty bloku **YIELD_CRITERION**

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
TYPE	<i>T</i>	opcjonalny	"Huber-Mises"	"Huber-Mises", "Hill48", "Barlat-Lian", "Burzynski"	typ kryterium (p. opis poniżej)

Powyższa tabela zawiera tylko podstawowy atrybut bloku. Dobór pozostałych atrybutów i interpretacja ich wartości zależą od wartości parametru **TYPE**, który może przybrać jedną z wartości podanych w tabeli.

W przypadku **TYPE="Huber-Mises"** ($f(\sigma) = \bar{\sigma} - \sigma_y$) nie ma już żadnych innych atrybutów. W programie NUMPRESS-Flow jest to jedyna dopuszczalna wartość tego parametru (podanie innej wartości wygeneruje komunikat-ostrzeżenie, że program ignoruje tę wartość wraz z pozostałymi atrybutami i przyjmuje **TYPE="Huber-Mises"**).

W przypadku **TYPE="Hill48"** zestaw dodatkowych atrybutów zależy jeszcze od wartości opcjonalnego atrybutu **ANISOTROPY**, który może przyjąć jedną z dwóch wartości: **ANISOTROPY="transversal"** (anizotropia poprzeczna; wartość domyślna), lub **ANISOTROPY="planar"** (anizotropia płaska).

Atrybuty bloku **YIELD_CRITERION** dla przypadku **TYPE="Hill48"**, **ANISOTROPY="transversal"**,

$$f(\sigma) = \sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \frac{2R_m}{1+R_m} \sigma_{xx} \sigma_{yy} + \frac{2(1+2R_m)}{1+R_m} \sigma_{xy}^2 - \sigma_y^2$$

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
RM	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	współcz. Lankforda R_m

Uwaga: Zamiast wymaganego atrybutu **RM** można w tym przypadku podać również atrybuty **R_0**, **R_45** i **R_90**, tak jak dla omówionego poniżej przypadku **ANISOTROPY="planar"**. Wartość parametru R_m wyznacza się wtedy ze wzoru $R_m = \frac{1}{4}(R_0 + 2R_{45} + R_{90})$.

Atrybuty bloku **YIELD_CRITERION** dla przypadku **TYPE="Hill48"**, **ANISOTROPY="planar"**,

$$f(\sigma) = \sigma_{xx}^2 + \frac{R_0(1+R_{90})}{R_{90}(1+R_0)} \sigma_{yy}^2 - \frac{2R_0}{1+R_0} \sigma_{xx} \sigma_{yy} + \frac{(1+2R_{45})(R_0+R_{90})}{R_{90}(1+R_0)} \sigma_{xy}^2 - \sigma_y^2$$

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
R_0	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	współcz. Lankforda R_0
R_45	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	współcz. Lankforda R_{45}
R_90	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	współcz. Lankforda R_{90}

Atrybuty bloku YIELD_CRITERION dla przypadku TYPE="Barlat-Lian",

$$f(\sigma) = a|K_1 + K_2|^M + a|K_1 - K_2|^M + (2 - a)|2K_2|^M - 2\sigma_y^M,$$

$$K_1 = \frac{1}{2}(\sigma_{xx} + h\sigma_{yy}), \quad K_2 = \sqrt{\frac{1}{4}(\sigma_{xx} - h\sigma_{yy})^2 + b^2\sigma_{xy}^2}$$

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
A	R	wymagany		(0, 2)	współcz. <i>a</i>
B	R	wymagany		(0, ∞)	współcz. <i>b</i>
H	R	wymagany		(0, ∞)	współcz. <i>h</i>
M	R	wymagany		(1, ∞)	współcz. <i>M</i>

Atrybuty bloku YIELD_CRITERION dla przypadku TYPE="Burzynski ",

$$f(\sigma) = \frac{1}{2k_1} \left[3(k_1 - 1)p + \sqrt{9(k_1 - 1)^3 p^2 + 4k_1 q^2} \right] - \sigma_y,$$

$$p = \frac{1}{3}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}), \quad q = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + R\sigma_{xx}\sigma_{yy} + (2 - R)\sigma_{xy}^2},$$

$$R = 2 - \frac{1}{k_1 k_2^2} - \frac{2}{k_2} + \frac{2}{k_1 k_2}$$

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
K1	R	wymagany			współcz. <i>k</i> ₁
K2	R	wymagany			współcz. <i>k</i> ₂

Blok YIELD_FUNCTION

blok nadrzędny	MATERIAL_PROPERTY
charakter	wymagany
krotność	1
bloki podrzędne	POINT
atrybuty	TYPE, YLD, YLDM, RELAX, HARD, C, EPS0, EXP

Blok zawiera definicję funkcji wzmocnienia $\sigma_y(\bar{\epsilon}^p)$ występującą w warunku plastyczności (σ_y oznacza aktualną granicę plastyczności, zaś $\bar{\epsilon}^p$ – zastępcze odkształcenie plastyczne).

Atrybuty bloku YIELD_FUNCTION

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
TYPE	T	wymagany		"linear", "exponential", "power-1", "power-2", "discrete"	typ funkcji (p. opis poniżej)

Powyższa tabela zawiera tylko podstawowy, obowiązkowy atrybut bloku. Dobór pozostałych atrybutów i interpretacja ich wartości zależą od wartości parametru **TYPE**, który może przybrać jedną z pięciu wartości podanych w tabeli.

Atrybuty bloku **YIELD_FUNCTION** dla przypadku **TYPE="linear"**,

$$\sigma_y = \sigma_{y0} + H\bar{e}^p$$

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
YLD	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	σ_{y0}
HARD	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	<i>H</i>

Atrybuty bloku **YIELD_FUNCTION** dla przypadku **TYPE="exponential"**,

$$\sigma_y = \sigma_{y0} + (\sigma_{y\infty} - \sigma_{y0})(1 - e^{\bar{e}^p/\bar{e}_r^p})$$

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
YLD	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	σ_{y0}
YLDM	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	$\sigma_{y\infty}$
RELAX	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	\bar{e}_r^p

Atrybuty bloku **YIELD_FUNCTION** dla przypadku **TYPE="power-1"**,

$$\sigma_y = \sigma_{y0} + H(\bar{e}^p)^n$$

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
YLD	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	σ_{y0}
HARD	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	<i>H</i>
EXP	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	<i>n</i>

Atrybuty bloku **YIELD_FUNCTION** dla przypadku **TYPE="power-2"**,

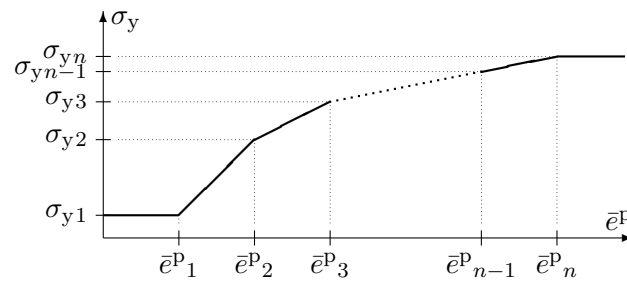
$$\sigma_y = C(e_0 + \bar{e}^p)^n$$

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
C	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	<i>C</i>
EPS0	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	e_0
EXP	<i>R</i>	wymagany		(0, ∞)	<i>n</i>

Atrybuty bloku **YIELD_FUNCTION** dla przypadku **TYPE="discrete"** (rys. 4)

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
INTERP	<i>T</i>	opcjonalny	"linear"	"linear"	typ interpolacji

Współrzędne par punktów $(\bar{e}^p_1, \sigma_{y1}), \dots, (\bar{e}^p_n, \sigma_{yn})$ zadane są w blokach **POINT**, podrzędnych do **YIELD_FUNCTION**. Liczba bloków **POINT** jest równa liczbie punktów $n > 1$. Definicje punktów muszą być podawane w kolejności narastających wartości \bar{e}^p_i . W programie dozwolone jest definiowanie tylko monotonicznie niemalejących funkcji wzmocnienia. Jakkolwiek nie ma takiego formalnego wymogu, do dobrego obyczaju należy przyjęcie $\bar{e}^p_1 = 0$ w pierwszym z definiowanych punktów (wówczas podana wartość σ_{y1} równa jest początkowej granicy plastyczności).



Rysunek 4: Krzywa wzmocnienia typu "discrete"

Blok POINT	
blok nadrzędny	YIELD_FUNCTION, CURVE
charakter	wymagany
krotność	liczba punktów definiujących funkcję, kolejność zgodna z narastaniem wartości rzędnej
typ zawartości	R R
atrybuty	

Blok zawiera definicję punktu w dwuwymiarowym układzie współrzędnych, który będzie wykorzystany do definicji funkcji (krzywej) zadanej w sposób dyskretny (punkt po punkcie). Jego zawartość stanowią dokładnie dwie liczby rzeczywiste oddzielone spacjami, oznaczające współrzędne (rzędną i odciętą) definiowanego punktu. Punkty muszą być podawane w kolejności monotonicznej (zgodnej z narastaniem wartości rzędnej). Niedozwolone jest definiowanie różnych punktów o tej samej rzędnej.

Blok VISCOSITY

blok nadrzędny	MATERIAL_PROPERTY
charakter	opcjonalny
krotność	1
typ zawartości	
atrybuty	TYPE, GAMMA, EXP

Blok zawiera definicję modelu i parametrów lepkoplastyczności. Pominięcie bloku w pliku wejściowym jest równoznaczne z podaniem wartości atrybutu **TYPE="off"** i oznacza pominięcie efektów lepkoplastycznych (jest to odradzane, gdyż skutkuje problemami ze zbieżnością obliczeń w programie NUMPRESS-Flow).

Atrybuty bloku VISCOSITY

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
TYPE	<i>T</i>	opcjonalny	"off"	"Perzyna", "Onate", "off"	model lepkoplastyczności (p. opis poniżej)
GAMMA	<i>R</i>	wymagany, z wyjątkiem TYPE="off"		(0, ∞)	γ
EXP	<i>R</i>	wymagany, z wyjątkiem TYPE="off"		(0, ∞)	n

W programie dozwolone jest wykorzystanie dwóch modeli lepkoplastyczności. W modelu Perzyny, **TYPE="Perzyna"**, prędkość odkształcenia plastycznego jest uzależniona od zastępczego naprężenia Hubera–Misesa wzorem

$$\dot{\epsilon}^p = \gamma \left(\frac{\bar{\sigma}}{\sigma_y} - 1 \right)^{\frac{1}{n}} \quad \text{czyli} \quad \bar{\sigma} = \sigma_y \left[1 + \left(\frac{\dot{\epsilon}^p}{\gamma} \right)^n \right]. \quad (1)$$

W modelu **TYPE="Onate"** zależności te przybierają postać

$$\dot{\epsilon}^p = \gamma (\bar{\sigma} - \sigma_y)^{\frac{1}{n}} \quad \text{czyli} \quad \bar{\sigma} = \sigma_y + \left(\frac{\dot{\epsilon}^p}{\gamma} \right)^n. \quad (2)$$

Blok DEATHT

blok nadrzędny	MATERIAL_PROPERTY
charakter	opcjonalny
krotność	1
typ zawartości	<i>R</i>
atrybuty	

Blok definiuje czas, po jakim następuje „wyłączenie” własności plastycznych, tj. przejście do analizy z modelem czysto sprężystym w programie NUMPRESS-Explicit. Jeśli blok nie występuje, domyślnie przyjmuje się, że własności plastyczne są uwzględniane do końca analizy.

Blok CURVE_DEFINITIONS

blok nadrzędny	STAGE
charakter	opcjonalny
krotność	1
bloki podrzędne	CURVE
atrybuty	

Blok zawiera definicje funkcji (krzywych) czasowych, używanych w danym etapie zadania do definiowania np. obciążeń, warunków brzegowych itp.

Blok CURVE

blok nadrzędny	CURVE_DEFINITIONS
charakter	opcjonalny
krotność	liczba funkcji czasowych
bloki podrzędne	POINT
atrybuty	AMPLI, INTERP, SLOPE, TDECR, TINCR, TSTART, TSTOP, TYPE

Blok zawiera definicję funkcji czasowej.

Atrybuty bloku CURVE

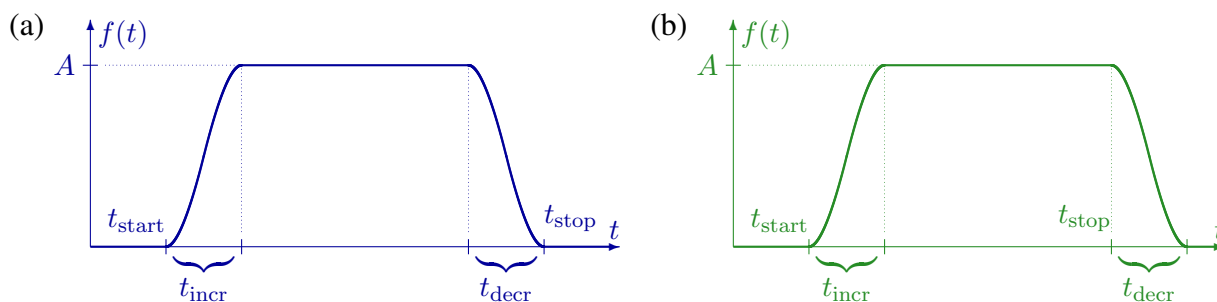
nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
ID	<i>T</i>	wymagany			nazwa funkcji, nadana przez użytkownika
TYPE	<i>T</i>	wymagany		"constant", "linear", "discrete"	typ funkcji (p. poniżej)

Powyższa tabela zawiera tylko dwa podstawowe, obowiązkowe atrybuty bloku. Dobór pozostałych atrybutów i interpretacja ich wartości zależą od wartości parametru **TYPE**, który może przybrać jedną z trzech wartości: "**constant**", "**linear**", lub "**discrete**". Definicje funkcji poszczególnych typów dane są na rysunkach 5, 6 i 7, a opis pozostałych atrybutów — w tabelach poniżej.

Nazwa funkcji, zadana w atrybucie **ID**, może być dowolna, z zastrzeżeniem, że nie może się ona powtórzyć w żadnym innym bloku **CURVE**.

Atrybuty bloku CURVE dla przypadku TYPE="constant" (rys. 5)

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
AMPLI	R	wymagany			A
TSTART	R	opcjonalny	początek etapu	$[0, \infty)$	t_{start}
TSTOP	R	opcjonalny	koniec etapu	(t_{start}, ∞)	t_{stop}
TINCR	R	opcjonalny	0	$[0, \frac{1}{2}(t_{stop} - t_{start}))$	t_{incr}
TDECR	R	opcjonalny	0	$[0, \frac{1}{2}(t_{stop} - t_{start}))$	t_{decr}



Rysunek 5: Krzywa typu "constant" zdefiniowana (a) w programie NUMPRESS-Explicit, (b) w programie NUMPRESS-Flow

Uwaga: Zerowe wartości atrybutów **TINCR** i/lub **TDECR** oznaczają skokowe zmiany wartości funkcji w punktach t_{start} i/lub t_{stop} . Należy jednak zaznaczyć, że w obliczeniach te zerowe wartości faktycznie się nie pojawiają. Niezależnie bowiem od kwestii nieokreśloności wartości samej funkcji w punktach nieciągłości, taka definicja funkcji np. prędkości stempla mogłaby powodować niestabilność schematu obliczeniowego w sąsiedztwie tych chwil czasowych. Dlatego każdy z programów przyjmuje w takim przypadku pewną małą niezerową wartość obu parametrów, wyznaczaną automatycznie w zależności od konkretnej sytuacji.

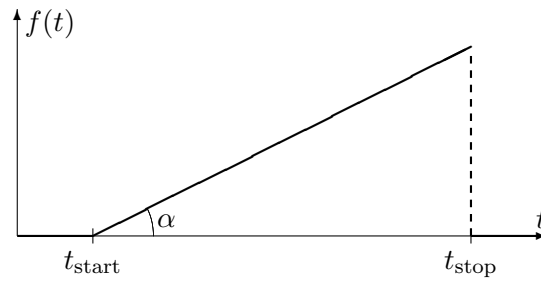
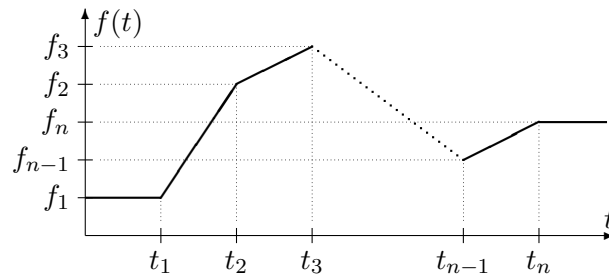
Odmierna definicja funkcji "constant" w programie NUMPRESS-Flow wynika z konieczności zapewnienia niezerowych wartości obciążeń w końcowej chwili etapu obliczeniowego (zerowe prędkości odkształceń w modelu sztywno-lepkoplastycznym skutkowałyby powstaniem nieracjonalnych wartości naprężeń).

Atrybuty bloku CURVE dla przypadku TYPE="linear" (rys. 6)

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
SLOPE	R	wymagany			nachylenie funkcji ($\tan \alpha$)
TSTART	R	opcjonalny	początek etapu	$[0, \infty)$	t_{start}
TSTOP	R	opcjonalny	koniec etapu	(t_{start}, ∞)	t_{stop}

Atrybuty bloku CURVE dla przypadku TYPE="discrete" (rys. 7)

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
INTERP	T	opcjonalny	"linear"	"linear"	typ interpolacji

Rysunek 6: Krzywa typu "**linear**"Rysunek 7: Krzywa typu "**discrete**"

Współrzędne par punktów $(t_1, f_1), \dots, (t_n, f_n)$ zadane są w blokach **POINT**, podrzędnych do **CURVE**. Liczba bloków **POINT** jest równa liczbie punktów $n > 1$. Definicje punktów muszą być podawane w kolejności narastających wartości t_i .

Blok **CONDITIONS**

blok nadrzędny	STAGE
charakter	wymagany
krotność	1
bloki podrzędne	FIXED_CONDITION, VELOCITY_CONDITION, FORCE, PRESSURE
atrybuty	

Blok zawiera definicje warunków brzegowych, dotyczących prędkości i obciążeń zadanych w sposób jawny w modelu w danym etapie analizy.

Uwaga. Niedozwolone jest jednoczesne zadawanie warunku brzegowego na obciążenie i prędkość w tym samym węźle i w tym samym stopniu swobody (warunek zablokowania ruchu traktujemy tu jako szczególny przypadek warunku na prędkość). Niedozwolone jest też zadanie dwóch różnych warunków na prędkość w tym samym węźle i w tym samym stopniu swobody.

Blok **FIXED_CONDITION**

blok nadrzędny	CONDITIONS
charakter	opcjonalny
krotność	1
bloki podrzędne	NODE, SET
atrybuty	

Blok zawiera definicje warunków brzegowych, polegających na zablokowaniu ruchu określonych węzłów siatki MES w określonych stopniach swobody.

Blok **NODE** (jako podrzędny do **FIXED_CONDITION**)

blok nadrzędny	FIXED_CONDITION
charakter	opcjonalny
krotność	liczba warunków tego typu
bloki podrzędne	
atrybuty	NODE_ID, DOF

Blok definiuje węzeł siatki MES oraz stopień swobody, w którym ruch tego węzła jest zablokowany.

Omawiany blok służy zasadniczo do blokowania ruchu w węzłach części odkształcalnych modelu (czyli arkuszy blachy). W przypadku części sztywnej warunki zadane w węzłach zostaną przypisane całej części, a w razie niezgodności pojawi się błąd. Jednak w takim przypadku zaleca się raczej użycie bloku **SET**.

Atrybuty bloku **NODE** jako podrzędnego do bloku **FIXED_CONDITION**

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
NODE_ID	<i>I</i>	wymagany		numery identyfikacyjne węzłów	węzeł podlegający war. brzegowemu
DOF	<i>I</i>	wymagany		1, 2, 3, 4, 5, 6	stopień swobody

Wartością atrybutu **NODE_ID** jest numer identyfikacyjny przypisany jednemu z węzłów zdefiniowanych w bloku **NODES**. Jeśli węzeł ten nie posiada danego stopnia swobody ruchu, określonego poprzez atrybut **DOF**, warunek zostanie zignorowany.

Blok **SET** (jako podrzędny do **FIXED_CONDITION**)

blok nadrzędny	FIXED_CONDITION
charakter	opcjonalny
krotność	liczba warunków tego typu
bloki podrzędne	
atrybuty	ELEMENTS_SET_ID, DOF

Blok definiuje część modelu oraz stopień swobody, w którym ruch wszystkich węzłów siatki MES rozpatrywanej części jest zablokowany.

Omawiany blok służy zasadniczo do blokowania ruchu części sztywnych modelu. Jakkolwiek nie jest to formalnie zabronione, blokowanie ruchu wszystkich węzłów arkusza blachy nie wydaje się mieć praktycznego sensu, chyba że chodzi o numeryczną „dezaktywację” części nieużywanej w danym etapie procesu tłoczenia.

Atrybuty bloku **SET** jako podrzędnego do bloku **FIXED_CONDITION**

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
ELEMENTS_SET_ID	<i>T</i>	wymagany		nazwy grup elementów	część podlegająca war. brzegowemu
DOF	<i>I</i>	wymagany		1, 2, 3, 4, 5, 6	stopień swobody

Wartością atrybutu **ELEMENTS_SET_ID** jest nazwa przypisana jednej z grup elementów zdefiniowanych w blokach **ELEMENTS_SET**, podrzędnych do bloku **ELEMENTS**. Jeśli któryś z węzłów tej grupy elementów nie posiada danego stopnia swobody ruchu, określonego poprzez atrybut **DOF**, warunek zostanie zignorowany dla tego węzła.

Blok VELOCITY_CONDITION

blok nadrzędny	CONDITIONS
charakter	opcjonalny
krotność	1
bloki podrzędne	NODE, SET
atrybuty	

Blok zawiera definicje warunków brzegowych, polegających na zadaniu składowych prędkości określonych węzłów siatki MES w określonych stopniach swobody ruchu.

Blok NODE (jako podrzędny do VELOCITY_CONDITION)

blok nadrzędny	VELOCITY_CONDITION
charakter	opcjonalny
krotność	liczba warunków tego typu
typ zawartości	<i>R</i>
atrybuty	NODE_ID, DOF, CURVE_ID

Blok definiuje węzeł siatki MES oraz stopień swobody, w którym zadana jest prędkość. Ponadto definiuje wartość tej prędkości poprzez przypisanie jej pewnej funkcji czasowej oraz mnożnika. Zawartością bloku jest liczba rzeczywista oznaczająca wspomniany mnożnik. Podanie zerowej wartości mnożnika jest równoznaczne z zablokowaniem ruchu węzła w danym stopniu swobody.

Omawiany blok służy zasadniczo do zadawania prędkości w węzłach części odkształcalnych modelu (czyli arkuszy blachy). W przypadku części sztywnej prędkości zadane w węzłach zostaną przypisane całej części, a w razie niezgodności pojawi się błąd. Jednak w takim przypadku zaleca się raczej użycie bloku **SET**.

Atrybuty bloku NODE jako podrzędnego do bloku VELOCITY_CONDITION

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
NODE_ID	<i>I</i>	wymagany		numery identyfikacyjne węzłów	węzeł podlegający war. brzegowemu
DOF	<i>I</i>	wymagany		1, 2, 3, 4, 5, 6	stopień swobody
CURVE_ID	<i>T</i>	opcjonalny		nazwy funkcji czasowych	funkcja czasowa definiująca zadaną prędkość

Wartością atrybutu **NODE_ID** jest numer identyfikacyjny przypisany jednemu z węzłów zdefiniowanych w bloku **NODES**. Jeśli węzeł ten nie posiada danego stopnia swobody ruchu, określonego poprzez atrybut **DOF**, warunek zostanie zignorowany.

Wartością atrybutu **CURVE_ID** jest nazwa przypisana jednej z funkcji czasowych zdefiniowanych w blokach **CURVE**, podrzędnych do bloku **CURVE_DEFINITIONS**. Jeżeli atrybut został pominięty, program przyjmuje krzywą domyślną, p. opis bloku **STAMPING**. (Jeżeli blok **STAMPING** nie został zdefiniowany, atrybut **CURVE_ID** jest wymagany.)

Blok SET (jako podrzędny do VELOCITY_CONDITION)

blok nadrzędny	VELOCITY_CONDITION
charakter	opcjonalny
krotność	liczba warunków tego typu
typ zawartości	<i>R</i>
atrybuty	ELEMENTS_SET_ID, DOF, CURVE_ID

Blok definiuje część modelu oraz stopień swobody, w którym we wszystkich węzłach siatki MES rozpatrywanej części zadana jest prędkość. Ponadto definiuje wartość tej prędkości poprzez przypisanie jej pewnej funkcji czasowej oraz mnożnika. Zawartością bloku jest liczba rzeczywista oznaczająca wspomniany mnożnik. Podanie zerowej wartości mnożnika jest równoznaczne z zablokowaniem ruchu węzłów rozpatrywanej części w danym stopniu swobody.

Omawiany blok służy zasadniczo do zadawania prędkości częściom sztywnym modelu (czyli narzędziom pełniącym rolę stempla). Jakkolwiek nie jest to formalnie zabronione, definiowanie jednakowej prędkości dla wszystkich węzłów arkusza blachy nie wydaje się mieć praktycznego sensu.

Atrybuty bloku SET jako podrzędnego do bloku VELOCITY_CONDITION

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
ELEMENTS_SET_ID	<i>T</i>	wymagany		nazwy grup elementów	część podlegająca war. brzegowemu
DOF	<i>I</i>	wymagany		1, 2, 3, 4, 5, 6	stopień swobody
CURVE_ID	<i>T</i>	opcjonalny		nazwy funkcji czasowych	funkcja czasowa definiująca zadaną prędkość

Wartością atrybutu **ELEMENTS_SET_ID** jest nazwa przypisana jednej z grup elementów zdefiniowanych w blokach **ELEMENTS_SET**, podrzędnych do bloku **ELEMENTS**. Jeśli któryś z węzłów tej grupy elementów nie posiada danego stopnia swobody ruchu, określonego poprzez atrybut **DOF**, warunek zostanie zignorowany dla tego węzła.

Wartością atrybutu **CURVE_ID** jest nazwa przypisana jednej z funkcji czasowych zdefiniowanych w blokach **CURVE**, podrzędnych do bloku **CURVE_DEFINITIONS**. Jeżeli atrybut został pominięty, program przyjmuje krzywą domyślną, p. opis bloku **STAMPING**. (Jeżeli blok **STAMPING** nie został zdefiniowany, atrybut **CURVE_ID** jest wymagany.)

Blok FORCE

blok nadrzędny	CONDITIONS
charakter	opcjonalny
krotność	1
bloki podrzędne	NODE, SET
atrybuty	

Blok zawiera definicje warunków brzegowych, polegających na zadaniu składowych obciążeń zewnętrznych (sił lub momentów) działających na określone węzły siatki MES lub części modelu w określonych stopniach swobody ruchu.

Blok NODE (jako podrzędny do FORCE)

blok nadrzędny	FORCE
charakter	opcjonalny
krotność	liczba warunków tego typu
typ zawartości	<i>R</i>
atrybuty	NODE_ID, DOF, CURVE_ID

Blok definiuje węzeł siatki MES oraz stopień swobody, w którym zadane jest obciążenie. Ponadto definiuje wartość tego obciążenia poprzez przypisanie mu pewnej funkcji czasowej oraz mnożnika. Zawartością bloku jest liczba rzeczywista oznaczająca wspomniany mnożnik. Podanie zerowej wartości mnożnika jest równoznaczne z pominięciem tego bloku danych.

Omawiany blok służy zasadniczo do zadawania obciążeń w węzłach części odkształcalnych modelu (czyli arkuszy blachy). W przypadku węzłów części sztywnej obciążenia węzłowe zsumują się dla tej części, jednak w takim przypadku zaleca się raczej użycie bloku **SET**.

Atrybuty bloku NODE jako podrzędnego do bloku FORCE

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
NODE_ID	<i>I</i>	wymagany		numery identyfikacyjne węzłów	węzeł podlegający war. brzegowemu
DOF	<i>I</i>	wymagany		1, 2, 3, 4, 5, 6	stopień swobody
CURVE_ID	<i>T</i>	wymagany		nazwy funkcji czasowych	funkcja czasowa definiująca zadane obciążenie

Wartością atrybutu **NODE_ID** jest numer identyfikacyjny przypisany jednemu z węzłów zdefiniowanych w bloku **NODES**. Jeśli węzeł ten nie posiada danego stopnia swobody ruchu, określonego poprzez atrybut **DOF**, warunek zostanie zignorowany.

Wartością atrybutu **CURVE_ID** jest nazwa przypisana jednej z funkcji czasowych zdefiniowanych w blokach **CURVE**, podrzędnych do bloku **CURVE_DEFINITIONS**.

Blok SET (jako podrzędny do FORCE)

blok nadrzędny	FORCE
charakter	opcjonalny
krotność	liczba warunków tego typu
typ zawartości	<i>R</i>
atrybuty	ELEMENTS_SET_ID, DOF, CURVE_ID

Blok definiuje część modelu oraz stopień swobody, w którym na rozpatrywaną część działa zadane obciążenie. Ponadto definiuje wartość tego obciążenia, poprzez przypisanie mu pewnej funkcji czasowej oraz mnożnika. Zawartością bloku jest liczba rzeczywista oznaczająca wspomniany mnożnik. Podanie zerowej wartości mnożnika jest równoznaczne z pominięciem tego bloku danych.

Omawiany blok służy wyłącznie do zadawania obciążeń częściom sztywnym modelu (czyli narzędziom pełniącym rolę dociskacza).

Atrybuty bloku SET jako podrzednego do bloku FORCE

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
ELEMENTS_SET_ID	<i>T</i>	wymagany		nazwy grup elementów	część podlegająca war. brzegowemu
DOF	<i>I</i>	wymagany		1, 2, 3, 4, 5, 6	stopień swobody
CURVE_ID	<i>T</i>	wymagany		nazwy funkcji czasowych	funkcja czasowa definiująca zadane obciążenie

Wartością atrybutu **ELEMENTS_SET_ID** jest nazwa przypisana jednej z grup elementów zdefiniowanych w blokach **ELEMENTS_SET**, podrzędnych do bloku **ELEMENTS**. Musi to być grupa elementów sztywnych. Jeśli ta grupa elementów nie posiada danego stopnia swobody ruchu, określonego poprzez atrybut **DOF**, warunek zostanie zignorowany.

Wartością atrybutu **CURVE_ID** jest nazwa przypisana jednej z funkcji czasowych zdefiniowanych w blokach **CURVE**, podrzędnych do bloku **CURVE_DEFINITIONS**.

Blok PRESSURE

blok nadrzędny	CONDITIONS
charakter	opcjonalny
krotność	1
bloki podrzędne	SET
atrybuty	

Blok zawiera definicje warunków brzegowych, polegających na zadaniu obciążenia ciśnieniem zewnętrznym działającym na określoną odkształcalną część modelu (powierzchnię arkusza blachy).

Blok SET (jako podrzędny do PRESSURE)

blok nadrzędny	PRESSURE
charakter	opcjonalny
krotność	liczba warunków tego typu
typ zawartości	<i>R</i>
atrybuty	ELEMENTS_SET_ID, CURVE_ID

Blok definiuje część (powierzchnię) modelu, na którą działa zadane obciążenie ciśnieniem. Ponadto definiuje wartość tego obciążenia, poprzez przypisanie mu pewnej funkcji czasowej oraz mnożnika. Zawartością bloku jest liczba rzeczywista oznaczająca wspomniany mnożnik. Podanie zerowej wartości mnożnika jest równoznaczne z pominięciem tego bloku danych. Dodatnia wartość obciążenia oznacza, że ciśnienie działa zgodnie ze zwrotem wektorów normalnych do elementów grupy (p. rys 3).

Omawiany blok służy wyłącznie do zadawania obciążeń częściom odkształcalnym modelu (czyli arkuszom blachy).

Atrybuty bloku SET jako podrzędnego do bloku PRESSURE

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
ELEMENTS_SET_ID	<i>T</i>	wymagany		nazwy grup elementów	część podlegająca war. brzegowemu
CURVE_ID	<i>T</i>	wymagany		nazwy funkcji czasowych	funkcja czasowa definiująca zadane obciążenie

Wartością atrybutu **ELEMENTS_SET_ID** jest nazwa przypisana jednej z grup elementów zdefiniowanych w blokach **ELEMENTS_SET**, podrzędnych do bloku **ELEMENTS**. Musi to być grupa elementów odkształcalnych. Wartością atrybutu **CURVE_ID** jest nazwa przypisana jednej z funkcji czasowych zdefiniowanych w blokach **CURVE**, podrzędnych do bloku **CURVE_DEFINITIONS**.

Blok CONTACT_PAIRS

blok nadrzędny	STAGE
charakter	opcjonalny
krotność	1
bloki podrzędne	CONTACT_PAIR
atrybuty	PENALTY_TYPE, THICKNESS

Blok zawiera definicje warunków kontaktowych, czyli par powierzchni, których ruch jest (lub potencjalnie może być) ograniczony przez wzajemny fizyczny kontakt, o ile takie ograniczenia występują w danym etapie analizy.

Atrybuty bloku CONTACT_PAIRS

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
PENALTY_TYPE	<i>T</i>	opcjonalny	"standard"	"standard", "relative", "adaptive"	typ sformułowania funkcji kary
THICKNESS	<i>T</i>	opcjonalny	"yes"	"yes", "no"	flaga uwzględnienia grubości blachy

W obu programach analizy numerycznej procesów tłoczenia stosowane jest tzw. sformułowanie funkcji kary w analizie kontaktu między dwiema powierzchniami. Polega ono na tym, że siła reakcji normalnej N w punkcie kontaktu jest proporcjonalna do głębokości penetracji g , a współczynnikiem proporcjonalności jest tzw. współczynnik kary ϵ^n , (czyli $N = \epsilon^n g$). Sformułowanie to ma kilka odmian. W programie NUMPRESS-Explicit zaimplementowano jedynie sformułowanie w wersji standardowej, w której w każdym węźle pozostającym w kontakcie zadana jest stała wartość współczynnika kary, zdefiniowana przez użytkownika dla danej pary kontaktowej w bloku **PENALTY**. W programie NUMPRESS-Flow, oprócz tej wersji sformułowania, użytkownik może wybrać jeszcze dwie inne, definiując odpowiednią wartość atrybutu **PENALTY_TYPE**. Wartość **PENALTY_TYPE="relative"** oznacza, że współczynnik kary będzie obliczony dla każdego węzła osobno poprzez wymnożenie odpowiedniego członu macierzy układu równań przez wartość „względny” współczynnika kary, zdefiniowaną dla danej pary kontaktowej w bloku **PENALTY**. Wartość **PENALTY_TYPE="adaptive"** oznacza, że współczynnik kary będzie obliczony dla każdego węzła osobno za pomocą adaptacyjnej procedury zachowującej zadany poziom niedokładności modelowania kontaktu normalnego (wielkości penetracji). Wspomniany poziom niedokładności zadany jest dla danej pary kontaktowej w bloku **ACCURACY**.

W typowych zadaniach rozwiązywanych programem NUMPRESS-Flow zalecane jest użycie sformułowania standardowego (traktowanego jako domyślne, jeśli atrybut **PENALTY_TYPE** nie jest zdefiniowany). Ponadto zalecane jest, aby w kolejnych etapach analizy stosować tę samą wartość atrybutu **PENALTY_TYPE** — w przeciwnym przypadku należy oczekiwać kłopotów ze zbieżnością obliczeń na początku nowego etapu.

W każdej parze kontaktowej jedną z powierzchni jest powierzchnia arkusza blachy. W geometrycznym modelu analizowanego zadania powierzchnia ta ma grubość zerową — grubość blachy jest tylko jej parametrem „konstytutywnym”. Przy takim założeniu kontakt blachy z narzędziem zachodzi wtedy, gdy punkt powierzchni środkowej blachy leży na powierzchni narzę-

dzia. Taki warunek bywa uciążliwy z praktycznego punktu widzenia — dla użytkownika często wygodniejsze jest takie modelowanie geometrii układu, w którym grubość blachy jest uwzględniona przy wyliczaniu odległości między blachą a narzędziem (tzn. kontakt jest uznawany za aktywny, gdy odległość między powierzchnią środkową blachy a narzędziem jest równa połowie grubości blachy). Wychodząc naprzeciw takiemu oczekiwaniu, w programie NUMPRESS-Explicit wprowadzono jako zasadę, że grubość blachy jest uwzględniona przy analizie kontaktu. Natomiast w programie NUMPRESS-Flow użytkownik może wybrać między opcją analizy kontaktu z uwzględnieniem bądź bez uwzględnienia grubości blachy, podstawiając odpowiednio wartość **"yes"** lub **"no"** opcjonalnego atrybutu **THICKNESS**. Należy jednak pamiętać, że w tym programie przyjęto uproszczenie, polegające na tym, że uwzględniana jest tylko początkowa, a nie aktualna grubość blachy.

Blok CONTACT_PAIR

blok nadrzędny	CONTACT_PAIRS
charakter	opcjonalny
krotność	liczba par kontaktowych
bloki podrzędne	PENALTY , ACCURACY , FRICITION , DAMPIN , DSAFE
atrybuty	ID , MASTER , SLAVE , MODEL

Blok zawiera definicję pary kontaktowej i parametrów modelu kontaktu, przyjętego dla tej pary.

Atrybuty bloku CONTACT_PAIR

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
ID	<i>T</i>	wymagany			nazwa pary kontaktowej
MASTER	<i>T</i>	wymagany		nazwy grup elementów sztywnych	powierzchnia sztywna
SLAVE	<i>T</i>	wymagany		nazwy grup elementów odkształcalnych	powierzchnia odkształcalna
MODEL	<i>T</i>	opcjonalny	"slip"	"slip" , "stick"	kontakt z poślizgiem kontakt bez poślizgu

Elementami pary kontaktowej mogą być tylko: jedna powierzchnia części sztywnej (oznaczana w tradycyjnej terminologii numerycznej analizy kontaktu jako „master”) i jedna powierzchnia części odkształcalnej (oznaczana jako „slave”). Wszystkie parametry modelu kontaktu między tymi powierzchniami zadane są w blokach podrzędnych do **CONTACT_PAIR**.

Blok PENALTY

blok nadrzędny	CONTACT_PAIR
charakter	opcjonalny, tylko dla PENALTY_TYPE="standard" i PENALTY_TYPE="relative" w bloku CONTACT_PAIRS
krotność	1
typ zawartości	R
atrybuty	

Blok zawiera liczbę rzeczywistą określającą wartość współczynnika kary ϵ^n w numerycznej analizie kontaktu (dla **PENALTY_TYPE="relative"** jest to wartość względna). Domyślną wartością współczynnika jest 10^5 (dla **PENALTY_TYPE="standard"**) lub 100 (dla **PENALTY_TYPE="relative"**), jednak użytkownik jest zachęcany do bezpośredniego zadania tej wartości. W jej oszacowaniu pomaga doświadczenie i intuicja inżynierska. Z punktu widzenia lepszego uwarunkowania macierzy układu równań, wartość ta powinna być możliwie mała. Jednak zadanie jej na zbyt niskim poziomie spowoduje widoczne błędy w spełnieniu warunku kontaktu — penetracja w węzłach blachy kontaktujących się z narzędziami będzie zbyt duża. Użytkownik powinien więc oszacować ją metodą prób i błędów, w wyniku testów na prostych przykładach obliczeniowych.

Blok ACCURACY

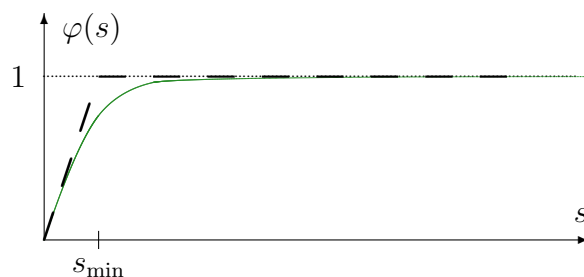
blok nadrzędny	CONTACT_PAIR
charakter	opcjonalny, tylko dla PENALTY_TYPE="adaptive" w bloku CONTACT_PAIRS
krotność	1
typ zawartości	R
atrybuty	

Blok zawiera liczbę rzeczywistą określającą wartość dopuszczalnej niedokładności spełnienia warunku normalnego kontaktu, podana w jednostkach długości przyjętych w danych. Domyślną wartością współczynnika jest 0.01, jednak użytkownik jest zachęcany do bezpośredniego zadania tej wartości. Zwykle zaleca się tu podanie liczby równej jakiemś ułamkowi grubości blachy. *Uwaga!* Nie należy jednak oczekiwać, że błąd spełnienia warunku nigdy nie przekroczy zadanej wartości atrybutu. Jednak jego rząd wielkości pozostanie na zadanym poziomie.

Blok FRICTION

blok nadrzędny	CONTACT_PAIR
charakter	opcjonalny, tylko dla MODEL="slip"
krotność	1
typ zawartości	
atrybuty	MODEL, COEFF, REG, PENALTY

Blok zawiera parametry modelu tarcia poślizgowego.



Rysunek 8: Regularyzacja modelu tarcia Coulomba; linia punktowa – model niezregularyzowany, linia przerywana – model zregularyzowany funkcją liniową, linia ciągła – model zregularyzowany funkcją \tanh

Atrybuty bloku **FRICION**

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
MODEL	T	wymagany		"Coulomb"	nazwa modelu tarcia
COEFF	R	wymagany		$(0, \infty)$	współczynnik tarcia μ
REG	T	opcjonalny	"linear"	"linear", "tanh"	regularyzacja liniowa regularyzacja funkcją \tanh
PENALTY	R	wymagany		$(0, \infty)$	współczynnik kary dla reakcji stycznych ϵ^t

W obecnej wersji dopuszczalny jest tylko jeden model kontaktu — Coulomba, opisany jednym parametrem — współczynnikiem tarcia poślizgowego μ , zadanego poprzez wartość atrybutu **COEFF**. Siła tarcia w tym modelu jest skierowana przeciwnie do kierunku poślizgu a jej wartość T nie zależy od prędkości poślizgu s i zawsze jest równa $T = \mu N$, gdzie N oznacza normalną siłę reakcji nacisku pomiędzy powierzchniami. Jedynie w sytuacji zerowej prędkości poślizgu siła ta może być mniejsza, tj. $T = \varphi \mu N$ ($\varphi \in [0, 1]$).

Ze względów algorytmicznych, model ten musi być zregularyzowany, tzn. dla bardzo małych, ale niezerowych prędkości poślizgu przyjmuje się istnienie pewnej funkcji $\varphi(s) \leq 1$, takiej że $T(s) = \varphi(s)\mu N$. Przyjmujemy, że $\varphi(0) = 0$ oraz $\varphi(s \gg 0) \approx 1$ (czyli dla dużych s siła tarcia jest równa sile wyliczonej z modelu Coulomba, $T \approx \mu N$). Rysunek 8 przedstawia dwie postacie tej funkcji regularyzacji — liniową i tangens hiperboliczny (ta ostatnia dozwolona tylko w programie NUMPRESS-Flow). Wartość s_{\min} kontrolowana jest przez współczynnik kary dla reakcji stycznych ϵ^t , zadany poprzez wartość atrybutu **PENALTY**, wg wzoru: $s_{\min} = N/\epsilon^t$.

Wartość współczynnika kary ϵ^t powinna być podana przez użytkownika w sposób jawny. W jej oszacowaniu również pomagają doświadczenie i intuicja inżynierska. Z punktu widzenia lepszej zbieżności obliczeń wartość ta powinna być możliwie mała. Jednak zadanie jej na zbyt niskim poziomie spowoduje, że siła tarcia będzie wyraźnie mniejsza od μN również w miejscach z dużą prędkością poślizgu, co jest widocznym błędem w spełnieniu prawa tarcia Coulomba. Użytkownik powinien więc oszacować ją metodą prób i błędów, w wyniku testów na prostych przykładach obliczeniowych.

Blok DAMPIN

blok nadrzędny	CONTACT_PAIR
charakter	wymagany
krotność	1
typ zawartości	R
atrybuty	

Blok zawiera liczbę rzeczywistą określającą wartość tłumienia w analizie kontaktu. Jest to parametr numerycznej procedury analizy jawnej zagadnienia dynamiki, którego wartość rzutuje na zbieżność i czas obliczeń.

Blok DSAFE

blok nadrzędny	CONTACT_PAIR
charakter	wymagany
krotność	1
typ zawartości	R
atrybuty	

Blok zawiera liczbę rzeczywistą określającą wartość maksymalnej głębokości penetracji, powyżej której program „nie zauważa” kontaktu między węzłem a powierzchnią. Jest to parametr numerycznej procedury analizy jawnej zagadnienia dynamiki, służący do wyeliminowania sytuacji, w których siły reakcji kontaktowych w niektórych węzłach osiągałyby wartości ekstremalne, co rzutowałoby na stabilność obliczeń w tej procedurze.

Blok SENSITIVITY

blok nadrzędny	dowolny
charakter	opcjonalny
krotność	dowolna
bloki podrzędne	PARAMETER
atrybuty	

Blok dotyczy analizy wrażliwości parametrycznej, dostępnej tylko w programie NUMPRESS-Flow. W programie dostępne są alternatywnie dwie metody analizy wrażliwości: semi-analityczna (znacznie szybsza, jednak dająca dokładne wyniki tylko dla bardzo małych przyrostów czasowych) oraz metoda różnic skończonych (bardziej uniwersalna, jednak znacznie bardziej czasochłonna).

Atrybuty bloku SENSITIVITY

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
METHOD	<i>T</i>	opcjonalny	"semi "	"semi ", "fdm"	metoda semi-analityczna metoda różnic skończonych

Blok zawiera informacje o tym, w jaki sposób różne dane liczbowe zdefiniowane w bloku nadrzędnym do tego bloku zależą od parametrów projektowych. Pojawienie się w pliku choćby jednego bloku **SENSITIVITY** (czyli zdefiniowanie co najmniej jednego parametru projektowego) spowoduje, że oprócz standardowych wyników analizy równowagi program wyliczy również wrażliwość tych wyników na poszczególne parametry projektowe, tj. wartości pochodnych wyników względem tych parametrów.

Generalna zasada definiowania zadania wrażliwości jest następująca. Użytkownik definiuje maksymalnie 9 parametrów projektowych, nadaje im jednoznaczne nazwy w postaci ciągów znaków i określa, które z danych liczbowych występujących w pliku danych są funkcjami tych parametrów. Nie jest konieczne podawanie postaci tych funkcji — istotne jest to, jak określona mała perturbacja parametru projektowego wpływa na perturbacje poszczególnych danych. Ze zrozumiałych względów ograniczamy się tu tylko do tych danych, które opisywane są liczbami rzeczywistymi (małe perturbacje liczb całkowitych nie miałyby sensu), czyli np. współrzędne węzłów, stałe materiałowe, parametry modelu tarcia, zadane wartości sił zewnętrznych i prędkości, itp.

Wprowadzenie tych definicji do pliku danych wejściowych wyjaśnimy na przykładzie. Niech model obliczeniowy opisany jest w pliku XML, którego skrócona postać dana jest w ramce na rys. 9.

Żałujemy, że oprócz obliczeń analizy równowagi chcemy przeprowadzić analizę wrażliwości wyników na dwa parametry projektowe. Pierwszy z nich wpływa na geometrię zadania, a konkretnie na wartości współrzędnych węzłów 220 i 221 oraz grubości blachy. Nie jest istotna ścisła definicja i wartość tego parametru — wiemy natomiast, że zwiększenie wartości tego parametru o 0.001 spowoduje zwiększenie wartości współrzędnych x_2 wspomnianych węzłów również o 0.001, a jednocześnie grubość blachy w całym arkuszu wzrośnie o 0.002. Drugi parametr wpływa na wartości wybranych stałych materiałowych blachy — mianowicie parametry opisujące krzywą wzmocnienia typu **power-2**. Zmiany wartości tych stałych przy zadanej perturbacji parametru projektowego są również znane.

Wprowadzenie tych danych do pliku wejściowego jest możliwe na kilka sposobów. Rys. 10 przedstawia jeden z nich. Ponieważ wszystkie dane zależne od parametrów projektowych znajdują się w bloku **STAGE**, wprowadzamy w tym bloku dodatkowy blok podrzędny **SENSITIVITY**, w którym definiujemy parametry projektowe w dwóch blokach **PARAMETER**. W każdym z nich przepisujemy raz jeszcze te linie z danych zadania, które definiują dane zależne od parametru projektowego, podając tym razem sperturbowane wartości tych danych dla zadanej perturbacji parametru projektowego. Dane muszą być podane w sposób umożliwiający ich jednoznaczna identyfikację, a więc musimy również skopiować całą hierarchię bloków nadrzędnych do każdego z bloków danych, powtarzając jedynie te atrybuty bloków, które są niezbędne do ich identyfikacji (np. atrybut **ID** w blokach **NODES_SET** i **MATERIAL**).

Innym sposobem jest podanie definicji relacji między parametrami projektowymi a danymi zadania bezpośrednio przy definicji samych danych. Przykład takiego działania podany jest na rys. 11 dla tego samego zadania. Nie jest błędem wielokrotne powtórzenie bloku **SENSITIVITY**, ani nawet powtórne definiowanie tego samego parametru projektowego (kolejne definicje jedynie uzupełniają informacje podane w poprzednich). Należy jedynie pamiętać, aby perturbacja podawana w różnych miejscach dla tego samego parametru była taka sama. Podobnie, wartość atrybutu **METHOD** w różnych blokach **SENSITIVITY** musi być taka sama.

```
<?xml version="1.0"?>
<PROJECT TITLE="blacha_nr_1" AUTHOR="B. Kowalska">
  <STAGE ID="docisk">

    <CONTROL> ... </CONTROL>

    <NODES>
      <NODES_SET ID="sheet">
        <NODE ID="1"> 0.0000 75.0000 0.0000 </NODE>
        <NODE ID="2"> 3.7500 71.2500 0.0000 </NODE>
        . . . . .
        <NODE ID="220"> 75.0000 7.5000 0.0000 </NODE>
        <NODE ID="221"> 75.0000 0.0000 0.0000 </NODE>
      </NODES_SET>
      <NODES_SET ID="tool">
        . . . . .
      </NODES_SET>
    </NODES>

    <MATERIALS>
      <MATERIAL ID="steel" MODEL="plastic"
        MIN_STRAIN_RATE="1.e-6">
        <GEOMETRICAL_PROPERTY>
          <THICKNESS> 0.81 </THICKNESS>
        </GEOMETRICAL_PROPERTY>
        <MATERIAL_PROPERTY DENSITY="7850">
          <ELASTIC YOUNG="44544" POISS="0.2"/>
          <YIELD_FUNCTION TYPE="power-2"
            C="576.790" EPS0=".01658" EXP=".3593" />
          <VISCOSITY TYPE="Perzyna" GAMMA="0.2" EXP="1.0"/>
        </MATERIAL_PROPERTY>
      </MATERIAL>
      <MATERIAL ID="aluminium" MODEL="plastic"
        MIN_STRAIN_RATE="1.e-6">
        . . . . .
      </MATERIAL>
    </MATERIALS>

    <ELEMENTS> ... </ELEMENTS>
    <CONDITIONS> ... </CONDITIONS>
    <CONTACT_PAIRS> ... </CONTACT_PAIRS>
    <CURVE_DEFINITIONS> ... </CURVE_DEFINITIONS>

  </STAGE>
</PROJECT>
```

Rysunek 9: Przykładowy plik wejściowy bez analizy wrażliwości

```
<?xml version="1.0"?>
<PROJECT TITLE="blachanr1" AUTHOR="B. Kowalska">
  <STAGE ID="docisk">

    .....

  <SENSITIVITY>
    <PARAMETER ID="par1" PERTURBATION="0.001">
      <NODES>
        <NODES_SET ID="sheet">
          <NODE ID="220"> 75.0000 7.5010 0.0000 </NODE>
          <NODE ID="221"> 75.0000 0.0010 0.0000 </NODE>
        </NODES_SET>
      </NODES>
      <MATERIALS>
        <MATERIAL ID="steel">
          <GEOMETRICAL_PROPERTY>
            <THICKNESS> 0.812 </THICKNESS>
          </GEOMETRICAL_PROPERTY>
        </MATERIAL>
      </MATERIALS>
    </PARAMETER>
    <PARAMETER ID="par2" PERTURBATION="1.e-4">
      <MATERIALS>
        <MATERIAL ID="steel">
          <MATERIAL_PROPERTY>
            <YIELD_FUNCTION TYPE="power-2"
              C="576.795" EPS0=".01660" EXP=".3592"/>
          </MATERIAL_PROPERTY>
        </MATERIAL>
      </MATERIALS>
    </PARAMETER>
  </SENSITIVITY>

</STAGE>
</PROJECT>
```

Rysunek 10: Plik wejściowy z analizą wrażliwości


```

.....
<NODES>
  <NODES_SET ID="sheet">
    <NODE ID="1"> 0.0000 75.0000 0.0000 </NODE>
    <NODE ID="2"> 3.7500 71.2500 0.0000 </NODE>
    .....
    <NODE ID="220"> 75.0000 7.5000 0.0000 </NODE>
    <NODE ID="221"> 75.0000 0.0000 0.0000 </NODE>
    <SENSITIVITY>
      <PARAMETER ID="par1" PERTURBATION="0.001">
        <NODE ID="220"> 75.0000 7.5010 0.0000 </NODE>
        <NODE ID="221"> 75.0000 0.0010 0.0000 </NODE>
      </PARAMETER>
    </SENSITIVITY>
  </NODES_SET>
  .....
</NODES>

<MATERIALS>
  <MATERIAL ID="steel" MODEL="plastic"
    MIN_STRAIN_RATE="1.e-6">
    <GEOMETRICAL_PROPERTY>
      <THICKNESS> 0.81 </THICKNESS>
      <SENSITIVITY>
        <PARAMETER ID="par1" PERTURBATION="0.001">
          <THICKNESS> 0.812 </THICKNESS>
        </PARAMETER>
      </SENSITIVITY>
    </GEOMETRICAL_PROPERTY>
    <MATERIAL_PROPERTY DENSITY="7850">
      <ELASTIC YOUNG="44544" POISS="0.2"/>
      <YIELD_FUNCTION TYPE="power-2"
        C="576.790" EPS0=".01658" EXP=".3593" />
      <VISCOSITY TYPE="Perzyna" GAMMA="0.2" EXP="1.0"/>
      <SENSITIVITY>
        <PARAMETER ID="par2" PERTURBATION="1.e-4">
          <YIELD_FUNCTION TYPE="power-2"
            C="576.795" EPS0=".01660" EXP=".3592"/>
          </PARAMETER>
        </SENSITIVITY>
      </MATERIAL_PROPERTY>
    </MATERIAL>
    .....
  </MATERIALS>
  .....

```

Rysunek 11: Plik wejściowy z analizą wrażliwości – wersja alternatywna

Blok PARAMETER	
blok nadrzędny	SENSITIVITY
charakter	wymagany
krotność	dowolna
bloki podrzędne	dowolne, o ile są dopuszczalne jako bloki podrzędne do bloku, w którym pojawia się blok SENSITIVITY nadrzędny do niniejszego bloku
atrybuty	ID, PERTURBATION

Blok zawiera definicje zależności danych wymienionych w blokach podrzędnych od perturbacji określonego parametru projektowego.

Atrybuty bloku **PARAMETER**

nazwa	typ	charakter	wartość domyślna	zakres wartości	opis
ID	<i>T</i>	wymagany			nazwa parametru projektowego
PERTURBATION	<i>R</i>	wymagany			wartość perturbacji

Indeks

ACCURACY, 43
ACOEf, 14
CONDITIONS, 34
CONTACT_PAIRS, 41
CONTACT_PAIR, 42
CONTROL, 10
CURVE_DEFINITIONS, 31
CURVE, 31
DAMPIN, 45
DEATHT, 30
DSAFE, 45
DTIME, 12
DTSCAL, 13
ELASTIC, 25
ELEMENTS_SET, 21
ELEMENTS, 21
ELEMENT ← ELEMENTS_SET, 22
ELEMENT ← TRACK, 18
ENDTM, 10
FIXED_CONDITION, 34
FORCE, 38
FREQ, 16
FRICTION, 43
GEOMETRICAL_PROPERTY, 24
MATERIALS, 23
MATERIAL_PROPERTY, 25
MATERIAL, 23
MITER, 13
NCDLT, 13
NLAYR, 24
NODES_SET, 19
NODES, 19
NODE ← FIXED_CONDITION, 34
NODE ← FORCE, 38
NODE ← NODES_SET, 20
NODE ← TRACK, 18
NODE ← VELOCITY_CONDITION, 36
OUTPUT, 15
PARAMETER, 50
PENALTY, 43
POINT, 29
PRESSURE, 40
PROJECT, 8
SENSITIVITY, 45
SET ← FIXED_CONDITION, 35
SET ← FORCE, 39
SET ← PRESSURE, 40
SET ← VELOCITY_CONDITION, 37
STAGE, 9
STAMPING, 11
STRTM, 10
THICKNESS, 24
TIME_INTEGRATION, 12
TIME, 10
TOLEF, 14
TOLEV, 14
TRACK, 17
VELOCITY_CONDITION, 36
VISCOSITY, 30
YIELD_CRITERION, 25
YIELD_FUNCTION, 27