

# PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu.

## 303 506

(19)  
ČESKÁ  
REPUBLIKA



ÚŘAD  
PRŮMYSLVÉHO  
VLASINICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2002-1234**  
(22) Přihlášeno: **08.04.2002**  
(30) Právo přednosti: **10.04.2001** US 09/829704  
(40) Zveřejněno: **13.11.2002**  
(Věstník č. 11/2002)  
(47) Uděleno: **13.09.2012**  
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: **24.10.2012**  
(Věstník č. 43/2012)

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:  
**G05B 13/04** (2006.01)  
**C03B 9/00** (2006.01)  
**C03B 9/16** (2006.01)  
**C03B 9/41** (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:

DE 4416364 A; US 4364764 A; EP 0873975 A; US 4338116 A; EP 0850862 A; EP 0598981 A; US 4783746 A.

(73) Majitel patentu:

EMHART GLASS S. A., A SWISS CORPORATION,  
Cham, CH

(72) Původce:

Simon Jonathan S., Pleasant Valley, CT, US

(74) Zástupce:

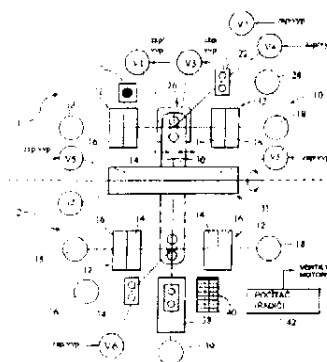
Hák, Janeček & Švestka, Patentová a známková  
kancelář, RNDr. Roman Hák, U Průhonu 5, Praha 7,  
17000

(54) Název vynálezu:

**Způsob řízení IS stroje na tvarování skla s  
ohledem na optimalizaci procesu tvarování skla**

(57) Anotace:

Způsob řízení IS stroje je založen na počítačovém modelu matematického vyjádření síťového schématu podmínek rozvinutého procesu tvarování láhve, kdy se uvedený počítačový model analyzuje jakožto omezený optimalizační problém a stanoví se, zda je optimalizovaný rozvinutý proces tvarování láhve proveditelný, a dále se určí jakékoliv aktivní podmínka, která omezuje další optimalizaci rozvinutého procesu tvarování láhve, přičemž se užijí následující vstupní parametry: a) trvání pohybu každého z mechanismu, b) trvání dílčích pohybů alespoň jednoho z mechanismu, c) čas taktu stroje, d) čas v rozvinutém procesu tvarování láhve, kdy začne přemístění každého z mechanismu a bude zapnut a vypnut každý ventil, e) trvání procesu tvarování za tepla, f) limity trvání pohybu "N" mechanismu, g) limity trvání "N" procesu tvarování za tepla, h) limity trvání "N" kolizních větví, i) limity trvání "N" sekvenčních větví, a výstupní parametry modelu se pak užijí pro vytvoření řídicí instrukce pro efektivní výrobní proces stroje na tvarování skla.



CZ 303506 B6

## Způsob řízení IS stroje na tvarování skla s ohledem na optimalizaci procesu tvarování skla

### Oblast techniky

Vynález se týká stroje s individuálními sekcemi (IS stroje) na tvarování skla, konkrétně řízení tohoto stroje.

### Dosavadní stav techniky

První stroj s individuálními sekcemi (IS stroj) byl patentován patenty Spojených států 1843159 z 2. února 1932 a 1911119 z 23. května 1933. IS stroj obsahuje skupinu totožných sekcí. Každá sekce má rám, na němž je připevněna skupina sekčních mechanismů včetně mechanismu pro otvírání a zavírání přední formy a konečné formy, mechanismu pro převracení ústí, mechanismu závěrové hlavy, foukací hlavy, razníku a odběrového mechanismu. S těmito mechanismy je spojen přívod provozního vzduchu, který se používá např. pro chlazení. Jednotlivé sekční mechanismy a provozní vzduch je třeba regulovat ve zvolenou dobu sekčního cyklu.

V původním IS stroji musela být zařízení (např. ventily řídicí jednotlivé mechanismy a provozní vzduch) při každém cyklu mechanicky zapínána a vypínána a proces načasování byl ovládán řídicím bubnem v cyklu 360°. Jednalo se o buben válcového tvaru se skupinou kruhových zářezů, po jednom pro každý ventil, přičemž každý z nich pracoval se zářezkami pro zapnutí a vypnutí odpovídajícího spínače spojeného s příslušným ventilem. Otočení tohoto mechanického řídicího bubnu o 360° se vždy shodovalo s dokončením řídicího cyklu stroje nebo jedné sekce a odborníci proto vždy analyzovali výkon stroje v tzv. „sbaleném“ cyklu, tzn. cyklu, který se periodicky opakuje od 0° do 360°. Když mechanický řídicí buben nahradilo elektronické řízení, byla zařízení zapínána a vypínána elektronickým sekvenčním řadičem, který kopíroval sbalený řídicí cyklus mechanického řídicího bubnu o periodě 360°. Kodér vymezoval kruhové umístění elektronického sekvenčního řadiče, elektronické spínače byly zapínány a vypínány ve stejných úhlech jako u mechanického řídicího bubnu. Zásadním objevem, který značně posílil možnosti elektronického sekvenčního řadiče byla myšlenka termodynamických režimů (patent Spojených států 3877915), kdy byly skupiny těchto elektronických spínačů spojeny tak, že mohly být nastavovány současně. Tyto přístrojové řadiče umožňují uživateli elektronicky nastavovat program zapnutí a vypnutí (úhel) různých ventilů, které ovládají sekční mechanismy. Tento zavedený přístup neumožňuje operátorovi přímo řídit stroj s cílem dosáhnout požadovaných dob tvarování (např. kontaktu s přední formou, doby prohřívání). Neumožňuje ani prevenci nastavení neplatných nebo dokonce potenciálně nebezpečných posloupností, při nichž se může mechanismus porouchat. Jen se značnými zkušenostmi a znalostmi postupu může obsluha užitím běžného přístupu správně nastavit načasování stroje, a protože se stupeň dovedností operátorů značně různí, může také silně kolísat výkonost stroje.

### Podstata vynálezu

Cílem vynálezu bylo vytvořit zdokonalený řídicí systém IS stroje na tvarování skla, který zjednoduší obsluhu stroje a umožní dosažení vyšší produktivity stroje.

Předmětem vynálezu je konkrétně způsob řízení IS stroje na tvarování skla, kterýžto stroj obsahuje přední stanici pro vytváření baňky z dávky skloviny, mající několik mechanismů, konečnou stanici pro tvarování láhve z baňky, mající několik mechanismů, dávkovací systém včetně stříhacího mechanismu pro dodávání dávky do formy přední stanice, mechanismus pro přenos baňky z přední stanice do formy konečné stanice a mechanismus odběrače pro odstranění láhve z konečné stanice, kde stroj má nastavený takt stroje; každý z mechanismů pracuje v cyklech během jednoho taktu stroje; trvání každého přemístění každého z mechanismů lze stanovit; mezi drahami

pohybu dávky, baňky, láhve a jednotlivých mechanismů existují interference; alespoň jedno přemístění alespoň jednoho mechanismu je rozděleno na alespoň dva dílčí pohyby, které určují místo interference mezi dávkou, baňkou, láhví a dalším mechanismem; tvarování za tepla baňky a láhve zahrnuje předem stanovený počet procesů tvarování za tepla o konečném trvání probíhajících během jednoho taktu stroje, alespoň po dobu jednoho procesu konečného trvání je zapnutím 5 přívodního ventilu a potom jeho vypnutím během jednoho taktu stroje dodáván provozní vzduch; zahájení přemístění každého mechanismu a zapnutí a vypnutí přívodního ventilu jsou řízené událostmi, které začínají ve zvoleném pořadí, a kde rozvinutý proces tvarování láhve, kdy je dávka skloviny odštířena ze žlabu se sklovinou, dávka je pak vytvarována ve formě přední stanice do 10 baňky, baňka je ve formě konečné stanice vytvarována do láhve a láhev je pak z konečné stanice odstraněna, trvá dle než dokončení jednoho taktu stroje, přičemž tento způsob řízení zahrnuje kroky, kdy se počítačový model matematického vyjádření síťového schématu podmínek rozvinutého procesu tvarování láhve analyzuje jakožto omezený optimalizační problém a stanoví se, zda je optimalizovaný rozvinutý proces tvarování láhve proveditelný, a dále se určí jakákoliv aktivní 15 podmínka, která omezuje další optimalizaci rozvinutého procesu tvarování láhve, přičemž se užijí následující vstupní parametry; a) trvání pohybu každého z mechanismů, b) trvání dílčích pohybů alespoň jednoho z mechanismů, c) čas taktu stroje; d) čas v rozvinutém procesu tvarování láhve, kdy začne přemístění každého z mechanismů a bude zapnut a vypnut každý ventil, e) trvání procesů tvarování za tepla, f) limity trvání pohybu „N“ mechanismů, g) limity trvání „N“ procesů 20 tvarování za tepla, h) limity trvání „N“ kolizních větví, i) limity trvání „N“ sekvenčních větví, a výstupní parametry modelu se pak užijí pro vytvoření řídicí instrukce pro efektivní výrobní proces stroje na tvarování skla (viz obr. 20).

Další cíle a výhody vynálezu budou objasněny v následující části popisu pomocí příkladů a doprovodných výkresů, které znázorňují výhodné provedení představující principy vynálezu. 25

#### Přehled obrázků na výkresech

30 Na obrázku 1 je schematické znázornění jedné sekce IS stroje, který může mít jednu nebo větší počet takovýchto sekcí.

Na obrázku 2 je první část síťového schématu podmínek pro postup výroby s dvojitým foukáním.

Na obrázku 3 je druhá část síťového schématu podmínek pro postup výroby s dvojitým foukáním.

Na obrázku 4 je třetí část síťového schématu podmínek pro postup výroby s dvojitým foukáním.

35 Na obrázku 5 je čtvrtá část síťového schématu podmínek pro postup výroby s dvojitým foukáním.

Na obrázku 6 je pátá část síťového schématu podmínek pro postup výroby s dvojitým foukáním.

Na obrázku 7 je šestá část síťového schématu podmínek pro postup výroby s dvojitým foukáním.

Na obrázku 8 je sedmá část síťového schématu podmínek pro postup výroby s dvojitým foukáním.

Na obrázku 9 je osmá část síťového schématu podmínek pro postup výroby s dvojitým foukáním.

40 Na obrázku 10 je model sítě pro matici výskytu větve.

Na obrázku 11 je výčet načasování událostí pro elektronický řadič cyklu 360°, který řídí sekci IS stroje.

Na obrázcích 12A a 12B jsou síťová schémata používaná pro tzv. rozvinutí sbaleného cyklu.

45 Na obrázku 13 je blokové schéma znázorňující vytvoření počítačového modelu matematického vyjádření síťového schématu podmínek vytvořeného rozvinutím ze sbaleného cyklu.

Na obrázku 14 je blokové schéma znázorňující část počítačového modelu, který převádí úhly sbalených událostí na časy rozvinutých událostí.

Na obrázku 15 je blokové schéma znázorňující řízení užitím počítačového modelu pro analýzu rozvinutého schématu porušení podmínek, např. narušení pořadí, kolize nebo doby trvání.

Na obrázku 16 je blokové schéma znázorňující řízení užitím počítačového modelu pro analýzu rozvinutého schématu pro vymezení trvání procesů tvarování za tepla.

5 Na obrázku 17 je blokové schéma znázorňující řízení užitím počítačového modelu pro analýzu rozvinutého schématu pro optimalizaci programu.

Na obrázku 18 je blokové schéma znázorňující řízení užitím počítačového modelu pro vymezení úhlů události pro proveditelný program v procesu tvarování za tepla s „N“ vstupy.

10 Na obrázku 19 je blokové schéma znázorňující řízení užitím počítačového modelu pro optimalizaci rozvinutého programu.

Na obrázku 20 je blokové schéma znázorňující řízení užitím počítačového modelu k identifikaci veškerých aktivních omezujících podmínek bránících dalšímu zdokonalení, pokud je program stanoven jako proveditelný.

15 Na obrázku 21 je blokové schéma znázorňující obsluhu řízení užitím počítačového modelu pro minimalizaci opotřebení přemístitelných mechanismů.

#### Příklady provedení vynálezu

20 Specifický příklad provedení vynálezu, tj. způsob řízení IS stroje na tvarování skla s ohledem na možné kolize mechanismů stroje, který bude dále podrobněji vysvětlen, je schematicky znázorněn na obr. 19.

25 IS stroj (viz obr. 1) má několik (obvykle 6, 8, 10 nebo 12) sekcí 10. Každá sekce 10 obsahuje přední stanici 1 s formou (přední formou) včetně mechanismu 12 pro otvírání a zavírání formy s protilehlými podpěrami 14 formy, které drží obě poloviny přední formy. Když jsou tyto podpěry 14 formy uzavřeny vhodným přemístovacím mechanismem 16, který může přesunovat podpěru 14 formy mezi otevřenou (znázorněnou) a uzavřenou polohou a který je ovládán motorem 18, např. servomotorem, mohou být do uzavřené přední formy dodány jednotlivé dávky skloviny. 30 Otevřená horní část přední formy pak bude uzavřena závěrovou hlavou pomocí mechanismu 22 závěrové hlavy, která může působením motoru (např. servomotoru) 24 měnit polohu mezi vzdálenou a předsunutou polohou. Pracuje-li sekce 10 v režimu s lisováním a foukáním, je píst mechanismu razníku 26 vtačen svisle vzhůru do dávky skloviny, čímž vznikne baňka. Chladicí vzduch bude dodáván do razníku 26 přes ventil V1. Pracuje-li sekce v režimu s dvojím foukáním, provádí se dokončení nastavením vyfukovaného vzduchu přes ventil V2 do mechanismu 22 závěrové hlavy, přičemž baňka vznikne působením předfuku na razník 26 přes ventil V3 a současném působení podtlaku na závěrovou hlavu přes ventil V4. 35

40 Po vytvoření baňky je podpěra razníku stažena, jsou staženy i podpěry 14 formy a dvojice ramen držáků 30 ústí formy, které jsou otáčivě podpírány obracecím mechanismem 31, budou otočeny servomotorem 32 o 180°. Přední forma také obsahuje mechanismus 12 pro otvírání a zavírání formy s protilehlými podpěrami formy 14, které nesou obě poloviny přední formy. Tyto podpěry formy 14 se pomocí vhodného přemístovacího mechanismu 16, který je řízen motorem 18, např. servomotorem, přesunují mezi uzavřenou a otevřenou polohou. Když je baňka umístěna ve formě 45 konečné stanice 2 (tj. konečné formě), podpěry 14 formy se uzavřou, ramena ústí formy se otevřou a uvolní baňku (každá z ramen lze přesunout pneumatickým válcem (není znázorněn) řízeným vhodným ventilem V5), přičemž mechanismus 31 pro převrácení vrátí ramena ústí formy do přední formy (ramena se před tím uzavřou). Podpěry 34 foukací hlavy, které mění polohu mezi zataženou a předsunutou, přičemž foukací hlava s podpěrami 34 uzavírá konečnou formu, 50 se přemístí za pomoci vhodného motoru, např. servomotoru 36, do předsunuté polohy tak, aby vyfoukla baňku do tvaru láhve. Tento dofuk je řízen ventilem V6.

Když je láhev hotova, je foukací hlava stažena, foukací (tj. konečné) formy se otevřou a mechanismus odběrače 38, poháněný vhodným motorem 39, např. servomotorem, je přemístěn tak, aby mohl uchopit vytvořenou láhev a přenést ji do místa nad odstávkovou deskou 40, kde je při zavěšení ochlazena, a pak odložena na desku 40. Kromě pohybu mechanismů a zařízení lze také regulovat přívod provozního vzduchu do pohyblivých nebo stacionárních mechanismů. Když se konečné formy uzavřou, vzduch chladící formu se obrátí tak, aby chladil vzniklou láhev.

Každá sekce 10 je řízena počítačem 42, který pracuje pod vedením řídicího bubnu s cyklem  $360^\circ$  (programovatelného sekvenčního řadiče), jenž určuje konečný počet úhlových intervalů vzhledem k bubnu, v nichž se mohou při každém otočení o  $360^\circ$  zapínat a vypínat řídicí mechanismy atd. Při řízení je znám čas, jaký trvá otočení o  $360^\circ$ , přičemž tuto dobu lze nastavit nebo definovat jako dobu mezi impulsy jednou za cyklus, např. mezi impulsy vycházejícími z dávkovače sekčního stroje. Každý ventil V1, V2, V3, V4, V5, V6 se cyklicky zapíná a vypíná, přičemž každý mechanismus 5, 12, 16, 22, 30, 31, 34, 38 je v průběhu cyklu zapínán a vypínán elektronickým řídicím bubnem (programovatelným sekvenčním řadičem), jenž je součástí počítače 42.

Podle vynálezu je nejprve vytvořením schématu podmínek rozvinutého cyklu definován nástroj pro konstrukci skutečného IS stroje, a pak je sestaven matematický model podmínek rozvinutého cyklu, který může být ve formě počítačového modelu 64 užít k automatickému řešení řízení IS stroje. „Rozvinutý“ cyklus (proces) znamená provozní cyklus sekčního stroje, začínající oddělením dávky skloviny ze žlabu se sklovinou a končící odebráním vzniklé láhve z konečné formy. Celý tento provozní cyklus je delší než jeden strojní cyklus o délce  $360^\circ$  řídicího bubnu (v běžném případě 2 strojní cykly o délce  $360^\circ$ ).

Obrázky 2 až 9 znázorňují možné síťové schéma podmínek pro modelový proces výrobního způsobu s dvojitým foukáním pro výrobu skleněných láhví v IS stroji. Cyklu začíná odštíhnutím, které představuje časový uzel z1 („z“ a „n“ označují časový uzel). Dodání dávky/M13 (blok obsahující „M“ představuje činnost, která se bude pohybovat mezi počáteční a koncovou polohou, přičemž směr pohybu je označen šipkami) začíná na z1 a končí na n177/e26/n6) (svisle orientované rovnítko označené „e“ spojující dva uzly označuje, že se dva spojené uzly vyskytují současně). Pohyb Dodání dávky/M13 je dále rozdělen na dva dílčí pohyby: 1. Dávka v kolizní oblasti se závěrovou hlavou/m2 (blok označující „m“ představuje dílčí pohyb), který začíná na z1/e1/n3 a končí na n4; 2. Dávka přechází přes přední formu/m3, který začíná na n4/e2/n5 a končí na n6.

Uzel z1 (odštíhnutí) má také další větev Proces jako celek/d13, který začíná na z1/e79/n175 a končí na n176/e78/n84 (obrázek 9). Odvozené větve jsou označeny elipsami s písmenem „D“ a znázorňují doby trvání tepelných procesů, které jsou definovány jako funkce událostí stroje.

Obrázek 2 také ukazuje, že krok Razník v zaváděcí poloze/MP1 („P“ znamená předchozí cyklus) musí být proveden na n13. Uzel n13 je čas, kdy byl v průběhu předcházejícího cyklu dokončen pohyb Razník v zaváděcí poloze/M1 v n15. To znázorňuje cyklická časová větev (obrázek 6), která spojuje n13 a n15. Razník obsahuje nezávisle se pohybující podpěru, přičemž na konci kroku Razník v zaváděcí poloze/M1 je podpěra i razník nahoře. Uzel n177, tj. konec Dodání dávky/M13 musí být situován v určité době (s2) („s“ po straně sousedních směrových šipek znamená určitou dobu (podmíněné pořadí), která uplyne mezi spojenými uzly) po n13.

Obrázek 2 také znázorňuje uzel n20, což je doba, kdy byl v předcházejícím cyklu t2 dokončen krok Závěrová hlava vypojena/MP15. To je označeno časovou větví cyklu t2, která je spojena s uzlem n22 (obrázek 4), což je čas, kdy je v následujícím cyklu ukončen krok Závěrová hlava vypojena/M15. Uzel n20 je spojen s n1, kdy je v určité dobu (s22) pro n20 zahájen krok Závěrová hlava zapojena/M14, tj. krok Závěrová hlava vypojena/M15. Větev pohybu Závěrová hlava zapojena/M14 končí v uzlu n93. Pohyb závěrové hlavy se rozděluje na dva dílčí pohyby: Závěrová hlava se pohybuje směrem k interferenci s dávkou/m4, který začíná na n1/e27/n7 a končí na n8, a Zapojení závěrové hlavy dokončeno/m5, který začíná na n8/e3/n9 a končí na n10/n28/n93.

Znázorněna je také kolizní větev Závěrová hlava v kolizi s dávkou/c1 (kolizní větve jsou znázorněny klikatou čarou označenou „c“) spojující uzly n4 a n8. To znamená, že aby s jistotou nedošlo k srážce, musí být dávka v n4 dříve nebo ne později, než závěrová hlava dojde do n8.

5 Obrázek 2 také znázorňuje uzel n40, který odpovídá času, kdy dojde ke kroku Přední formy se zavírají/MP9 posledního cyklu (n40 je spojen s uzlem n55 na obrázku 6, což je konec kroku Přední formy se zavírají/M9 stávajícího cyklu, přičemž t1 označuje cyklický rozdíl). Krok Přední formy se zavírají/MP9 byl dokončen v n40, což je určitou dobu (s21) před zahájením kroku Dávka přechází přes přední formu/m3 v n5.

10 Když je dávka plně dodána do předních forem, začne v n177/e24/n26 Kontakt s přední formou/d1 (obrázek 3), který pokračuje až do n25/e25/n28, kdy nastává krok Přední formy se otevírají/M5. Před krokem Kontakt s přední formou/d1 v čase n5/e63/n183 (v čase, kdy začíná krok Dávka přechází přes přední formu/m3) se otevře podtlakový ventil, čímž zahájí větev procesu Využití podtlaku/p13 (větve procesu jsou označeny elipsami, obsahujícími písmeno „P“). Využití podtlaku/p13 bude pokračovat až do n182, kdy se podtlakový ventil uzavře. To znamená, že když bude dávka přecházet přes přední formu, bude působit přes ústní formu podtlak (před ukončením přesunu razníku do zaváděcí polohy) tak, aby dávka mohla být vtažena do ústní části přední formy a do ústní formy.

20 V uzlu n12, což je určitý čas (s5) po dodání dávky (n177) a určitý čas (s3) po zapojení závěrové hlavy (n10), se otevře ventil na stlačený vzduch, aby zahájil Nastavení foukání/p1, které končí v uzlu n11/e73/n21/e68/n155 uzavřením ventilu na stlačený vzduch. Když Nastavení foukání/p1 skončí, začne krok Ventilace nastavení foukání/p10, který skončí v uzlu n19, a krok Kontakt s ústní formou/d8, který skončí v n154/e69/n113 krokem Otevření ústní formy/m21 (obrázek 5). To znamená, že při dokončení regulace foukání bude dávka ve styku s ústní formou a po dobu otevření ústních forem bude z dávky odebíráno teplo. Krok Závěrová hlava dole/M2 (obrázek 2) začne na n69, určitou dobu (s1) po n11, a skončí v n35 (uzavře se vrchol přední formy pro předfuk). V uzlu n172 (obrázek 3), což je určitá doba s10 po n177, když je dávka plně naložena do předních forem, a v další dobu s11 po Ochlazování přední formy/p7 dokončeném v n173 v minulém cyklu (t11) začne otevřením ventilu Ochlazování přední formy/p7, které bude probíhat až do n171, kdy se ventil uzavře.

35 V uzlu n156 (obrázek 3) v čase s40 po skončení kroku Využití podtlaku/p13 v n182 a čase s7 po n19, kdy je dokončen krok Ventilace nastavení foukání/p10, je proveden krok Razník se přemístí do polohy předfuku/M3 (ze skla je stažena podpěra), přičemž tento proces končí v n70 a současně (n156/e70/n158) se sklo v oblasti dokončení, kdy je v plném kontaktu s formami, bude prohřívát (Prohřívání ústí/d9) až do n157/e71/n160, což je určitý čas (s39) po n70 a určitý čas (s36) po n35 (konec kroku Závěrová hlava dole/M2). V n160 začne Předfuk/p11 otevřením ventilu a bude pokračovat až do okamžiku n159/e80/n181, kdy se otevře ventil otvírající otvor v závěrové hlavě, umožňující zahájení procesu Ventilace předfuku/p12. Tento proces končí na n180. V čase n148, určitou dobu (s38) po n159, je proveden krok Razník (se přemístí) do převrácené polohy/M4, kde je podpěra i razník v poloze dole (to trvá až do n147).

45 V n149/e66/n151, určitou dobu (s37) po dokončení Ventilace předfuku/p12 v n180, začínají současně následující kroky:

1. Prohřívání spodní části baňky/dý trvajících až do n150/e651.

50 2. Závěrová hlava vypojena/M15 (obrázek 4), který trvá až do n22/e30/n33. Krok Závěrová hlava vypojena/M15 lze rozdělit do dvou dílčích pohybů; první je Vypnutá závěrová hlava uvolňuje interferenci s mechanismem pro převrácení/m11, který začíná na n149/n29/n32 (obrázek 3) a končí na n32/e7/n34, a druhý je Dokončení vypojení závěrové hlavy (po interferenci)/m12, který začíná a n34 a končí na n33. V uzlu n28 (obrázek 3), určitou dobu (s8) po n149, proběhnou současně následující události:

1. Přední formy se otevírají/M5, končící v n27 (obrázek 4), přičemž spodek buňky zůstává na dolní desce přední formy.

2. Prohřívání (baňky)/d4 začíná v čase n28/e15/n29 (obrázek 4) a pokračuje až do n61/e16/n30 (obrázek 6) (určitou dobu, s15, po dokončení pohybu Foukací hlava zapojena/M18 v n101), kdy začíná Dofuk/p2 (obrázek 7) končící v n63 a

3. Prohřívání v převrácené poloze/d3, začínající v n28/e8/n38 (obrázek 3) a pokračující až do n37/e9/n39 (obrázek 5), což odpovídá dokončení kroku Převrácení/M6, který začíná v n24. V uzlu n36 (obrázek 5), určitou dobu po n37, bude prohřívání pokračovat s převrácenou baňkou (Obnovení převrácení baňky/p4) až do n17. Pohyb v převrácené poloze je rozdělen na řadu dílčích pohybů. Přemístění mechanismu pro převrácení (n24/e53/n153) (obrázek 4) začíná dílčím pohybem Mechanismus pro převrácení se přesune k interferenci se závěrovou hlavou/m40, který končí v čase n152/e67/n125. Další dílčí pohyb je Přesun do interference mechanismu pro převrácení se závěrovou hlavou k interferenci s foukací hlavou/m32, který končí v čase n124/n52/n127. Další dílčí pohyb, jímž je Mechanismus pro převrácení se z interference s foukací hlavou přesun k interferenci s odběračem 1/m3, končí v n26/e60/n140, když se Mechanismus pro převrácení přesune k interferenci s odběračem 2/m33, což končí v n139/e61/n142. Další dílčí pohyb je Mechanismus pro převrácení se přesune k interferenci s odběračem 3/m38, který začíná v n142 a končí v n141/e54/n129. Nakonec se uskuteční krok Dokončení pohybu mechanismu pro převrácení/m35 (obrázek 5), začínající v N129 a končí v n128/e55/n39.

Je vymezena řada kolizních větví, např. Rzník v kolizi s mechanismem pro převrácení/c2 (obrázek 3), když se rzník nepřemístí do polohy mechanismu pro převrácení, než se mechanismus pro převrácení začne pohybovat (čas n147 a čas n24). Když se přední formy M5 nepřepnou do otevřené polohy před zahájením pohybu mechanismu pro převrácení (čas n27 a čas n24), bude proveden krok Přední formy v kolizi s mechanismem pro převrácení/c3 (obrázek 4). Je znázorněna řada dalších kolizí: Závěrová hlava v kolizi s mechanismem pro převrácení/c4, když závěrová hlava m11 dosáhne zvoleného bodu před n24, a Závěrová hlava v kolizi s mechanismem pro převrácení/c18, když závěrová hlava m11 dojde do své plně vypnuté polohy před n152, kdy mechanismus pro převrácení dospěje k vnějším okrajům své oblasti interference se závěrovou hlavou. Rozdělením oblasti interference na více oblastí může mechanismus dříve zahájit činnost. Foukací hlava a mechanismem pro převrácení se srazí v c12, pokud se krok Foukací hlava zvednuta/M19 (poslední cyklus t4) neuskuteční před tím, než mechanismus pro převrácení dokončí krok Přesun od interference mechanismu pro převrácení se závěrovou hlavou k interferenci s foukací hlavou (čas n23 a čas n124).

Znázorněn je také pohyb odběrače. Odběrač přes interferenci 1/mp13 (obrázek 4), který končí v n143 (poslední cyklus/t7); Odběrač přes interferenci 2/mp24, který končí v n144 (poslední cyklus/t8) a Odběrač přes interferenci 3/mp36 (obrázek 5), který končí v n145 (poslední cyklus/t9). Je stanovena řada kolizí: Odběrač v kolizi s mechanismem pro převrácení/c13 (obrázek 4), dosáhne-li mechanismus pro převrácení Interference1 před odběračem (n143 a n126). Odběrač v kolizi s mechanismem pro převrácení/c17, dosáhne-li mechanismus pro převrácení Interference2 před odběračem (n144 a n139); Odběrač v kolizi s mechanismem pro převrácení/c16, dosáhne-li mechanismus pro převrácení Interference 3 před odběračem (n141 a n145). V n179 (obrázek 4), určitou dobu (s34) po n28, začne otevřením ventilu Chlazení ústní formy/p9, které pokračuje až do n178, což je určitá doba s35 před n24, když se mechanismus pro převrácení/M6 začne pohybovat.

Konečné formy, které se otevřely v čase n14 během posledního cyklu t10 Mp24 (obrázek 4), se začnou zavírat v čase n98/e56/n146, určitou dobu (s17) po n14. Uzavírání má řadu dílčích pohybů: Formy se zavírají na šířku výrobku/m39 (obrázek 5), který začíná v n146 a končí v n109/e62/n85; Formy se zavírají na šířku baňky/m16, což začíná v n85 a končí v n62/e32/n42; Formy se zavírají na přijímací pozici/m14, což začíná v n42 a končí v n41/e10/n44, a Formy se

zcela zavírají/m15, což začíná v n44 a končí v n43/e31/n97 (obrázek 6). Krok Odběrač vybírá výrobek z formy/Mp30 (obrázek 4) musí být proveden v předcházejícím cyklu t3, což dojde ke kroku Formy se zavírají na šířku výrobku/m39, aby se předešlo kolizi odběrače s formami c10 (čas n89 a čas n109). Dále by před uzavřením forem (čas n17 a n62/e32/n42) měl být dokončen krok Obnovení převrácení baňky/p4, jinak dojde ke srážce Baňka v kolizi s formou/c5.

Ústní formy se otevřou, aby uvolnily baňku ve foukací hlavě (Ústní formy se otevírají/M8) (obrázek 5). Tento pohyb, který probíhá od n46 do n45/e44/n112, je rozdělen na dvě části: Opožděné otevření ústní formy/m18, začínající ve stejné době n46/e45/n111 a končící v n110/e43/n113 (určitou dobu, s26, po n41, tj. konci kroku Formy se zavírají do přijímací polohy/m14 a určitou dobu (s25) před ukončením kroku Konečné formy se zavírají/M16 v n97) (obrázek 6), když začíná druhá část (Ústní formy se otevírají/m21). Tato druhá část končí v n112. V případě, že dojde (n49) ke kroku Ústní formy se zavírají/M7) (obrázek 6) před krokem Návrat k ústní formě/Interference s přední formou/m19 (n51), proběhne událost Ústní formy v kolizi s přední formou/c6. V n100 (obrázek 5), určitou dobu (s13) po otevření ústních forem (M8) v n45, bude mechanismus pro převrácení přemístěn zpět do své původní polohy (Návrat/M17). Návrat je dokončen v n99/e34/n53. Návrat se skládá ze tří dílčích pohybů: 1. V n100/e33/n48 začíná krok Návrat uvolňuje interferenci s foukací hlavou/m17, končící v n47/e12/n52, po němž následuje 2. Návrat k ústní formě/Interference s přední formou, který končí v n51/e13/n54, a 3. Dokončení návratu/m20, končící v n53/e34/n99. Od n50, což je určitou dobu (s14) po n100, bude až do n49 probíhat krok Ústní formy se zavírají/M7. Nejsou-li ústní formy uzavřeny před návratem do počátečního místa interference s přední formou (čas n49 a n51), dojde ke kolizi Ústní formy v kolizi s přední formou/c6.

V čase n102 (obrázek 5), určitou dobu (s23) po n23, bude probíhat pohyb Foukací hlava zapojena/M18 (obrázek 6), který skončí v n101/e36/n59. Jde o dvoufázové přemístění, které začíná krokem Přesun foukací hlavy k interferenci s návratem/m22, které začíná v n102/e35/n58 a končí v n57. V případě, že před krokem Přesun foukací hlavy k interferenci s návratem nedojde ke kroku Návrat uvolňuje interferenci s foukací hlavou, proběhne krok Návrat v kolizi s foukací hlavou/c8 (n57 a n47). Poslední část přemístění foukací hlavy je Dokončení zapojení foukací hlavy/m23, začínající v n57/e14/n60 a končící v n59.

V n56 začne krok Přední formy se zavírají/M9 (obrázek 6), který pokračuje až do n55. Nebude-li před zahájením kroku Přední formy se zavírají/M9 v n56 dokončen krok Návrat/M17 v n99, proběhne krok Návrat v kolizi s předními formami/c7. V n16, určitou dobu (s6) po n99, dojde k přemístění Razník do zaváděcí polohy/M1, které skončí v n15.

Pozice n30/n17/n66 (obrázek 7) je začátkem kroku Kontakt s formou/d5 (obrázek 8), který končí v n65/e18/n68, a kroku Dofuk/p2, který končí v n63. Uzel n30/e11/n165 představuje také konec Vedení foukání při podtlaku/d12, které začíná v n166/e77/n168. V n168 také začíná Foukání při podtlaku/p5, které končí v n167, určitou dobu (s29) před n68/e18/n65 (obrázek 8), čímž je ukončen Kontakt s formou/d5. Kroky Vedení foukání při podtlaku/d12 a Foukání při podtlaku/p5 začínají v n168/e77/n166 (obrázek 6), určitou dobu (s9) po n97. V n91, určitou dobu (s27) po ukončení kroku Konečné formy se zavírají/M16 v n97, začne krok Chlazení konečné formy/p3 (obrázek 8), který pokračuje až do n90, určitou dobu (s30) před koncem (n65/e18/n68) kroku Kontakt s formou/d5. Navíc ve stejnou dobu n91/e74/n162 začne krok Přípravné chlazení konečné formy/d11 (obrázek 6), probíhající až do n161/e75/n30/e16/n61, což je také konec Prohřívání/d4. Krok Konec chlazení/p6 (obrázek 7) začíná v n170, určitou dobu (s31) po ukončení pohybu Foukací hlava zapojena/M18 v 101, a končí v n169.

V n104 (obrázek 7), určitou dobu (s32) po skončení kroku Konec chlazení/p6 v n169, začíná krok Foukací hlava nahore/M19, končící v n103/e38/n73. Tento pohyb lze rozdělit na řadu dílčích pohybů:



1. Foukací hlava nahoře do konce dofuku/m41, který začíná v n104/e76/n164 a končí v n163, určitou dobu (s20) před n63 (konci Dofuku/p2),
- 5 2. Foukací hlava uvolňuje interferenci 1 s odběračem/m25, který začíná v n163/e37/h72 a končí v n71,
3. Foukací hlava nahoře uvolňuje interferenci 2 s odběračem/m7, který začíná v n71/e21/n95 a končí v n92,
- 10 4. Foukací hlava nahoře uvolňuje interferenci 3 s odběračem/m8, který začíná v n92/e5/n96 a končí v n94 (obrázek 8) a
5. Dokončení kroku foukací hlava nahoře/m26, který začíná v n94/e6/n74 a končí v n73.

15 Krok Nůžky se otevírají MP12 (obrázek 6) je ukončen v n86 (předcházejícího cyklu t5) a určitou dobu (s28) poté, v n119, začíná krok Zpětný náraz (pohotovostní poloha odběrače)/M22, který končí v n118. V n106, určitou dobu (s24) po n118, začíná krok Odběrač dovnitř/M20, končící v n105. Pohyb odběrače se skládá z řady dílčích pohybů:

- 20 1. Odběrač dovnitř směrem k interferenci 1 s foukací hlavou/m27, který začíná v n106/e39/n76 a končí v n75;
2. Odběrač dovnitř směrem k interferenci 2 s foukací hlavou/m9, který začíná v n75/e22/n117 a končí v n166;
- 25 3. Odběrač směrem k interferenci 3 s foukací hlavou/m10, který začíná v n116/e19/n132 a končí v n131 a
4. Dokončení kroku odběrač dovnitř/m28, který začíná v n131/e20/n78 a končí v n77/e40/n105 (obrázek 8).
- 30

Je stanovena skupina kolizí:

1. Foukací hlava v kolizi s odběračem/c9, k níž dojde, bude-li n75 před n71;
- 35 2. Foukací hlava v kolizi s odběračem/c14, bude-li n116 před n92 a
3. Foukací hlava v kolizi s odběračem/c15 (obrázek 8), bude-li n131 před n94.

V n80, určitou dobu (s18) po n105 (konci kroku Odběrač uvnitř/M20) proběhne krok Nůžky se zavírají/M11, končící v n79/e51/n120. V n68 začíná krok Přední formy se otevírají/M10, který končí v n67/e50/n122. Tento pohyb se skládá z řady dílčích pohybů:

1. Formy se otevírají k bodu uvolnění/m29, který začíná v n68/e49/n121 a končí v n120/e4/n64;
2. Formy se otevírají k odběru výrobku/m6, který začíná v n64 a končí v n130/e48/n123 a
- 45 3. Dokončení otevírání forem/m31, který začíná v n123 a končí v n122/e50/n67.

V n108, určitou dobu (s19) po n79/M11 a kroku Nůžky se zavírají/M11, proběhne krok Odběrač ven/M21, který skončí v n107 (obrázek 9). Tento pohyb se skládá ze skupiny dílčích pohybů:

- 50 1. Odběrač ven přes interferenci 1/m13, který začíná v n108/e41/n138 a končí v n133;
2. Odběrač vybírá výrobek z formy/m30 (obrázek 9), který začíná v n133/e57/n82 a končí v n81;

3. Odběrač ven přes interferenci 2/m24, který začíná v n81/e23/n135 a končí v n13;
4. Odběrač ven přes interferenci 3/m36, který začíná v n13/e58/n137 a končí v n136 a
5. Dokončení kroku odběrač ven/m37, který začíná v n136/e59/n88 a končí v n87/e42/n107.

5

Proběhne-li n82 před n130, dojde ke srážce Formy v kolizi s odběračem/c11.

10 Nakonec, při uzavření kroku Odběrač ven/M21 (n107/e46/n115) bude až do n114 probíhat Chlazení při zavěšení nad odstávkovou deskou/d6. V n174, určitou dobu (s12) po n107, se uskuteční krok Zvýšení vzhledem k odstávkové desce/p8, trvajícím do n18. Určitou dobu (s33) poté, v n84/e78/n176/e47/n114 skončí kroky Proces jako celek/d13, Chlazení při zavěšení nad odstávkovou deskou/d6 a Nůžky se otevírají/M12, končící v n83.

15 Pro větší názornost byla popsána jedna specifická konstrukce stroje pro dvakrát foukací způsob výroby, je však třeba mít na paměti, že existuje velké množství provozních sestav, s nimiž uživatelé pracují včetně dvakrát foukacího a lisofoukacího způsobu výroby a všichni uživatelé si vypracovali specifické postupy, které se navzájem mírně odlišují. Odborník v oboru, který rozumí zde vysvětlené konstrukci, by měl být schopen definovat síťové schéma podmínek pro svou vlastní sestavu.

20

Další krok spočívá v převodu tohoto síťového schématu podmínek na model, který bude ideální pro automatizovanou formulaci a řešení plánované syntézy a analýzy problémů počítačem. V preferovaném provedení se používá maticový algebraický model síťového schématu podmínek. Lze však také využít jiných forem matematického modelování. Následovně lze formulovat

25

„Matici výskytu větve“ F:

1. Očíslujte větve v síťovém schématu podmínek od 1 do  $M_b$ , kde  $M_b$  je celkový počet větví sítě. Pořadí přidělování čísel větvím je volitelné.
- 30 2. Očíslujte uzly v síťovém schématu podmínek od 1 do  $N_n$ , kde  $N_n$  je celkový počet větví sítě. Pořadí přidělování čísel větším je libovolné.
3. Vytvořte první řádek matice F s  $M_b$  řádky a  $N_n$  sloupci zapsáním hodnoty 1 (plus jedna) do sloupce odpovídajícího výchozímu uzlu pro první větev a hodnoty -1 (minus jedna) do sloupce odpovídajícího cílovému uzlu pro první větev, do ostatních sloupců se zapíše nuly.
- 35 4. Opakovaným postupem popsaného v kroku 3 vytvořte řádek číslo dvě až řádek s číslem  $M_b$  matice F pro druhou, třetí atd. větev sítě až po větev označenou  $M_b$ .

40

Tak vznikne matice F s  $M_b$  řádky a  $N_n$  sloupci, která bude téměř celá obsahovat nuly, kromě vždy jedné 1 a jedné -1 v každém řádku.

45

Na obrázku 10 je jako konkrétní příklad uvedeno síťové schéma podmínek pro jednoduchý síťový model. Síť má  $M_b = 7$  větví a  $N_n = 6$  uzlů. Matice výskytu větve F pro tuto síť tedy bude mít 7 řádků a 6 sloupců. Pro tento model, kde budou použita čísla větví a uzlů uvedená na obrázku 3, bude matice F vypadat následovně:

$$F = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (\text{rovnice 1})$$

Každá větev,  $i$ , představuje v síťovém schématu podmínky dvojicí vztahů ve tvaru:

$$5 \quad t_{\text{cilový}, i} - t_{\text{výchozí}, i} \leq \delta_{\text{max}, i} \quad (\text{rovnice 2})$$

$$t_{\text{cilový}, i} - t_{\text{výchozí}, i} \geq \delta_{\text{min}, i} \quad (\text{rovnice 3})$$

Kde:

10  $t_{\text{cilový}, i}$  = čas, přiřazený cílovému uzlu  $i$ -té větve

$t_{\text{výchozí}, i}$  = čas, přiřazený výchozímu uzlu  $i$ -té větve

$\delta_{\text{max}, i}$  = maximální povolené trvání  $i$ -té větve

$\delta_{\text{min}, i}$  = minimální povolené trvání  $i$ -té větve

15 Definujme vektor času  $t$  přiřazeného uzlu, kde  $j$ -tý prvek času  $t$  je čas přiřazený  $j$ -tému uzlu sítě. Označíme-li  $i$ -tý řádek matice výskytu větve  $F$  písmenem  $F_i$ , můžeme rovnice 2 a 3 přepsat následovně:

$$- F_i t \leq \delta_{\text{max}, i} \quad (\text{rovnice 4})$$

20  $- F_i t \geq \delta_{\text{min}, i} \quad (\text{rovnice 5})$

Toto vyplývá ze skutečnosti, že vynásobením  $i$ -tého řádku matice podmínek,  $F_i$ , vektorem času přiřazeného uzlu,  $t$ , získáme pouze čas výchozího a cílového uzlu, protože všechny další hodnoty v řádku budou rovny nule. Hodnota jedna s kladným znaménkem bude podle zavedené konvence 25 přiřazena prvku odpovídajícímu výchozímu uzlu a hodnota minus jedna bude náležet cílovému uzlu.

Protože rovnice 3 a rovnice 4 platí pro každou větev v síti, lze rovnice základní matice podmínek matice rozepsat takto:

30  $F t \leq \delta_{\text{max}} \quad (\text{rovnice 6})$

$$F t \geq \delta_{\text{min}} \quad (\text{rovnice 7})$$

35 Pro větve, u nichž není stanovena horní hranice trvání, je  $\delta_{\text{max}, i}$  nastaveno na plus nekonečno. Analogicky pro větve, u nichž není stanovena žádná dolní hranice trvání, je  $\delta_{\text{min}, i}$  nastaveno na minus nekonečno. Pro větve, které musí splňovat přesně cílovou hodnotu, je horní a dolní hranice nastavena přesně na tuto cílovou hodnotu,  $\delta_{\text{target}, i}$ .

40 Rovnice základní matice podmínek (rovnice 6 a rovnice 7) jsou rozšířeny tak, aby platily pro tři typy dalších podmínek. Jedná se o následující tři typy podmínek:

1. Trvání větve pro všechny větve cyklu musí být stejné. To je třeba k zajištění jednotné periody cyklu v celém systému.

2. Trvání větve pro každou větev dílčího pohybu musí být konstantním zlomkem trvání větve pro odpovídající větev hlavního pohybu.
- 5 3. Absolutní čas události pro jeden uzel v síti musí být nastaven na požadovanou referenční hodnotu (v běžném případě na nulu).

Tyto požadavky lze vyjádřit pomocí dříve definované matice výskytu větve  $F$  následovně:

- 10 Každá větev cyklu musí trvat stejně dlouho jako perioda cyklu,  $T$ , a proto, nezávisle na konkrétní hodnotě periody cyklu musí mít všech  $N_t$  větví cyklu stejné trvání větve. Označme čísla větví odpovídající větvím cyklu množinovým zápisem  $\{i_1, i_2, \dots, i_{N_t}\}$ . Trvání  $k$ -té větve cyklu pak lze vyjádřit jako:

15 
$$-F_{i_k} t = \delta_{i_k} \quad (\text{rovnice 8}),$$

kde  $F_{i_k}$  představuje  $i_k$ -tý řádek matice výskytu větve  $F$ .

- 20 Splnění podmínky jednotného trvání větve je pak zaručeno nastavením trvání každé z větví na hodnotu rovnou trvání první větve cyklu:

$$\begin{bmatrix} -F_{i_2} \\ -F_{i_3} \\ \vdots \\ -F_{i_{N_t}} \end{bmatrix} t = \begin{bmatrix} -F_{i_1} \\ -F_{i_1} \\ \vdots \\ -F_{i_1} \end{bmatrix} t \quad (\text{rovnice 9})$$

Po úpravě získáme:

25 
$$\begin{bmatrix} -F_{i_2} + F_{i_1} \\ -F_{i_3} + F_{i_1} \\ \vdots \\ -F_{i_{N_t}} + F_{i_1} \end{bmatrix} t = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{rovnice 10})$$

Definujme matici  $A_t$  představující levou stranu rovnice 10:

$$A_t = \begin{bmatrix} -F_{i_2} + F_{i_4} \\ -F_{i_3} + F_{i_4} \\ \vdots \\ -F_{i_{N_t}} + F_{i_4} \end{bmatrix} \quad (\text{rovnice 11})$$

Rovnici 10 pak lze ve stručnějším tvaru zapsat jako:

$$A_t t = 0 \quad (\text{rovnice 12})$$

Mění-li se trvání větve pro větev hlavního pohybu, měly by podle toho být upraveny i dílčí větve (pokud existují) související s touto větví.

- 10 K vymodelování této množiny pomocných podmínek je třeba nejdříve definovat způsob zápisu. Označme čísla větví odpovídajících větvím hlavního pohybu (včetně větví, s nimiž jsou spojeny větve dílčího pohybu) množinou  $\{M_1, M_2, \dots, M_{N_m}\}$ , kde  $N_m$  je celkový počet větví hlavního pohybu, s nimiž jsou asociovány větve dílčího pohybu. Označme větve dílčího pohybu asociované s  $k$ -tou větví hlavního pohybu množinou  $\{m_{k1}, m_{k2}, \dots, m_{kN_k}\}$ , kde  $N_k$  je celkový počet větví dílčího pohybu asociovaných s  $k$ -tou větví hlavního pohybu. Trvání každé z větví dílčího pohybu představuje konstantní zlomek trvání asociované hlavní větve. Necht'  $\alpha_{kj}$  označuje tento konstantní zlomek pro  $j$ -tou větev dílčího pohybu asociovanou s  $k$ -tou větví hlavního pohybu.

- 20 Požadovaná množina podmínek asociovaných s  $k$ -tou větví hlavního pohybu může pak být představována rovnicí:

$$\begin{bmatrix} F_{m_{k1}} - \alpha_{k1} F_{M_k} \\ F_{m_{k2}} - \alpha_{k2} F_{M_k} \\ \vdots \\ F_{m_{kN_k}} - \alpha_{kN_k} F_{M_k} \end{bmatrix} t = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{rovnice 13})$$

Definujeme-li matici  $A_{M_k}$ , která bude představovat levou stranu rovnice 13, takto

25

$$A_{M_k} = \begin{bmatrix} F_{m_{k1}} - \alpha_{k1} F_{M_k} \\ F_{m_{k2}} - \alpha_{k2} F_{M_k} \\ \vdots \\ F_{m_{kN_k}} - \alpha_{kN_k} F_{M_k} \end{bmatrix} \quad (\text{rovnice 14})$$

lze rovnici 13 zapsat ve stručnějším tvaru:

$$A_{M_k} t = 0 \quad (\text{rovnice 15})$$

30

Definujeme-li dále matici  $A_m$ :

$$A_m = \begin{bmatrix} A_{M_1} \\ A_{M_2} \\ A_{M_3} \\ \vdots \\ A_{M_{NM}} \end{bmatrix} \quad (\text{rovnice 16})$$

5

lze celou množinu pomocných podmínek dílčího pohybu vyjádřit rovnicí:

$$A_m t = 0 \quad (\text{rovnice 17})$$

10 Zvolíme v síti jeden referenční uzel a absolutní čas, v němž má nastat tato událost, nastavíme na nulu. Označíme-li číslo referenčního uzlu jako  $k$ , můžeme tuto podmínku vyjádřit jako

$$A_z t = 0 \quad (\text{rovnice 18})$$

15 kde  $k$ -tý prvek řádkového vektoru  $A_z$  má hodnotu 1 a všechny ostatní prvky jsou nulové.

A nakonec bude rozšířená matice podmínek  $A$  definována jako

$$A = \begin{bmatrix} -F_r \\ A_1 \\ A_m \\ A_z \end{bmatrix} \quad (\text{rovnice 19})$$

20

kde  $F_r$  je redukovaná matice výskytu větve vytvořená vyloučením všech nyní nadbytečných řádků v matici  $F$ . K vytvoření  $F_r$  se z matice  $F$  odstraní řádky odpovídající všem větvím dílčího pohybu a všechny kromě první cyklické větve. Jsou definovány délkové vektory  $b_{min}$  a  $b_{max}$  pro  $N_b + N_l + N_M + 1$ :

25

$$b_{min} = \begin{bmatrix} \delta_{min} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{rovnice 20})$$

$$b_{max} = \begin{bmatrix} \delta_{max} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (\text{rovnice 21})$$

Úplnou množinu podmínek sítě pak lze vyjádřit kombinací rovnice 6, rovnice 7, rovnice 12, rovnice 17, rovnice 20 a rovnice 21 do jediné množiny rovnic rozšířených podmínek:

5 
$$At \leq b_{\max} \quad (\text{rovnice 22})$$

$$At \geq b_{\min} \quad (\text{rovnice 23})$$

Na pravé straně rovnice 22 a rovnice 23 jsou koncové prvky  $N_I + N_M + 1$  vektorů  $b_{\max}$  a  $b_{\min}$  vždy rovny nule. Cílem je najít množinu časů události (programu), která bude splňovat všechny požadované podmínky sítě. Obecně zde bude existovat více než jeden, a ve skutečnosti nekonečně mnoho, programů, které vyhovují podmínkám sítě. K výběru nejvhodnějšího programu z mnoha možností, jež jsou k dispozici, proto využijeme metodu vycházející z podmíněné optimalizace. Obecný postup lze upravit tak, aby byl vhodný pro různé praktické problémy tím, že se zvolí přiměřené hodnoty optimalizačních kritérií. Mezi neoficiální příklady optimalizačních kritérií, která mohou být zajímavá z praktického hlediska, patří:

1. Minimalizace periody cyklu se stanoveným trváním tepelných procesů.
2. Maximalizace trvání konkrétních tepelných procesů, např. prohřívání, v rámci stálé periody cyklu.
3. Minimalizace opotřebení na základě co největšího zpomalení mechanismů v rámci stálé periody cyklu a specifikované množiny trvání tepelných procesů.

Optimální programy s využitím těchto kritérií se snadno získají užitím nové metodologie, která byla vyvinuta.

Vyjádřeno maticovým algebraickým modelem, popsáním výše, je třeba řešit obecný problém spočívající v nalezení vektoru  $t$  délky  $N_n$  časů, přiřazených uzlům, který vyhovuje rovnici:

30 
$$\text{minimalizovat } f(t) \quad (\text{rovnice 24})$$

za podmínek daných parametry:

35 
$$At \leq b_{\max}$$

$$At \geq b_{\min}$$

Skalární funkce  $f$ , označovaná jako cílová funkce, určuje kritérium pro rozpoznání nejvíce žádoucího řešení mezi mnoha možnými řešeními problému. To je známo jako „podmíněný optimalizační problém“ (jako protipól „nepodmíněného optimalizačního problému“), protože hledáme optimální řešení, ale omezujeme množinu možných řešení na ta, která splňují stanovenou množinu podmínek. V tomto případě jsou podmínky vyjádřeny jako množina lineárních nerovnic.

Velké množství praktických kritérií lze vyjádřit formou kvadratické cílové funkce formy (ve skutečnosti není konstantní  $f_0$  nutně vyžadováno, protože nemá vliv na umístění systémového minima a maxima). Zachovává se zde pouze proto, že později umožňuje jasnější interpretaci cílové funkce jako skutečné vzdálenosti trvání větve měřeného od požadovaných cílových hodnot.

50 
$$f(t) = 1/2 t^T H t + C t + f_0 \quad (\text{rovnice 25})$$

Jak bude podrobněji vysvětleno dále, základní problémy s naprogramováním přístroje mohou být v podstatě vyjádřeny užitím kvadratické cílové funkce ve tvaru daném rovnicí 25.

Optimalizační problém s touto kombinací kvadratické cílové funkce a lineárních podmínek, je znám jako „problém kvadratického programování“. K řešení problémů kvadratického programování se používá bohatá škála rychlých a spolehlivých číselných algoritmů. V některých praktických případech (např. při minimalizaci periody cyklu) lze optimalizační kritéria vyjádřit užitím lineární cílové funkce ve tvaru:

$$f(t) = Ct + f_0 \quad (\text{rovnice 26})$$

Tato kombinace lineární cílové funkce s lineárními podmínkami je známa jako „problém lineárního programování“. Problémy lineárního programování lze v mnohých případech řešit s menším výpočetním úsilím, a proto i rychleji než problémy kvadratického programování, metodou řešení problémů kvadratického programování při zachování lineární a kvadratické cílové funkce bude však to nejspornější řešení.

Základní myšlenka tzv. obecné metodologie syntézy cílového programu spočívá v přiřazení cílové hodnoty trvání každé větve v síti. Tyto cílové hodnoty představují ideální množinu hodnot, jichž by uživatel chtěl dosáhnout pro veškerá trvání větví. Protože je také třeba splnit mnoho síťových podmínek, nelze ve skutečnosti dosáhnout všech cílových hodnot trvání větví. Obecná metodologie syntézy cílového programu proto najde ten program, který se nejvíce blíží cílovým hodnotám.

Obecná metodologie syntézy cílového programu může poskytnout jednotný přístup k mnoha problémům díky čtyřem hlavním vlastnostem, jimiž jsou:

1. Kvadratická cílová funkce – kvadratická cílová funkce vytváří matematicky přesný zápis programu, který se nejvíce blíží k cílové hodnotě.
2. Přísné limity – na povolená trvání každé větve sítě lze uplatnit přísný horní a dolní limit.
3. Zablokování – trvání stanovených větví lze zablokovat tak, aby ve výsledném programu dosáhla přesných hodnot.
4. Kvadratické řešení – použití robustního numerického řešení kvadratického programování.

Každá z výše uvedených vlastností bude nyní popsána podrobněji. K realizaci automatizovaného numerického řešení je třeba provést intuitivní zápis programu blízkého se cílové hodnotě matematicky přesně. Proto definujme cílovou funkci,  $f(t)$ , následovně:

$$f(t) = \sum_{i=1}^{N_b} (w_i (\delta_i(t) - \delta_i))^2 \quad (\text{rovnice 27})$$

kde:

$w_i$  = konstanta, která váží významnost odchylky mezi cílovým a skutečným chováním pro  $i$ -tou větev sítě

$\delta_i(t)$  = trvání  $i$ -té větve sítě jako funkce  $t$  v délkovém vektoru  $N_n$  času přiřazeného událostem větve (program)

$\delta_i$  = cílové trvání pro  $i$ -tou větev sítě

$N_b$  = celkový počet větví sítě

Vzdálenost od cíle je tak vyjádřena jako vážený součet kvadratických odchylek mezi cílovým a skutečným trváním větve. Bylo zaznamenáno, že v dvourozměrném nebo trojrozměrném případě ( $N_b = 2$  a  $N_b = 3$ ) a  $w_i = 1$  vyjadřuje rovnice 27 známý euklidovský vztah vzdálenosti.



Trvání větve pro trvání  $i$ -té větve lze vyjádřit jako  $i$ -tý řádek matice výskytu větve:

$$\delta_i = -F_i t$$

Rovnici 27 lze vyjádřit pomocí výše definovaného maticového algebraického systémového modelu jako:

$$f(t) = (W(Ft + \delta))^T (W(Ft + \delta)) \quad (\text{rovnice 28})$$

kde:

$W$  = váhová matice

$\delta$  = vektor cílového trvání větve

$F$  = matice výskytu větve

$T$  = délkový vektor  $N_n$  času přiřazeného uzlu (program)

horní index  $T$  = transpozice matice

Následující rutinní algebraické zpracování rovnice 28 lze přepsat jako:

$$f(t) = t^T F^T W^T W F t + 2 \delta_i^T W^T W f t + \delta_i^T W^T W \delta_i \quad (\text{rovnice 29})$$

Rovnici 29 pak lze vyjádřit ve standardním tvaru daném rovnicí 25 pro kvadratickou cílovou funkci:

$$f(t) = 1/2 t^T H t + C t + f_0 \quad (\text{rovnice 30})$$

kde:

$$H = 2 F^T W^T W F$$

$$C = 2 \delta_i^T W^T W F$$

$$f_0 = \delta_i^T W^T W \delta_i$$

V definici prvků diagonální váhové matice je povolena určitá pružnost. Nejjednodušší alternativou je nastavení vah každé z větví  $w_i$  na hodnotu 1 (jedna), aby  $W$  byla maticí identity. Díky tomu bude mít stejnou váhu absolutní chyba (odchylka) mezi požadovanými a cílovými hodnotami pro všechny větve sítě. Ačkoli v některých případech může být postup s využitím absolutní chyby vhodný, je běžnější, pracujeme-li s relativní chybou, přičemž chyba každé větve bude normalizována jejím typickým trváním. U postupu s využitím relativní chyby je odchylka 1 milisekundy pro větev s typickým trváním 10 milisekund považována za stejně významnou jako odchylka 1 sekundy pro větev s typickým trváním 10 sekund. Definujme výhovou matici  $W$  pro postup s relativní chybou:

$$W = \begin{pmatrix} 1/(\delta_{\text{horní}} - \delta_{\text{dolní}}) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/(\delta_{\text{horní}} - \delta_{\text{dolní}}) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/(\delta_{\text{horní}, N} - \delta_{\text{dolní}, N}) \end{pmatrix} \quad (\text{rov. 31})$$

kde:

$\delta_{horni,i}$  = horní měřítko hodnoty pro  $i$ -tou větev sítě

5  $\delta_{dolni,i}$  = dolní měřítko hodnoty pro  $i$ -tou větev sítě

Často je vhodné mít možnost omezit povolené rozsahy trvání konkrétních větví. Příkladem situací, kdy je tato funkce požadována, jsou mechanismy, které mají dolní omezení trvání pohybu a kroky procesu, které mají dolní a (nebo) horní omezení trvání pohybu. Tato omezení jsou nastavena v obecné metodologii syntézy cílového programu přiřazením příslušných hodnot prvkům vektorů  $b_{min}$  a  $b_{max}$ , tvořícím pravé strany vztahů matic daných rovnicí 24.

V některých případech je žádoucí určit, aby konkrétní trvání větví bylo přesně rovno cílovým hodnotám. To bude označeno jako zablokování cílové hodnoty. V některých případech je např. nutné zablokovat trvání větví cyklu, protože periodu cyklu zařízení v horní části, jako je dávkovač, nelze ihned nastavit. Tuto možnost provádí obecná metodologie syntézy cílového programu nastavením hodnoty příslušných prvků horního a dolního omezení (vektorů  $b_{min}$  a  $b_{max}$  tvořících pravé strany vztahů matic podmínek daných rovnicí 24) na hodnotu rovnou cílové hodnotě. Matice  $H$  by měla být pozitivně definitní. Abychom se vyhnuli komplikacím s tímto číselným problémem, je možno malé váhy rovnoměrně přiřadit větvím, jejichž trvání není předmětem zájmu nebo lze použít metodu řešení, která bude vhodná konkrétně pro případ, kdy je  $H$  pouze pozitivně semidefinitní.

Na základě předcházející zkušenosti nebo konkrétních zkoušek lze zjistit požadovaná trvání všech kroků procesu tvarování za tepla (prohřívání, dofuku atd.) a může se stát, že výrobce láhvi nebude chtít tyto hodnoty měnit. S odblokovaným trváním větve periody cyklu, zablokovaným trváním všech větví souvisejících s tvarováním za tepla a trváním větví pohybu mechanismů zablokovaným na hodnotě odpovídající trvání nejrychlejšího možného mechanismu je možno nastavit cílovou hodnotu trvání periody cyklu na nulu (z čehož vyplývá, že by měla být co možná nejkratší). Metodou řešení problému kvadratického programování se pak nalezne program s nejkratší možnou periodou cyklu, splňující všechny podmínky sítě. (Mezi tyto podmínky patří zablokování trvání tepelných procesů a trvání pohybu mechanismů společně s požadavkem na eliminaci srážek, správné pořadí kroků atd.).

35 Je možné, že konkrétním programem dosáhneme požadované periody cyklu a množiny trvání tepelných procesů, bude však vyžadovat rychlejší pohyb určitých mechanismů, než je přesně nutné k dosažení těchto cílů. Místo toho může být žádoucí obsluhovat mechanismy jen tak rychle, jak je absolutně nezbytné k dosažení dalších požadovaných cílů. Tím by se zmenšil průměrný a špičkový proud servomotorů (a související zahřívání motoru), a zřejmě by se i jinak snížilo obecné opotřebení systému. Potom by měla být perioda cyklu a trvání dalších tepelných procesů zablokováno na požadované hodnotě. Trvání všech větví pohybu by byla odblokována a jejich cílové hodnoty nastaveny na relativně vysokou hodnotu. Metoda řešení kvadratického programování by pak mohla v případě potřeby urychlit mechanismus, je-li třeba splnit podmínky periody cyklu a trvání tepelných procesů, jinak by však prodloužila trvání pohybu do nejvyšší možné míry.

Když nelze přesně dosáhnout požadovaných cílových hodnot, může uživatel dostat určitý pokyn, která omezení musí uvolnit, aby snáze dosáhl požadovaného cíle. To lze provést ověřením hodnot Lagrangeova multiplikátoru pro násobení hodnot vypočítaných v místě optimálního programu. Lagrangeovy multiplikátory mohou být interpretovány jako parciální derivace cílové funkce vzhledem k prvkům ve vektorech  $b_{min}$  a  $b_{max}$  tvořících pravé strany vztahů podmíněných matic daných rovnicí 24. Nenulové hodnoty konkrétního Lagrangeova multiplikátoru pak ukazují, že cílová funkce může být zvýšena, nebo snížena (v závislosti na algebraickém znaménku Lagrangeova multiplikátoru) změnou hodnoty souvisejícího prvku vektorů  $b_{min}$  a  $b_{max}$ . Tyto podmínky

jsou tzv. aktivní. Jiné podmínky, jejichž hodnoty Lagrangeova multiplikátoru jsou nulové, jsou tzv. inaktivní. Vhodnou prezentací aktivních podmínek seřazených podle relativní velikosti jejich Lagrangeova multiplikátoru by uživatel byl informován, která omezení představují největší překážku dosažení požadovaných výsledků. Znaménko Lagrangeova multiplikátoru by dále mohlo  
 5 být použito ke stanovení a následnému zobrazení uživateli, zda by ke snadnějšimu dosažení cílových hodnot neblokovaných větví cílová hodnota (v případě zablokované větve) měla být zvýšena nebo snížena. Nejvíce omezené optimalizační algoritmy poskytují možnost počítat hodnoty Lagrangeových multiplikátorů (nebo je počítat již jako součást normální operace), takže by tyto dodatečné informace mohly být využity jako další vodítko pro uživatele, pokud si to přeje.

10 Pokud uživatel systém omezí příliš silně podmínkami, nemusí existovat proveditelné řešení problému kvadratického programování, který byl předložen. V takovém případě je důležité si uvědomit, že problém je neřešitelný, a uvolnit omezení tak, aby umožnily schůdné řešení. Řešení problému kvadratického programování obvykle dokáže rozeznat, že zde neexistuje proveditelné řešení, a vhodným způsobem to oznámí. Tento indikátor může využít software, který pracuje  
 15 s obecnou metodologií syntézy cílového programu, aby upozornil uživatele na maximální možné uvolnění veškerých podmínek.

20 Maticový algebraický model také umožňuje analyzovat navrhovaný program ke zjištění jakéhokoli možného poškození nebo nežádoucího narušení podmínek. Tato funkce poskytuje mechanismus pro provádění inteligentní kvalifikaci vstupu změn pro časy události požadované uživatelem, které překračují běžnou kontrolu horního a dolního omezení.

25 Základním cílem metodologie analýzy cílů je poskytnout možnost kontroly navrhovaného plánu porušení podmínek a oznámit veškerá porušení, která by se mohla vyskytnout. Tímto postupem lze také zaznamenat porušení takovým způsobem, který dává uživateli možnost porozumět důsledkům porušení a do možného rozsahu ukazuje i nápravu.

30 Skutečná kontrola porušení podmínek je po výpočetní stránce celkem jednoduchá a spočívá pouze ve vynásobení a odečtení matice. K dosažení požadované plné funkčnosti je třeba vzít v úvahu také některé další okolnosti. Další rysy vycházejí primárně z faktu, že časy jednotlivých uzlů (událostí) lze naplánovat pouze pro podmnožinu celkového modelu systému. Tato podmnožina uzlů je označována jako množina nezávislých uzlů. Časy přiřazené uzlům pro zbývající, tj. závislé uzly, jsou pak automaticky počítány z nezávislých časů přiřazených uzlům a známých stálých hodnot trvání větví.  
 35

Metoda v souhrnném pohledu se pak skládá z následujících složek:

1. Řešení závislých časů přiřazených uzlům
- 40 2. Detekce porušení podmínek
3. Diagnóza a třídění porušení

Závislé časy přiřazené uzlům lze vyřešit pomocí dříve definované množiny podmínek užitím následujícího postupu.

- 45 1. Vytvoříme podmnožinu podmínek rovnosti:

$$A_{v,q} t = b_{v,q} \quad (\text{rovnice 32})$$

50 Zachováme pouze ty řádky A a b (jak jsou definovány v rovnicích 19 a 20), pro které si je horní a dolní omezení rovno. Uvědomme si, že horní a dolní omezení pro větve se známými a stálým trváním budou nastaveny na tuto známou stálou hodnotu. Horní a dolní hranice těchto větví o stálém trvání pak budou stejné a řádky A odpovídající těmto větvím spolu s pomocnými podmínkami budou pak zachovány v  $A_{v,q}$ . Větve se známými stálými hodnotami pak budou v běžném

případě větve Pohybu, Cyklu a Souběžného průběhu. Aby byl problém dobře vymezen, řádek o rozměru  $A_{eq}$  musí být větší nebo roven počtu závislých časů přiřazených uzlům. Ke splnění této podmínky je třeba, aby stále hodnoty byly přiřazeny dostatečnému počtu větví.

5 2. Změnou pořadí sloupců  $A_{eq}$  vytvoříme rozdělenou matici výskytu  $A_p$ , v níž prvních  $N_i$  sloupců odpovídá nezávislým časům přiřazeným uzlům. Vytvoříme parciální vektor  $t_p$  časů přiřazených uzlům seřazením sloupců  $t$  tak, aby odpovídaly novému pořadí sloupců v  $F_p$ . Rovnici 32 pak lze přepsat následovně:

10 3. Změníme rovnici 33 tak, aby vznikla množina lineárních rovnic

$$A_p t_p - (b_{eq} - A_p t_p) = 0 \quad (\text{rovnice 34})$$

15 4. Přiřadíme hodnoty nezávislým časům událostí a prvkům  $b_{eq}$  odpovídajícím větvím s pevně stanoveným trváním a vyřešíme přeúčtenou soustavu rovnic 34 pro  $t_p$ . To lze provést pomocí standardních číselných postupů pro řešení přeúčtených soustav lineárních rovnic, např. lineární metodou nejmenších čtverců. Pro konsistentní množinu větví se stálým trváním a správně sestavené síťové schéma podmínek lze nalézt přesné řešení této přeúčtené soustavy rovnic. Tzn. lze najít vektor závislých časů přiřazených větvím  $t_p$ , který vyhovuje rovnici 34 bez výskytu chyby. Nelze-li nalézt přesné řešení, uživatel by měl obdržet příslušné upozornění, aby bylo možno 20 situaci napravit. Měl by být také zahrnut nulový referenční uzel s nezávislými časy událostí, odpovídající definici dané rovnicí 18.

25 5. Prvky  $t_p$  a  $t_p$  jsou přeřazeny do původního pořadí odpovídajícího řádkům rovnic 22 a 23 k vytvoření časových vektorů, přičemž  $t_{navržený}$  označuje navrhovaný program.

30 Jakmile jsou vypočítány závislé časy a je k dispozici navrhovaný program, je již vlastní zjištění porušení podmínek poměrně jednoduché. Necht' je navrhovaný program dán vektorem časů přiřazených větvím,  $t_{navržený}$ . Z rovnice 22 a rovnice 23 jsou podmínky, které je třeba zkontrolovat, dány souborem nerovnic:

$$A t_{navržený} - b_{max} \leq 0 \quad \text{rovnice 35}$$

$$A t_{navržený} - b_{min} \geq 0 \quad \text{rovnice 36}$$

35 Nejsou-li nerovnosti dané některým ze vztahů 35 nebo 36 zcela splněny, pak navrhovaný program porušuje alespoň jednu podmínku.

40 Každý řádek v rovnici 35 a rovnici 36 představuje konkrétní systémovou podmínku. Každému řádku v těchto rovnicích lze podle toho přiřadit text s vysvětlivkami a mírou omezení. Navrhovaný program by pak byl zkoušen zhodnocením rovnice 35 nebo rovnice 36. Z čísel všech řádků, které nespĺňují požadovanou nerovnost, by vznikl index pro rekapitulaci a zobrazení požadovaného chybového hlášení. K rozřídění vícenásobného porušení podmínek by mohla být použita míra omezení v pořadí podle „síly omezení“, která by také mohla být klíčem pro příslušný barevný kód nebo jiný znak (blikající) na grafickém uživatelském rozhraní.

45 Toto přiřazení textu a míry omezení lze provést automaticky. K pochopení toho, jak lze provést takové automatické přiřazení, si uvědomíme, že řádky rovnice 35 nebo rovnice 36 se odvozují z větví sítě. Porušení vyvolané každým typem větve může být proto vlastností, která se přiřazuje konkrétnímu typu větve, a dále je pro konkrétní větev specifická. Např. pro kolizní větev bychom 50 mohli automaticky definovat text porušení podmínky tak, aby zněl „dochází ke kolizi mezi mechanismem pro převrácení a závěrovou hlavou“, přičemž této události by také mohla být přiřazena míra omezení např. číslem mezi 1 a 10, přičemž 10 bude nejpřísnější. Odpovídající řádek v rovnici 35 nebo rovnici 36 by pak převzal tyto popisy z větví, které z něho vycházejí. Jinak platí, že kdyby pro konkrétní proces tvarování bylo plně definováno síťové schéma podmí-

nek, bylo by možno jednotlivé zprávy vložit ručně nebo upravit automaticky generovanou standardní množinu a uložit výsledné údaje v tabulce pro každou z konečného počtu porušení podmínek, které se mohou vyskytnout. Zatímco ruční způsob by vždy umožňoval zdokonalit srozumitelnost zpráv, mohl by však vyskytovat tendence k chybám a při jakékoli změně síťového schématu by musel být aktualizován. Preferuje se tedy automatický postup.

V rámci dosavadního stavu techniky je obsluha jednoho z těchto mechanismů nebo postupů řízení zapínáním mechanismu např. do polohy „zapnuto“ („on“) a „vypnuto“ („off“) ve zvolených úhlech v cyklu vymezeném 360°. Událostí je „zapnutí“ mechanismu a též „vypnutí“ mechanismu. Obrázek 12 znázorňuje běžný výčet načasovaných událostí s úhlovým časem jejich „zapnutí“ a „vypnutí“ IS stroje. Tento seznam je k dispozici u řízení stroje.

Rozvinutý program lze převést na odpovídající sbalený program užitím známé periody cyklu a výpočtem úhlu události modulu 360°, tzn. úhel události = mod 360 (rozvinutý čas události/perioda cyklu) x 360. K přechodu ze sbaleného periodického programu na rozvinutý program je původní síťové schéma podmínek rozšířeno novou množinou směrových větví nazvaných *větve rozvinutí*. Dílčí graf vytvořený z větví pro rozvinutí spolu s větvemi pohybu a pořadí a všemi uzly, které se na těchto větvích vyskytují, budou označeny jako graf rozvinutí cyklu. Příklad grafu rozvinutí cyklu je znázorněn na obrázku 12, který ilustruje cyklus lisování a foukání. Graf rozvinutí cyklu je vytvořen tak, aby měl následující vlastnosti.

Vlastnost č. 1: Graf rozvinutí cyklu je spojitý graf.

Vlastnost č. 2: Uzly grafu rozvinutí cyklu jsou přesně množinou veškerých výchozích a cílových uzlů pro všechny větve pohybu a postupu v síťovém schématu podmínek. To znamená, že na grafu je znázorněn každý úhel zapnutí a vypnutí řídicího bubnu (sekvenčního řadiče).

Vlastnost č. 3: Každá větev v grafu rozvinutí cyklu je součástí cyklu (cesta od události k dalšímu periodickému opakování této události). např. nejspodnější řada na obrázku 11 probíhá následovně: M120 (Nůžky se otevírají, M110 (Nůžky se zavírají), M210 (Odběrač ven) a M120.

Obdobně probíhá také další větev směrem vzhůru: M210 (Odběrač ven), M220 (Zpětný náraz), M200 (Odběrač dovnitř) a M210.

Další větev směrem vzhůru: M190 (Foukací hlava nahoře), M180 (Foukací hlava dole), p2 (Dofuk) a M190.

Další větev směrem vzhůru: MP1000 (Konečné formy se otevírají), M240 (Konečné formy se zavírají) a M1000.

Další větev pokračuje: MP100 (Razník do zaváděcí polohy), M230 (Lisování), M80 (Ústní formy se otevírají), M70 (Ústní formy se zavírají) a M100.

Další větev pokračuje: MP90 (Přední formy se zavírají), M230, M40 (Razník do převrácené polohy), M60 (Převrácení), M70 (Návrat), M90.

První větev zleva pokračuje: MP150 (Závěrová hlava nahoře), M140 (Závěrová hlava dole), M230, M150 (Závěrová hlava nahoře).

Vlastnost č. 4. Větve se na uzlech grafu rozvinutí cyklu vyskytují v podobě tzv. jednostranného vějířovitého uspořádání. To znamená, že směřuje-li do daného uzlu více větví, vychází z uzlu jen jediná větev. To znamená, že vychází-li z daného uzlu více větví, vstupuje-do něj jen jediná větev.

Z výše uvedených vlastností vyplývá, že graf rozvinutí cyklu má také následující další vlastnosti.

Vlastnost č. 5: Součástí alespoň jednoho společného cyklu bude jakákoli řada tří uzlů, přes něž mohou procházet dvě propojovací větve ve směru větve. Každý uzel v grafu rozvinutí cyklu je mezi dvěma dalšími událostmi v cyklickém pořadí.

5

Vlastnost č. 6: Protože každá větev v grafu rozvinutí cyklu je součástí cyklu, musí být kratší než jedna perioda.

10

Problém pak řeší sérii kroků, mezi něž patří kontroly, zda vstupní data jsou správně uspořádána, aby bylo řešení platné.

1. Vytvořme matici výskytu větve pro graf rozvinutí cyklu.

15

2. Rozdělme uzly grafu rozvinutí cyklu do dvou množin: na nezávislé uzly, jejichž hodnoty jsou dány ve vstupní množině úhlů sbalené události, a zbývající závislé uzly, jejichž úhly události jsou dosud neznámé. Ke správnému vymezení problému musí být všechny závislé uzly spojeny do nezávislého uzlu větví, jejíž trvání je známo.

20

3. Přiřaďme známé úhly vstupních událostí nezávislým uzlům v grafu rozvinutí cyklu, jimž odpovídají.

4. Stanovme úhly události pro závislé úhly události užitím:

$$\Theta_i = \text{mod}((\Theta_j + d_{j,i} / T_{\text{cycle}} * 360), 360) \quad (\text{rovnice 37})$$

25

Kde:

$\Theta_i$  je úhel události vypočítaný pro  $i$ -tý uzel a

$\Theta_j$  je závislý uzel spojený s uzlem  $i$  větví se známým dočasným trváním  $d_{j,i}$ .

30

Znaménko plus v rovnici 37 se zvolí tehdy, když je závislý uzel umístěn směrem dolů od nezávislého uzlu, v ostatních případech dosadíme záporné znaménko.

35

5. Přiřaďme úhel události pro jakékoli úhly periodického opakování rovný hodnotě uzlu, který kopíruje (uzlu, s nímž je spojen v síťovém schématu podmínek cyklickou větví).

6. Zkontrolujme, že všechny úhly události jsou ve správním cyklickém pořadí. To lze provést na základě kontroly, že úhel události přiřazený každému uzlu je mezi hodnotou každé z dvojic bezprostředně sousedících větví ve směru vzhůru i dolů.

40

7. Najděme úhlová trvání větví pro všechny větve v grafu rozvinutí cyklu užitím:

$$\delta = \text{mod}(-F\Theta, 360) \quad (\text{rovnice 38})$$

45

Kde:

$F$  je matice výskytu větve pro graf rozvinutí cyklu

$\Theta$  je vektor úhlů události uzlů v grafu rozvinutí cyklu

$\delta$  je vektor úhlového trvání události v grafu rozvinutí cyklu

50

8. Převedme  $\delta$ , tj. vektor úhlového trvání větve, na vektor  $d$  dočasného chování užitím:

$$d = \delta / 360 * T \quad (\text{rovnice 39})$$

kde  $T$  je perioda cyklu.

9. Vyřešte užitím běžných numerických metod potenciálně přeuročenou soustavu rovnic pro časy událostí uzlů:

$$- F_r t = \delta \quad (\text{rovnice 40})$$

kde  $F_r$  je matice výskytu větve pro graf rozvinutí cyklu ve sloupci odpovídajícím vymazanému nulovému referenčnímu uzlu. (Volba nulového referenčního uzlu je dobrovolná, měl by však odpovídat síťovému schématu podmínek.). Ačkoli výše uvedený systém je přeuročen, řešení metodou nejmenších čtverců bude vykazovat v podstatě nulovou chybu, protože  $\delta$  bude v prostoru sloupce  $F_r$ . To bychom měli ověřit pro případné problémy s výpočty.

10. Nezávislým uzlům v síťovém schématu podmínek jsou přiřazeny hodnoty užitím odpovídajících časů rozvinuté události stanovené z rovnice 4. Závislé uzly v síťovém schématu podmínek pak lze stanovit tak, jak bylo popsáno výše.

Na obrázku 13 je blokové schéma znázorňující způsob vytvoření analytického nástroje (Nástroj). Nejprve je třeba provést krok 60 Definovat síťové schéma podmínek pro proces tvarování láhvi v sekčním stroji (rozvinutý cyklus po vytvoření dávky skloviny, její dodání do přední formy, tj. formy přední stanice 1, přenos baňky z přední formy do konečné formy, tj. formy konečné stanice 2, a odběr vytvořené láhve z konečné formy, viz obr. 1). Pak je proveden krok 61 Přeložit síťové schéma podmínek na datovou tabulku, což je kompilace základních dat ve schématu podmínek na datovou tabulku, což je kompilace základních dat ve schématu podmínek, obsahující výčty všech větví, kdy se pro každou z nich stanovuje název, typ, číslo výchozího uzlu, číslo koncového uzlu atp. To lze provést ručně na základě výkresu znázorňujícího schéma podmínek nebo na počítači z výkresu schématu podmínek zpracovaného počítačem. Následuje krok 62 Převést datovou tabulku na matematické vyjádření, která se pak transformuje na Počítačový model 64 pro analýzu a řízení výrobního procesu. Ve znázorněném provedení je počítačový model 64 založen na maticové algebře, lze však použít i jiné matematické postupy. V závislosti na typu láhve a postupu, používaného k vytvoření láhve (např. lisování a foukání, dvojí foukání) bude možná nutné mít dvě datové tabulky. Jak je znázorněno, lze v paměti a vstupu použít více datových tabulek (Datová tabulka „N“) a vytvářet vstupy podle potřeby.

Obrázek 14 znázorňuje část Počítačového modelu 64, který realizuje funkci 66 převáděcího modelu Rozvinout t úhly události strojního cyklu  $360^\circ$  do času událostí procesu tvarování láhvi (Rozvinutí). Jako vstup bude přijímat ve formě dat od řídicího počítače 42 IS stroje (obr. 1) nebo obdobným postupem, případně ručním zadáním přes řídicí panel či koncové zařízení data Úhly události, Takt stroje (čas cyklu pro řídicí buben  $360^\circ$  sekčního stroje) a Trvání pohybu (trvání „M“ (velké M) pro přemístitelné mechanismy). Na výstupu se objeví Časy události v procesu tvarování láhve. Měli bychom uvést, že zatímco úhly události a takt stroje jsou běžně dostupná data ze stávajícího pracovního souboru, délky trvání pohybu by měly být pro úlohu definovány.

Obrázek 15 znázorňuje využití Počítačového modelu 64 k úloze zahrnující krok 68. Analyzovat podmínky rozvinutého programu (Vyloučení porušení podmínek). S Časy události, Takt stroje, Trváním pohybu, Trváním dílčího pohybu (trváním označením malým písmenem „m“ pro přemístitelné mechanismy). Dolními limity kolizní větve, Dolními limity sekvenční větve a Limity procesu tvarování za tepla „N“ jakožto vstupy může počítačový model provést rozhodovací krok 70, zda Dojde k porušení podmínky? Zatímco zadání slova znamená, že se informace zpřístupní, lze toto provést z různých zdrojů. Úhly události a takt stroje by mohly být získány ze stávajícího pracovního souboru úlohy a zbývající vstupy by mohly být zadány v čase, kdy je datová tabulka zpracovávána krokem 62 Převést datovou tabulku na matematické vyjádření.

Kdykoli může mít vstup celý rozsah hodnot volitelných operátorem, přičemž pak bude tento vstup zahrnovat horní a dolní limity vstupu a volbu, zda má být nastavení zablokováno na určité hodnotě nebo odblokováno, aby bylo možno jej umístit kdekoli v rámci mezí. Dolní limity pro Kolizní a sekvenční větve lze nastavit na nulu nebo na zvolenou hranici chyby, kterou může operátor odblokovat nebo povolit přístup k těmto vstupům, takže pak může definovat jakékoli požadované dolní limity. Jedno z porušení podmínek by představoval program, který by způsobil narušení pořadí určitých událostí. Dalším by byl program s následkem kolize. Každý z těchto typů porušení podmínek by mohl být zjištěn bez využití kroku Limity trvání procesu tvarování za tepla „N“. S tímto dalším vstupem (vstupy) lze zhodnotit rozvinutý proces a stanovit, zda jedna nebo více hodnot Trvání procesu tvarování za tepla nebude příliš vysoká nebo příliš nízká, čímž by došlo k narušení jedné nebo několika podmínek procesu tvarování za tepla. Tyto vstupy a výstupy, stejně jako výstupy a výstupy v dále zmiňovaných provedeních, by mohly být zviditelněny na jakékoli vhodné obrazovce.

Bude-li na jeden z dotazů odpověď kladná, spustí řízení krok 74 Poplach a (nebo) odmítnutí vstupu a krok 76 Výstup porušení podmínek. Není-li odpověď na žádný z dotazů kladná, řízení může provést krok 78 Výstup vypočítaných hraničních hodnot, aby operátor získal určitou představu o tom, do jaké míry je program omezen, a poté realizovat krok 79 Sbalit časy události do úhlů události a vytisknout úhly události a nový takt stroje. „Vytisknout“ zde znamená prezentovat data ve formě čitelné pro operátora jako výstup na obrazovce nebo dokument či ve strojově čitelné podobě, takže řízení stroje může automaticky zpracovat data např. novým spuštěním stroje s novým úhlem události a taktům stroje.

V jednom z režimů může být IS stroj spuštěn a operátor může chtít změnit jeden nebo více úhlů události v řídicím bubnu s úhlem 360°. Probíhá konkrétní úloha a řízení již byla zadány konkrétní údaje pro tuto úlohu (trvání a limity). Tyto údaje spolu s taktům stroje lze zavést řízení stroje. Úhly události včetně navrhované změny Úhlu události lze zavést do Rozvinovacího nástroje 66 plnicího funkce převáděcího modulu, takže je možno definovat Časy události. V jiném režimu může mít operátor záznam (Úhlů události a Taktu stroje) úlohy, která probíhala dříve a než zahájí úlohu, bude chtít vyhodnotit některé změny.

V běžném IS stroji, který má řadu mechanismů obsluhovaných pneumatickými válci, lze empiricky např. pomocí vysokorychlostních kamer definovat Trvání pohybu a Trvání dílčího pohybu. Pokud interference zahrnuje ovladače rozmístěné podle profilů pohybu, lze zóny dílčího pohybu definovat buď empiricky, nebo je stanovit matematicky.

Obrázek 16 znázorňuje užití Počítačového modelu 64 ke sledování trvání procesu tvarování za tepla (Trvání procesu tvarování za tepla). S Časy události, Trváním pohybu, Trváním dílčího pohybu a Taktům stroje, které jsou známy nebo mají formu vstupu, bude Počítačový model 64 provádět krok 80 Analyzovat rozvinutý program trvání procesu tvarování za tepla, a poté Počítačový model 64 provede krok 81a Výstup trvání procesu tvarování za tepla. Operátor bude tedy moci kdykoli sledovat Trvání procesu tvarování za tepla a na základě své zkušenosti změnit Úhly události 360° a Takt stroje. S dalším vstupem Limity trvání procesu tvarování za tepla „N“ může Počítačový model 64 provést krok 81 Výstup hraničních hodnot trvání procesu tvarování za tepla „N“, takže operátor uvidí, kde na časové ose se nachází vzhledem k povolenému časovému rozsahu.

Obrázek 17 znázorňuje využití Počítačového modelu 64 pro definování optimalizovaného času cyklu (Optimalizovaného času cyklu) a optimalizovaných Úhlů události pro tento program a dané nastavení stroje. S daty Trvání pohybu, Trvání dílčího pohybu, Dolní limity kolizní větve, Dolní limity sekvenční větve, Časy události, Takt stroje a Optimalizovaná hodnota/cílová hodnota/zablokovaný stav taktu stroje, které jsou známy nebo budou použity k realizaci funkce 82 Optimalizovat rozvinutý program pro minimální takt stroje provede Počítačový model 64 rozhodovací krok 83, zda Je toto proveditelný program?. Pokud nikoli, model provede krok 85 Odmítnout vstupy. Takt stroje a Časy události mohou být získány z rozvinovacího nástroje 66 (převáděcího



modulu), a operátor pak může zadat Optimalizovaný takt stroje. Časy události a Takt stroje jsou potřebné pouze ke stanovení trvání tvarování za tepla, takže tyto hodnoty lze před provedením optimalizovat zablokovat. Ekvivalentními vstupy by bylo Trvání tvarování za tepla. Operátor může nastavit Optimalizovaný cílový takt stroje na nulu s nezablokovaným stavem a Počítačový model 64 bude optimalizovat navrhovaný program s nejkratší možnou dobou cyklu. Pokud se operátor rozhodne, že nebude zkracovat takt stroje z aktuální hodnoty Taktu stroje na nejrychlejší Takt stroje, mohl by chtít zkrátit čas cyklu na určitou hodnotu ležící mezi nimi. Může nastavit Optimalizovaný cílový takt stroje na čas ležící mezi Taktem stroje a nejrychlejším taktem stroje se zablokovaným stavem. Je-li program proveditelný, vykoná model krok 84 Sbalit optimalizované časy události do úhlu události a krok 86 Vytisknout úhly události a nový takt stroje pro plánovaný cyklus, takže tyto údaje budou k dispozici pro vstup do části řízení s řadičem.

Obrázek 18 znázorňuje použití Počítačového modelu 64 k vyladění pracujícího IS stroje v reakci na zadání od operátora, definujících jednu nebo více hodnot Trvání procesu tvarování za tepla (Trvání procesu tvarování za tepla „N“ a souvisejícího Cílového, limitního a zablokovaného stavu). S Taktem stroje a Časy události (nebo Trváním procesu tvarování za tepla) jako vstupy a s provedením vstupů Trvání pohybu, Trvání dílčího pohybu, Dolní limity kolizní větve, Dolní limity sekvenční větve stanoví krok 88 Optimalizovat rozvinutý program Počítačového modelu 64 v rozhodovacím kroku 90, zda Je toto proveditelný program? Jak bylo uvedeno, existuje zde další vstup, Trvání procesu tvarování za tepla „N“, zahrnující Cílový (čas), limitní a zablokovaný stav.

Operátor může např. rozhodnout, že porucha se projevila proto, že není dostatek času na prohřívání a zadat navrhovaný čas nového prohřívání. Operátor by rovněž mohl při hodnocení procesu ve stavu off-line zadat více hodnot Trvání procesu za tepla N1, N2,.... V každém z těchto režimů by byly k dispozici Úhly události pro celý program, které by zadal operátor nebo by byly zavedeny z řízení stroje.

Není-li proveditelný žádný program, Počítačový model 64 provede krok 92 Odmítnout vstupy. Je-li program proveditelný, provede řízení krok 89 Výstup trvání procesu tvarování za tepla. Na tomto výstupu by mohl být např. výtisk každé hodnoty trvání, cílové hodnoty trvání, indikace, zda bylo cílové trvání zablokováno či nikoli, a skutečné trvání umístěné v rozmezí mezi horní a dolní hranici trvání. Pokud existuje řešení, pak Počítačový model 64 převede v kroku 84 Časy události do Úhlů události a přejde ke kroku 94 Vytisknout úhly události a nový takt stroje.

Obrázek 19 znázorňuje využití Počítačového modelu 64 pro provedení optimalizace programu (Optimalizace programu). Data Takt stroje, Časy události, Trvání pohybu, Trvání dílčího pohybu, Trvání procesu tvarování za tepla, Trvání kolizní větve a Trvání sekvenční větve, které představují cílové hodnoty, jsou možnými vstupy do kroku 96 Optimalizovat rozvinutý program. Kromě toho je vstupem také řada podmínek: 1. Min/max trvání pohybu „N“, 2. Min/Max trvání procesu tvarování za tepla „N“, 3. Min/Max kolizní větve „N“ a 4. Min/Max sekvenční větve „N“. Položka Min/Max trvání pohybu „N“ se týká přemístění řízeného servomotorem (alespoň jedním z 18, 24, 32, 36, 39), které lze výběrově měnit. Při těchto zadaných vstupech se v kroku 96 Optimalizovat rozvinutý program vyhledá optimalizovaný program, pokud existuje proveditelný program. Pokud je rozhodovací krok 98 Existuje proveditelný program? zodpovězen záporně, dostane operátor pokyn 100 Uvolnit limity, aby se pokusil najít řešení změnou hraničních hodnot. Pokud je rozhodovací krok 98 Je toto proveditelný program? zodpovězen kladně, může řízení provést krok 101 Nastavit kolizní/sekvenční větve na maximum, zablokovat veškerá další trvání a znovu optimalizovat rozvinutý program. Tím se tyto větve budou maximalizovat s cílem dále snížit rychlost kolize při nesprávně stanoveném pořadí. Počítačový model 64 pak provede krok 102 Sbalit časy události do úhlů události, krok 104 Vytisknout úhly události a nový takt stroje a krok 106 Výstup optimalizovaných trvání a limitů. Operátor má tedy možnost do maximální míry manipulovat s rozvinutým programem. Může začít se stávajícím pracovním souborem, který bude obvykle obsahovat takt stroje, úhly události a trvání větví servomotoru a směřovat k definování optimalizovaného programu. Jinak by mohl zadat Trvání procesu tvarování za tepla a pře-

vést je na Časy události (k usnadnění této analýzy by všechny tyto informace mohly být uvedeny na displeji, který zde není znázorněn).

Počítačový model 64 může (viz obrázek 20) po rozhodovacím kroku 107 Je toto proveditelný program? provést další rozhodnutí 108, zda Existuje aktivní podmínka (podmínky), která omezuje další zdokonalení? a provést krok 110 Výstup aktivní podmínky (podmínek) (včetně směru pohybu vedoucího ke zdokonalení). Z počítačového modelu 64 tak lze např. zjistit, že podmínkou, která brání optimalizaci, je doba ochlazování konečné formy. Operátor může díky tomu odstranit tento specifický problém zvýšením toku chladicí látky formami nebo přes formy. Pokud řešení neexistuje, dostane operátor pokyn ke kroku 100 Uvolnit limity.

Obrázek 21 znázorňuje využití této technologie k optimalizaci opotřebení mechanismu řízeného servomotorem (např. jeden z 18, 24, 32, 36, 39) (Optimalizace opotřebení). Zde se používá Počítačový model 64 k optimalizaci rozvinutého programu a když se rozhodne kladně v rozhodovacím kroku 107 Je toto proveditelné řešení, dalším krokem je krok 112 Optimalizovat rozvinutý program zablokováním všech proměnných kromě trvání servopohybu a nastavení cílových hodnot trvání servopohybu na zvýšenou hodnotu. Dalším krokem, který Počítačový model 64 provede, je krok 113 Vytisknout optimalizované trvání pro servomotor „N“ a 114 Dodat optimalizované trvání pro servomotor „N“ do řadiče servomotoru „N“, čímž se pak provede krok 116 Přesměrování trvání servomotoru „N“ z řadiče servomotoru „N“ na řídicí kartu zesilovače servomotoru „N“. Pak přejde ke kroku 118 Změnit na optimalizované trvání v procesoru digitálního signálu zesilovače. Procesor digitálního signálu zesilovače by např. mohl nastavit profil normalizovaného pohybu pro řízený mechanismus tak, aby se přizpůsobil libovolnému trvání pohybu. V tomto prostředí bude ideálním motorem, který se takto přizpůsobí, servomotor s normalizovaným profilem pohybu, jež lze nastavit od minimálního trvání na maximální trvání. Preferovaným provedením profilovaného aktivátoru je servomotor, je však možno použít i jiné elektronické motory, např. krokový motor.

Popsaný způsob řízení lze použít u stroje na tvarování skla buď přímo jako součást řízení stroje, nebo nepřímo při řízení stroje obsluhovaného simulovaným způsobem pro účely analýz a hodnocení.

## PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob řízení IS stroje na tvarování skla s ohledem na optimalizaci procesu tvarování skla, který obsahuje přední stanici (1) pro vytváření baňky z dávky skloviny, mající několik mechanismů (12, 16, 22), konečnou stanici (2) pro tvarování láhve z baňky, mající několik mechanismů (12, 16, 34), dávkovací systém včetně stříhacího mechanismu (5) pro dodávání dávky do formy přední stanice (1), mechanismus (30, 31) pro přenos baňky z přední stanice (1) do formy konečné stanice (2) a mechanismus (38) odběrače pro odstranění láhve z konečné stanice (2),

kde stroj má nastavený takt stroje;

každý z mechanismů (5, 12, 16, 22, 30, 31, 34, 38) pracuje v cyklech během jednoho taktu stroje;

trvání každého přemístění každého z mechanismů (5, 12, 16, 22, 30, 31, 34, 38) lze stanovit;

mezi drahami pohybu dávky, baňky, láhve a jednotlivých mechanismů (5, 12, 16, 22, 30, 31, 34, 38) existují interference;

alespoň jedno přemístění alespoň jednoho mechanismu (5, 12, 16, 22, 30, 31, 34, 38) je rozděleno na alespoň dva dílčí pohyby, které určují místo interference mezi dávkou, baňkou, láhví a dalším mechanismem (5, 12, 16, 22, 30, 31, 34, 38);

- 5 tvarování za tepla baňky a láhve zahrnuje předem stanovený počet procesů tvarování za tepla o konečném trvání probíhajících během jednoho taktu stroje;

alespoň po dobu jednoho procesu konečného trvání je zapnutím přívodního ventilu (V1, V2, V3, V4, V5, V6) a potom jeho vypnutím během jednoho taktu stroje dodáván provozní vzduch;

- 10 zahájení přemístění každého mechanismu (5, 12, 16, 22, 30, 31, 34, 38) a zapnutí a vypnutí přívodního ventilu (V1, V2, V3, V4, V5, V6) jsou řízené události, které začínají ve zvoleném pořadí, a

- 15 kde rozvinutý proces tvarování láhve, kdy je dávka skloviny odstřížena ze žlabu se sklovinou, dávka je pak vytvarována ve formě přední stanice (1) do baňky, baňka je ve formě konečné stanice (2) vytvarována do láhve a láhev je pak z konečné stanice (2) odstraněna, trvá déle než dokončení jednoho taktu stroje, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že

- 20 zahrnuje kroky, kdy se počítačový model (64) matematického vyjádření (62) síťového schématu (60) podmínek rozvinutého procesu (66) tvarování láhve analyzuje jakožto omezený optimalizační problém a stanoví se, zda je optimalizovaný rozvinutý proces (96) tvarování láhve proveditelný, a dále se určí jakákoliv aktivní podmínka, která omezuje další optimalizaci rozvinutého procesu (66) tvarování láhve, přičemž se užijí následující vstupní parametry:

- 25 a) trvání pohybu každého z mechanismů (5, 12, 16, 22, 30, 31, 34, 38),  
 b) trvání dílčích pohybů alespoň jednoho z mechanismů (5, 12, 16, 22, 30, 31, 34, 38),  
 c) čas (104) taktu stroje,  
 d) čas v rozvinutém procesu (66) tvarování láhve, kdy začne přemístění každého z mechanismů  
 30 (5, 12, 16, 22, 30, 31, 34, 38) a bude zapnut a vypnut každý ventil (V1, V2, V3, V4, V5, V6),  
 e) trvání procesů tvarování za tepla,  
 f) limity trvání pohybu „N“ mechanismů (5, 12, 16, 22, 30, 31, 34, 38),  
 g) limity trvání „N“ procesů tvarování za tepla,  
 35 h) limity trvání „N“ kolizních větví,  
 i) limity trvání „N“ sekvenčních větví,

a výstupní parametry modelu (64) se pak užijí pro vytvoření řídicí instrukce pro efektivní výrobní proces stroje na tvarování skla.

- 40 **2.** Způsob podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že matematické vyjádření (62) obsahuje matematickou matici.

45

## Seznam vztahových značek

K obr. 1, který znázorňuje sekci IS stroje:

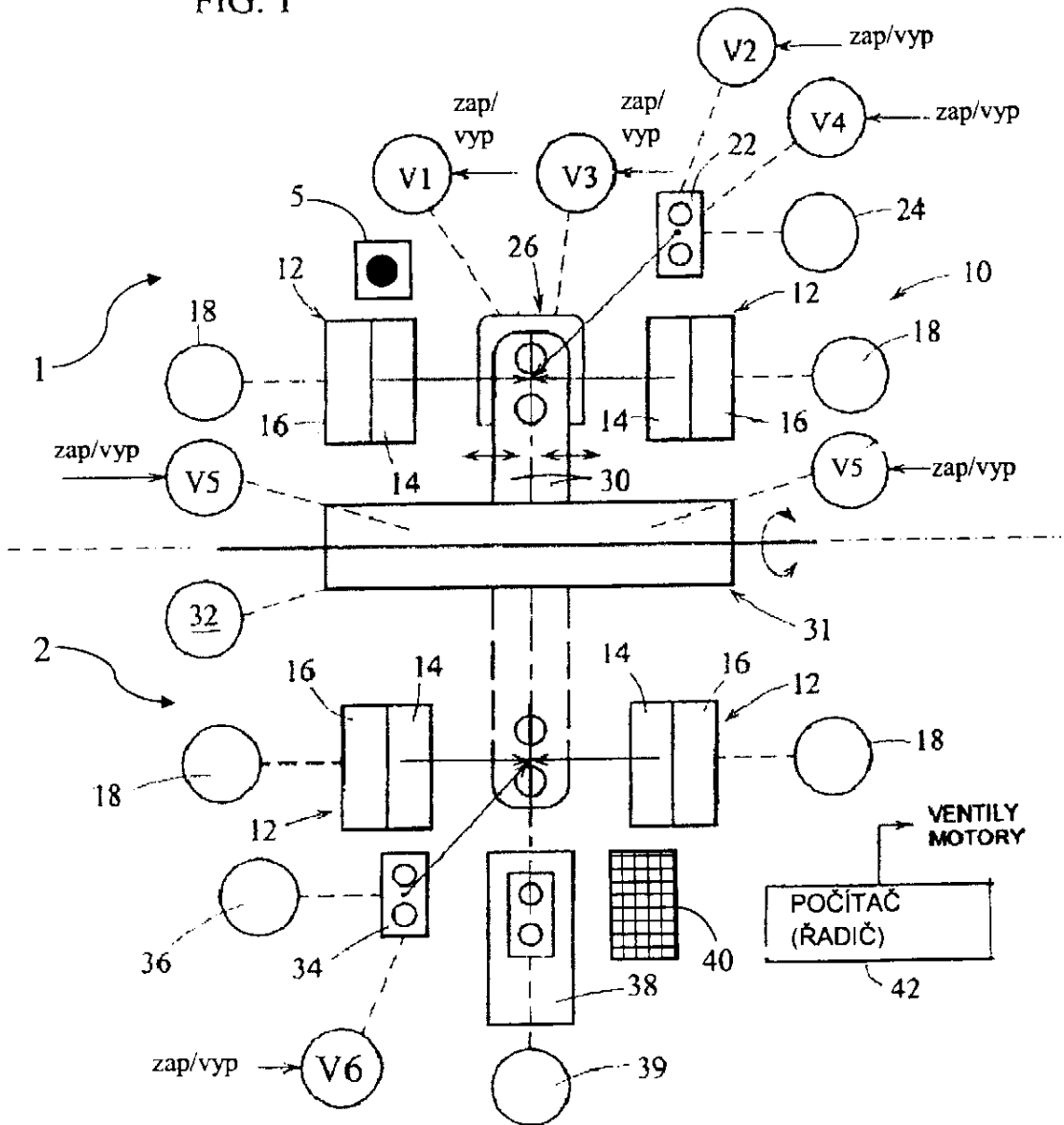
5	1	– přední stanice
	2	– konečná (foukací) stanice
	5	– systém pro dávkování skloviny s odstřihovacím mechanismem
	10	– sekce IS stroje
10	12	– mechanismus pro otvírání a zavírání formy
	14	– podpěra formy, přemístitelná
	16	– přemisťovací mechanismus podpěry formy
	18	– motor
	22	– mechanismus závěrové hlavy, přemístitelný
15	24	– motor
	26	– mechanismus razníku, přemístitelný
	30	– držák kruhových ústí, pneumaticky přemístitelný
	31	– obráběcí mechanismus
	32	– servomotor
20	34	– podpěra foukací hlavy, přemístitelná
	36	– motor
	38	– odběračový mechanismus
	39	– motor
	40	– odstávka
25	42	– řídicí počítač
	V1	– ventil chladicího vzduchu
	V2	– ventil foukacího vzduchu přední stanice
	V3	– ventil protifuku
	V4	– ventil pro aplikaci vakua
30	V5	– ventil pneumatického válce ramen pro držení kruhových ústí
	V6	– ventil pro foukací vzduch v konečné stanici

K obr. 13 až 21, které znázorňují formou blokových schémat řídicí procesy:

35	60	– definování síťového schématu podmínek procesu tvarování láhvi
	61	– přeložení síťového schématu na datovou tabulku
	62	– převedení datové tabulky na matematické vyjádření
	64	– počítačový model
	66	– rozvinutí úhlů událostí sbaleného cyklu do časů událostí rozvinutého procesu (převáděcí modul)
40	68	– analyzování podmínek rozvinutého procesu
	70	– krok rozhodování, zda dojde k porušení podmínky
	74	– poplach a (nebo) odmítnutí vstupů
	76	– výstup porušení podmínek
45	78	– výstup vypočítaných hraničních hodnot
	79	– sbalení časů událostí do úhlů událostí a jejich zobrazení vč. taktu stroje
	80	– analyzování rozvinutého procesu s ohledem na trvání procesu tvarování za tepla
	81a	– výstup hodnot trvání procesů tvarování za tepla
	81	– výstup hraničních hodnot trvání procesu „N“ tvarování za tepla
50	82	– optimalizace rozvinutého procesu s ohledem na minimální dobu cyklu
	83	– krok rozhodování, zda jde o proveditelný program
	84	– sbalení optimalizovaných časů do úhlů událostí
	85	– odmítnutí štěpů
	86	– výstup úhlů událostí a nového taktu stroje
55	88	– optimalizace rozvinutého procesu
	89	– výstup hodnot trvání procesu tvarování za tepla
	90	– krok rozhodování, zda jde o proveditelný program
	92	– odmítnutí vstupů
	94	– výstup úhlů událostí a nového taktu stroje
60	96	– optimalizace rozvinutého procesu

- 98 – krok rozhodování, zda jde o proveditelný program
- 100 – uvolnění limitů
- 101 – nastavení kolizní větve na maximum, zablokování dalších hodnot trvání
- 102 – sbalení časů událostí do úhlů událostí
- 5 104 – vytisknutí úhlů událostí a nového taktu stroje
- 106 – výstup optimalizovaných hodnot trvání a limitů
- 107 – krok rozhodování, zda jde o proveditelný program
- 108 – krok rozhodování, zda existuje aktivní podmínka, která omezuje další zlepšení
- 110 – výstup hodnot aktivní podmínky
- 10 112 – optimalizace rozvinutého procesu, zablokování všech proměnných kromě trvání servopohybů
- 113 – výstup optimalizovaných hodnot trvání pro servomotor „N“
- 114 – dodání optimalizovaných hodnot trvání pro servomotor „N“ do řadiče servomotoru „N“
- 116 – přesměrování trvání servomotoru „N“
- 118 – změnění na optimalizované trvání

FIG. 1





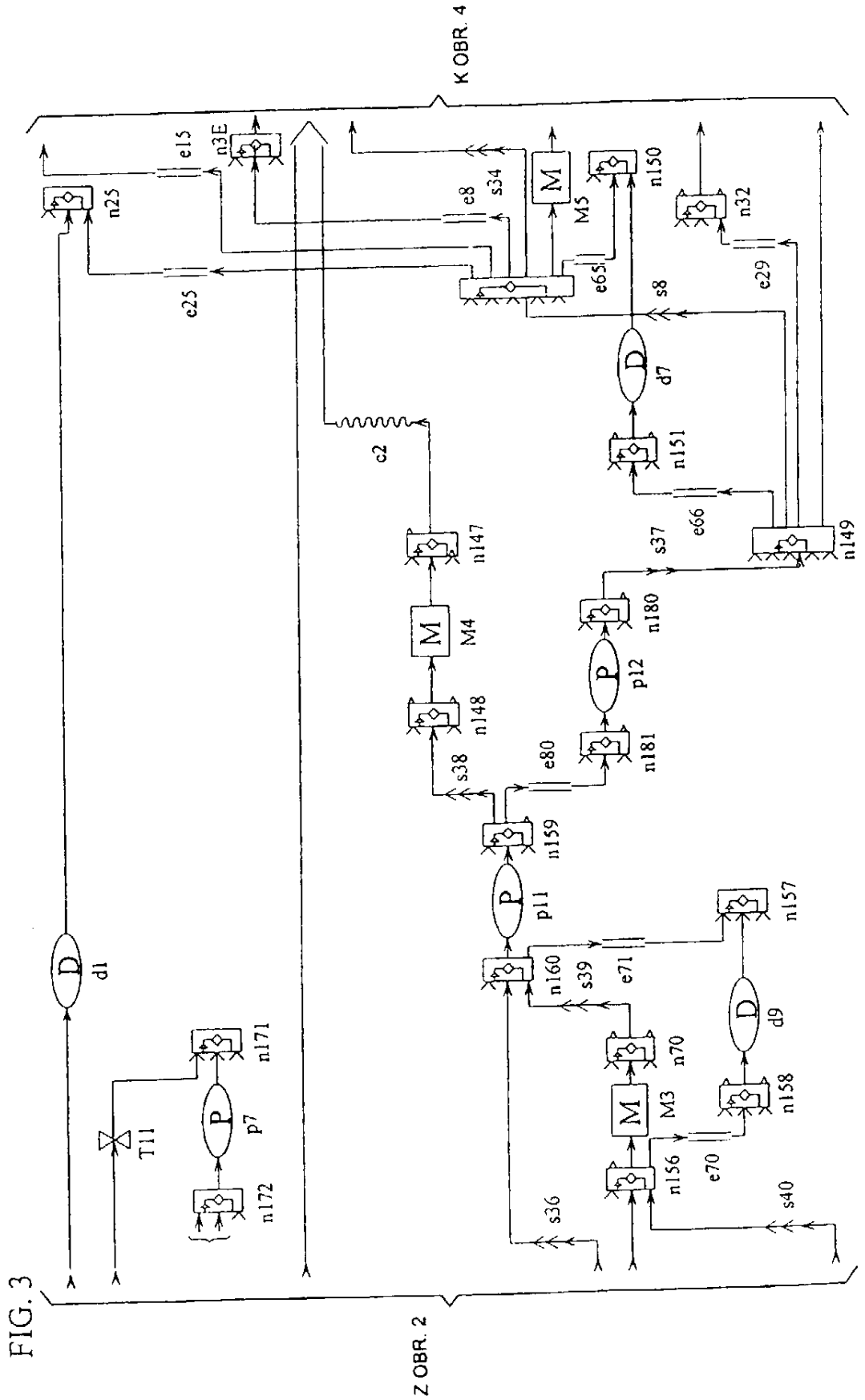
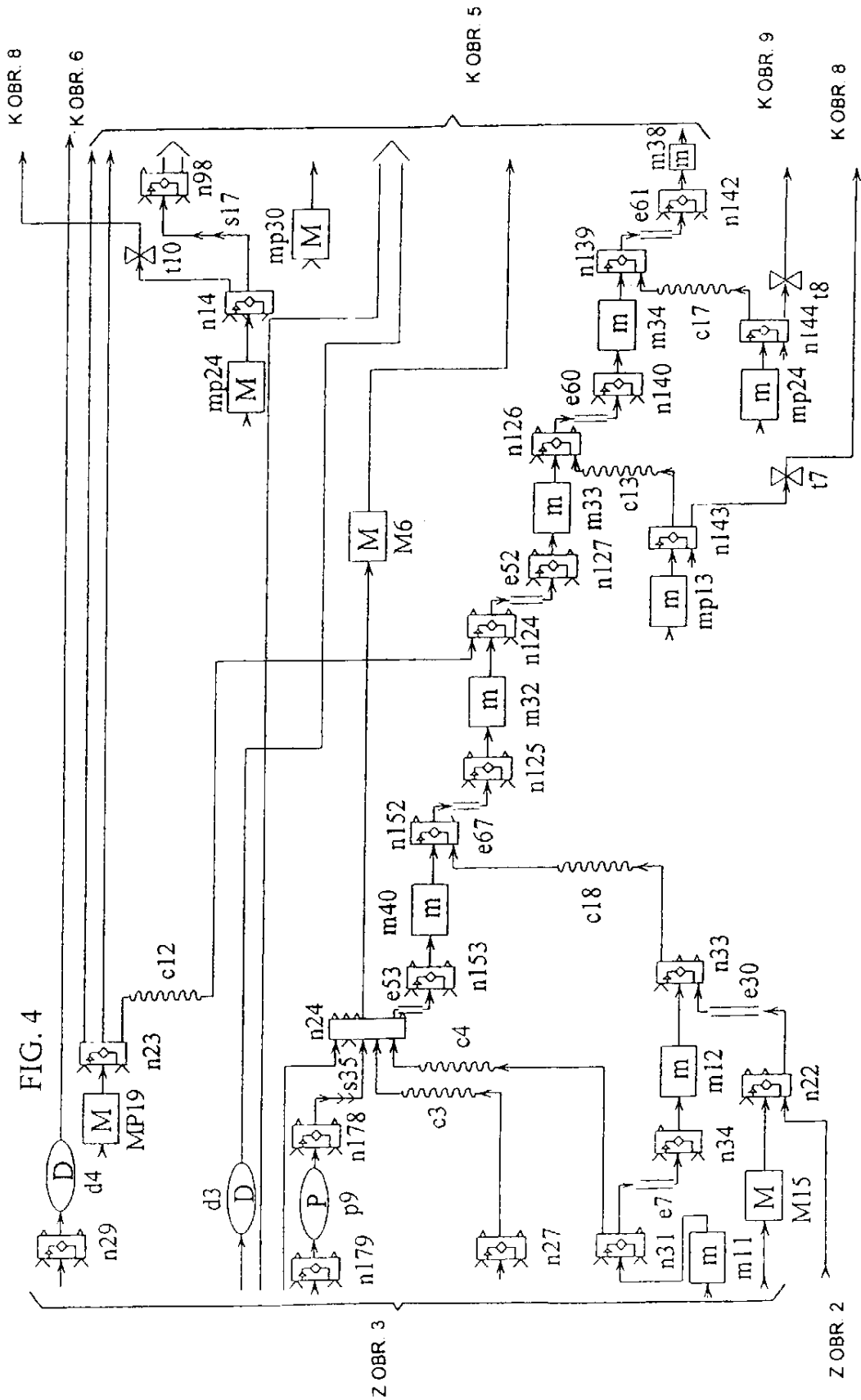


FIG. 3





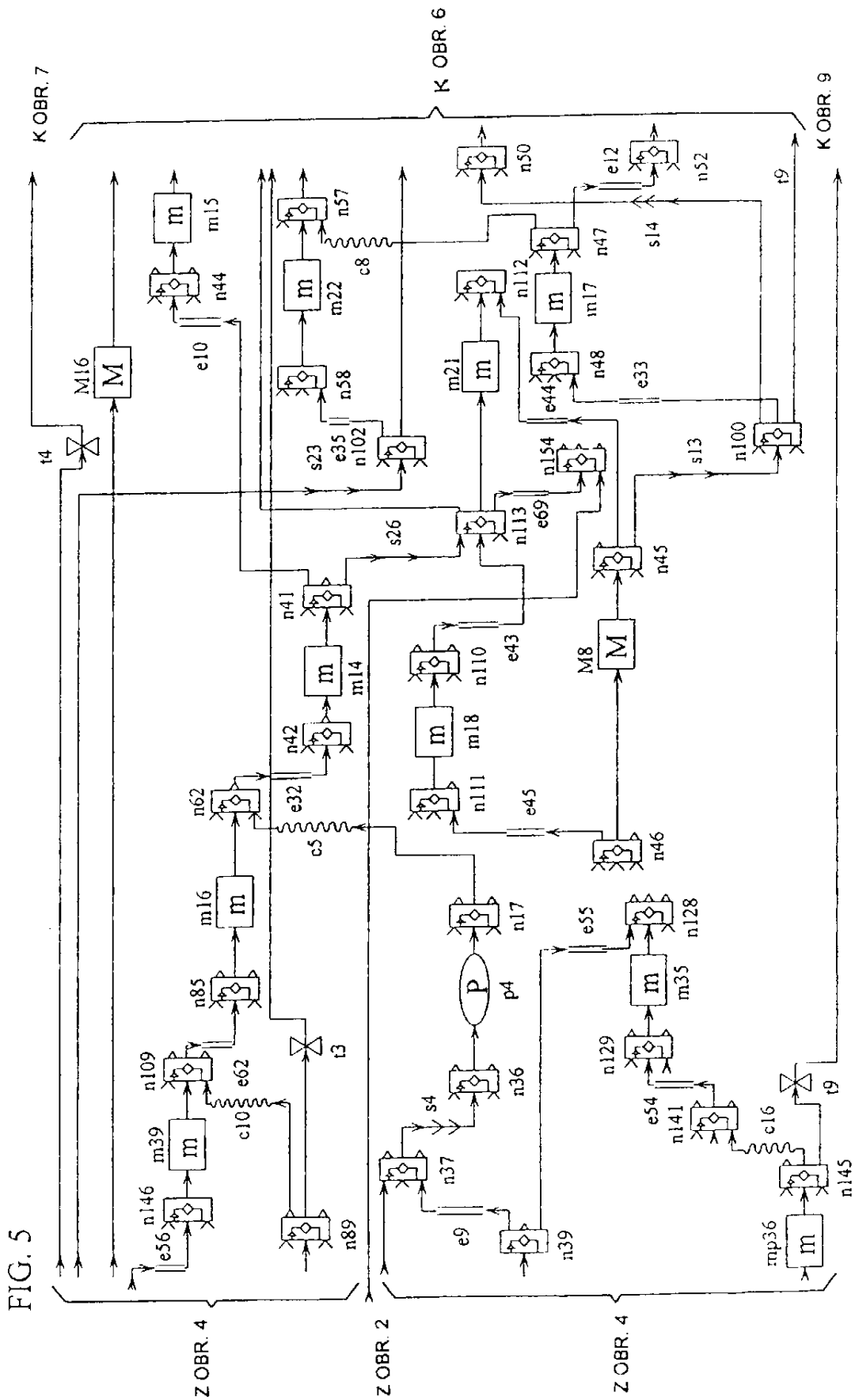


FIG. 5



FIG. 7

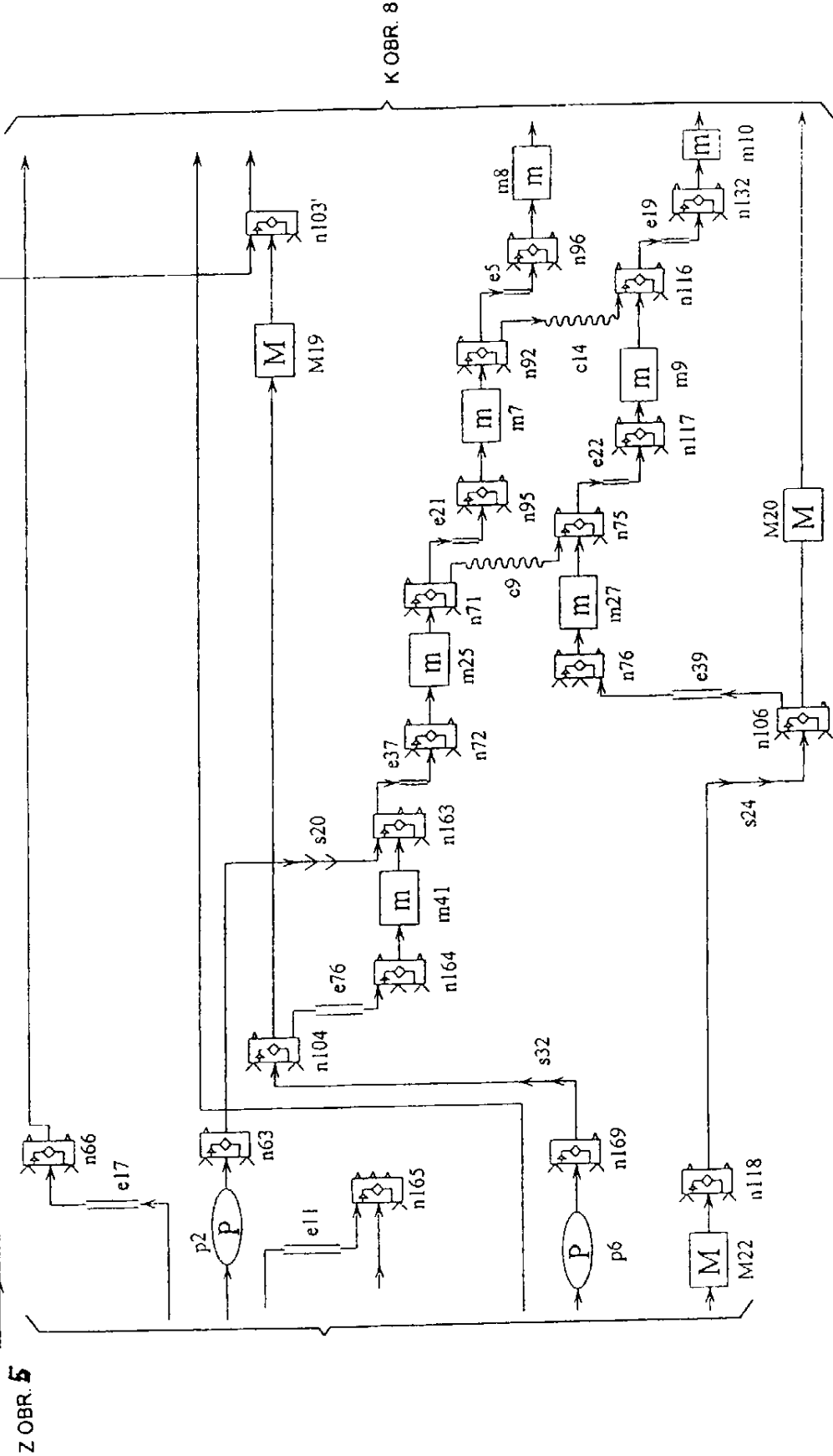


FIG. 8

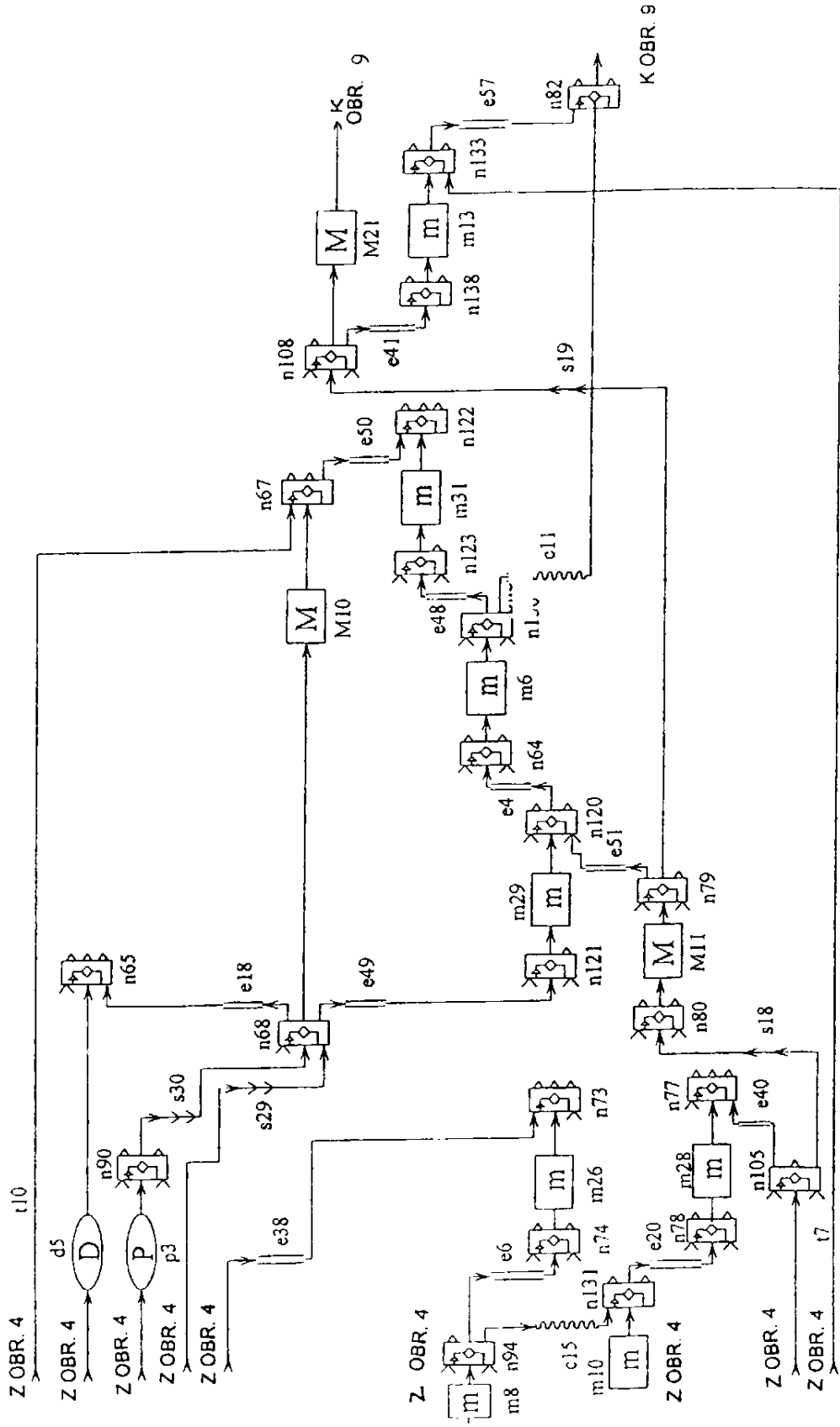
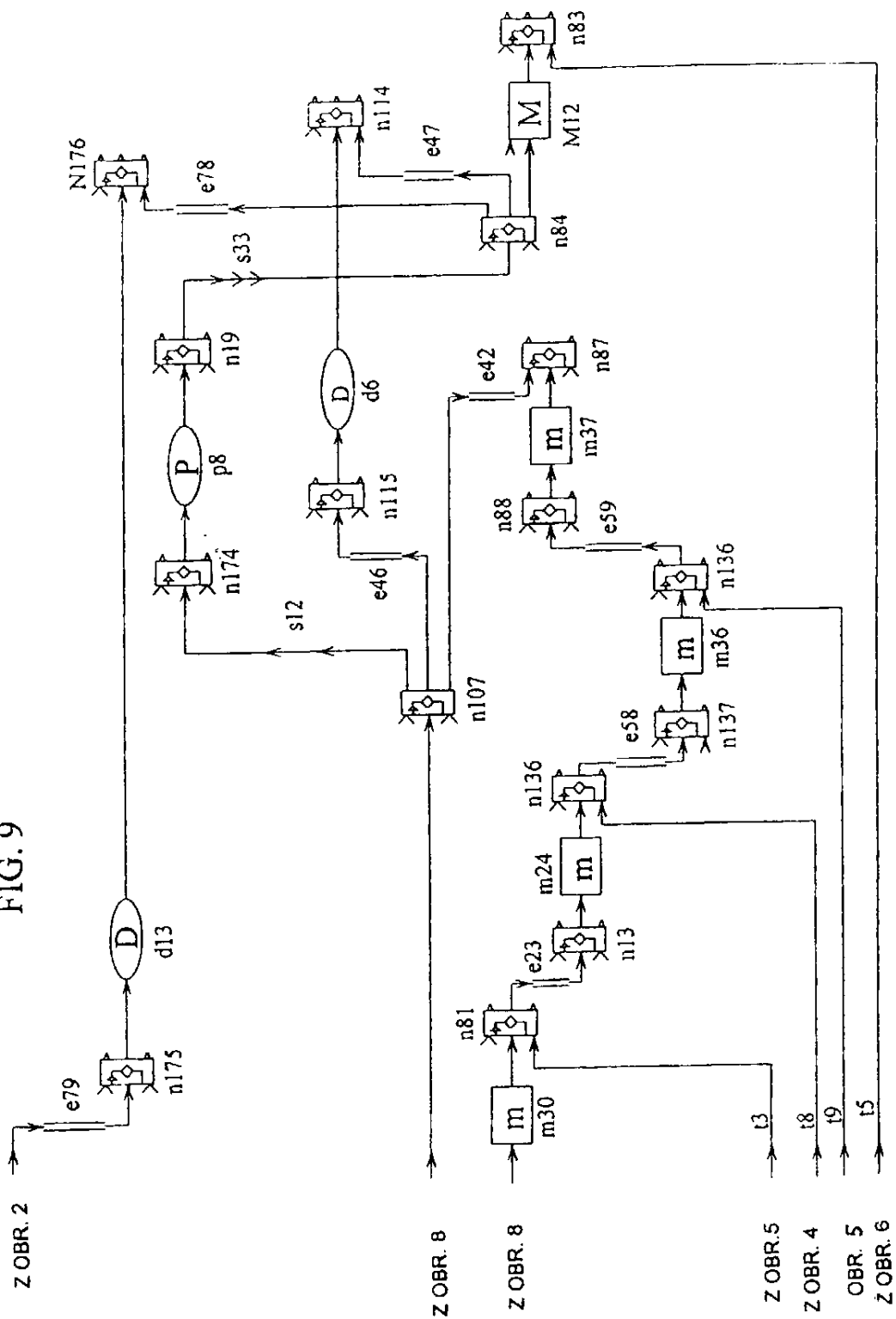


FIG. 9



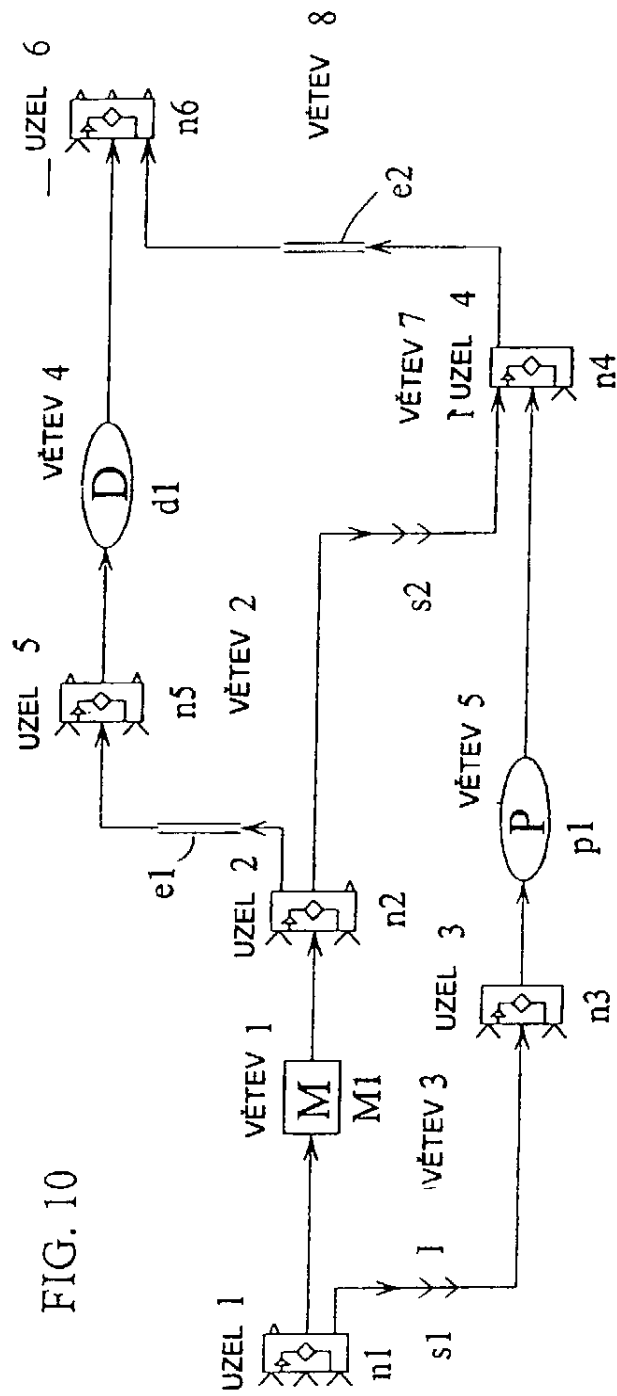


FIG. 10

FIG. 11

	G	H
1	UDÁLOSTI	ON OFF
2	ZACHYCOVAČ DÁVKY	334 14
3	PŘEDNÍ FORMY SE ZAVÍRAJÍ	324 130
4	PŘEDNÍ FORMY SE OTEVÍRAJÍ	130 321
5	RAZNÍK NAHORU	33 123
6	PRVNÍ ZÁVĚROVÁ HLAVA	9 125
7	RAZNÍK DOLŮ	127 327
8	NÁLEVKA	1 150
9	NASTAVENÍ FOUKÁNÍ	1 1
10	CHLAZENÍ RAZNÍKU	150 260
11	PŘEVRAČENÍ	200 260
12	ÚSTNÍ FORMA SE OTEVÍRÁ	274.5 283
13	NAVRAT	282 172
14	FORMY SE ZAVÍRAJÍ/OTEVÍRAJÍ	229 170
15	FORMY SE CHLADÍ	10 150
16	FOUKACÍ HLAVA	290 113
17	DOFUK	348 120
18	ODBĚRAČ DOVNITR	137 197
19	NUŽKY SE ZAVÍRAJÍ	178 78
20	ODBĚRAČ VEN	197 90



FIG. 12A

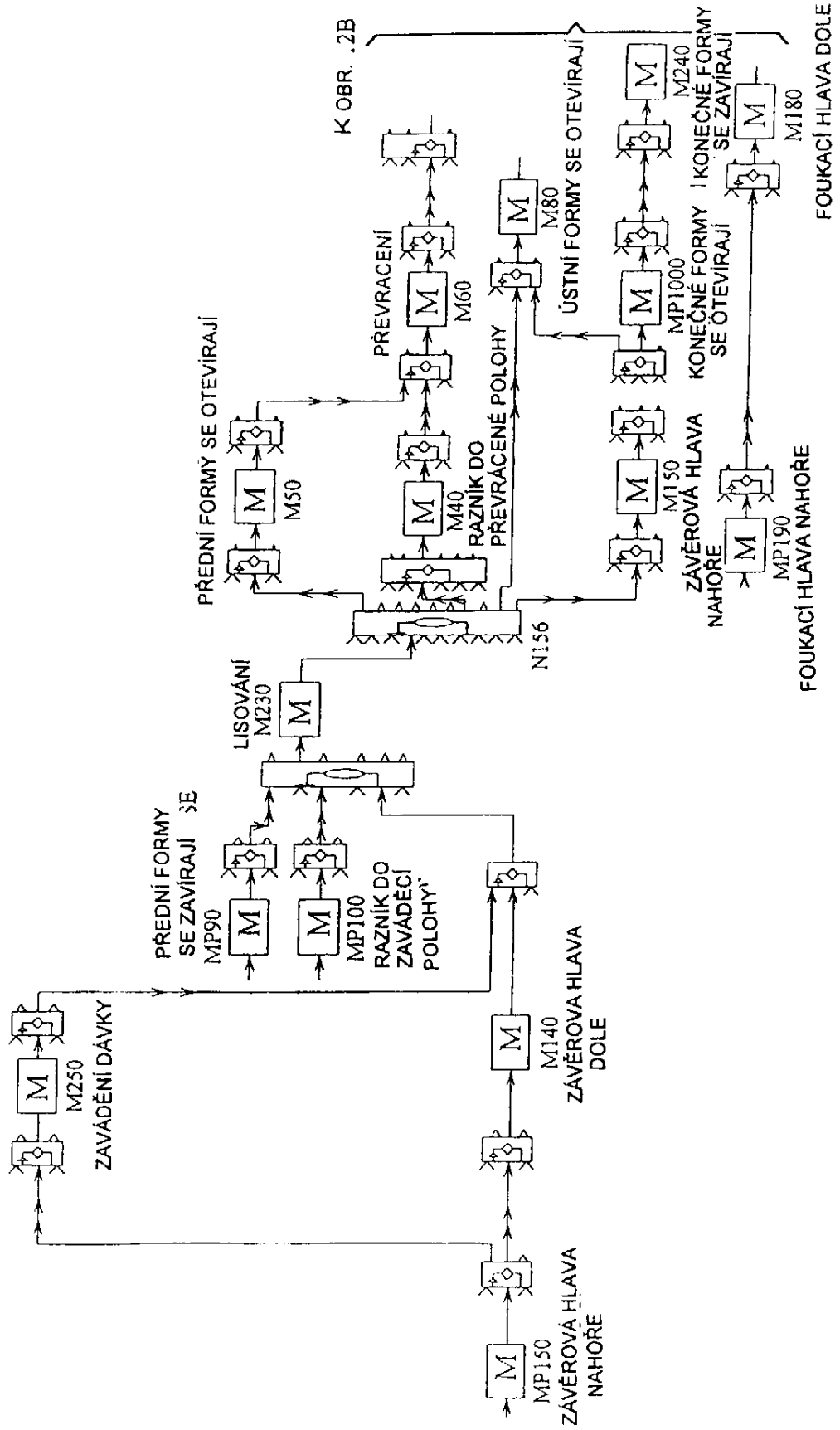
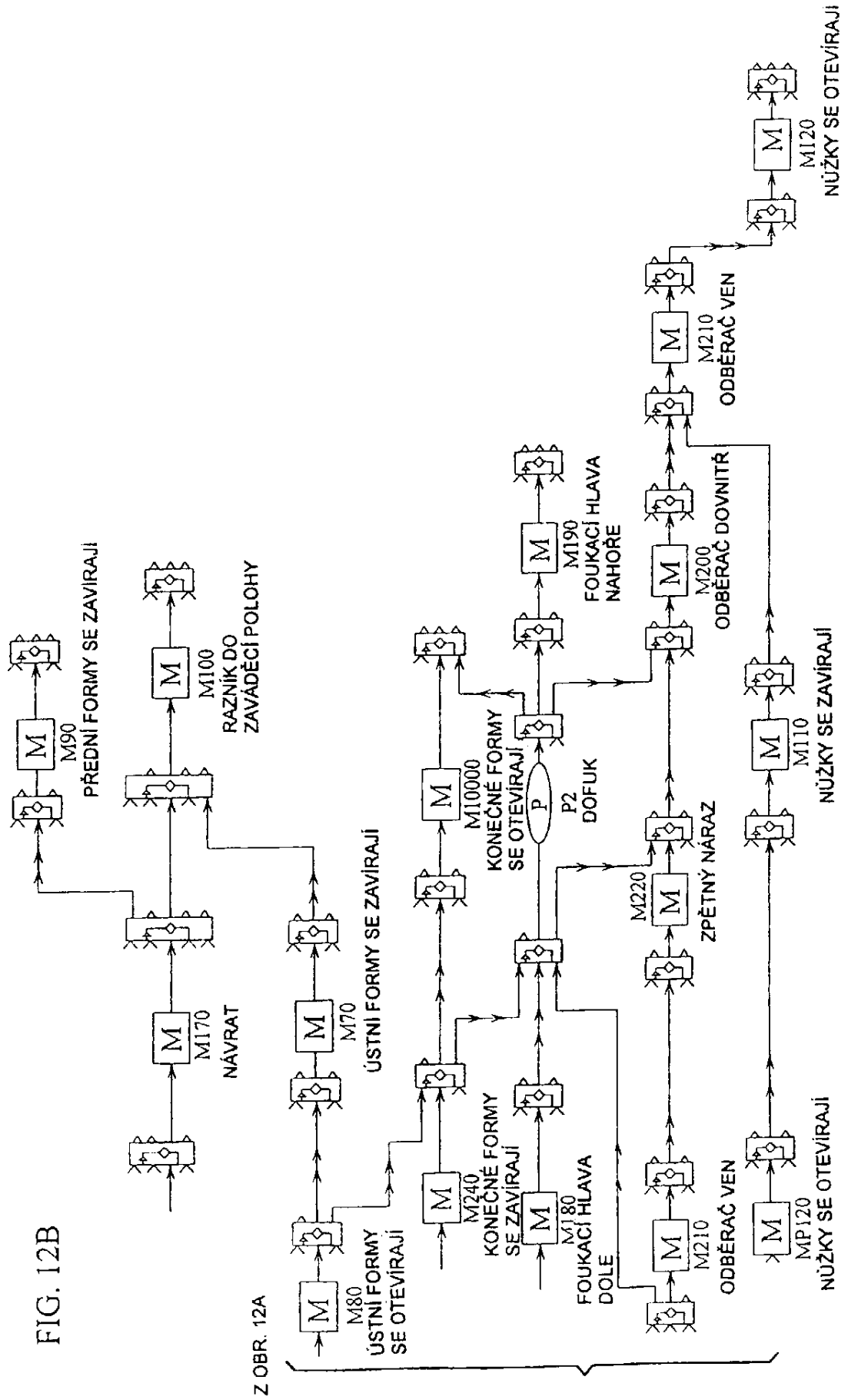


FIG. 12B



Z OBR. 12A

FIG. 13

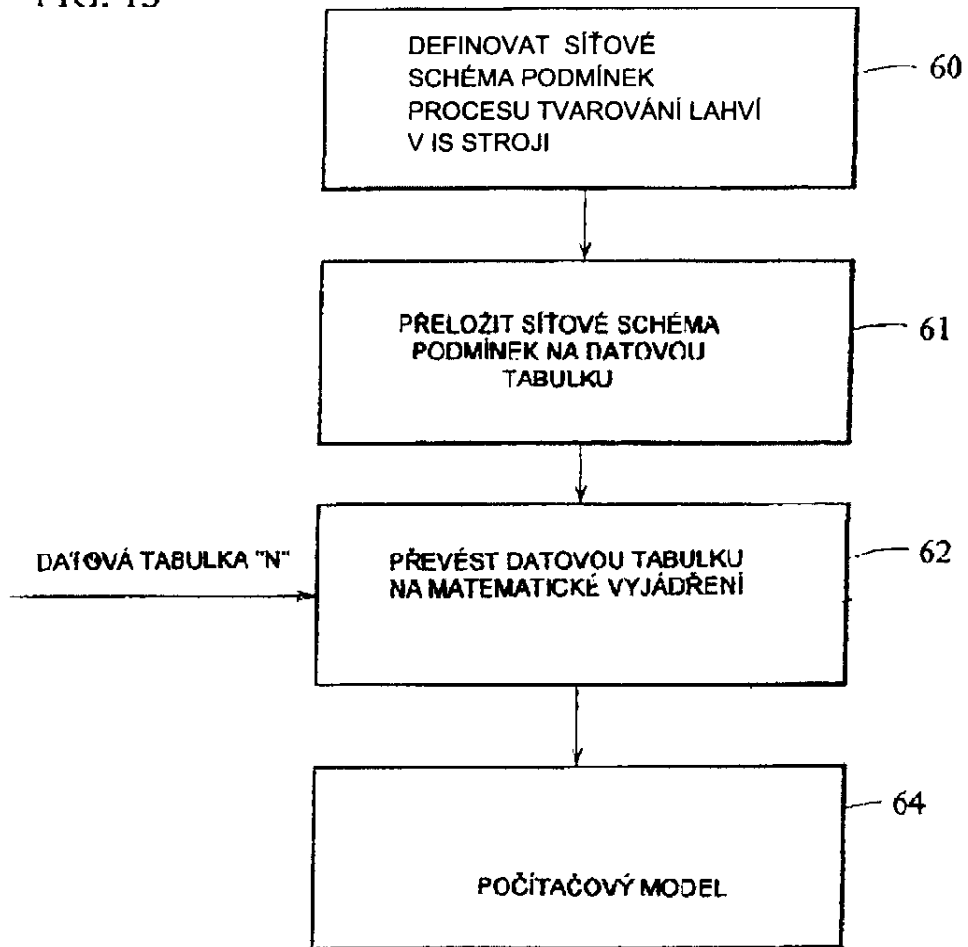


FIG. 14

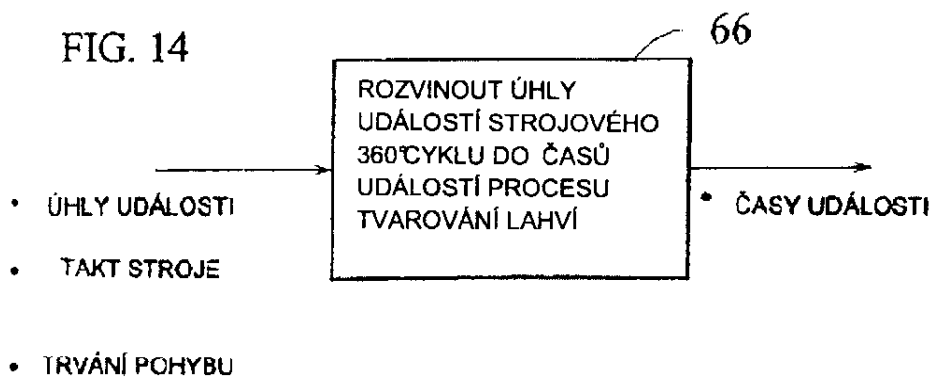


FIG. 15

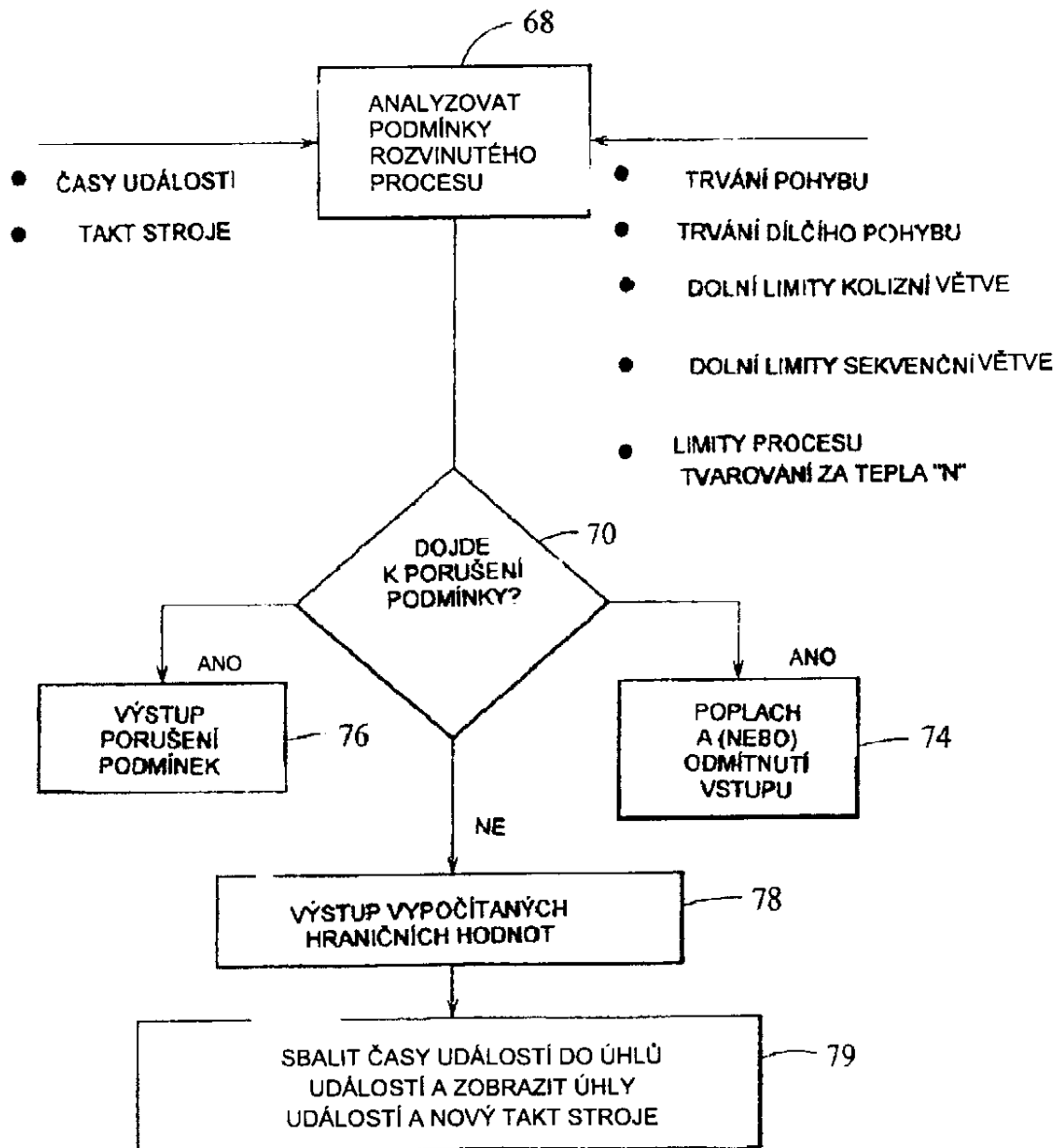


FIG. 16

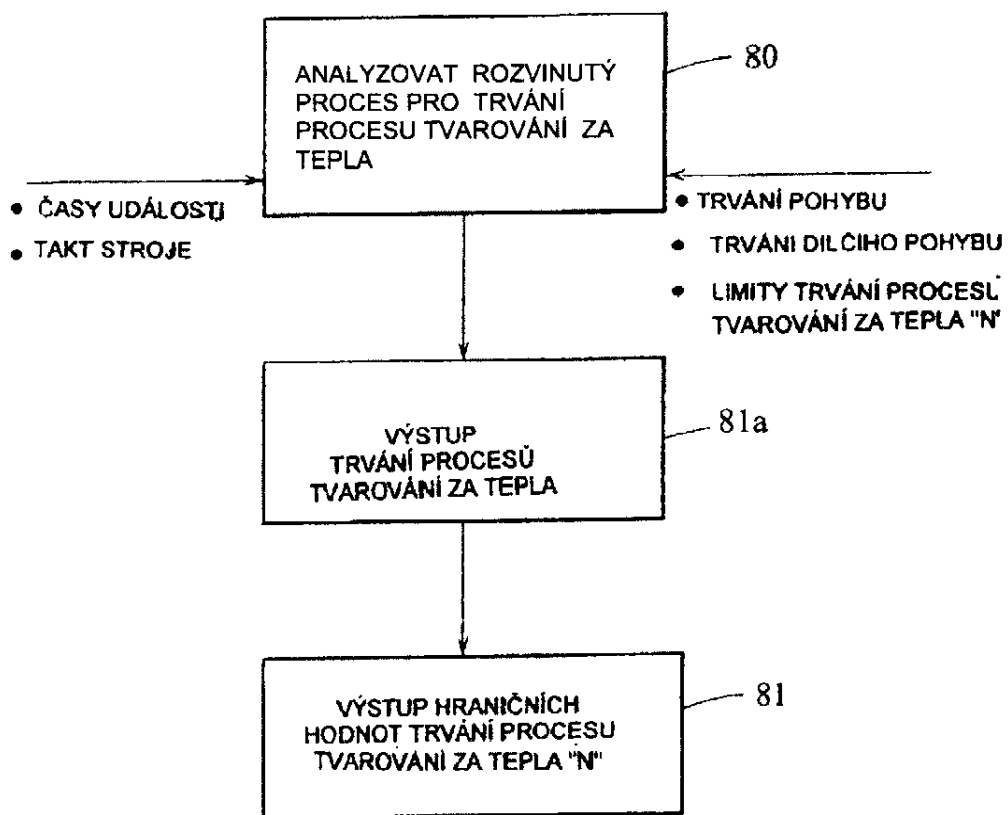


FIG. 17

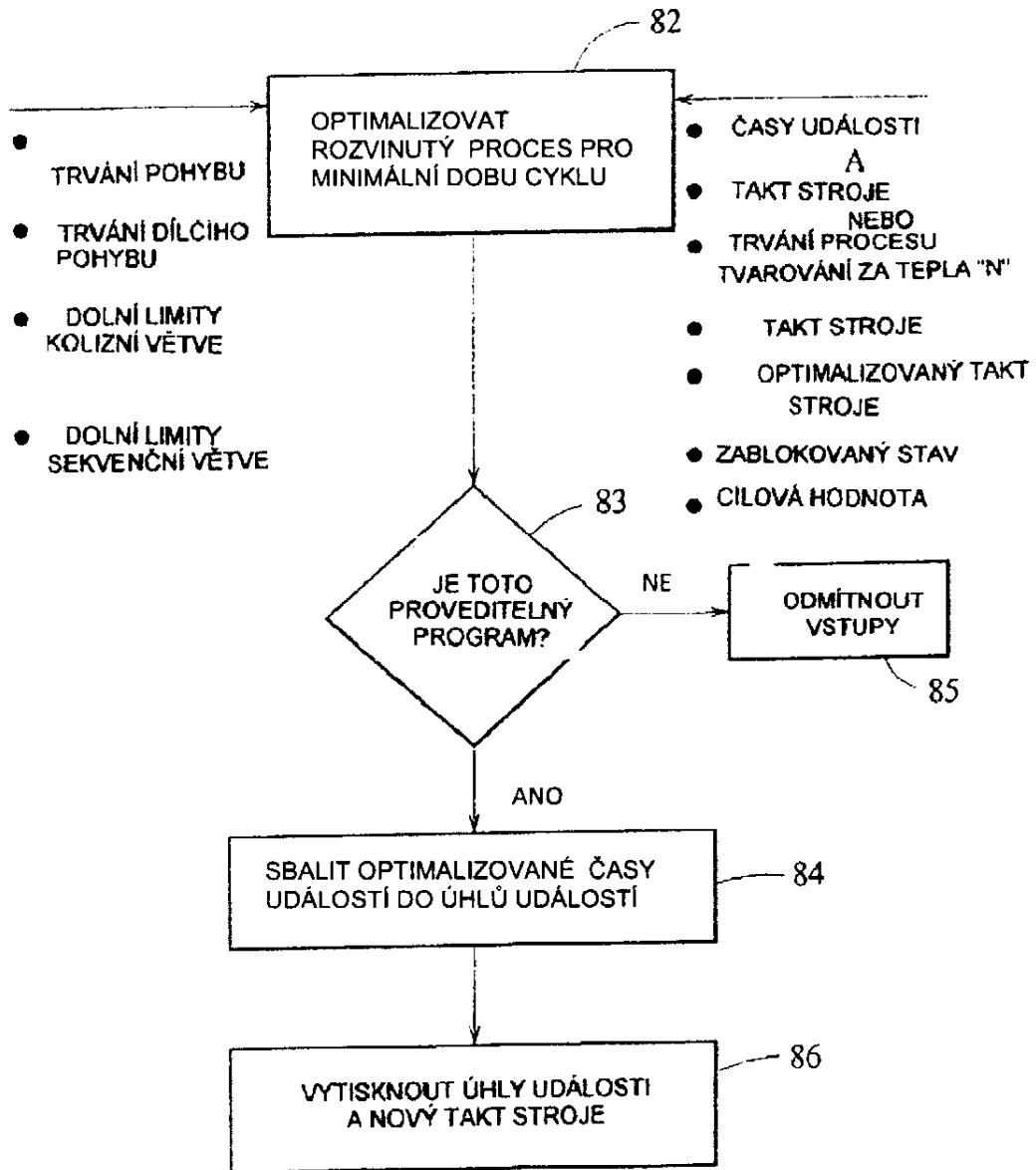


FIG. 18

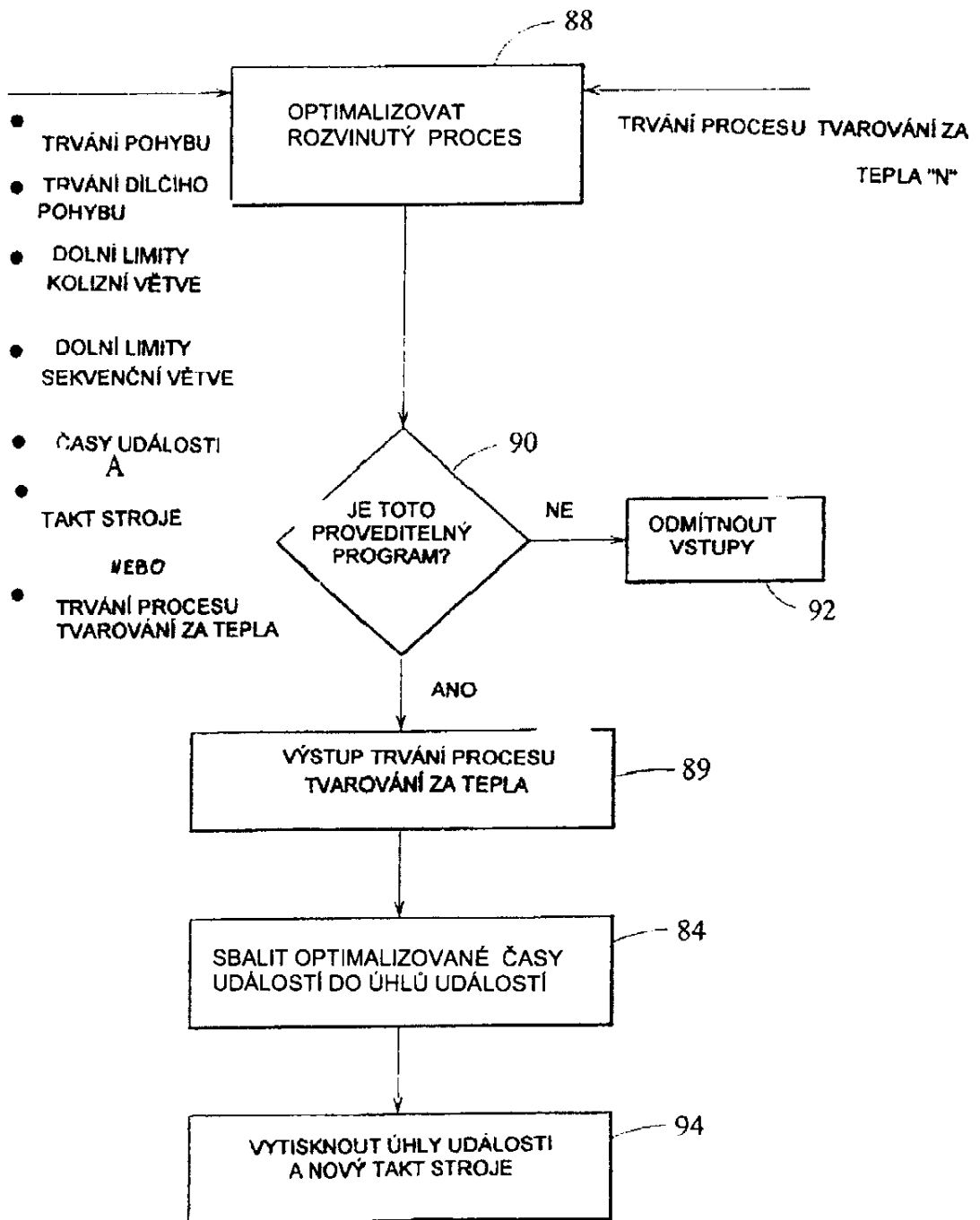


FIG. 19

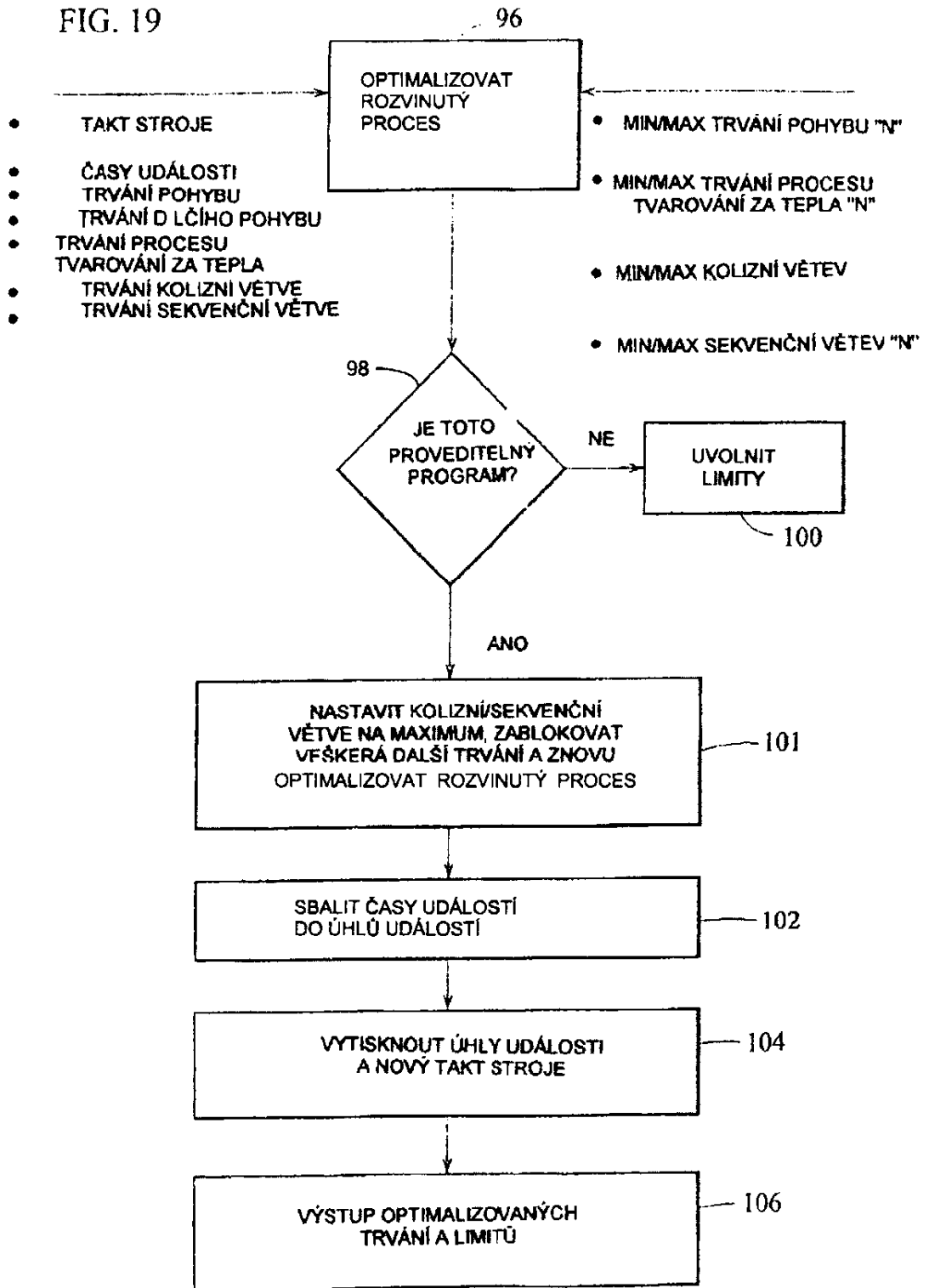




FIG. 20

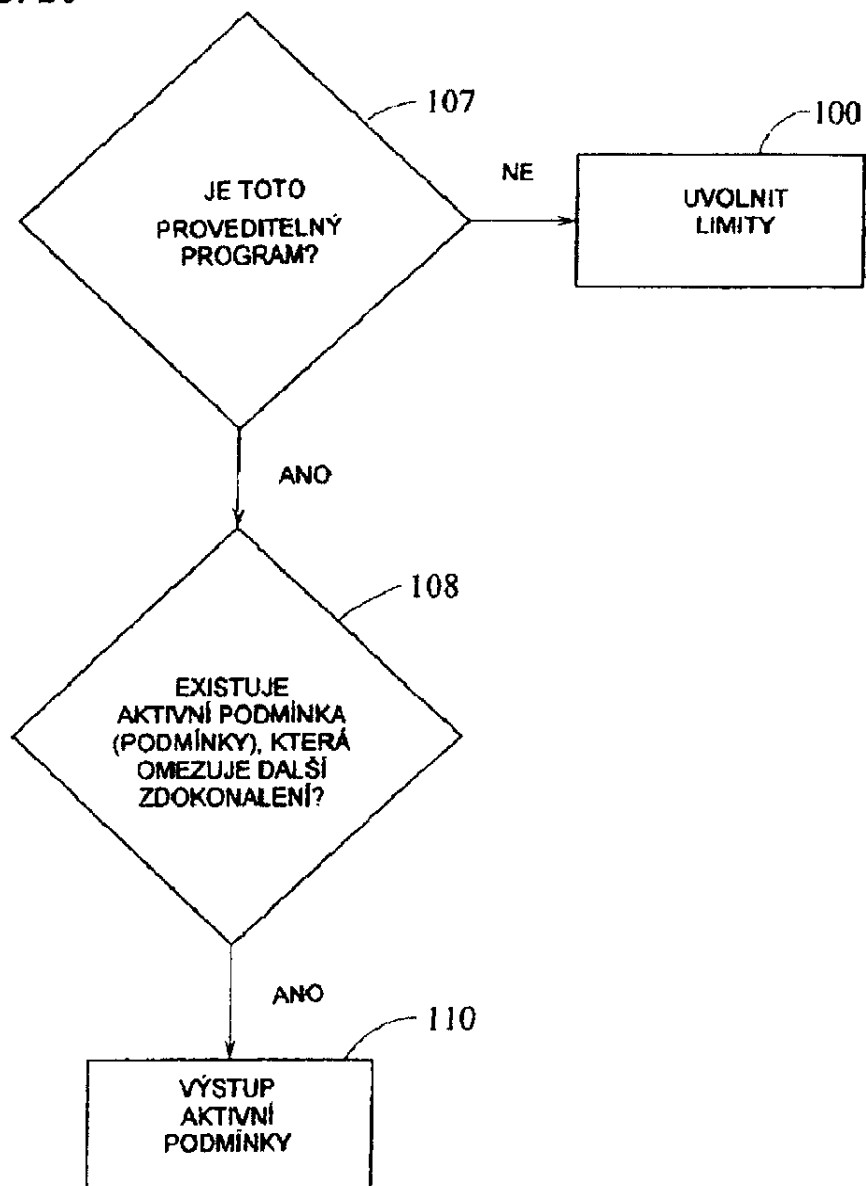
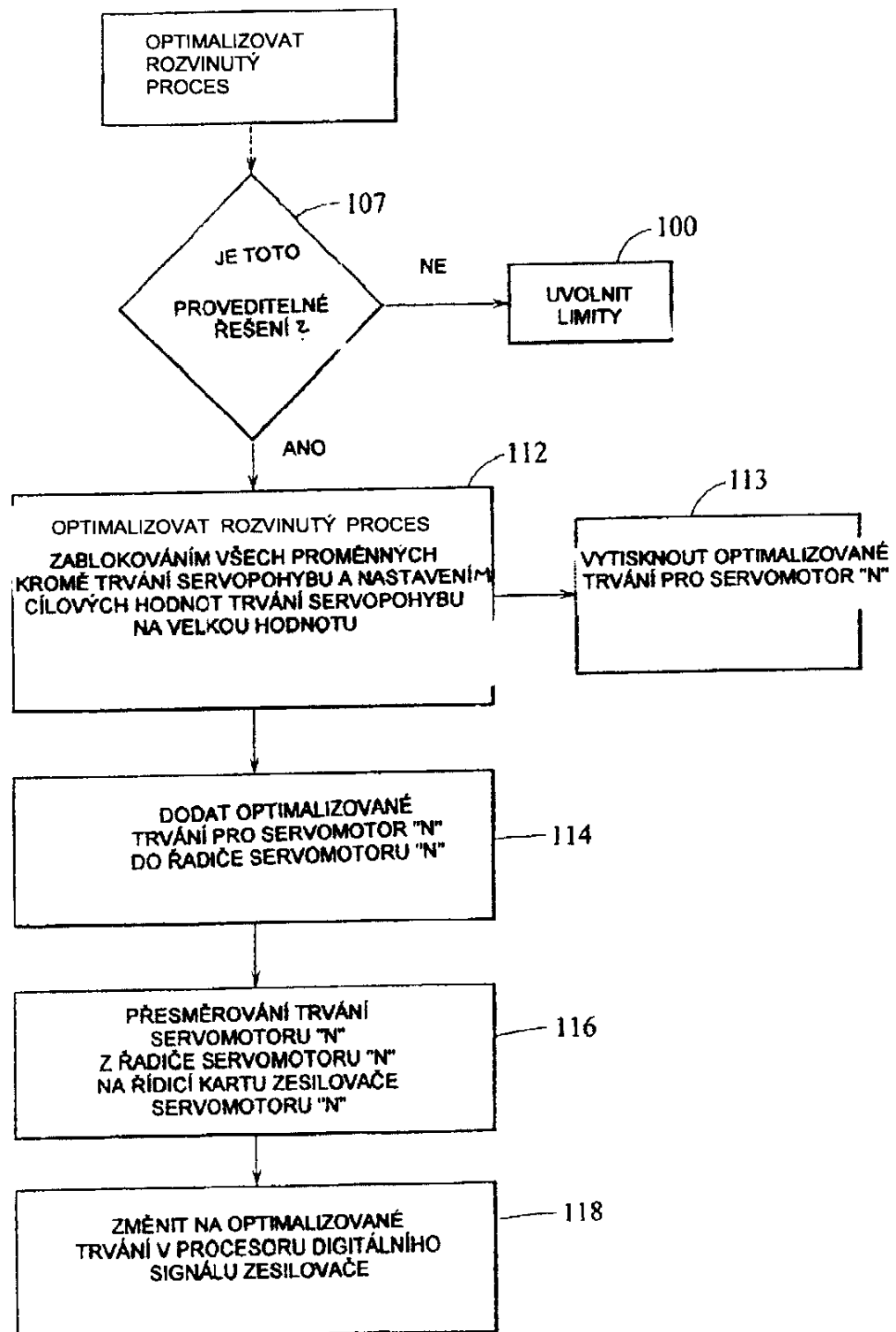


FIG. 21



Konec dokumentu