



Tažný mechanismus dna konečné formy

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T010 – Konstrukce strojů a zařízení
Autor práce: **Bc. Rudolf Zajíček**
Vedoucí práce: doc. Ing. František Novotný, CSc.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Rudolf Zajíček**
Osobní číslo: **S13000539**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce strojů a zařízení**
Název tématu: **Tažný mechanismus dna konečné formy**
Zadávací katedra: **Katedra sklářských strojů a robotiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Lehké (odlehčené) láhve potřebují krátký přední tvar pro správné a rovnoměrné rozdělení skloviny. Proto je třeba setrvat s předním tvarem v konečné formě až do okamžiku jeho kontaktu se dnem konečné formy. Teprve poté lze aplikovat vakuum a realizovat konečné foukání. Možností zkrácení doby volného (gravitačního) tvarování předního tvaru v konečné formě se jeví aplikace pomocného zařízení založeného na podtlakovém zachycení dna předního tvaru a jeho rychlé tažení do úrovně dna formy, podle [1]. Úkolem práce je konstrukční realizace takového zařízení.

Úkolem Vaší DP bude:

1. Podrobně zpracovat rozbor stávajícího stavu s kvantifikací jednotlivých fází tvarovacího cyklu.
2. Navrhnout variantní řešení pomocného mechanismu a provést na základě rozhodovací analýzy výběr varianty pro konstrukční řešení.
3. Počítačovou simulací namodelovat průběh tvarovacího cyklu pro vybranou variantu řešení.
4. Provést konstrukční řešení verifikované varianty.
5. Zhodnotit přínos navrženého řešení.

Rozsah grafických prací: výkresová dokumentace tažného mechanismu
Rozsah pracovní zprávy: 40 - 50 stran textu
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

[1] Patent US2004118159A1 *Method of fabricating a hollow glass article including a stage of assisted stretching of the blank, and an installation for implementing the method.*
Ve vlastnictví O-I.

[2] BELDA, J.: *Sklářské stroje I. Skripta.* Liberec: VŠST, 1991.

[3] BELDA, J.: *Sklářské stroje II: Tepelné výpočty. Skripta.* Liberec: VŠST, 1986.

[4] SMRČEK, A.: *Strojní tvarování skla.* Praha: SNTL, 1981.

[5] *Technická dokumentace výrobního stroje*

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. František Novotný, CSc.
Katedra sklářských strojů a robotiky
Konzultant diplomové práce: Ing. Ivo Matoušek, Ph.D.
Katedra sklářských strojů a robotiky
Ostatní konzultanti: Fréderic Dazaud
O-I, Francie

Datum zadání diplomové práce: 11. listopadu 2015
Termín odevzdání diplomové práce: 11. února 2017

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan



doc. Ing. František Novotný, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 11. listopadu 2015

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současne cestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 27.5.2016

Podpis:



Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mi při psaní této diplomové práce pomáhali, a to především panu doc. Ing. Františku Novotnému, CSC. za jeho trpělivost, cenné rady a odborné poznatky.

Dále děkuji Ing. Ivo Matouškovi, Ph.D. za odbornou pomoc při realizaci počítačové simulace.

Poděkování patří rovněž O-I Manufacturing a.s., jmenovitě panu řediteli Pavlovi Netroufalovi, který umožnil studium při zaměstnání a také za jeho trpělivou podporu.

Také bych rád poděkoval celé mé rodině, obzvlášť pak mé partnerce Aničce a dceři Aničce Esterce za nesmírnou podporu během celého studia.

Obsah

ÚVOD.....	8
1. ROZBOR STÁVAJÍCÍHO STAVU	9
1.1. TECHNOLOGIE 2 X FOUKACÍM ZPŮSOBEM TVAROVÁNÍ	9
1.2. TECHNOLOGIE LISOFOUKACÍM ZPŮSOBEM TVAROVÁNÍ	10
1.3. TECHNOLOGIE ÚZKOHRDLÝM LISOFOUKACÍM ZPŮSOBEM.....	10
1.4. SOUČASNÝ STAV SKLÁŘSKÝCH STROJŮ	17
2. NAVRHOVANÉ ŘEŠENÍ	25
2.1. VÝROBNÍ POSTUP.....	25
2.2. ROZDĚLENÍ ŘEŠENÍ POHYBU DNA.....	30
2.2.1. Varianta A – pneumatickým pohonem	31
2.2.2. Varianta B – Axiální řešení s integrovaným transformačním blokem	32
2.2.3. Varianta C – Axiální řešení s transformačním blokem.....	33
2.2.4. Varianta D – NONAXIÁLNÍ řešení	34
2.3. POŽADAVKY NA ŘEŠENÍ.....	35
2.4. ROZHODOVACÍ ANALÝZA	35
3. POČÍTAČOVÁ SIMULACE	38
4. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	43
4.1. ŘEŠENÍ MECHANISMU DNA	43
4.2. DNO FORMY.....	43
4.3. PŘIPOJENÍ K POHYBLIVÉ PÍSTNICI	44
4.4. AKTUÁTOR	45
4.5. LOŽISKA	47
5. ZHODNOCENÍ	50
ZÁVĚR	51
POUŽITÁ LITERATURA.....	52

Anotace

Diplomová práce předkládá technické řešení tažného mechanismu dna konečné formy. Navržené řešení aplikuje nucený způsob deformace předního tvaru a tím urychluje proces tvarování předního tvaru a současně zajišťuje požadované rozložení skloviny. Navrhovaný způsob řešení je technickým rozpracováním patentu US 2004/0118159 A1, který umožňuje redukovat dobu tvarovacího cyklu pomocným zařízením integrovaným v mechanismu dna. Pohyb pomocného mechanismu je realizován prostřednictvím elektrického servomechanismu a navržený způsob polohovacího řízení je unifikován pomocí počítačové simulace tvarovacího procesu.

Annotation

This diploma thesis presents a technical solution of the traction Bottom mechanism. The proposed solution applies a forced way of deformation of the parison and accelerating the process forming of the parison and ensures the desired glass distribution. The proposed method developed of U.S. 2004/0118159 A1, which allows to reduce the time of forming process liary device integrated in the mechanism. Auxiliary movement mechanism is implemented via an electric servo and motion control method proposed is a unified computer simulation of the forming process.

Úvod

Lehké (odlehčené) láhve potřebují krátký přední tvar pro správné a rovnoměrné rozdělení skloviny. Proto je třeba setrvat s předním tvarem v konečné formě až do okamžiku jeho kontaktu se dnem konečné formy. Teprve poté lze aplikovat vakuum a realizovat konečné foukání. Možností zkrácení doby volného (gravitačního) tvarování předního tvaru v konečné formě se jeví aplikace pomocného zařízení založeného na podtlakovém zachycení dna předního tvaru a jeho rychlé tažení do úrovně dna formy, podle patentu US 2004/0118159 A1. Úkolem práce je konstrukční realizace takového zařízení.

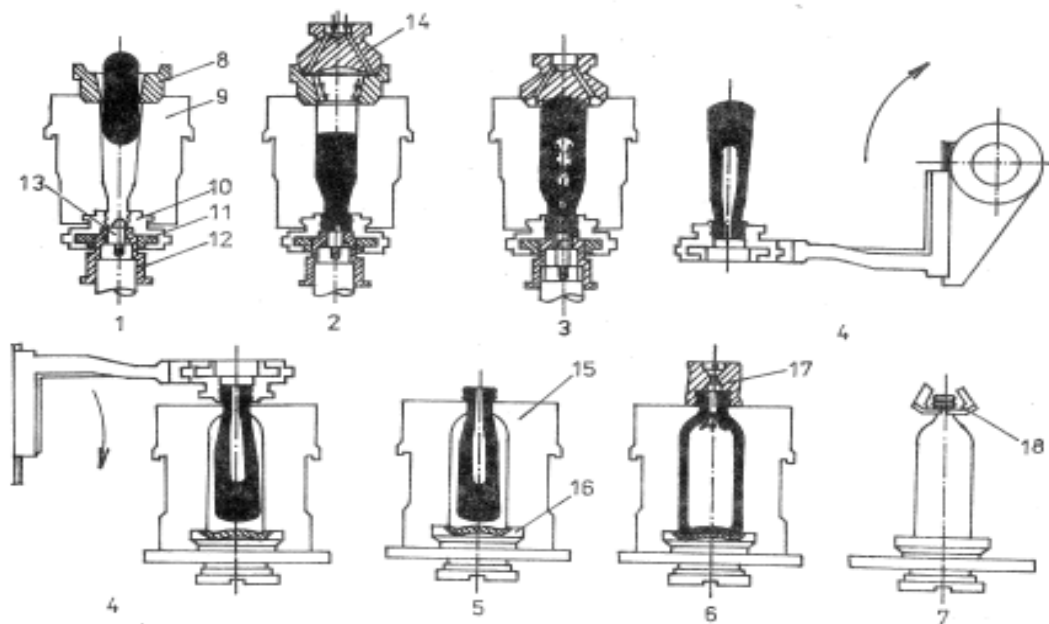
Práce je v souladu se zadáním členěna do 5 kapitol. Kapitola 1 obsahuje rozbor současného stavu výroby obalového skla s podrobným analyzováním pracovního cyklu. V kapitole 2 předkládám popis funkce mechanismu a 4 varianty řešení, které se liší způsobem konstrukční realizace v tahovém dosažení působení vnějších sil do procesu tvarování, aby byla zkrácena doba cyklu. V kapitole 3 předkládám počítačovou simulaci pro ověření chování skloviny za působení vnějších sil na sklovinu. A v následné kapitole 4 je podrobný popis vybraného variantního řešení včetně konstrukčního návrhu mechanismu. Poslední kapitola 5 je věnována technickoekonomickému zhodnocení přínosu navrhovaného řešení.

1. Rozbor stávajícího stavu

V současné době se pro výrobu obalových produktů využívá řadových sklářských strojů, které pro výrobu obalového skla používají tři základní technologie výroby: 2 x foukací způsob tvarování (dále FF), lisofoukací způsob tvarování (dále LF) a úzkohrdlý lisofoukací způsob tvarování (dále ÚHLF).

1.1. Technologie 2 x foukacím způsobem tvarování

Technologie tvarování FF je charakterizována vytvořením základního tvaru baňky v přední formě tlakovým vzduchem a následném foukáním tlakovým vzduchem v konečné formě pro vytvoření definitivního tvaru výrobku.



Obr. 1. Schéma tvarování 2 x foukacím způsobem

Výroba skleněného produktu procesem FF probíhá následujícím způsobem:

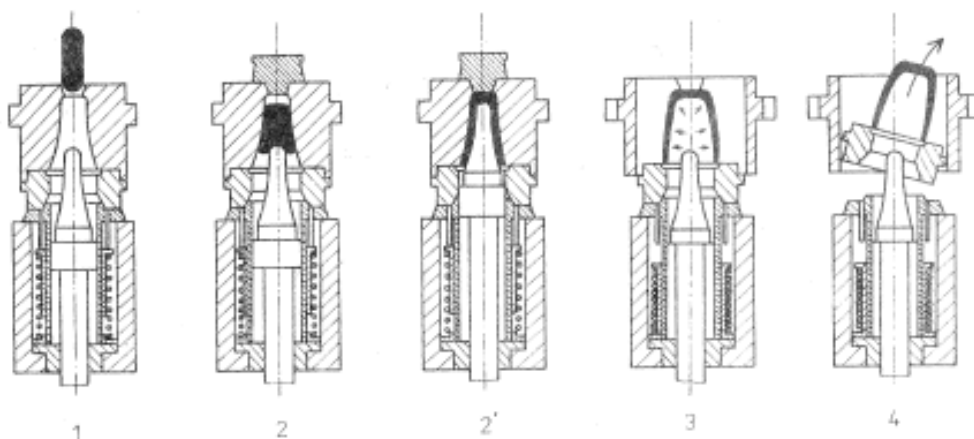
1 – dávkování do přední formy, 2 – zafukování skloviny v přední formě a tvarování ústí produktu, 3 – vyfukování baňky, 4 – přenášení (převrácení) baňky do konečné formy, 5 – prohřívání povrchu baňky vnitřním teplem, 6 – vyfukování konečného tvaru lahve tlakovým vzduchem, 7 – odnímání vytvarované láhve nad odstávku,

Popis forem obr. 1:

8 – nálevka, 9 – přední forma, 10 – ústní forma, 11 – středící kroužek ústní formy, 12 – vodící pouzdro ústníku, 13 – ústník, 14 – závěrová hlava, 15 – konečná forma, 16 – dno konečné formy, 17 – foukací hlava, 18 – čelisti kleští odnímače

1.2. Technologie lisofoukacím způsobem tvarování

Způsob tvarování lisofoukacím způsobem je charakterizován dvěma operacemi, a to lisováním a foukáním. V první fázi se baňka vylisuje kovovým razníkem chlazený převážně vzduchem. Současně se vytvaruje i ústí obalu. Po přenesení baňky do konečné formy se vytvoří definitivní tvar výrobku konečným foukáním. Tento způsob výroby se používá pro širokohrdlé obaly.

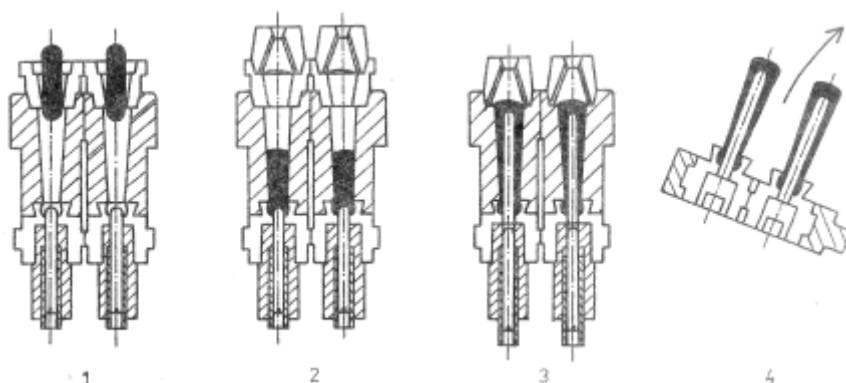


Obr. 2. Schéma tvarování lisofoukacím způsobem

1 – dávkování do přední formy, 2 – 2' – počátek a konec lisování baňky, 3 – zatažení razníku do dolní krajní polohy, 4 – přenášení (převrácení) baňky do konečné formy, Další postup výroby konečného tvaru lahve je obdobný s poz. 5, 6, 7 u 2xF způsobu.

1.3. Technologie úzkohrdlým lisofoukacím způsobem

Tvarování lisofoukacím způsobem je používáno také pro úzkohrdlé obaly s tím rozdílem, že se použije úzký razník (průměr menší než cca 32mm) pro vylisování baňky v přední formě.

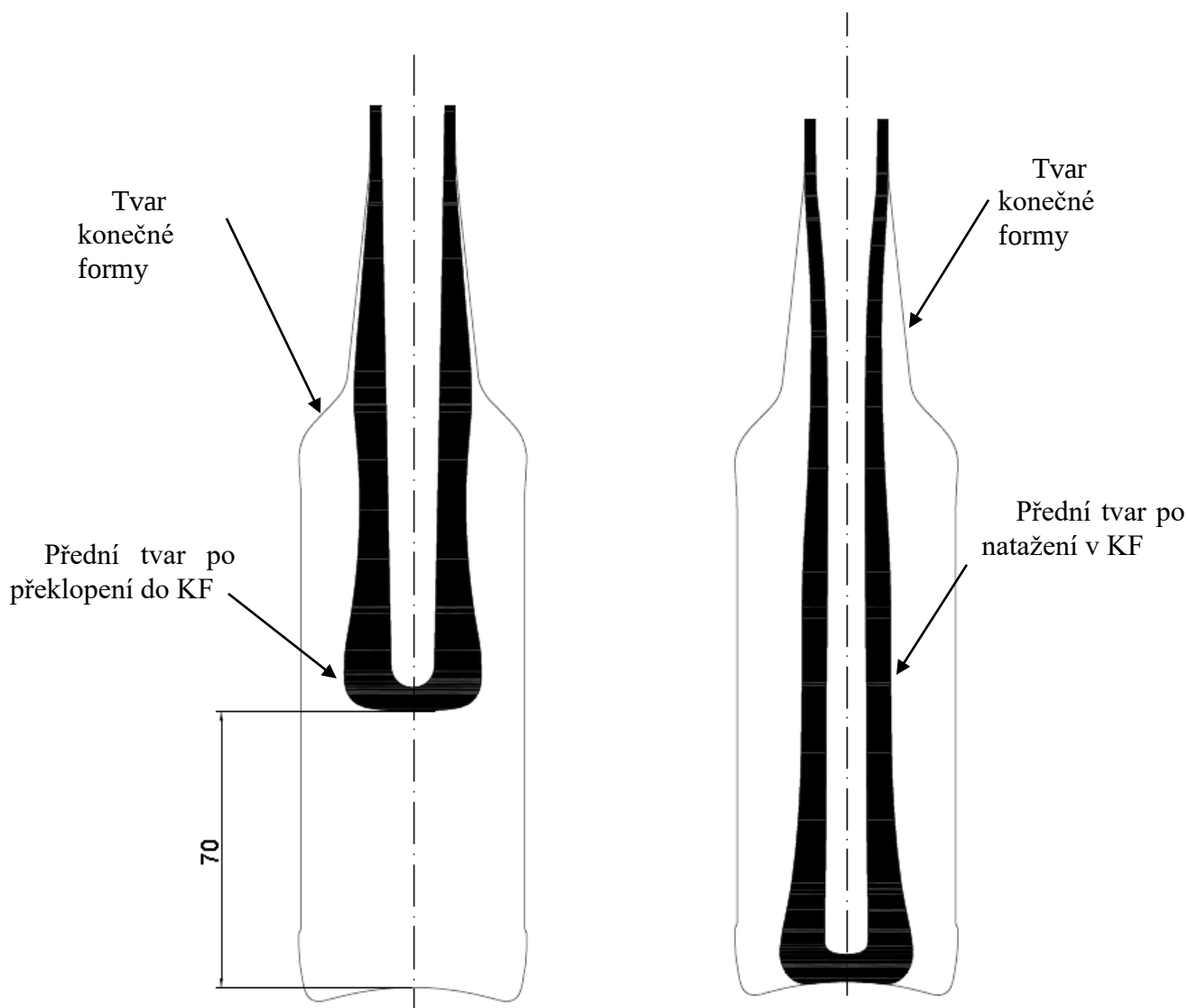


Obr. 3. Schéma tvarování úzkohrdlým lisofoukacím způsobem

1 – dávkování do přední formy, 2 – zafukování, 3 – vylisování baněk, stažení razníků, odsunutí závěrových hlav a otevření předních forem, 4 – přenášení (převrácení) baňky do konečné formy. Další postup výroby konečného tvaru lahve je shodný s pozicemi 5, 6, 7 u 2xF způsobu.

Tvarovací technologie úzkohrdlého lisofoukání postupně nahrazuje technologii dvakrát foukací, neboť umožňuje dosahovat přesnější rozložení skloviny, a proto je možné snížit hmotnost obalového skla až o 30%.

Typické pro ÚHLF proces je, že po přenesení baňky na stranu konečné formy je nutné krátce předtvar podržet ve formě, což umožní jeho dostatečné opětovné zahřátí a jeho prodloužení nebo natažení (obr. 4). Čas nutný k tomuto natažení je závislý na teplotě skloviny a na rozdílné délce předtvaru a konečné formy. Cílem tohoto natažení je nechat předtvar dotknout se dna konečné formy. A následně konečným foukáním vytvarovat konečný tvar výrobku.



Obr. 4. Schéma gravitačního natažení předního tvaru

V našem případě použijeme příklad běžného nastavení 8mi sekčního stroje u výrobku Spirit 50cl, který se nyní vyrábí rychlostí 176 lahví/min. Tab. 1 ukazuje přepočet rychlosti stroje na jeden cyklus stanice.

Tab. 1. Přepočet výrobnosti řadového stroje na tvarovací cyklus

Rychlost stroje (8 sekci)	Rychlost jedné stanice	Doba 1 cyklu stanice	Doba natočení o 1 stupeň
176 [láhvi/min]	11 [cyklů/min]	5,45 [s]	0,015 [s]

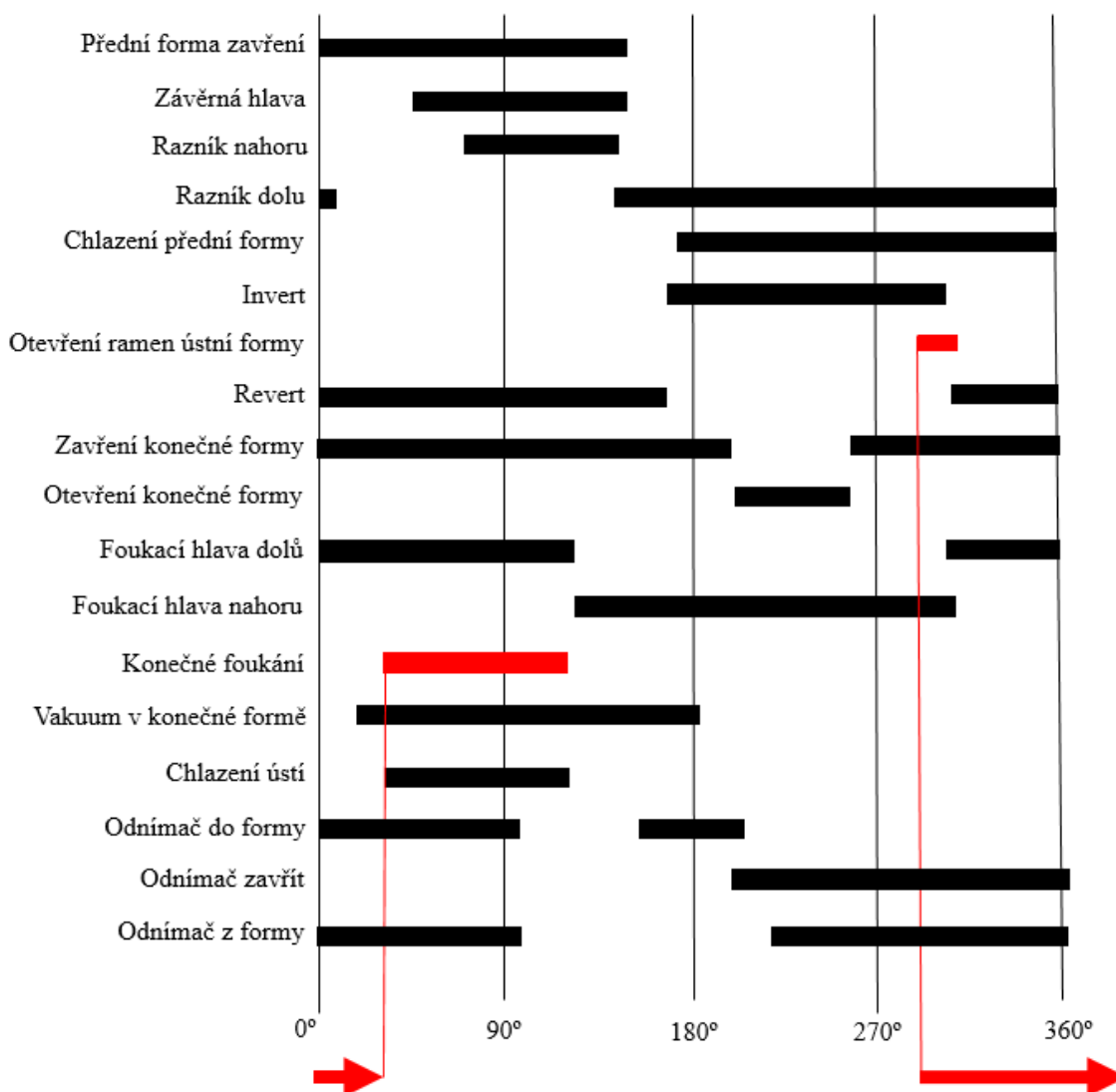
Níže na obr. 5 je běžné nastavení časování stroje v úhlových stupních. Nás nejvíce zajímá čas protažení předního tvaru v konečné formě ihned po zastavení ramen invertu po převrácení z přední formy. Tento čas lze jednoduše spočítat z úhlu začátku „Otevření ramen ústní formy“ a úhlu zapnutí „Konečného foukání“. V našem případě činí rozdíl 97° .

$$t_p = 97^\circ \cdot 0,015$$

$$t_p = 1,455[s]$$

t_p = čas protažení předtvaru

Čas na protažení v našem případě činí 1,455 s.



Obr. 5. Nastavení časování stroje v úhlových stupních

Pro simulaci protažení a rozložení skloviny používáme program: **PressProgram 4.2**, ve vlastnictví Owens-Brockway Glass Container Inc.. Tento program umožňuje dle skutečného nastavení (obráz. 6) simulovat protažení baňky. (obráz. 7)

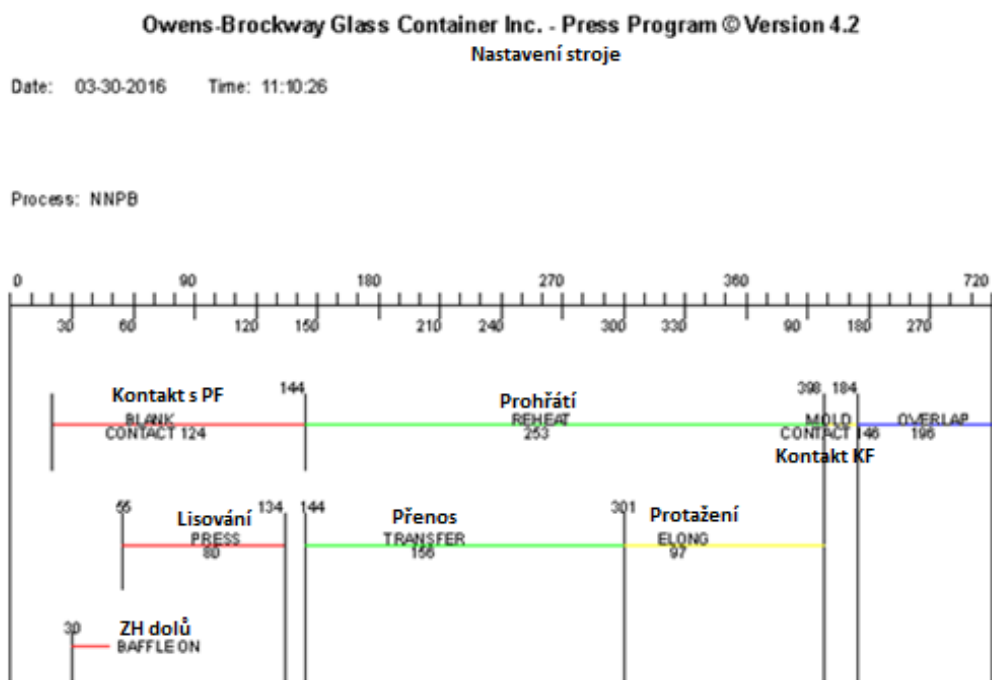
Jedná se o velmi zjednodušenou simulaci tvarování skloviny. Program začíná počítat simulaci od bodu, kdy je v přední formě vytvarován přední tvar. V tuto dobu a po otevření přední formy program simuluje pouze přenos tepla zadaným koeficientem přestupu a prostupu tepla mezi sklovinou a stěnou přední formy.

Během přenosu předtvaru do konečné formy se počítá pouze s tepelnou ztrátou skloviny. Tedy není uvažována žádná deformace a prodloužení předního tvaru vlivem excentrických sil a gravitace. Až do okamžiku zastavení ramen invertu nad konečnou formou.

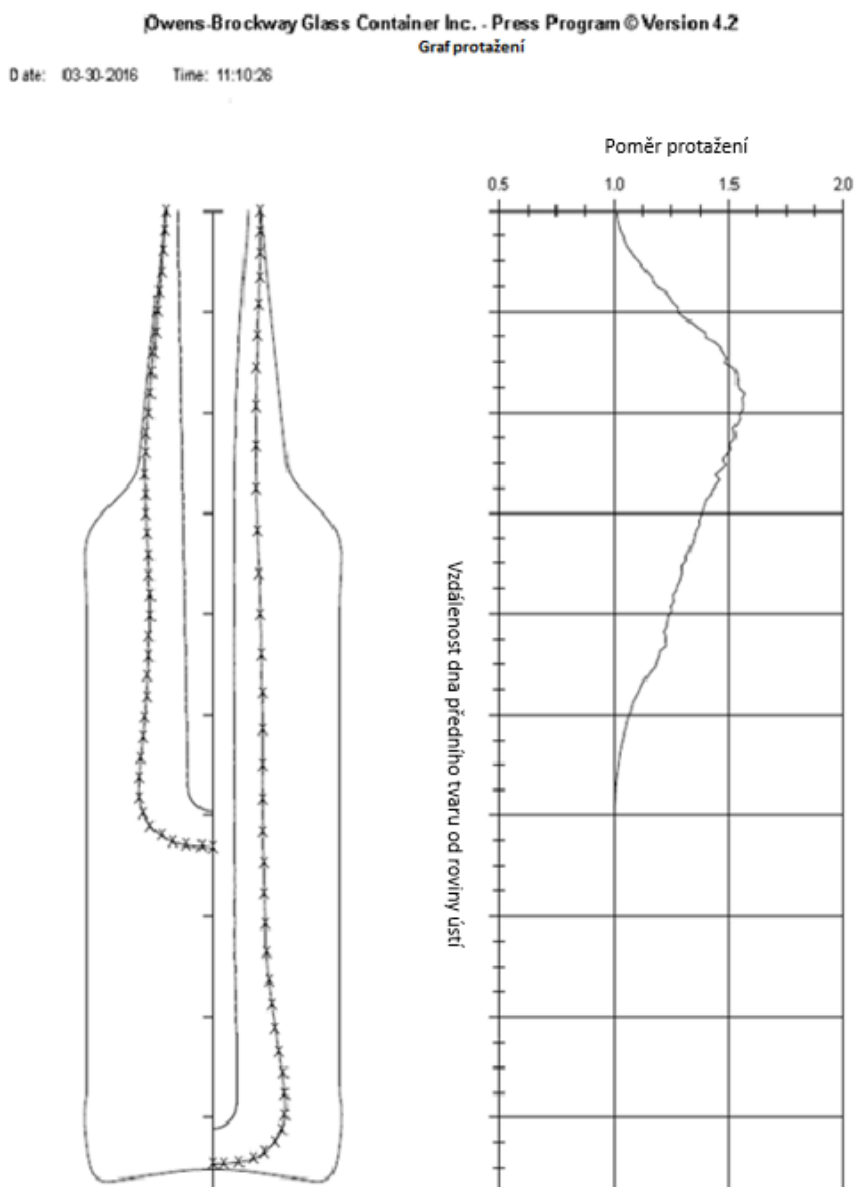
Prodloužení v konečné formě je modelováno jen jako membrána na povrchu nejchladnější s nejvyšší teplotou uvnitř. V úvahu je brána jen hmotnost skloviny a gravitace a ne prohnutí předtvaru v konečné formě.

Konečné foukání nastává ihned po kontaktu předtvaru dna konečné formy. Toto nastavení jde změnit časováním.

Z důvodu ochrany duševního vlastnictví zde není možné podrobněji specifikovat chod programu.



Obr. 6. Nastavení časování stroje v programu – **PressProgram 4.2**

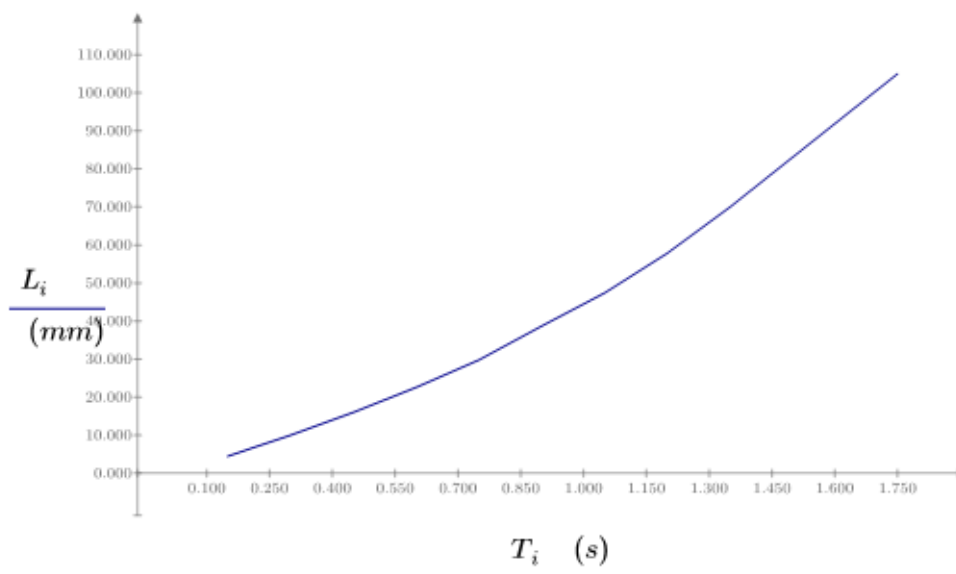


Obr. 7. Výstup **PressProgram 4.2** simulace protažení baňky

Aplikací uvedeného programu byla provedena simulace průběhu protažení. Kroky jsou zvoleny po 10° , což je v našem případě 0,15s. (Tab. 2). Následně jsou hodnoty vyneseny do grafu, kde je patrný teoretický průběh protahování předtvaru v konečné formě. Na předtvar působí pouze gravitační síla.

Tab. 2. Hodnoty protažení předního tvaru nasimulované v **PressProgram 4.2**

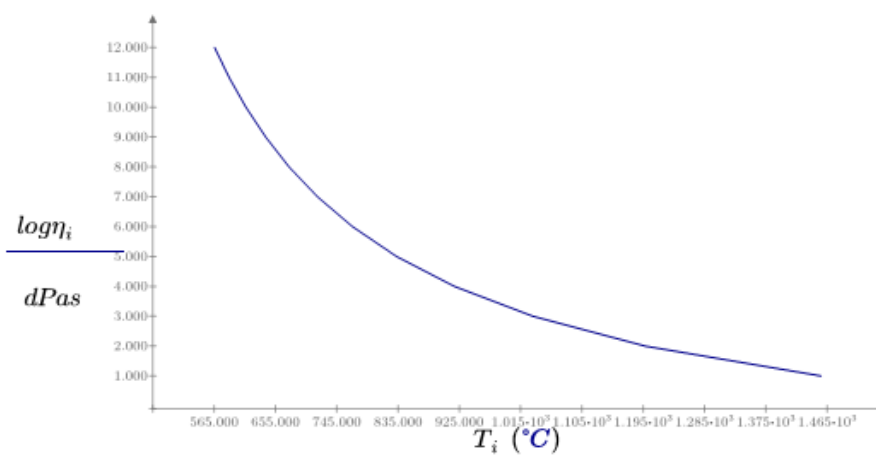
Stupeň natažení [°]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
čas T [s]	0,15	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2	1,35	1,75
Natažení L [mm]	4,5	10,03	16,03	22,6	29,8	38,7	47,38	57,86	70	85



Obr. 8. Průběh protažení předního tvaru simulován v **PressProgram 4.2**

Na obr. č. 11 je patrné teplotní rozložení skloviny v době předání předtvaru do konečné formy. V tuto dobu začíná prohřívání skloviny a samovolné natahování předtvaru. Měření proběhlo přístrojem Fluke Ti400, kde je změřena pouze povrchová teplota baňky skloviny. Abychom přesně stanovili hodnotu teploty skloviny v době předání do konečné formy, využil jsem měření z literatury [3], které provádělo v minulosti mnoho autorů. Střední viskozita při zavření konečné formy stroje IS je $4,06 \pm 0,32$ dPas.

Na základě složení skloviny, kterou používáme na závodě v O-I Dubí, jsem sestrojil viskozitní křivku (obr. 9). Z této křivky je možné stanovit teplotu 912°C na základě střední viskozity, která je použita pro simulaci děje natahování baňky skloviny.



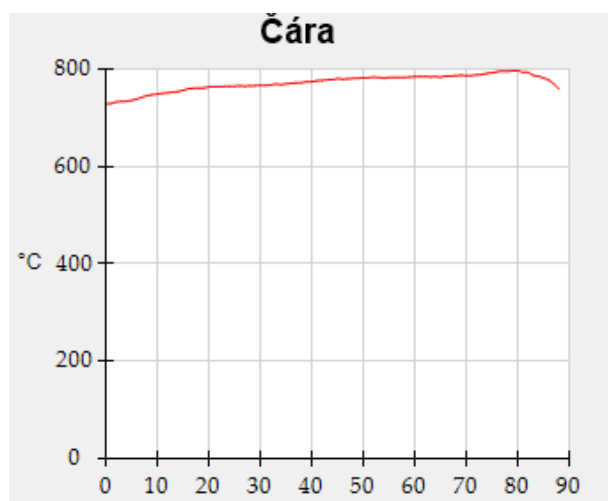
Obr. 9. Viskozitní křivka skloviny



Obr. 10. Viditelné záření předtvaru na straně KF měřeno přístrojem Fluke Ti450



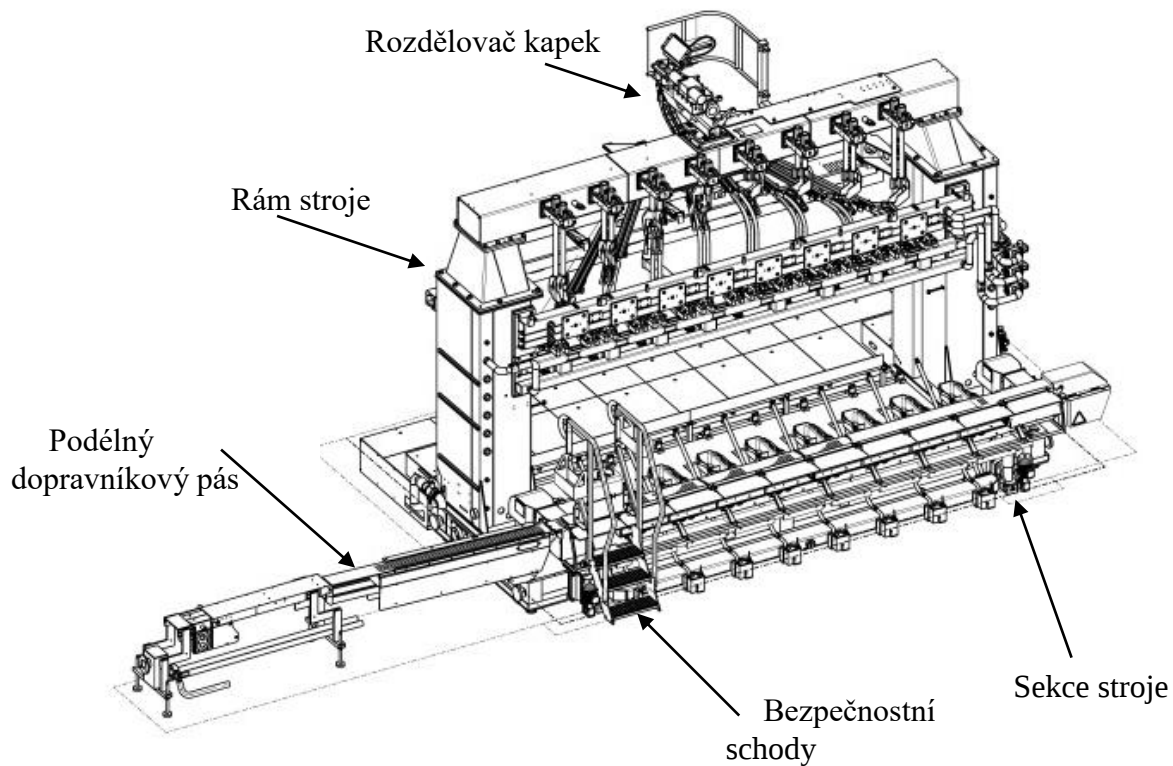
Obr. 11. Infračervené záření předtvaru na straně KF měřeno přístrojem Fluke Ti400



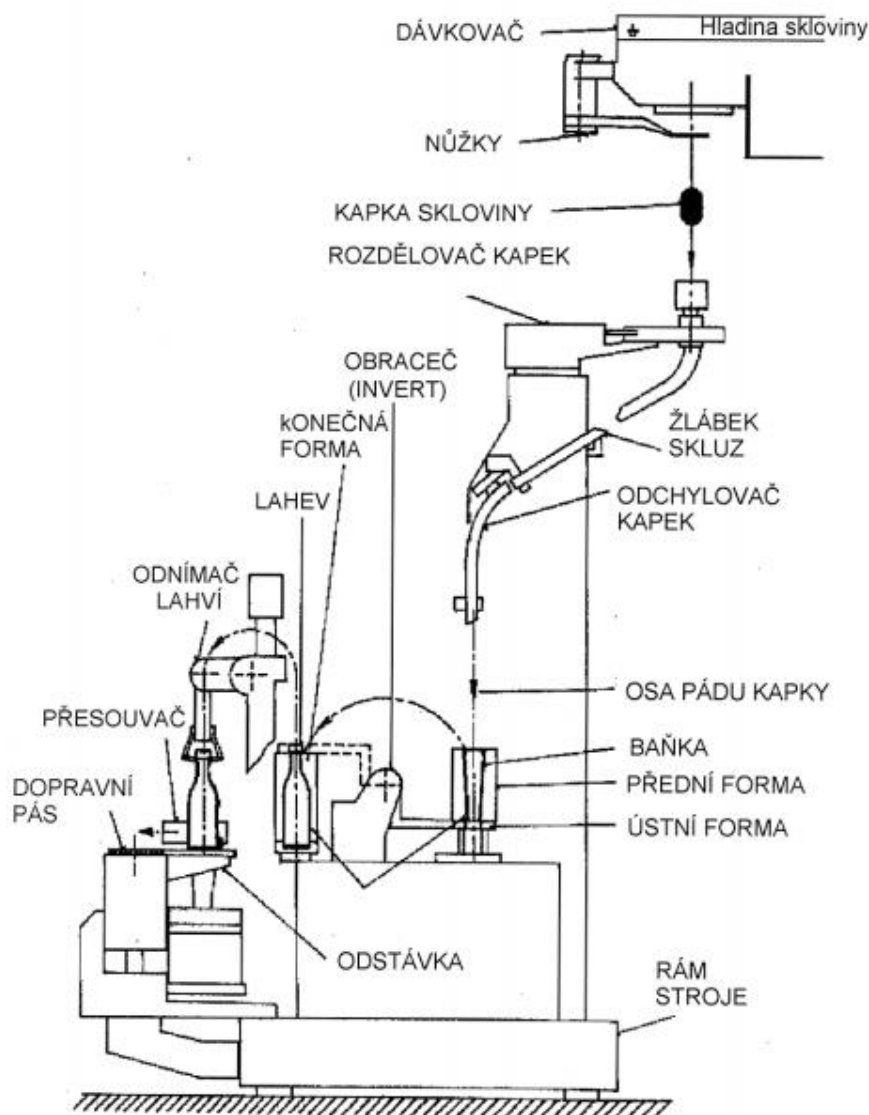
Obr. 12. Teplotní povrchové rozložení po délce předního tvaru změřeno přístrojem Fluke Ti400

1.4. Současný stav sklářských strojů

V současné době je ve světě několik největších výrobců řadových sklářských strojů pro výrobu obalového skla. (Heye, Emhart, Owens Illinois, BDF, Sklostroj), kteří využívají k výrobě výše popsané technologie. Každý z výrobních strojů se skládá ze základních mechanismů.



Obr. 13. Rám a rozložení řadového IS Stroje – 8 výrobních stanic



Obr. 14. Průřez sekci IS stroje

a) Mechanismus závěrné hlavy:

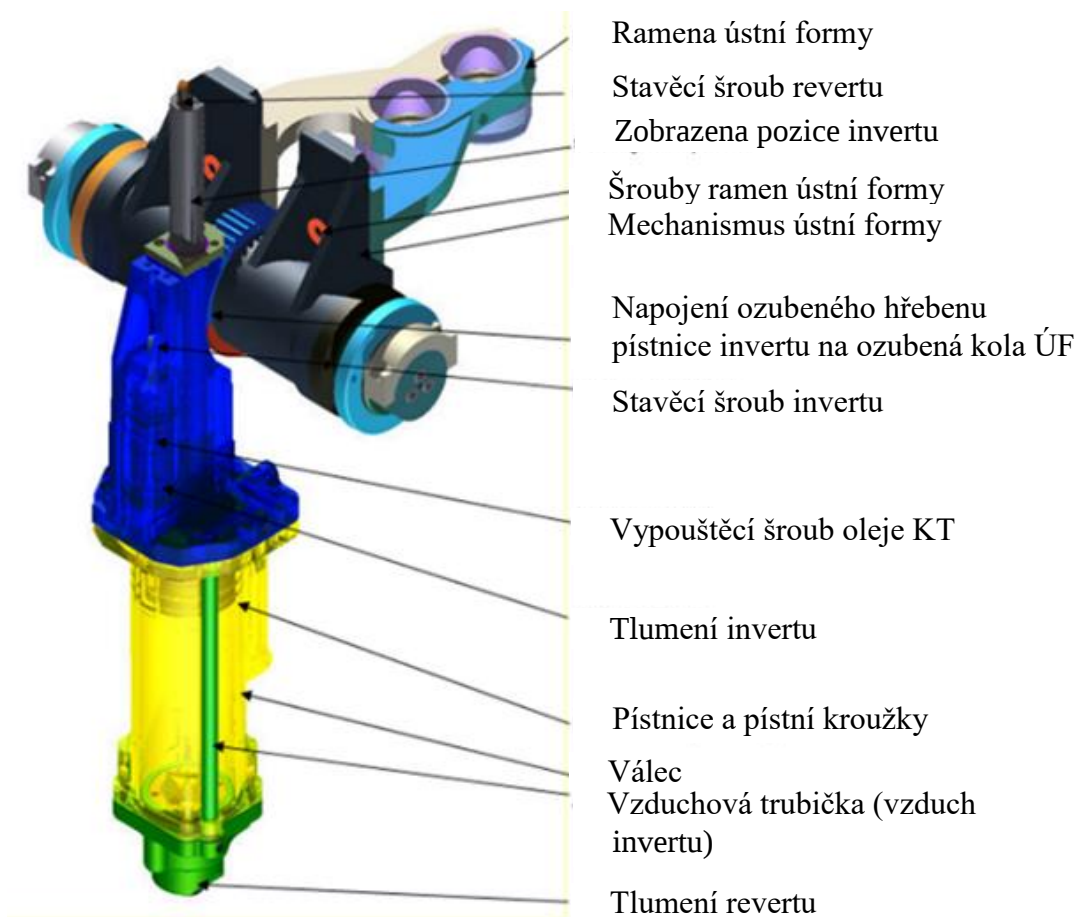
Mechanismus závěrné hlavy je dvojčinný pneumatický válec, který se nachází v boxu sekce I. S. stroje na straně přední formy. Toto zařízení má dvě funkce.

1. Primární funkcí je generovat přítlačnou sílu, přenášenou prostřednictvím kompletu ramene závěrné hlavy, která umožňuje utěsnit horní část předních forem během tvarování předtvaru.
2. Sekundární funkcí je zajistit pohyb (posun a rotaci), který musí vykonávat komplet rameno závěrné hlavy během tvarování předtvaru.

b) Mechanismus invertu a ústní formy (obr. 15):

Mechanismus invertu a ústní formy tvoří dvojčinný pneumatický válec a jednočinný pneumatický válec s pružinovým zavíráním, které jsou připevněny uprostřed boxu sekce stroje. Tato zařízení plní čtyři funkce.

1. Primární funkcí je správně umístit ústní formy nad nárazecí desku razníku před zavřením předních forem, aby byly připraveny na přivedení kapky.
2. Sekundární funkcí je přenášet předtvar ze strany předních forem radiálně na stranu dokončovacích forem.
3. Terciární funkcí je krátce předtvar podržet, což umožní jeho dostatečné opětovné zahřátí a jeho prodloužení nebo natažení.
4. Poslední funkcí je uvolnit předtvar těsně po zavření dokončovacích forem.

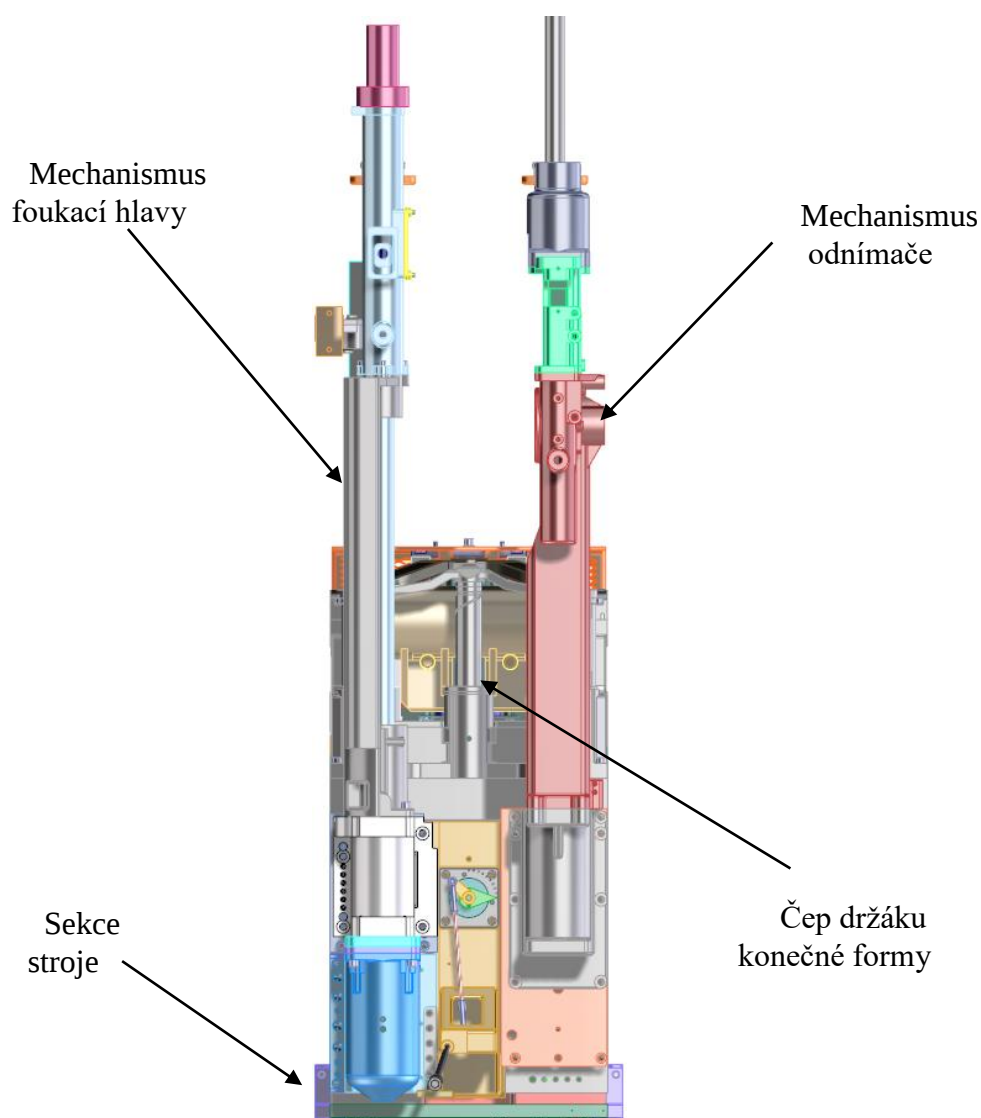


Obr. 15. Mechanismus invertu a ústní formy

c) Mechanismus foukací hlavy (obr. 16):

Mechanismus foukací hlavy je dvojčinný pneumatický válec připevněný k přední části I.S. stroje. V závislosti na procesu tvarování plní toto zařízení dvě funkce.

1. Primární funkcí je generovat přitlačnou sílu, přenášenou prostřednictvím kompletu ramene foukací hlavy, která umožňuje utěsnit horní část dokončovacích forem během konečného foukání skleněného obalu.
2. Sekundární funkcí je zajistit pohyb (posun a rotaci), který musí vykonávat komplet ramena foukací hlavy během konečného foukání skleněného obalu.



Obr. 16. Mechanismus foukací hlavy s mechanismem odnímače

d) Mechanismus odnímače (obr. 16):

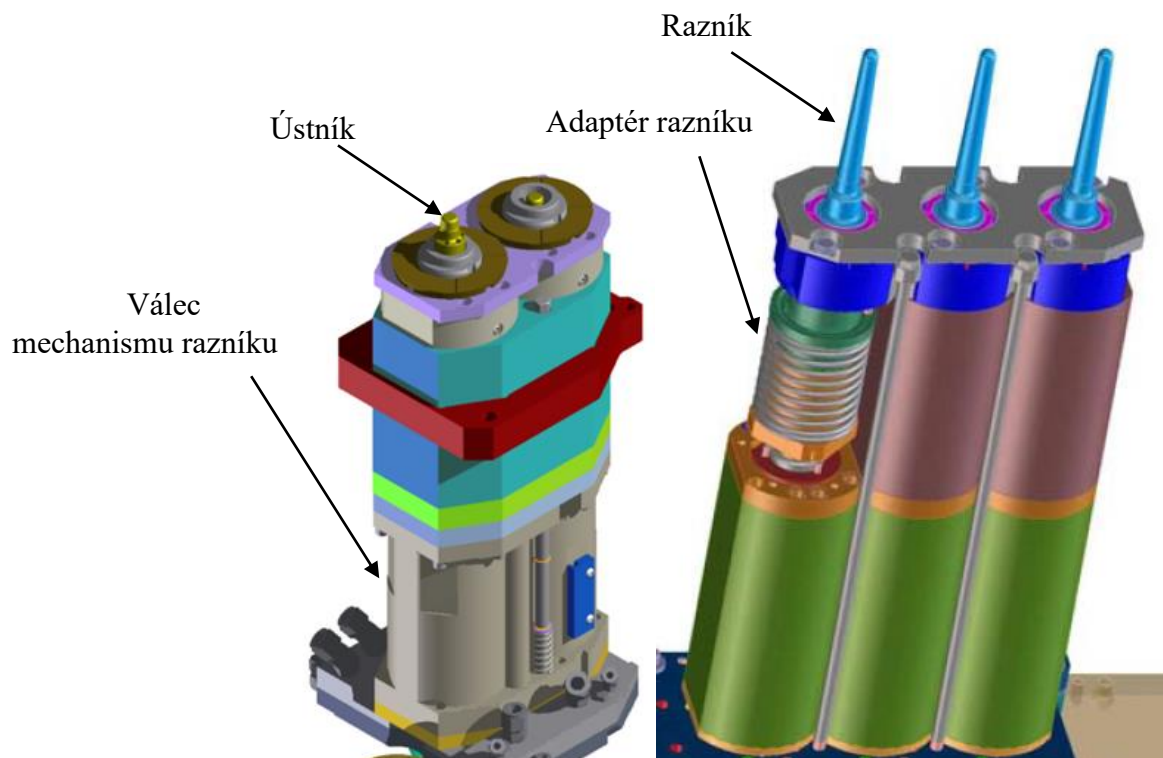
Mechanismus odnímače tvoří dvojčinný pneumatický válec, který pohání primární a sekundární ozubený hřeben, pomocí něhož se síla válce převádí na rotační pohyby s použitím pastorkového převodu přichyceného čepem k ramenu odnímače.

1. Primární funkcí je přenést skleněný obal z konečné formy na odstávkovou desku.
2. Sekundární funkcí je držet skleněný obal nad odstávkovou deskou, zatímco se odnímač připravuje na přenesení skleněného obalu na dopravník.

e) Mechanismus válce ústníku:

Mechanismus razníku je dvojčinný pneumatický válec připevněný k montážní základně razníku, která se nachází uvnitř boxu sekce I. S. stroje na straně přední formy. Tato zařízení plní následující funkce:

1. Lisofoukací proces (LF) a lisofoukací proces úzkohrdlých skleněných obalů (ÚHLF):
 - a) Umístit razník do zaváděcí pozice před jeho vtlačení skrze ústní formu do zavřených předních forem, čím je vytvarováno ústí a poté předtvar
 - b) Vytáhnout razník po dokončení předtvaru, aby mohl být předtvar přenesen na stranu konečné formy
 - c) Ochladit razník (zahřátý během procesu tvarování)
 - d) Detekovat pozici razníku, aby bylo možné stanovit odchylku hmotnosti kapky, která slouží jako vstupní hodnota systému řízení hmotnosti kapky pro proces NNPB
 - e) Mazat vymezovací kroužky v případě procesu ÚHLF
2. Dvakrát foukací proces (FF):
 - a) Umístit razník a pouzdro do zaváděcí pozice, aby bylo možné vytvarovat ústí za pomoci vzduchu záfuku
 - b) Přivést vzduch předfuku pro tvarování předtvaru po zatažení razníku
 - c) Vytáhnout pouzdro a razník po dokončení předtvaru, aby mohl být předtvar přenesen na stranu konečné formy
 - d) Zchladit razník (zahřátý během procesu tvarování), v příslušných případech



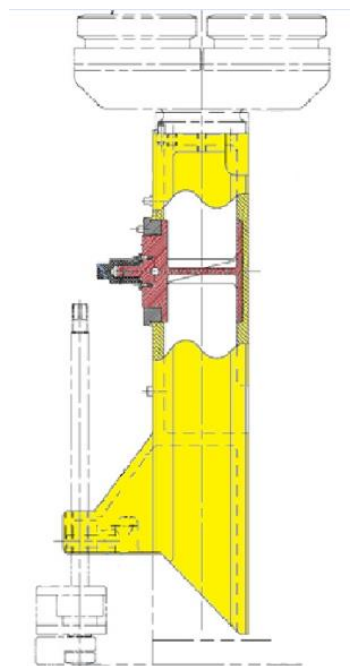
Obr. 17. Komplet mechanismu razníku

Pohyb všech mechanismů s dvojčinným pneumatickým válcem jsou řízeny stlačeným vzduchem ve dvou směrech. Řízení zajišťují elektronické ventily, regulace rychlosti a kontrola tlumení koncových poloh (pneumatická anebo hydraulická).

f) *Mechanismus dna:*

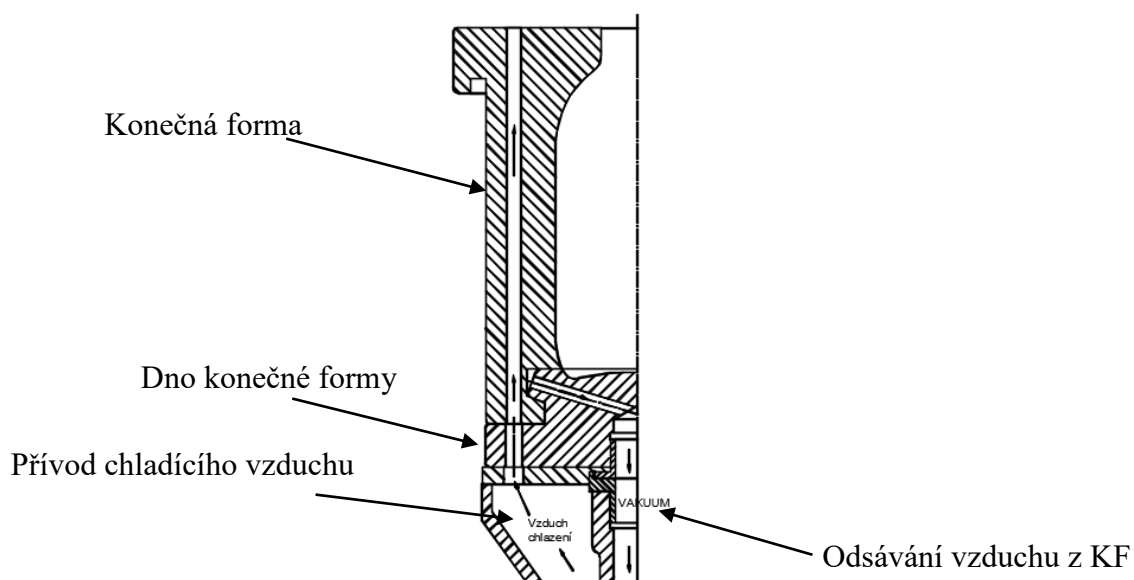
Mechanismus dna tvoří vzduchová komora, hradítka uvnitř vzduchové komory a nastavovací mechanismus přichycený ke vzduchové komoře. Mechanismus je namontován na přední straně I. S. stroje a nese držák dna.

1. Primární funkcí je nastavit dno KF do dané výšky vzhledem k dokončovacím formám a zafixovat jej v této výšce.
2. Sekundární funkcí, pokud se používá, je přivést ke dnům tlakový chladicí vzduch (regulovaný pomocí hradítka).
3. Terciární funkcí, pokud je relevantní a používá se, je umožnit odsávání během tvarování skleněného obalu na straně konečné formy.



Obr. 18. Mechanismus dna

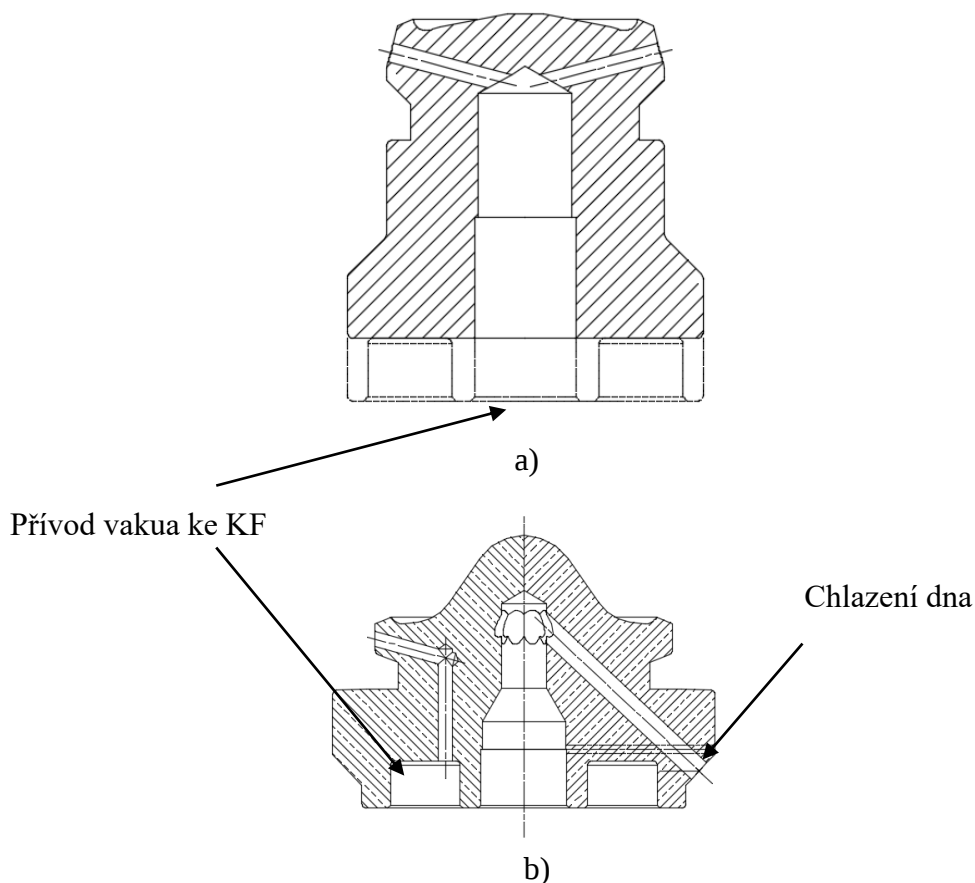
Mechanismus je připojen na přívod ventilátorového chladicího vzduchu, který je veden skrze mechanismus k dýnku konečné formy. Obr. 19. Chladicí vzduch prochází axiálním vrtáním v dýnku a konečné formě. Toto axiální chlazení se v anglickém jazyce nazývá vertiflow, dále jen VF. Chlazení formy je tedy možné používat jen v případě uzavřených forem.



Obr. 19. Chlazení KF skrze mechanismus dna

Dále je do mechanismu dna přivedeno vakuum pro odsátí vzduchu v konečné formě a dýnku, které napomáhá ke konečnému tvarování výrobku. Varianty provedení dna jsou dvě:

- a) Vakuum je přivedeno středem dna
 - tento typ dna je využíván nejčastěji až z 80%
- b) Vakuum je přivedeno na vnějším obvodu dna a středem je přivedeno chlazení dna
 - toto konstrukční řešení se nejvíce používá u nestandardních provedení vpichu dna, ponejvíce u lahví typu sekt



Obr. 20. Varianty provedení konstrukce dýnek
 a – nechlazené dýnko, b – chlazené dýnko

2. Navrhované řešení

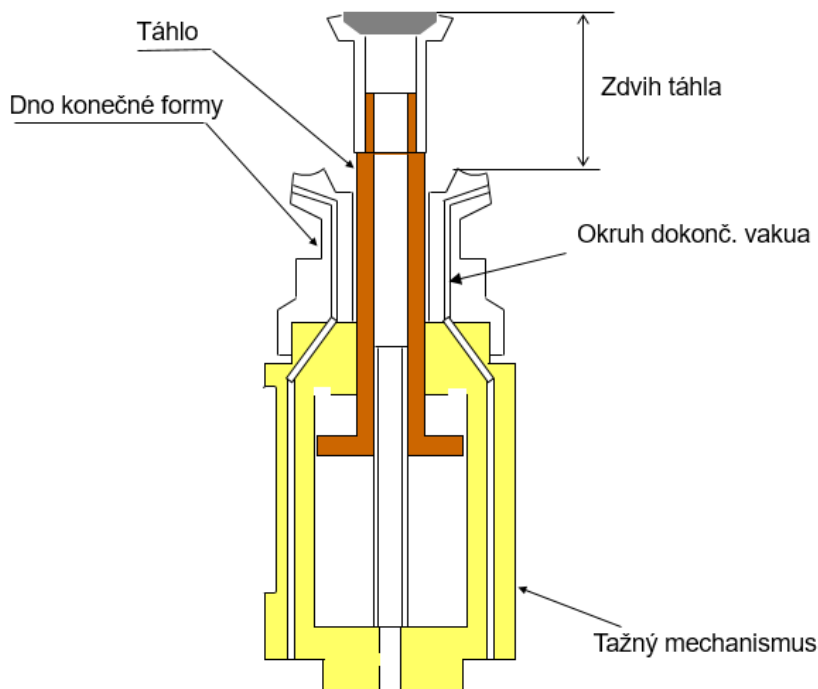
Na základě prováděné patentové rešerše lze konstatovat, že relevantním patentem řešící daný problém je patent č.: US 2004/0118159 A1. Tento patent popisuje technologii asistovaného natahování, který v roce 2004 podala firma BSN. V roce 2005 byla koupena firmou Owens-Brockway Glass Container Inc. a technická aplikace předmětu tohoto patentu nebyla nikdy realizována. Záměrem majitele patentu je v současné době technicky vyřešit tento problém a následně ho aplikovat na strojích v závodech O-I.

- Patent číslo: US 2004/0118159 A1 METHOD OF FABRICATING A HOLLOW GLASS ARTICLE INCLUDING A STAGE OF ASSISTED STRETCHING OF THE BLANK, AND AN INSTALLATION FOR IMPLEMENTING THE METHOD.

[METODA VÝROBY VÝROBKŮ Z DUTÉHO SKLA, VČETNĚ FÁZE ASISTOVANÉHO NATAHOVÁNÍ PŘEDLISKU, A ZAŘÍZENÍ PRO REALIZACI METODY]

2.1. Výrobní postup

Navrhované řešení se zabývá technikou realizací mechanismu dna, který je popsán v patentu US 2004/0118159. Hlavními částmi mechanismu dna jsou táhlo, dno konečné formy, tažný mechanismus (obr. 21).

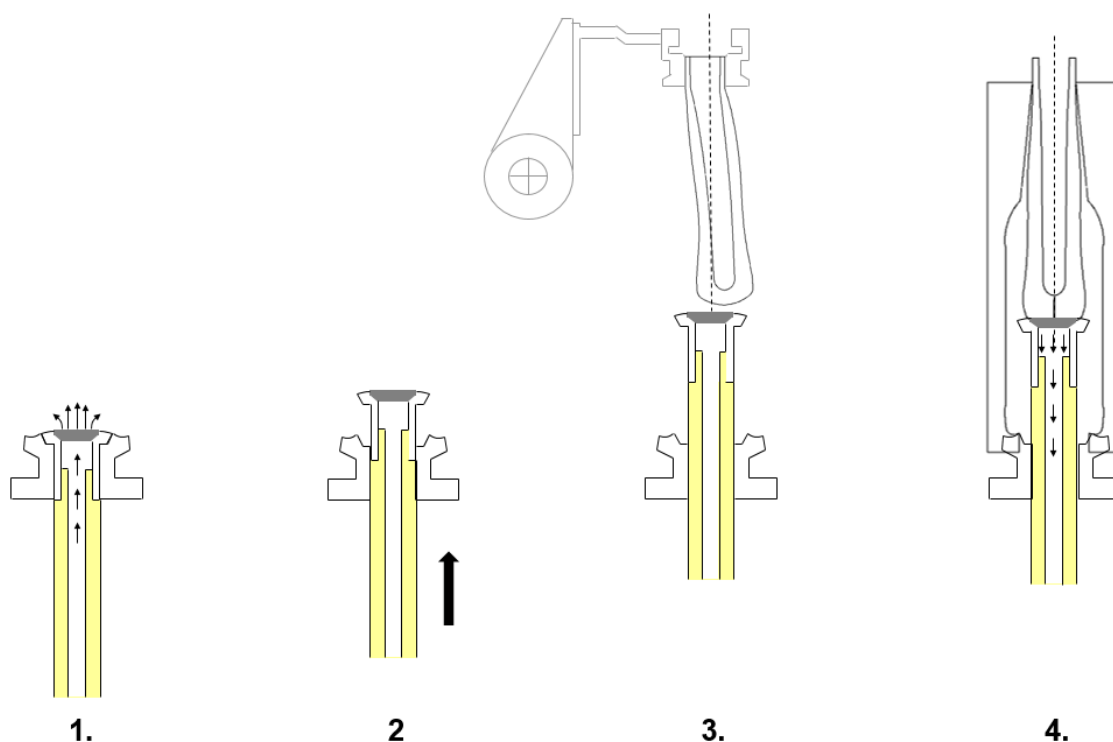


Obr. 21. Tažný mechanismus dna konečné formy

Výrobní postup je patrný z obrázků č. 22. až 23. Nejprve je běžným způsobem vytvarován předtvar v přední formě, který je vzápětí přenesen do konečné formy. V dutině dna konečné formy je pohyblivá přísavka ve směru paralelním s osou formy. Tato pohyblivá přísavka se pohybuje směrem k baňce předního tvaru tak blízko, aby po zavedení podtlaku do přísavky nastalo spojení dna přísavky a předtvaru. Toto spojení může nastat pouze, až v případě kdy baňka předního tvaru se ustálí ve svislém směru.

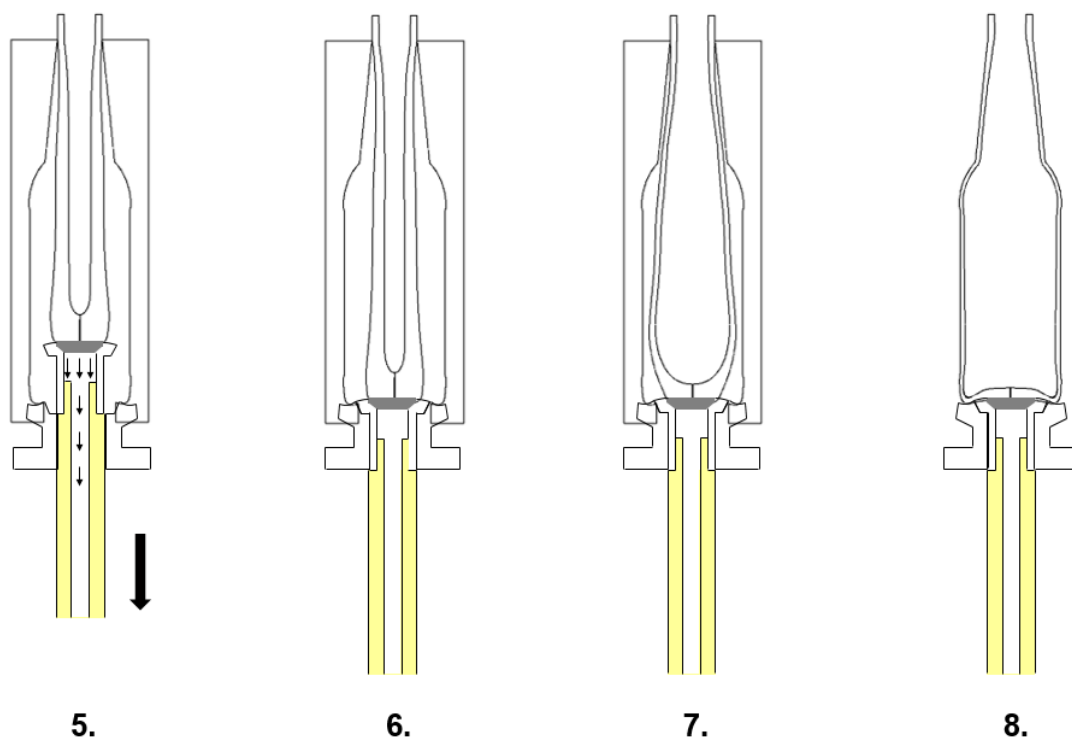
Pohybem přísavky směrem dolů, natahujeme předtvar až do zasunuté polohy přísavky. Během vertikálního pohybu směrem dolů je nutné po celou dobu přidržovat pod tlakem v přísavce baňku předního tvaru. Tažná síla vyvinutá přísavkou na baňku skloviny musí být pro každou kavitu stejná.

Nafouknutí předtvaru v konečné formě získáme konečnou podobu výrobku.



Obr. 22. Výrobní postup přísátí přísavky mechanismu dna

1 - Přísavka ve spodní poloze, otevření okruhu chladicího vzduchu, 2 - Přerušení okruhu chladicího vzduchu, Okamžité stoupání táhla dna, 3 - Přísavka v horní poloze, příchod předlisku do konečné formy, 4 - Vystředění předlisku, spuštění vakua a uchopení dna předtvaru přísavkou.

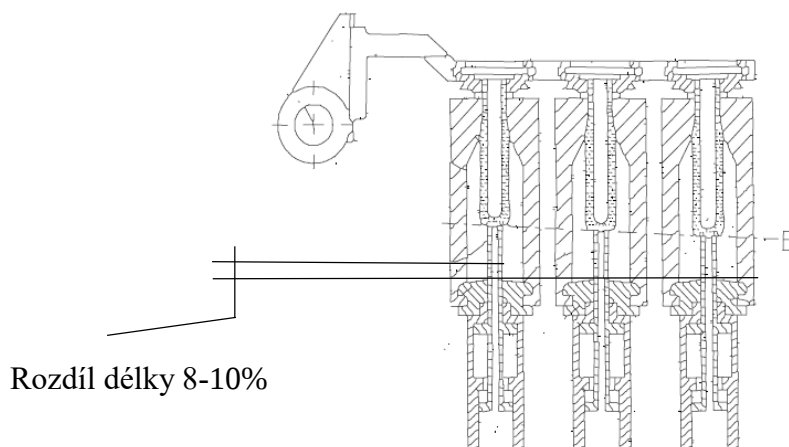


Obr. 23. Výrobní postup asistovaného tažení předního tvaru

5 - Udržováním vakua v činnosti docílíme kontrolovaného klesání předtvaru, 6 - Táhlo ve spodní poloze, přerušení vakua, 7 - Spuštění vakua v konečné formě s cílem realizovat plnění předtvaru vzduchem, 8 - Konec plnění vzduchem a otevření konečné formy

Důležitým bodem pro toto řešení je nutnost plynulého a odděleného nastavení rychlosti klesání a stoupání táhla dna konečné formy.

Rychlost stoupání musí být co nejrychlejší a zároveň je nutné umožnit seřizování výšky táhla v závislosti na délce předtvaru v konečné formě. Tato výška není nikdy stejná v porovnání s předtvarem na přední a zadní pozici ve stejné sekci, vlivem působení excentrických sil během otočení baňky z přední formy do konečné formy. Na protažení má také vliv různá teplota skloviny baňky. V provedení tříkapky je tento rozdíl patrný na obr.:24.



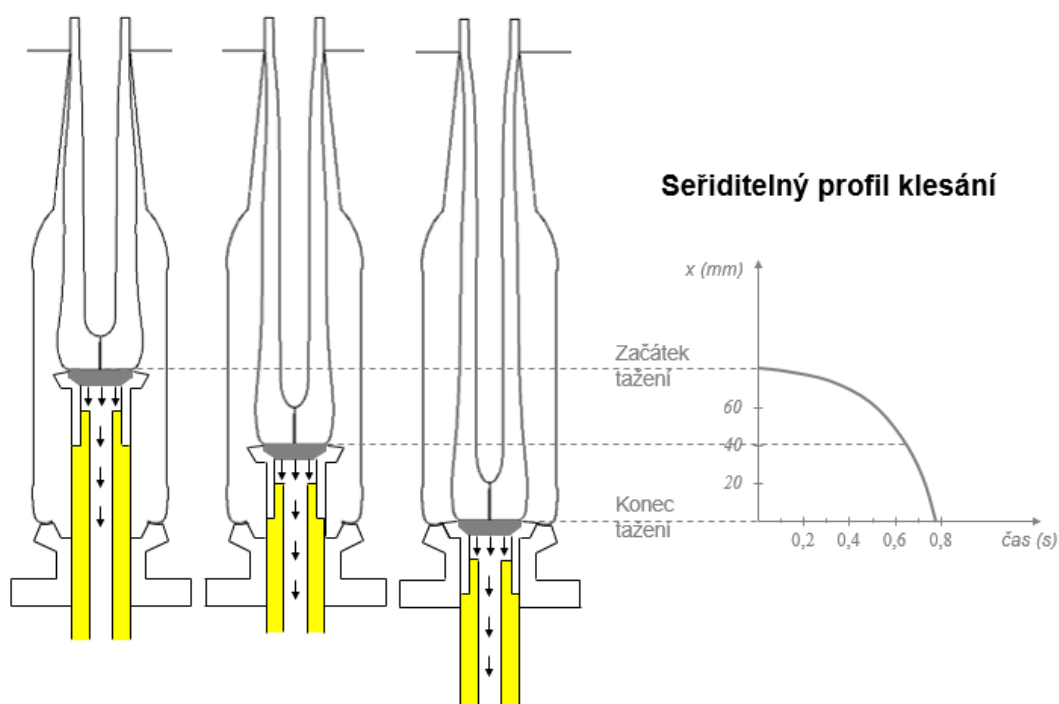
Obr. 24. Rozdíl výšky baňky v KF vlivem působení excentrických sil během obratu

Naopak rychlost klesání táhla progresívně stoupá a musí být seřiditelná. Na obr. 8 (str. 14.) je profil klesání baňky v případě působení gravitačních sil a tento profil je nutné dokázat nastavit pro zachování podmínek natahování a pro co nejmenší ovlivňování baňky přední formy. Aby se zisk na kadenci stal zajímavým, doba trvání klesání táhla musí být alespoň 2 krát menší než doba prodloužení spojená s gravitačním volným natahováním (obr. 25).

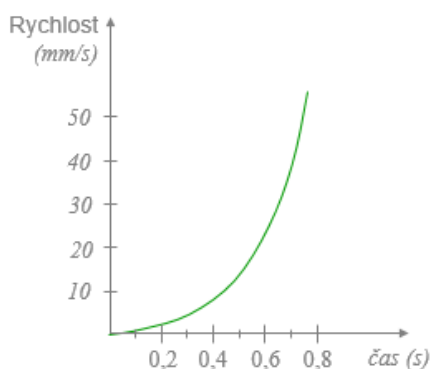
$$t_{ip} \leq \frac{t_p}{2}$$

kde: t_{ip} čas nutný na řízené protahování předtvaru

t_p čas samovolného natahování předtvaru



Obr. 25. Seřiditelný profil klesání (natahování) baňky předního tvaru

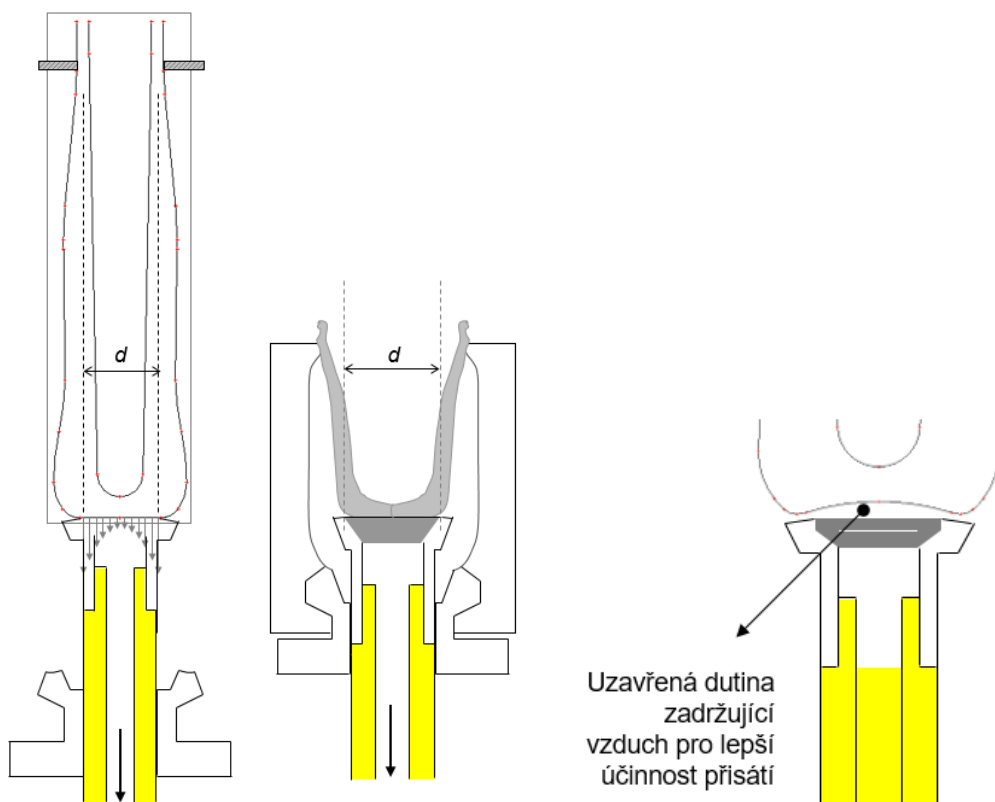


Obr. 26. Odvozená rychlost klesání baňky předního tvaru

Účinnost spojení sklo/přísavka je závislé na tvaru dna baňky předního tvaru a také vzdálenosti sací plochy (přísavky) vzhledem ke dnu polotovaru. Na rozdíl od tvaru dna, který se běžně používá v tradičním lisofoukacím způsobu, je tvar dna polotovaru určený pro tento postup konkávní.

Má za cíl vytvořit uzavřenou dutinu mezi sklem a přísavkou, aby se tak zvětšila účinnost a spolehlivost přisání realizovaného podtlakem. Průměr d sací plochy (funkční část) přísavky se určuje v závislosti na výrobním postupu a středním průměru polotovaru tak, aby se tažné síly rozložily rovnoměrně podél profilu.

Je třeba se vyvarovat příliš velkého lokálního protažení skloviny a tím deformovat baňku předního tvaru.

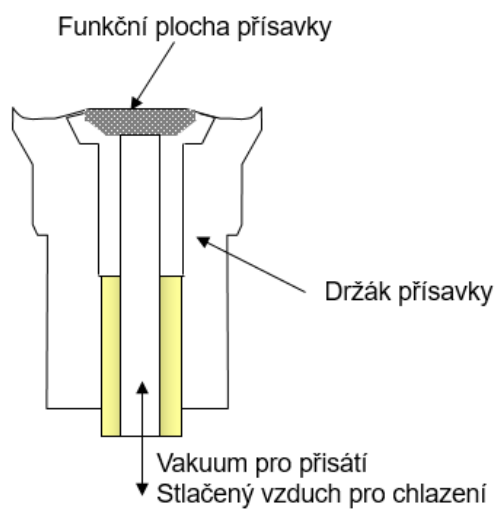


Obr. 27. Funkční plocha přísavky

Vzhledem k tomu, že kontakt mezi sklem a přísavkou je relativně dlouhý (asi 4/5 cyklu) a též vzhledem k omezení času chlazení přísavky (méně než 1/5 cyklu = během vyjmutí lahve do přenosu polotovaru do konečné formy) je nutno použít systém chlazení tak, aby se teplota přísavky udržovala v normálních výrobních podmínkách (přibližně pod 520°C). Příliš vysoká teplota totiž může generovat vady spojené s vyjímáním láhve z formy.

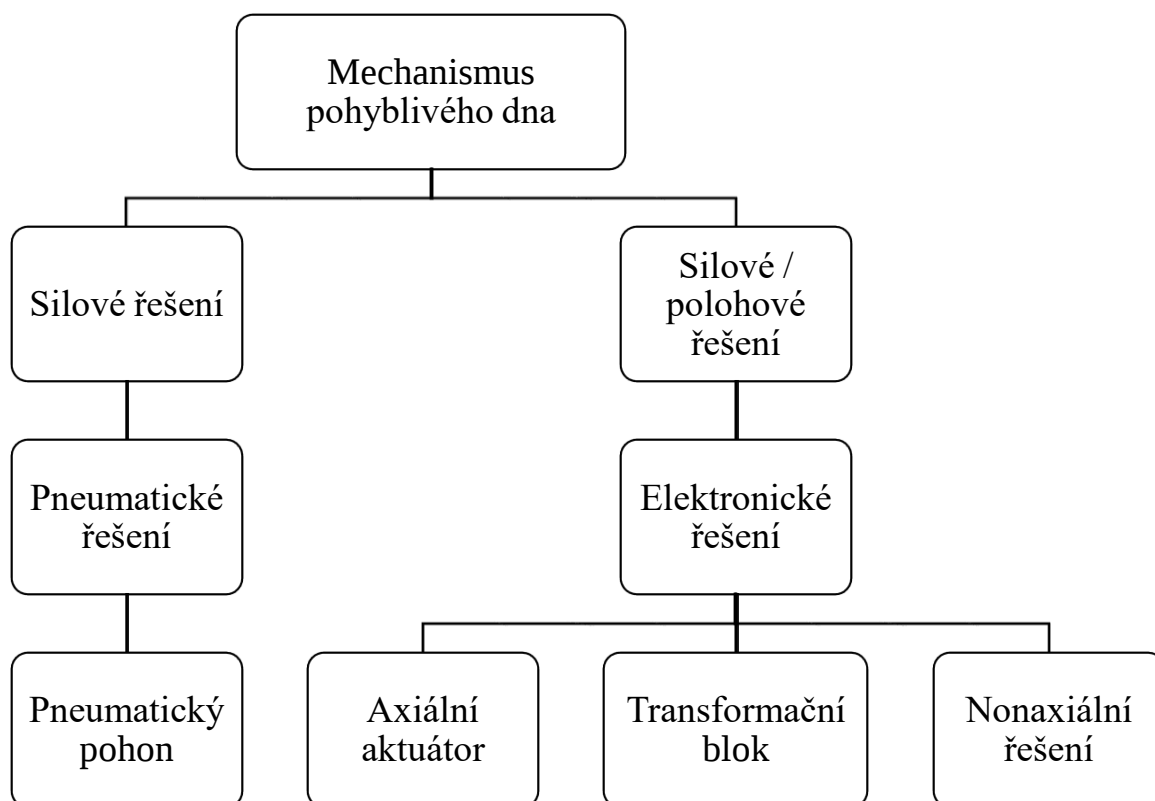
Pro snížení teploty přísavky je třeba:

- používat materiály s nízkou tepelnou kapacitou (př. porézní materiály) nebo materiály s vysokou tepelnou vodivostí (př. slitiny mědi)
- chladit stlačeným vzduchem
- snižovat intenzitu kontaktu vroubkováním (rýhováním) funkční plochy přísavky.



Obr. 28. Přísavka

2.2. Rozdělení řešení pohybu dna



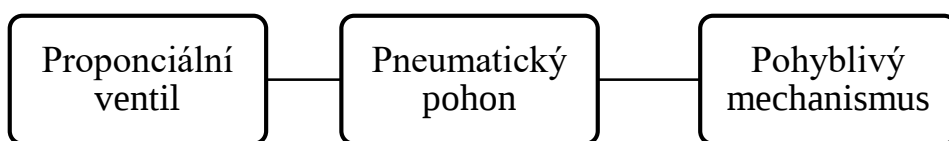
Obr. 29. Přehled možných způsobů řešení mechanického pohybu dna

2.2.1. Varianta A – pneumatickým pohonem

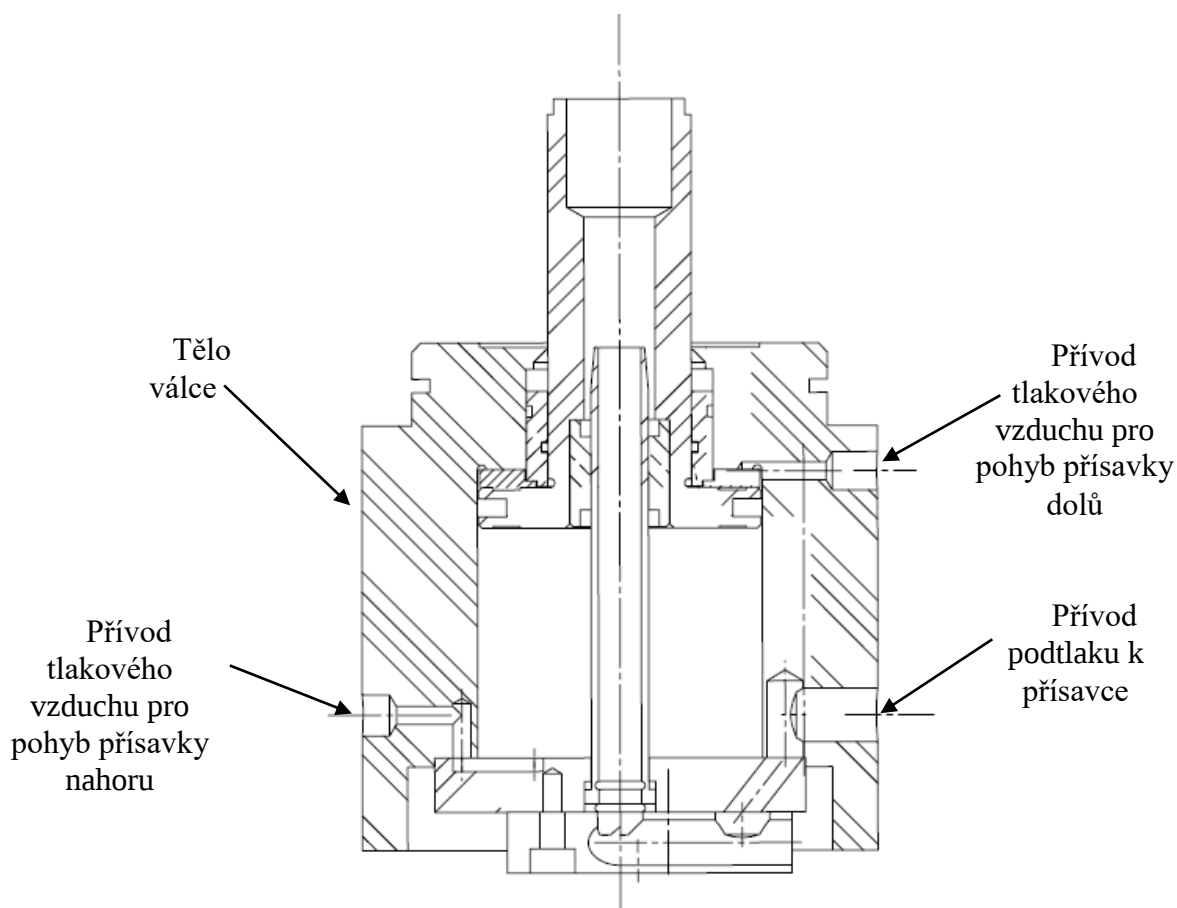
Tato varianta je založena na konstrukci dvojčinného pneumatického válce. Ovládací vzduch pro pohyb směrem nahoru a dolů je přiveden přes proporciálně řízený ventil. Vakuum pro tvarování v konečné formě a pro uchycení předtvaru k táhlu je řízen samostatně a odděleně. Pneumatický pohon je nutné vyrobit na míru dle zadaných specifikací.

Naprogramování chodu mechanismu dolů je možné pouze silovým řešením. Je tedy možné pouze nastavit konstantní sílu, kterou je předtvar tažen směrem dolů k dýnku konečné formy. Je velice obtížné se reálně přiblížit ke gravitačnímu průběhu protažení.

Nastavení výšky mechanismu, je možný pouze mechanickým složením patřičných dílů. Není tedy možné jednoduchým způsobem během procesu tvarování nastavit rozdílné výšky táhla.



Obr. 30. Struktura pneumatického pohonu mechanismu nuceného pohybu dna



Obr. 31. Řešení pneumatického válce pro nucený pohyb dna

2.2.2. Varianta B – Axiální řešení s integrovaným transformačním blokem



Obr. 32. Struktura axiálního řešení pohonu dna s integrovaným transformačním blokem

Pro axiální řešení je možné použít aktuátor. Který je konstrukčně zasazen do mechanismu dna v axiálním provedení. Tento aktuátor je nutné upravit dle specifikací stroje.

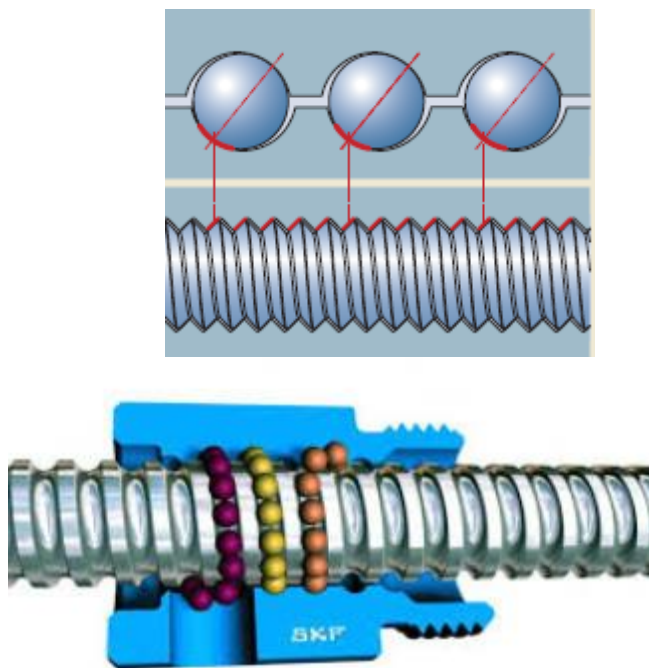
Konstrukce vychází z předešlého návrhu pneumatického pohonu. Je tedy nutná vlastní konstrukce motoru a připojení k mechanismu dna.

Řízení je možné silovou i polohovou formou. Polohové řešení umožňuje přesné naprogramování průběhu dráhy mechanismu dle skutečného gravitačního pohybu.

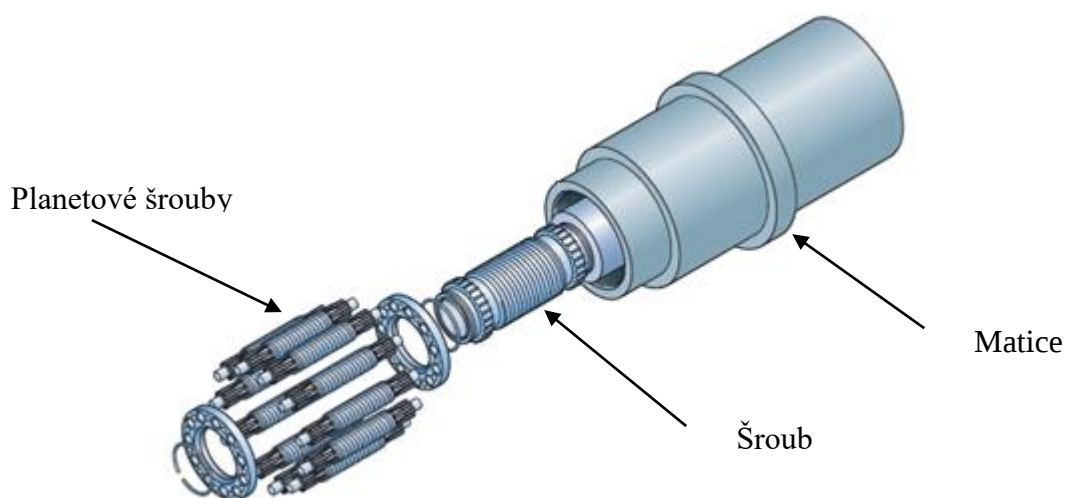


Obr. 33. Nabídka aktuátorů od firmy Exlar

Pohon aktuátoru je nejčastěji řešen buďto speciální převodovkou tvořenou planetovými šrouby, nebo převodovkou s kuličkovými šrouby. Planetové šrouby mají tu výhodu, že zatížení je přenášeno z matice na hřídel prostřednictvím sudovitého povrchu válců. Počet kontaktů a celková plocha kontaktů mezi hřídelí, válečků a maticí jsou podstatně vyšší ve srovnání s designem kuličkového šroubu, což má za následek větší dynamickou a statickou únosnost přenášení sil. (obr. 34). Planetové šrouby nikdy nepřijdou do kontaktu spolu navzájem. To je významná výhoda tohoto řešení oproti většině kuličkových šroubů. Ve většině kuličkových šroubů, kuličky přicházejí navzájem do styku, což generuje tření a přispívá tím potenciálnímu selhání mechanismu.



Obr. 34. Porovnání kontaktního přenosu síly

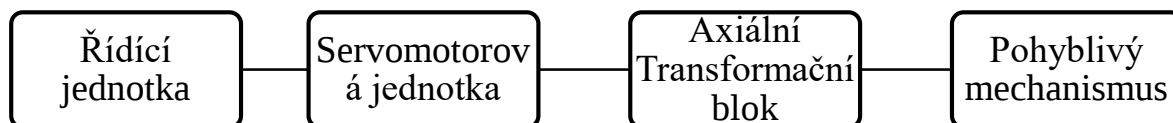


Obr. 35. Základní složení převodovky s planetovými šrouby

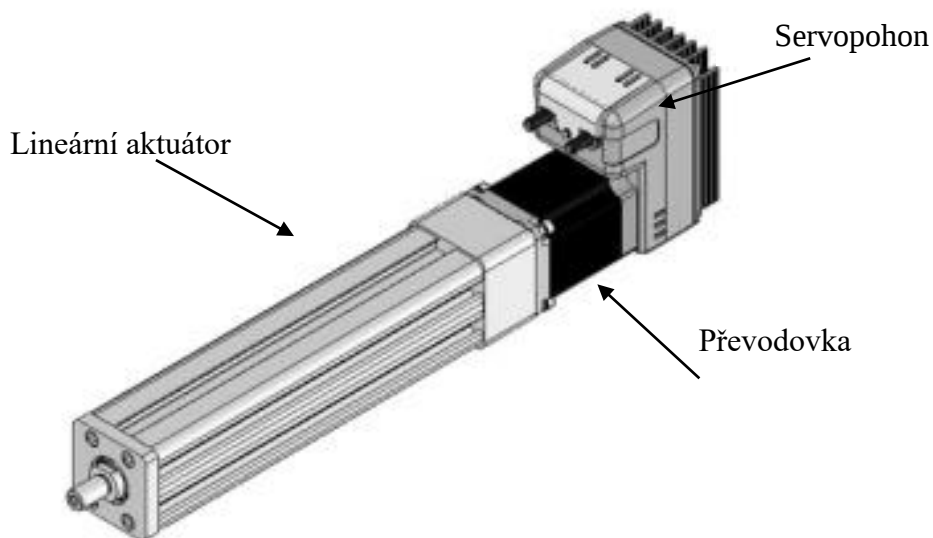
2.2.3. Varianta C – Axiální řešení s transformačním blokem

Tento blok se skládá ze servomotorové jednotky a zvlášť přídavným transformačním blokem v axiálním provedení.

Toto řešení má stejné výhody jako předešlé řešení Varianty B. Nevýhoda tohoto řešení je, že potřebujeme větší zástavbový prostor bod mechanismem dna. Tím bychom snížili chod mechanismu a omezili velikostní rozsah produktu.



Obr. 36. Struktura axiálního řešení pohonu dna s transformačním blokem



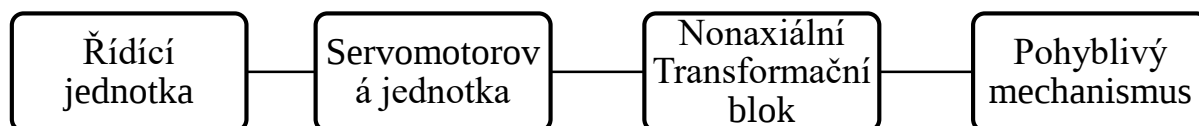
Obr. 37. Struktura axiálního řešení pohonu dna s transformačním blokem

2.2.4. Varianta D – NONAXIÁLNÍ řešení

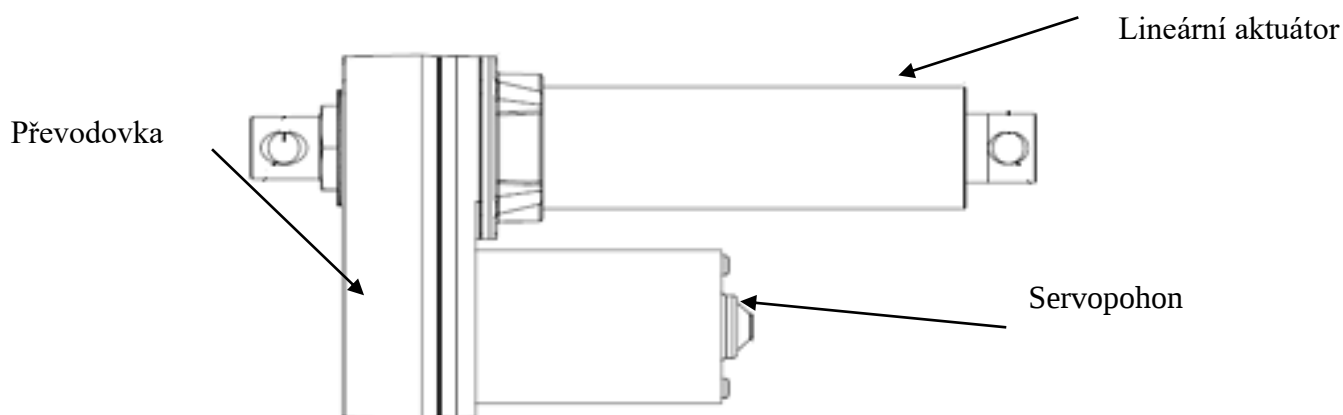
Pro mimo osové řešení je nutná sestava s transformačním blokem a motorem.

Výhoda tohoto řešení je v napojení vakua, který prochází středem mechanismu pohybujícího dna.

Nevýhoda je, že potřebujeme více prostoru do boku stroje. Toho bychom mohli lehce docílit u stroje s tříkapkou, pokud bychom řešení aplikovali pouze u dvojkapkového provedení.



Obr. 38. Struktura NONaxiálního řešení pohonu dna



Obr. 39. Konstrukční řešení NONaxiálního pohonu dna

2.3. Požadavky na řešení

- Přiblížit se k optimálním podmínkám natahování předtvaru. Proměnlivý zdvih a nastavitelný individuálně.
- Snadné a rychlé nastavení výšky mechanismu v závislosti na výrobní potřeby. Zdvih se musí pohybovat v rozmezí 1mm až 125mm v závislosti na výrobním procesu (FF, LF, ÚHLF).
- Montáž do stroje s minimálními úpravami.
- Integrace dokončovacího vakua do mechanismu
- Mechanismus musí snést větší tepelný náraz
- Mimořádně vysoká rychlost tažení pro sklo – vyšší než 100 mm/sec

2.4. Rozhodovací analýza

Pro rozhodování, kterou z variant použít, jsem využil Rozhodovací analýzu. Metoda je vhodná pro multikriteriální rozhodování složitých problémů. Umožňuje komplexní hodnocení jak kvantifikovatelných, tak nekvantifikovatelných kritérií, lze zde do hodnocení účelně propojit technická, ekonomická i organizační hlediska.

Metoda postihuje jak užité vlastnosti, tak rizika, přičemž subjektivní názory lze účelně eliminovat účastí pracovního týmu. Pro stanovení výsledného hodnocení je možné použít vážených aritmetických průměrů. Kterými lze zohlednit profesionální úroveň a zkušenosti respondentů pro hodnocení v dané oblasti.

Kritéria, která jsem zvolil do rozhodovací analýzy:

- Spolehlivost zařízení
- Montáž do stroje s minimálními úpravami
- Proměnlivý zdvih a individuální nastavení
- Systém ovládání
- Investiční náklady

Základ posouzení je v porovnání větší míry důležitosti vybraného kritéria oproti ostatním. Je výhodné použít trojúhelníkový diagram, do jehož polí se vždy zapisuje pořadové číslo závažnějšího kritéria porovnávané dvojice. Z nakresleného trojúhelníku párů se stanoví četnost výskytu každého z kritérií a pořadí jejich důležitosti a následně se určí pro jednotlivá kritéria jejich váha.

Tabulka č. 3 ukazuje výsledek rozhodovací analýzy. Z analýzy je patrné pořadí variant:

1. Varianta A - pneumatickým pohonem
2. Varianta B - Axiální řešení s integrovaným transformačním blokem
3. Varianta C - Axiální řešení s transformačním blokem
4. Varianta D - NONAXIÁLNÍ řešení

Řešení diplomové práce se bude zabývat Variantou B - Axiální řešení s integrovaným transformačním blokem.

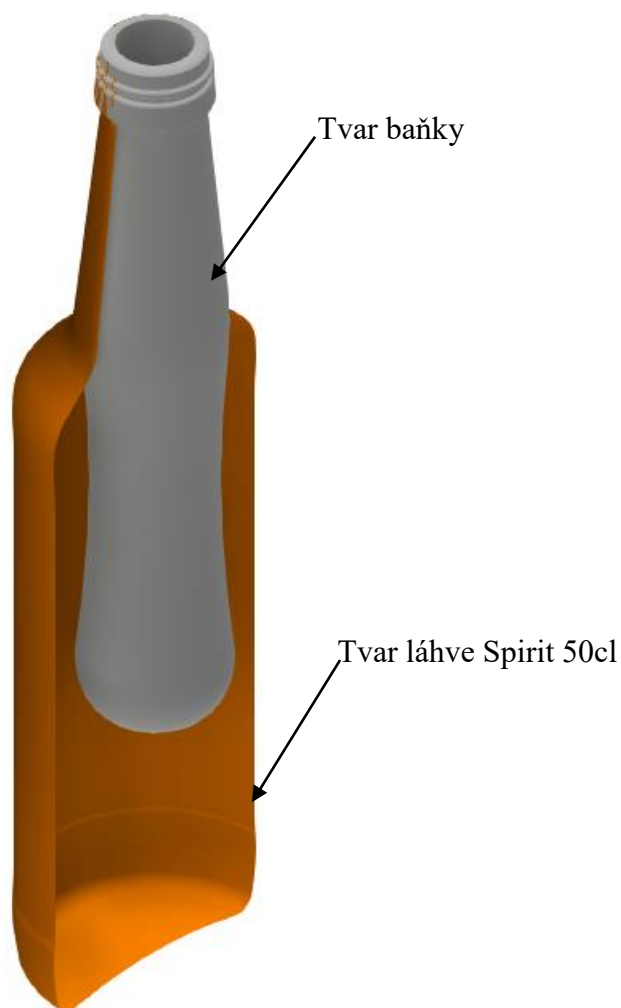
Tab. 3. Rozhodovací analýza pro výběr varianty nuceného odtahu dna

ROZHODOVACÍ ANALÝZA														
PÁROVÉ SROVNÁNÍ KRITÉRIÍ					MATICE UŽITNOSTI ALTERNATIV									
Poř. Čís.	Název kritéria	Počet voleb	Pořadí významnosti	Váha	X		A		B		C		D	
					Hodnota		Hodnota		Hodnota		Hodnota		Hodnota	
					Prostá	Vážená	Prostá	Vážená	Prostá	Vážená	Prostá	Vážená	Prostá	Vážená
1.	Spolehlivost zařízení	1	3	2	100	200	75	150	80	160	65	130	60	120
2.	Montáž do stroje s minimálními úpravami	0	4	1	100	100	80	80	80	80	60	60	50	50
3.	Proměnlivý zdvih a individuální nastavení	6	1	7	100	700	30	210	90	630	90	630	90	630
4.	Systém ovládání	0	4	1	100	100	60	60	80	80	80	80	80	80
5.	Investiční náklady	3	2	4	100	400	80	320	80	320	60	60	70	280
CELKEM						1500		820		1270		960		1160
UŽITNOST V RELATIVNÍM VYJÁDŘENÍ [%]								55%		85%		64%		77%
POŘADÍ ALTERNATIV PODLE UŽITNOSTI								4		1		3		2

3. Počítačová simulace

V této kapitole se diplomová práce zabývá počítačovou simulací namodelování průběhu tvarovacího cyklu pro vybranou variantu řešení. Porovnává běžný tvarovací tvarovací cyklus pouze s gravitační silou s tvarováním pomocí mechanismu dna.

Pro tuto simulaci je použita láhev Spirit 50cl (obr. 40) o váze skloviny 270gr s výrobní rychlostí 176 l/min.



Obr. 40. Model láhve Spirit 50cl s baňkou přední formy

Pro jednoduchost je volena teplota konstantní po celé délce baňky, která je pro překlopení do konečné formy 911°C. Teplotu jsme určili výpočtem z viskozitní křivky.

Viskozitní křivku jsme určili výpočtem dle chemického složení skloviny. Výpočet využívá metod matematické statistiky pro stanovení hodnot dynamické viskozity v oblasti 10 až 10^{13} Pas z chemického složení skla. Byla zvolena oblast obalových a plochých skel, určeny meze obsahu jednotlivých oxidů a pomocí kráceného faktorového pokusu stanovena a utavena škála osmi skel, u kterých bylo provedeno experimentální stanovení dynamické viskozity.

Složení skla je následující:

Al ₂ O ₃	...	1,6	% hmotn.	X ₁
MgO	...	0,67	% hmotn	X ₂
CaO	...	11,21	% hmotn	X ₃
Na ₂ O	...	12,850	% hmotn	X ₄
K ₂ O	...	0,890	% hmotn	X ₅
BaO	...	0,130	% hmotn	X ₆

Celkem: 27,35 % hmotn.
SiO₂ ... 72,650 % hmotn.

Výpočet viskozitní křivky z chemického složení

a) výpočet a, b

$$X_1 := 1.6$$

$$X_2 := 0.670$$

$$X_3 := 11.21$$

$$x_1 := \frac{X_1 - 1.75}{1.25}$$

$$x_2 := \frac{X_2 - 3.5}{1}$$

$$x_3 := \frac{X_3 - 7.75}{0.75}$$

$$x_1 := \frac{1.6 - 1.75}{1.25} = -0.120$$

$$x_2 := \frac{0.670 - 3.5}{1} = -2.830$$

$$x_3 := \frac{11.21 - 7.75}{0.75} = 4.613$$

$$X_4 := 12.850$$

$$X_5 := 0.890$$

$$X_6 := 0.130$$

$$x_4 := \frac{X_4 - 14.5}{1.5}$$

$$x_5 := \frac{X_5 - 0.25}{0.25}$$

$$x_6 := \frac{X_6 - 0.275}{0.225}$$

$$x_4 := \frac{12.850 - 14.5}{1.5} = -1.100$$

$$x_5 := \frac{0.890 - 0.25}{0.25} = 2.560$$

$$x_6 := \frac{0.130 - 0.275}{0.225} = -0.644$$

$$a := 7.96858 - 0.01659 x_1 + 0.10862 x_2 + 0.12281 x_3 + 0.10541 x_4 + 0.02352 x_5 + 0.00136 x_6$$

$$a = 8.173$$

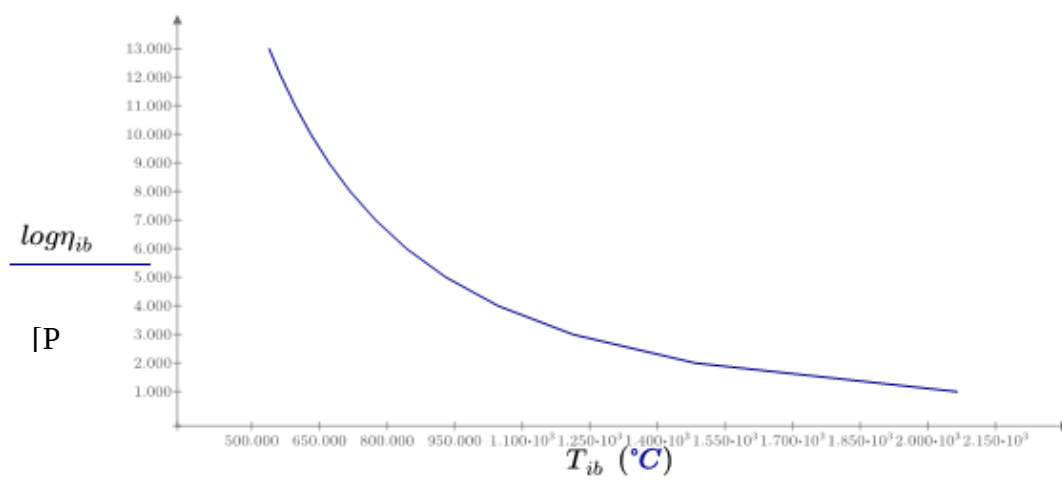
$$b := -2.36040 + 0.0069 x_1 - 0.03618 x_2 - 0.04162 x_3 - 0.04061 x_4 - 0.00794 x_5 - 0.00082 x_6$$

$$b = -2.426$$

Pro vlastní výpočet viskozity byl použit vztah:

$$\log (\log \eta) = a + b \log T$$

Kde: T – teplota [°K]
 a, b – konstanty
 η – viskozita [Pas]



Obr. 41. Vypočtená viskozitní křivka

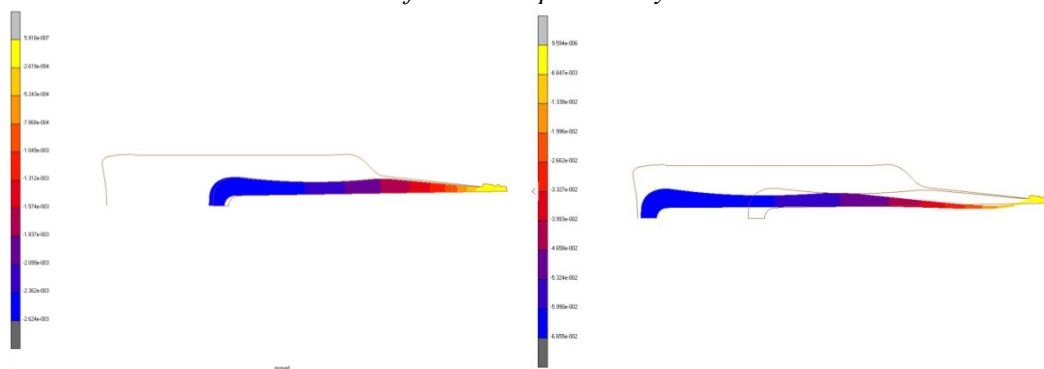
Tato viskozitní křivka byla použita pro simulaci natažení přední baňky v konečné formě. Simulace byla provedena v programu MSC – Marc 2008. Nyní na obrázku č.: 46 je porovnání průběhu natahování působení pouze gravitačních sil a průběh natahování pomocí mechanismu dna. Časový usek natažení pomocí mechanismu dna je poloviční. V době 0,8s je baňka již v dolní poloze a je možné pokračovat s následným tvarováním. Gravitační standardní metoda je stále 42,68mm vzdálená od dna konečné formy. Časová úspora jednoho cyklu tvarování se pohybuje okolo 14%.



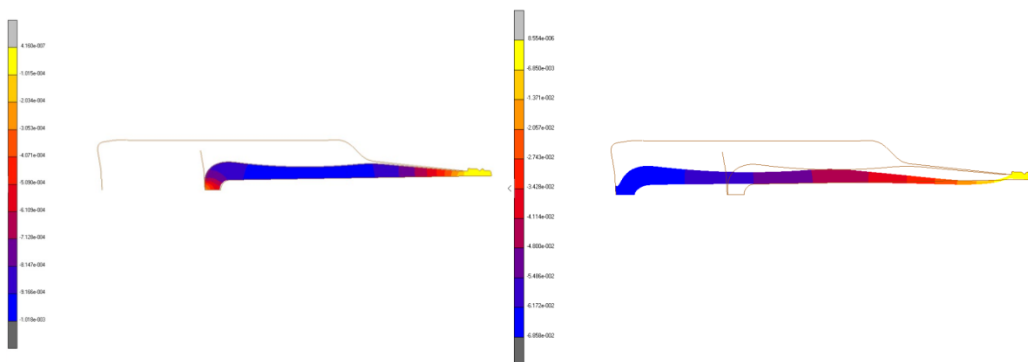
Obr. 42. Graf časového průběhu natažení



Obr. 43. Graf časového průběhu rychlosti natažení



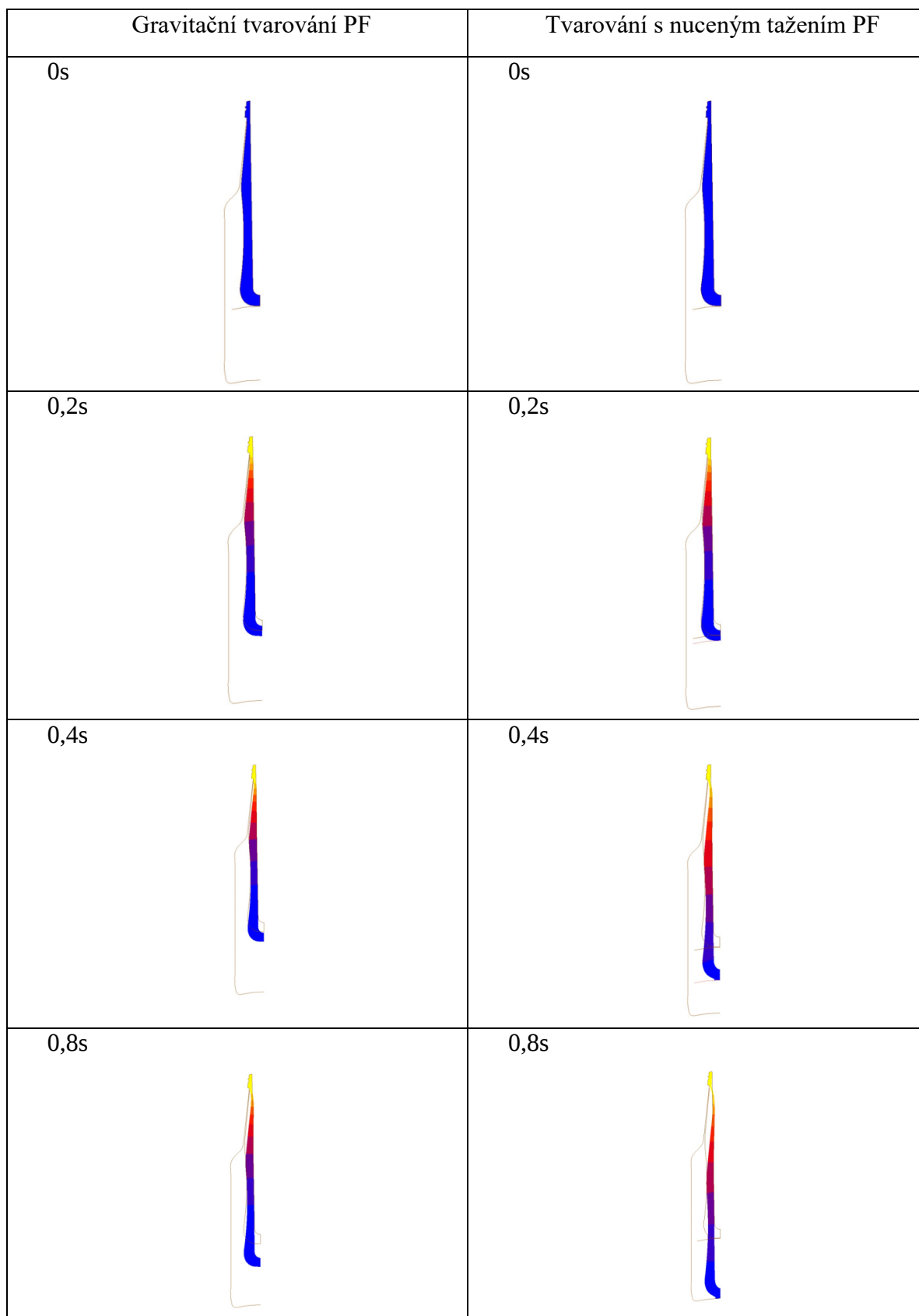
Obr. 44. Průběh simulace gravitační síly v programu MSC – Marc 2008 v čase t_0s a $t_{1,455s}$



Obr. 45. Průběh simulace mechanického natahování v programu MSC – Marc 2008 v čase t_0 a $t_{0,8s}$

Na obr. 44 jsou patrné změny tvaru volně protahující se skloviny. Tvar baňky přední formy se mění v závislosti na silovém působení gravitační síly. Tato gravitační síla působí na největší hmotu u dna a způsobuje protahování stěny v místě kritického průřezu (s nejvyšší teplotou a nejmenším průřezem). Nejvíce se sklovina protahuje pod ústím láhve.

Na obr. 45 jsou patrné změny nuceného protahování se skloviny. Chování protahování stěny baňky je shodné, a proto by mechanické protahování nemělo mít vliv na kvalitu rozložení skloviny.



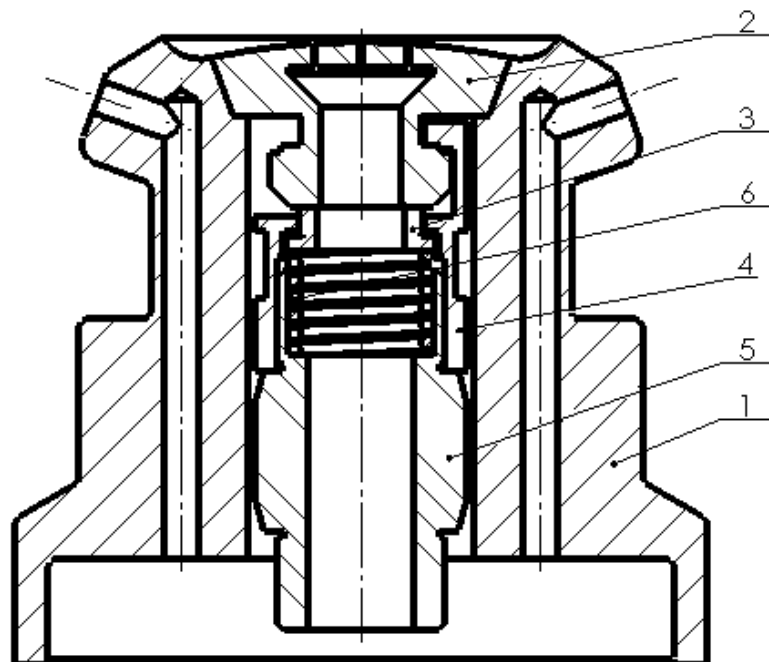
Obr. 46. Časové srovnání tvarovacího cyklu gravitační silou a nuceným tažením

4. Konstrukční řešení

4.1. Řešení mechanismu dna

Sestava mechanismu se skládá ze dna formy s přísavkou a mechanismu dna pro pohyb přísavky. Mechanismus je možné jednoduše nasadit na desku dna výrobního stroje. Pohyb pístu je zajištěn elektromotorem s převodovkou s planetovými šrouby.

Pro rozvod vakua jsou nutné dva nezávislé okruhy. První okruh je standardní přívod vakua skrze dno pro zajištění odsátí vzduchu mezi přetvarem a konečnou formou, který napomáhá tvarování vyfouknutí dutého výrobku. Druhý okruh vakua zajišťuje přísátí přetvaru k přísavce, aby bylo možné asistované natažení předního tvaru v konečné formě.



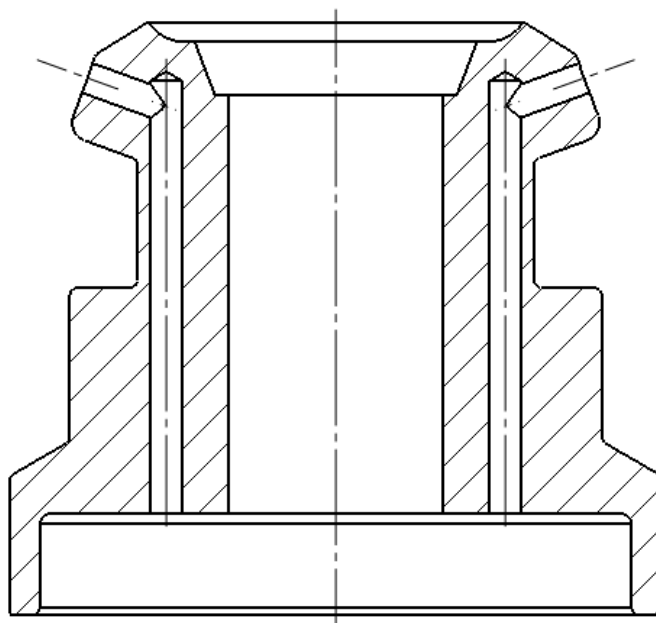
Obr. 47. Konstrukční řešení dna konečné formy
 1-Tělo dna, 2-Přísavka, 3-Pružná podložka, 4-Adaptér, 5-Trubka, 6-Pružina

4.2. Dno formy

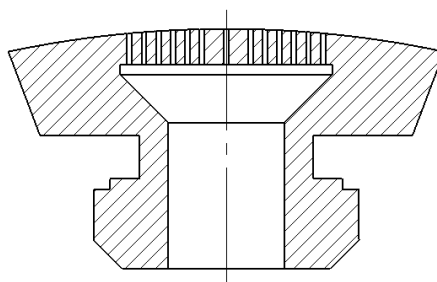
Dno formy se skládá z těla formy obr. 48 a přísavky obr. 49. Tělo dna konečné formy je standardní konstrukce, která se používá. Jen s tím rozdílem, že je použita vsazená přísavka do středu formy.

Přísavka musí mít dostatečnou plochu s uvažováním síly vakua a rychlosti tažení přetvaru, aby nedocházelo k přerušení spojení v průběhu klesání táhla.

Přísavka může být vyrobena z materiálů s nízkou tepelnou kapacitou nebo z materiálů s vysokou tepelnou vodivostí. V mém případě jsem navrhl materiál GS 809-(interní značení materiálu slitiny mědi)



Obr. 48. Tělo dna konečné formy

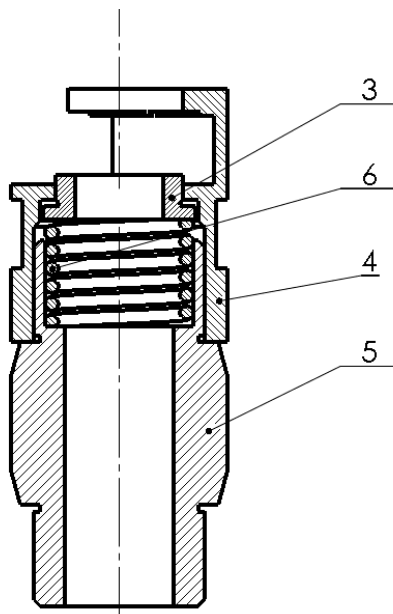


Obr. 49. Přísavka

4.3. Připojení k pohyblivé pístitnici

Návrh připojení má za funkci rychle bez montáže připojit přísavku, které je součástí variabilního příslušenství formy, a pístitnici zajišťující pohyb. Je nutné zkrátit čas výměny na minimum. Proto navrhuji rychlé vsunutí z boku adaptéru. Pružina s pružnou podložkou tlačí na přísavku, která je zajištěna a vystředěna v adaptéru.

Prodloužení je část, kterou je nutné volit na základě výšky dna konečné formy. Pro montáž a demontáž se použijí nástrční klíč 28mm.



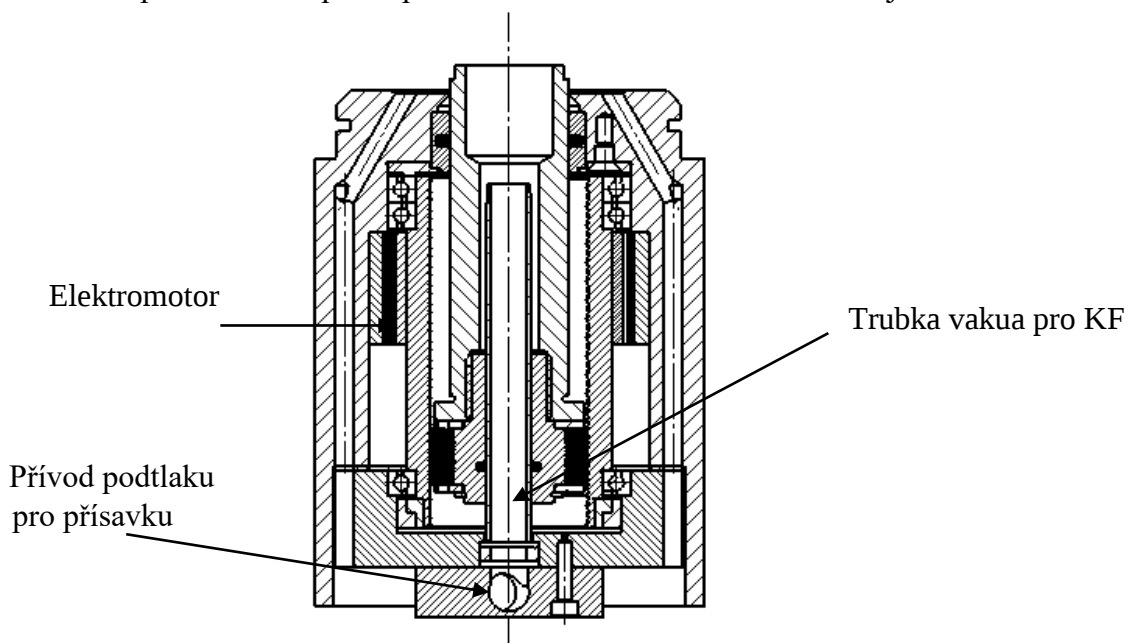
Obr. 50. Připojení přísavky k pístnici

Připojení se skládá ze 4 částí:

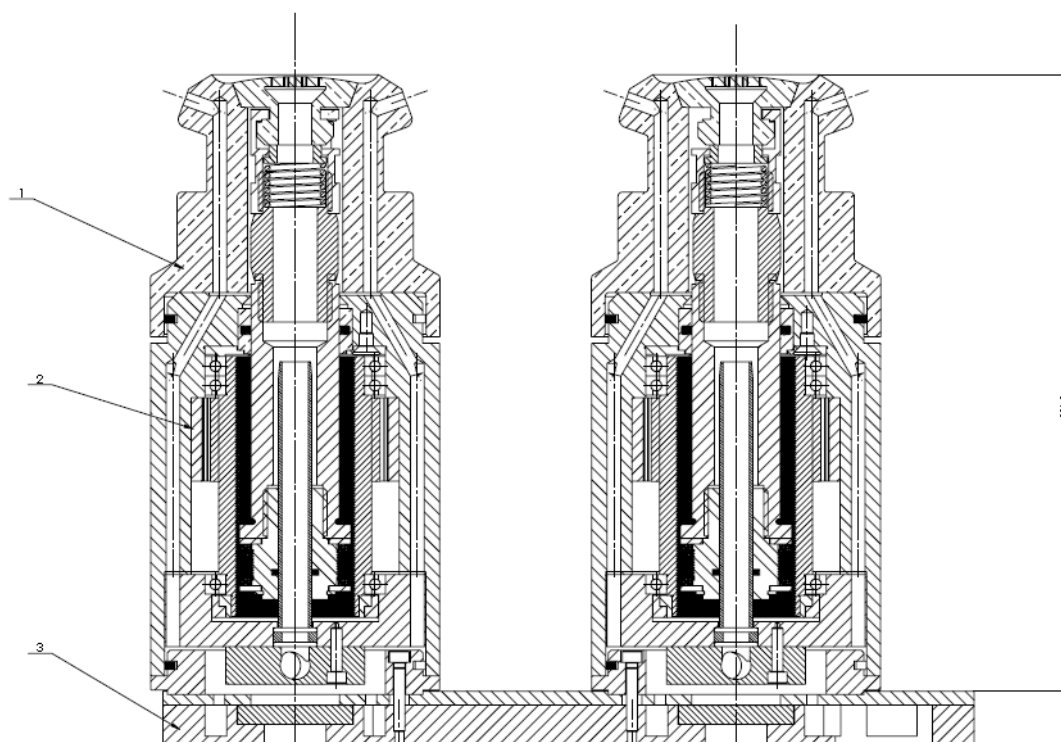
4-Adaptér pro připojení přísavky, 3-Pružná podložka pro udržení přísavky, 6-Pružina pro přimáčknutí přísavky prostřednictvím pružné podložky, 5-Prodloužení, které je volitelné v závislosti na délce přetvaru v konečné formě

4.4. Aktuátor

Konstrukce aktuátoru je inspirována konstrukcí servoválce ústníku. Na válci se navíc připojí pouze přívod vakua pro připojení předtvaru k přísavce a elektro kabely pro ovládání motoru. standardní použití vakua pro napomáhání tvarování v konečné formě je zachováno.



Obr. 51. Aktuátor

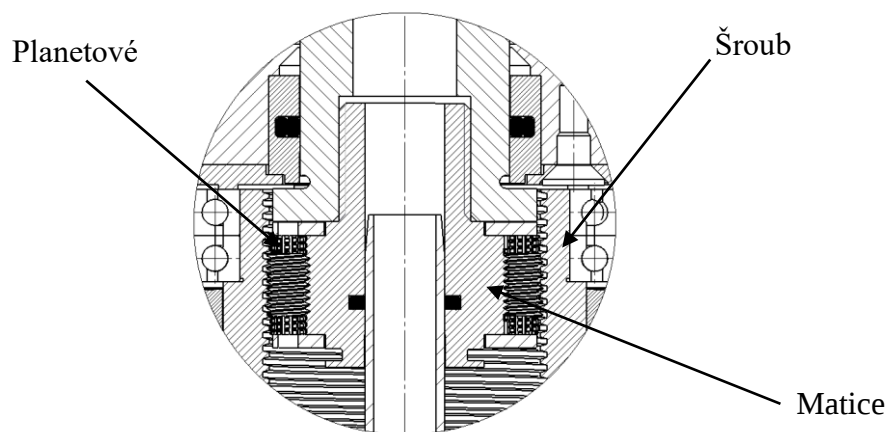


Obr. 52. Sestava mechanismu pro dvousekční stroj

Konstrukce pohonu se skládá z hlavních 3 částí (obr. 50)

- a) Elektro motor
- b) píst pro pohyb přísavky
- c) trubka vakua – propojení vakua

Transformace pohybu zabezpečuje převodovka tvořená moderní konstrukcí planetových šroubů, která umožní dosáhnout vysokou tuhost, přesnost a velice dobře odolává stíženým podmínkám prostředí. Je použita konstrukce firmy Exlar. Pouze byl upraven vnitřní průměr pro šroub pro vložení propojovací trubky vakua pro přísavku, byla upravena konstrukce matice, která je přizpůsobena vnitřní zástavbě mechanismu.



Obr. 53. Detailní pohled převodovky s planetovými šrouby

4.5. Ložiska

Matice aktuátoru vykonává rotační pohyb, který se přenáší do kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem. Tato ložiska jsou přizpůsobena pro pohon lineárních planetových šroubových aktuátorů od firmy Exlar. Bylo použito ložisko 61810 upraveno pro zatížení s kosoúhlým stykem.

Hodnoty ložiska:

$C_a=30\,000\text{ N}$ základní dynamická únosnost ložiska

$P_u=285\text{ N}$ mezní zatížení

$n_{\text{lim}}=6000\text{ ot/min}$ maximální otáčky

Výpočet životnosti je vypočítán dle standardního vztahu:

Základní životnost ložiska:

$$L_{10} = \left(\frac{C_a}{F_m} \right)^3 = 3,499 \cdot 10^6 \text{ cyklů} \quad L_{10}\text{-životnost navrhovaného ložiska}$$

Kde:

C_a – základní dynamická únosnost

F_m – střední zátěž

$$F_m = \frac{F_{\min} + 2F_{\max}}{3} = 49,4\text{ N}$$

$$F_{\min}=48,2\text{ N}$$

$$F_{\max}=50\text{ N}$$

Výpočet použití ložisek v cyklu stroje:

V případě výroby Spirit 50cl je rychlost stroje 176 l/min. Mechanismus vykoná 11,5 cyklu za minutu.

$$\text{Minimum } L_{10} = 11,5 \times 60 \times 24 \times 365 = 6,044 \cdot 10^6 \text{ cyklů}$$

V případě nepřetržitého provozu se jedná o $6,044 \cdot 10^6$ cyklů za rok.

Stoupání závitu $P_h = 1\text{ mm}$. Jeden cyklus vykoná max 70mm směrem nahoru a 70mm směrem dolů. Jeden cyklus vykoná 140mm. Tedy 140ot za jeden cyklus. Skutečné otáčky vykonané za rok L_{10s} .

$$L_{10s} = 6,044 \cdot 10^6 \times 140 = 8,462 \cdot 10^8$$

Za rok ložiska vykonají $8,462 \cdot 10^8$ otáček. V našem případě je životnost ložisek pouze 2,5 měsíce.

Abychom docílili životnosti alespoň jeden rok provozu, je nutné ve spolupráci s výrobcem ložisek navrhnout speciální ložisko s větší dynamickou únosností.

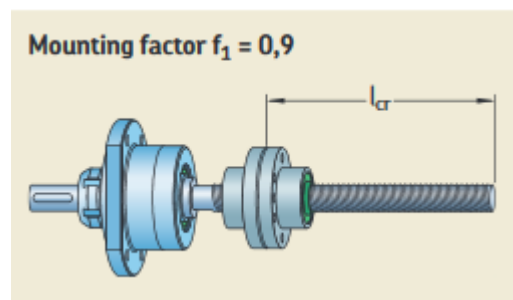
$$C_{areg} = F_m (L_{10})^{1/3}$$

$$C_{areg} = 49,4 (8,462 \cdot 10^8)^{1/3} = 46730 N$$

Kde:

C_{areg} – Požadovaná dynamická únosnost

L_{10rok} – životnost ložiska 1 rok



Obr. 54. Faktor montáže

Výpočet kritických otáček:

$$n_{cr} = 49 \cdot 10^6 \frac{f_1 d_2}{l_{cr}} = 2,393 \cdot 10^5 \text{ ot / min}$$

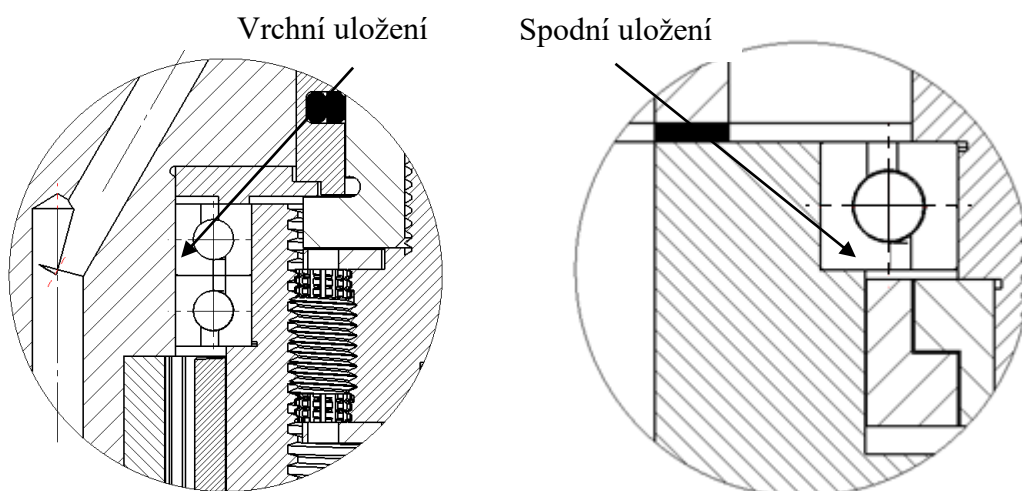
$$n < n_{cr}$$

Kde:

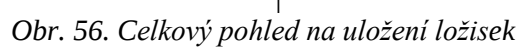
f_1 – faktor montáže (obr.: 54)

d_2 – vnější průměr šroubu

l_{cr} – volná délka šroubu



Obr. 55. Konstrukce vrchního a spodního uložení ložiska



5. Zhodnocení

Diplomová práce předkládá konstrukční řešení tažného mechanismu dna konečné formy, kterým je zajištěna modifikace tvarovacího procesu (volného tvarování) v KF. Tažným mechanismem bylo dosaženo zkrácení volného procesu tvarování na 50% původní doby.

Řešení diplomové práce tím přineslo možnost zkrácení doby tvarování o 14%. Což přináší teoreticky možnost zvýšení výrobnosti řadového stroje minimálně o 10%.

Předložené řešení využívá mechatronické komponenty, jehož základem je aktuátor s převodovkou tvořenou moderní konstrukcí planetových šroubů, tím byla dosažena vysoká tuhost mechanismu, přesnost a současně odolnost systému vůči stíženým pracovním prostředím.

Navržené řešení rozvíjí patent US 2004/0118159, vlastněný firmou Owens-Brockway Glass Container Inc., a je charakterizováno plnou zabudovatelností do konstrukce mechanismu dna konečné formy zvoleného řadového stroje.

Mechanismus protahování polotovaru dovoluje inovace v oblasti návrhu polotovaru a nabízí více svobody a možností na úrovni seřizování výroby. Umožňuje nárůst produktivity a lepší zvládání jakosti.

Produktivita:

Rozdělení skloviny je více pod kontrolou, je tedy možné u odlehčených výrobků zvýšit rychlost tvarování. Je možné pracovat s chladnější teplotou skla s cílem redukovat přelisky způsobené lisováním. Zavádění kratších předlisků, které umožňují rychlý přesun do konečné formy.

Kvalita výrobků:

U natahovaného předlisku docílíme rovnoměrnější rozložení skloviny a tím stabilnější sílu stěny výrobku nezávisle na výrobní dutině. Odstraníme tím vliv nestejných inverzních pohybů (více sekční stroj s více dutinami) a heterogenosti rozložení teploty polotovaru závislé na jeho vlastní váhu (axiální rozložení váhy skla).

Ekonomické zhodnocení:

Hlavním ekonomickým přínosem je teoretické zvýšení rychlosti stroje až o 10%. Naopak hlavními náklady na realizaci projektu budou:

- kompletní zpracování konstrukčního řešení,
- technická příprava výroby,
- výroba samotných dílů,
- náklady na montáž a prostoje stroje během samotné montáže.

Odhad těchto nákladů je cca 350 000,- Kč na jednu sekci stroje. V případě 8mi sekčního stroje, a pokud zároveň připočteme 2 ks náhradní, bude celková cena dosahovat 3,5mil Kč. Pokud uvažujeme výrobu Spirit 50cl rychlost 176 láhví/min a čistý zisk z jednoho výrobku 0,7Kč. Je možné spočítat návratnost investice cca 7 měsíců výroby.

Tab. 4 – Ekonomické zhodnocení návratnosti investic

Výše jednorázových nákladů	Zvýšení množství výroby	Čistý zisk z výrobku	Návratnost
350 000,-	17,6 láhví/min	0,7Kč	198 dní

Závěr

Diplomová práce byla členěna v souladu se zadáním do pěti kapitol.

Kapitola 1 předkládá rozbor současného stavu doplněný popisem jednotlivých používaných technologií pro výrobu obalového skla a analýzou časového průběhu jednotlivých fází pracovního tvarovacího cyklu.

Kapitola 2 předkládá variantní řešení pomocného mechanismu nuceného tvarování předního tvaru. Konec kapitoly je věnován rozhodovací analýze, která nám napomáhá k relevantnímu výběru vhodného řešení.

V kapitole 3 je předloženo řešení tvarovacího cyklu pomocí počítačové simulace na platformě MKP.

Kapitola 4 byla věnována konkrétnímu konstrukčnímu řešení patentovaného způsobu nuceného tažení dna přední formy realizované vakuovým držením a odtahem realizovaným servopohonem se speciálním transformačním blokem – s převodovkou s planetovými šrouby.

V práci byl kladen důraz na průběh rychlosti nuceného odtahu ve vztahu k reologickým vlastnostem skloviny v průběhu tvarování a na způsob provedení řešení, kde byla akcentována odolnost proti ztíženým pracovním podmínkám.

Jsem přesvědčen, že práce bude vhodným podkladem pro konečné řešení nuceného tvarování předního tvaru, které se jeví jako ekonomicky výhodné s rychlou návratností.

Použitá literatura

- [1] BELDA, J. *Sklářské a keramické stroje I*. Liberec: VŠST 1994.
- [2] Interní dokumentace stroje Owens-Brockway Glass Container Inc.
- [3] TRNKA, J. *Konstrukce sklářských forem a skleněných výrobků*. Praha: SNTL 1957.
- [4] BSN GLASSPACK, FRANCE. *METHOD OF FABRICATING A HOLLOW GLASS ARTICLE INCLUDING A STAGE OF ASSISTED STRECHING OF THE BLANK, AND AN INSTALLATI-ON FOR IMPLEMENTING THE METHOD*. Vynálezce: Max Rombouts, Chris Reijmersdal, Gerard Pajean, Sisaveng Rattana. Přihl. 30.9 2003. Číslo patentu: US2004/0118159A1.
- [5] KLEBSA, V. *Technologie skla a keramiky I. – Sklo*. Liberec: VŠST Liberec, 1983.
- [6] SMRČEK, A. *Strojní tvarování skla*. Praha: SNTL, 1981.
- [7] MSC Software. *Marc Mentat 2015.0.0.SE Ink*.
- [8] Exlar [online]. Dostupné z: <http://exlar.com/>
- [9] SKF [online]. *Katalog ložisek*. Dostupné z: www.skf.com
- [10] SKF [online]. *Roller screws*. Duben 2014. Dostupné z: <http://www.skf.com/binary/82-153959/14489-EN---Roller-screw-catalogue.pdf>
- [11] Emhart [online]. Dostupné z: <http://emhartglass.com/>
- [12] Owens-Brockway Glass Container Inc.. *Owens illinois machine manual*. Leden 2015.
- [13] Owens-Brockway Glass Container Inc.. *PressProgram 4.2. březen 2008*
- [14] Fluke. *SmartView 3.12*. březen 2016.
- [15] STEKLÝ, Jan. *Numerická simulace procesu lisofoukání*. Liberec, 2004. Disertační práce.