

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M 2301 - Strojní inženýrství



Studijní obor: 2302T010 Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření: Sklářské a keramické stroje

Manipulace s výlisky malých lustrových ověsů od tvarovacího stroje na vstup do chladicí pásové pece

(Handling with small chandelier trimmings from the forming machine to enter
of cooling conveyor furnace)

KSR – 19563

Michal Pastva

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. František Novotný, CSc.

Konzultant diplomové práce: Václav Libenský
Ing. Marcel Horák, Ph.D.

Rozsah diplomové práce:

Počet stran:	57
Počet tabulek:	6
Počet obrázků:	36
Počet výkresů:	5
Počet příloh:	0
Počet modelů:	0

Datum odevzdání: 28. 5. 2010

Anotace

Téma: **Manipulace s výlisky malých lustrových ověsů od tvarovacího stroje na vstup do chladicí pásové pece**

Předkládaná diplomová práce se zabývá řešením manipulace malých lustrových ověsů u nově instalované technologie – mezi tvarovacími lisami na bezbrokové tvarování a vstupním pásem chladicí pásové pece. Cílem řešení je navrhnout variantu šetrné manipulace, která bude respektovat technologii výroby a zároveň i dispoziční možnosti na huti. Hlavní část práce se zaměřuje na přesné konstrukční řešení vybrané varianty, které je podpořené výpočty a výkresy.

Klíčová slova: manipulace, bezbrokové tvarování, lis, pásový dopravník, výlisek, chladicí pec.

Annotation

Theme: **Handling with small chandelier trimmings from the forming machine to enter of cooling conveyor furnace**

The thesis deals with solution of handing small chandelier trimmings for the lately installed technology - between forming presses on without overflow glass metal forming and enter belt of cooling conveyor furnace. The main aim is to suggest a solution of carefully manipulation which will respect the production technology and also the dispositional options for smelting works. The main part of work is focused on accurate design of solutions on the selected variant, which is supported by calculations and drawings.

Key words: manipulation, without overflow glass metal forming, press, belt conveyors, molding, cooling furnace.

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) 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(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 28. 5. 2010

Podpis

Poděkování

Děkuji Doc. Ing. Františku Novotnému, CSc., vedoucímu své diplomové práce, za odborný dohled, trpělivost a cenné připomínky při řešení práce.

Dále bych rád poděkoval Ing. Marcelu Horákovi, PhD., za vstřícný a obětavý přístup.

Děkuji též Vladimíru Libenskému z úseku rozvoje společnosti Preciosa a.s., za poskytnuté informace, materiály a cenné rady a náměty.

Obsah

Úvod	11
1 Rozbor podkladů	12
1.1 Popis současného stavu	13
1.2 Popis nové (instalované) výrobní technologie	14
1.3 Technické podmínky.....	15
1.3.1 Podmínky manipulace:	15
1.3.2 Geometrické podmínky.....	15
1.3.3 Lokalizace manipulačního zařízení.....	18
1.3.4 Technologická omezení.....	19
1.4 Přpravovaný sortiment	21
2 Alternativní návrhy manipulace	23
2.1 Manipulační úroveň.....	23
2.1.1 Varianta A – úroveň nad pódiem.....	24
2.1.2 Varianta B – úroveň pod pódiem.....	25
2.1.3 Výběr varianty manipulační úrovně	26
2.2 Vertikální koncepce	27
2.2.1 Varianta A - spirálový skluz	27
2.2.2 Varianta B - pásový dopravník.....	28
2.2.3 Varianta C - vertikální pásový dopravník	29
2.2.4 Výběr varianty vertikální manipulace.....	29
2.3 Horizontální manipulace	30
2.3.1 Varianta A – pásové dopravníky.....	31
2.3.2 Varianta B – maloprofilová chladičí pec.....	34
2.3.3 Výběr varianty horizontální manipulace	37
3 Konstrukční řešení vybrané varianty	38
3.1 Popis konstrukce.....	38
3.2 Konstrukční výpočty	41
3.2.1 Tepelné výpočty izolované trati	41
3.2.1.1 Výpočet ztrátového tepla izolovanou stěnou dopravníku	42
3.2.1.2 Výpočet množství tepla potřebného k ohřátí vzduchu uvnitř izolované atmosféry	45
3.2.1.3 Výpočet množství tepla uniklého vstupními a výstupními otvory	46

3.2.2	Výpočty pohonu horizontálního pásového dopravníku A1	46
3.2.2.1	Výpočet potřebné obvodové síly	46
3.2.2.2	Návrh pohonu horizontálního dopravníku ($v = \text{konst}$)	48
3.2.2.3	Kontrola navrženého motoru ($v \neq \text{konst}$)	50
3.2.3	Výpočty pohonu vertikálního pásového dopravníku	51
3.2.3.1	Výpočet napínací síly	51
3.2.3.2	Návrh pohonu vertikálního dopravníku ($v = \text{konst}$)	52
3.2.3.3	Kontrola navrženého motoru ($v \neq \text{konst}$)	53
3.2.4	Kontrola pera na hnací hřídeli horizontálního dopravníku	54
4	Zhodnocení	55
4.1	Technické vlastnosti	55
4.2	Přínos zařízení	55
	Závěr	56
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	57

SEZNAM SYMBOLŮ A JEDNOTEK

<i>Označení</i>	<i>Název veličiny</i>	<i>Jednotka</i>
BTH	bezbrokové tvarován hlaviček	
G12	12-ti pozicový lis	
konst.	konstanta	
tzn.	to znamená	
c	měrné teplo	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
c_t	objemová tepelná kapacita vzduchu	$[J \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}]$
d_o	vzdálenost kamery od snímaného objektu	[m]
d_v	průměr výlisku	[m]
D_v	výpočtový průměr výlisku	[m]
f_s	součinitel tření sklo – ocel	[-]
f	součinitel vláknového tření	[-]
f_p	součinitel tření o podporu	[-]
f_c	součinitel tření v ložiskách	[-]
F_N	napínací síla	[N]
F_o	obvodová síla	[N]
F_1	tah v pásu	[N]
g	tíhové zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
i	převodový poměr	[-]
J	moment setrvačnosti	$[kg \cdot m^2]$
k	součinitel bezpečnosti	[-]
k_n	součinitel bezpečnosti	[-]
L	délka pásu chladičí pece	[m]
l	délka pera	[mm]
m_z	hmotnost závaží	[kg]
m_{vz}	hmotnost vzduchu	[kg]
m_v	hmotnost výlisků	[kg]
m_{ZA}	hmotnost zátěže	[kg]
M_{max}	maximální moment motoru	[Nm]
M_{ZP}	moment motoru na zrychlení posuvných hmot	[Nm]
M_{ZR}	moment motoru na zrychlení rotačních hmot	[Nm]

M_R	rozběhový moment	[Nm]
M	hnací moment	[Nm]
n	počet výlisků	[ks]
n_H	otáčky za převodovým ústrojím	[s ⁻¹]
N_{hto}	teoretický počet výlisků na pás	[ks · hod ⁻¹]
P	příkon	[W]
Q	teplo	[J]
$\dot{Q}$	tepelný tok	[W]
Q_n	výrobnost lisů	[ks · hod ⁻¹]
q	hmotnost pásu	[kg · m ⁻¹]
$\dot{q}$	tepelný tok plochou	[W · m ⁻²]
R	poloměr bubnu	[m]
r_c	poloměr ložiska	[m]
s_v	dráha vertikální manipulace	[m]
s_h	dráha horizontální manipulace	[m]
S_s	plocha stěn kolem dopravníku	[m ²]
S	tah v pásu	[N]
t_{ref}	teplota okolí	[°C]
t_{vz}	teplota vzduchu	[°C]
t	teplota stěn	[°C]
v_v	rychlost vertikálního dopravníku	[m · s ⁻¹]
v_h	rychlost horizontálního dopravníku	[m · s ⁻¹]
V	objem	[m ³]
$\dot{V}$	objemový tok	[m ³ · s ⁻¹]
V	objem	[m ³]
w	užitečná šířka pásu pece	[m]
α_o	úhel opásání	[rad]
α	úhel náklonu	[°]
α_{vz}	součinitel přestupu tepla	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
β	úhel sklonu dopravníku	[°]
δ	tloušťka vrstvy	[m]
ε	úhlové zrychlení	[rad · s ⁻²]

ε_e	emisivita	[-]
λ	součinitel tepelné vodivosti	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
ρ_{vz}	hustota vzduchu	$[kg \cdot m^{-3}]$
τ_{max}	čas potřebný k chladnutí výrobků	[s]
τ_v	doba vertikální manipulace	[s]
τ_h	doba horizontální manipulace	[s]
τ_s	doba manipulace po skluzech	[s]
τ_{ch}	doba potřebná na chlazení	[min]
ω	úhlová rychlost	$[rad \cdot s^{-1}]$

Úvod

Diplomová práce se zabývá tématem navrženým společností Preciosa a.s., sídlící v Jablonci nad Nisou. Jedná se o firmu světového významu známou výrobou exkluzivních broušených výrobků z pravého českého křišťálu. Společnost disponuje výrobními závody v celém regionu.

Práce blíže řeší problém v hutním provozu na závodě 6 Preciosa, a. s., kde bude instalováno pět strojů BTH na bezbrokové tvarování malých lustrových ověšů. V současné době se výroba sortimentu malých lustrových ověšů zajišťuje na lisovstříkovém 12-ti pozicovém lisu G12.

Diplomová práce je složena ze 4 základních částí. Zabývá se řešením manipulace malých lustrových ověšů (v základním provedení osmi-hraná hlavička o rozměrech $14 \times 8,6$ mm) z tvarovacích lisů (strojů BTH) na vstupní pás chladicí pásové pece. Každý stroj produkuje 120 ks/min, což znamená 600 ks/min ze všech pěti strojů. Požadavkem je zvládnout automatickou manipulaci s výlisky při dodržení technických podmínek daných technologií výroby a dispozičními možnostmi. Hlavním úskalím je značná vzdálenost výstupních bodů z jednotlivých lisů od chladicí pece.

V první části jsou definovány technické podmínky výroby, technologie výroby a prostorové řešení daného technologického úseku. Technologická omezení byla zjišťována experimentem, při kterém se snímalo, prostřednictvím termokamery, reálné chladnutí povrchu výlisků v čase.

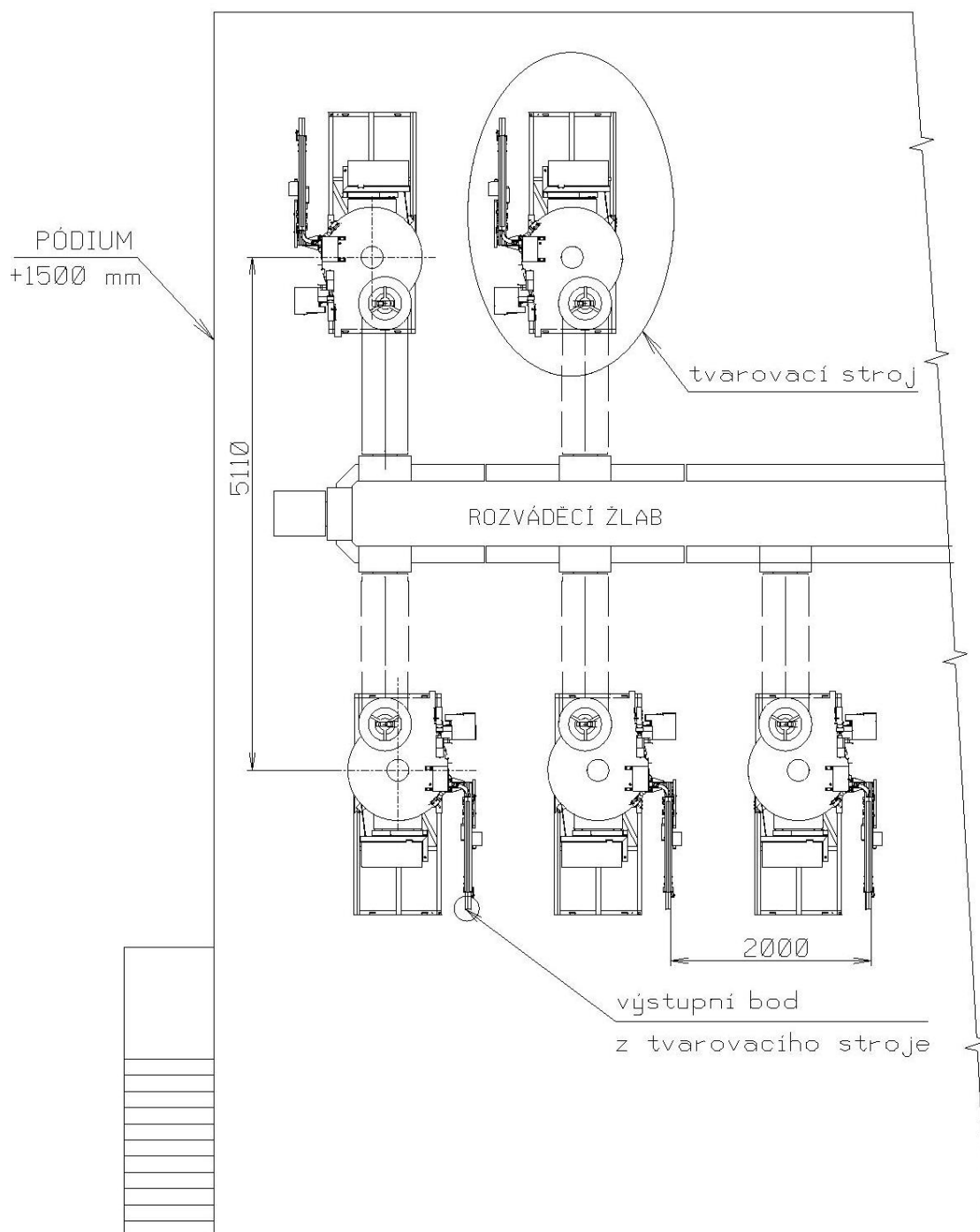
Cílem druhé části je navrhnout varianty šetrné manipulace, která bude respektovat technologii výroby a zároveň možnosti prostor na huti - výběr varianty vertikální a horizontální manipulace pomocí rozhodovací analýzy.

Hlavní část diplomové práce se zaměřuje na konkrétní konstrukční řešení podpořené výpočty a výkresy.

Poslední část je zaměřena na zhodnocení přínosu a využitelnosti navrženého řešení.

1 Rozbor podkladů

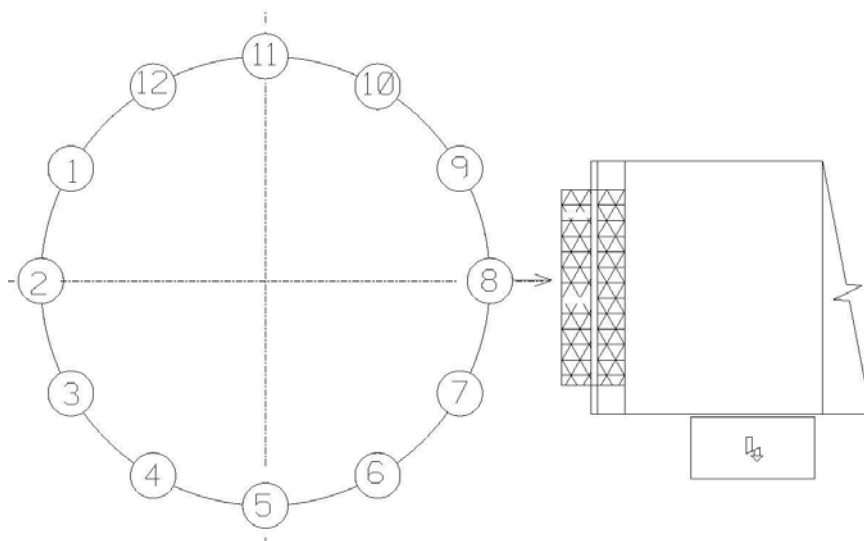
V hutním provozu na závodě 6 Preciosa, a. s. bude instalováno podle schématu (obr. 1) pět strojů BTH-3 na bezbrokové tvarování malých lustrových ověsů. Každý stroj produkuje 120 ks/min, což znamená 600 ks/min ze všech pěti strojů, přičemž je nutné řešit manipulaci od všech pěti strojů na vstupní pás chladicí pásové pece. Dále je na schématu znázorněno výstupní místo výlisků z tvarovacího stroje.



Obr. 1: Schéma rozmístění strojů

1.1 Popis současného stavu

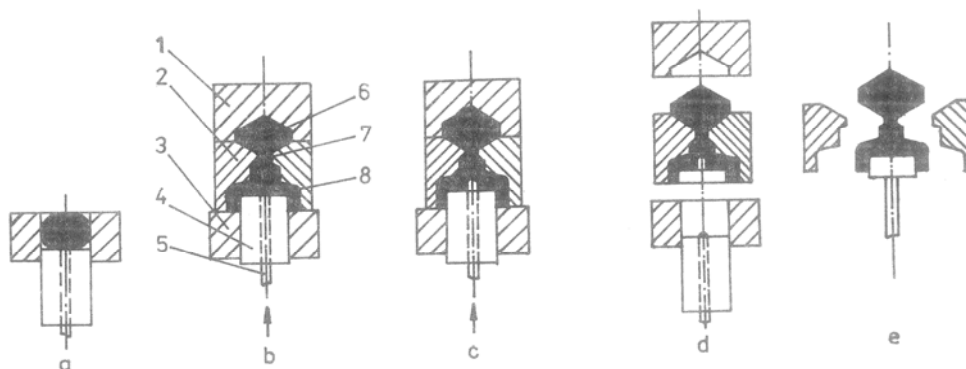
V současné době se výroba sortimentu malých lustrových ověšů zajišťuje na lisovstříkovém 12-ti pozicovém lisu G12 (obr. 2), který je umístěn ve stejné výrobní hale, jako v budoucnosti pětice strojů BTH-3. Jelikož se jedná o jeden stroj, s jedním výstupním místem, jsou vylisované výlisky sklepnuty z formy (obr. 2 poz. 8) na automatizovanou manipulační vidlici, která je založí přímo na drátěný pásový dopravník procházející chladicí pecí.



Obr. 2: Schéma lisovstříkové technologie

1 - dávkování, 2 - lisování, 3-7- chlazení, 8 – odnímání výlisku rovnou do chladicí pece, 9-12 – příprava formy

Výroba na stroji G12 není dostatečně rychlá a vykazuje vysokou spotřebu nevyužitě skloviny, která zůstává jako přelisek v lisovací komoře (obr. 3) a je potřeba ji recyklovat.

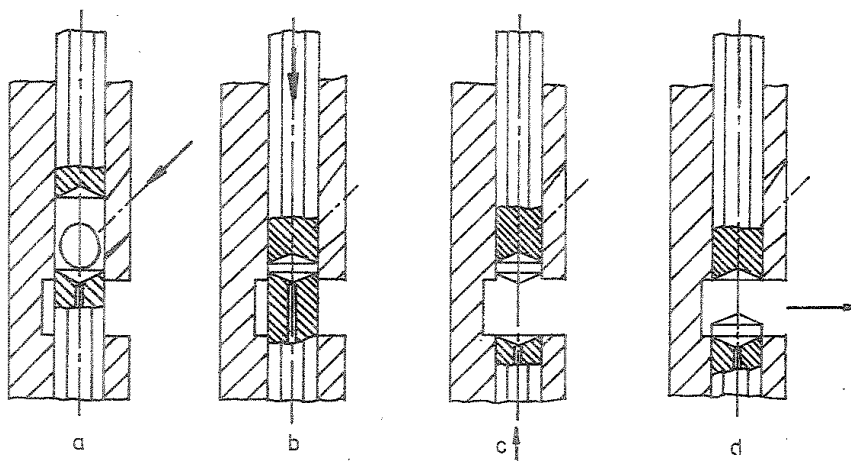


Obr. 3: Tvarovací cyklus lisovstříkové technologie [1]

a – dávkování skloviny, b – lisování, c – dolisování, d – otevření formy, e – vyjmutí výlisku, 1 – vrchní forma, 2 – střední dělená forma, 3 – spodní díl formy, 4 – lisovací píst, 5 – dolisovací kolík, 6 – výlisek, 7 – krček, 8 – přelisek

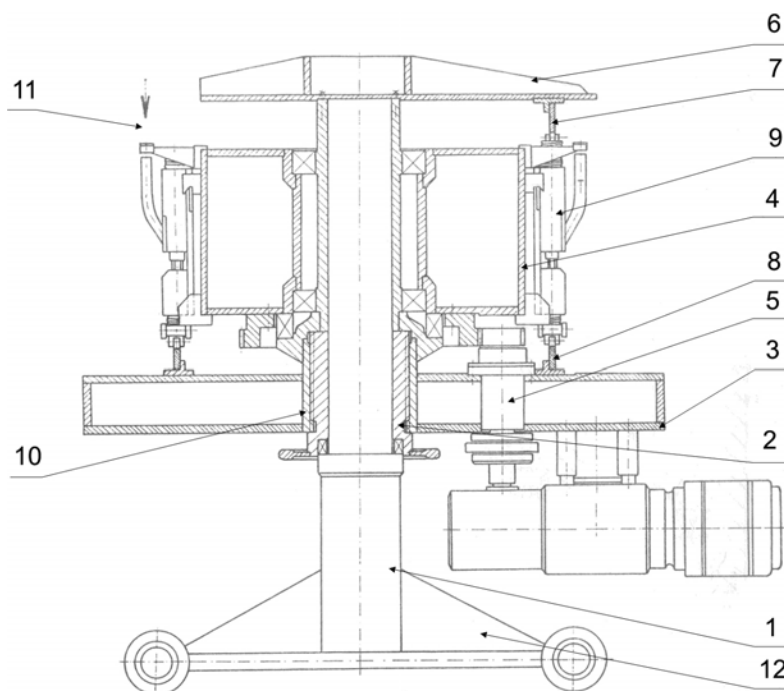
1.2 Popis nové (instalované) výrobní technologie

Jedná se o bezbrokové mačkání malých lustrových ověšů (hlaviček) o rozměrech 14 mm a 16 mm. Konstrukce je závislá na precizním dávkování přesných malých dávek skloviny, odstříhovaných strojem z proužku skloviny natékajícího ze žlabu tavicí pece. Tato dávka skloviny je zavedena do komory mezi dva lisovací písty (obr. 4), kde je v bezbrokovém režimu vytvořen přesný výrobek.



Obr. 4: Tvarovací cyklus stroje BT-H [1]

a – zavedení ustřižené dávky skloviny do lisovací jednotky, b – lisování a píchání dírek, c – chlazení výlisku ve formě, d – vyhazování výlisku z formy



Obr. 5: Příklad mačkáčského bezbrokového stroje BT-H [1]

1 – nosný sloup, 2 – zvedací šroub, 3 – základová deska, 4 – rotor, 5 – spojka s ozubeným převodem, 6 – horní deska, 7 – horní vačka, 8 – dolní vačka, 9 – lisovací jednotka, 10 – matice, 11 – dávka skloviny, 12 – podvozek

Rotační stroj (obr. 5) s nepřetržitým otáčením rotoru má větší počet lisovacích jednotek, které se díky nepohyblivým kruhovým vačkovým drahám pohybují a vytváří lisovací cyklus včetně píchání dírek.

Stroj BTH je výškově nastavitelný pod výtokovou miskou žlabu pomocí zvedacího sloupu a díky podvozku je s celým strojem možné vyjet směrem od rozváděcího žlabu. Důsledky tohoto faktu jsou dále rozebrány v kapitole 1.3.3.

Během zkušebního provozu lisu byly výlisky manipulovány pomocí ukládacích přepravek MARS (obr. 6), které jsou ve firmě Preciosa standardní nádobou pro manipulaci s malými lustróvými ověsy. Hlavním problémem při manipulaci je nejakostní povrch přepravky MARS, který negativně působí na výrobky. Dalším problémem je tvar přepravky, který stěžuje její vyprazdňování.



Obr. 6: Přepravka Mars

1.3 Technické podmínky

1.3.1 Podmínky manipulace:

Řešení manipulační úlohy vyžaduje zajistit sběr velkého počtu výlisků (600 ks/min) vypadávajících z tvarovacích strojů. Zároveň je kladen důraz na dostatečnou rychlost manipulace v souvislosti s nutností dodržet chladicí postup výlisků.

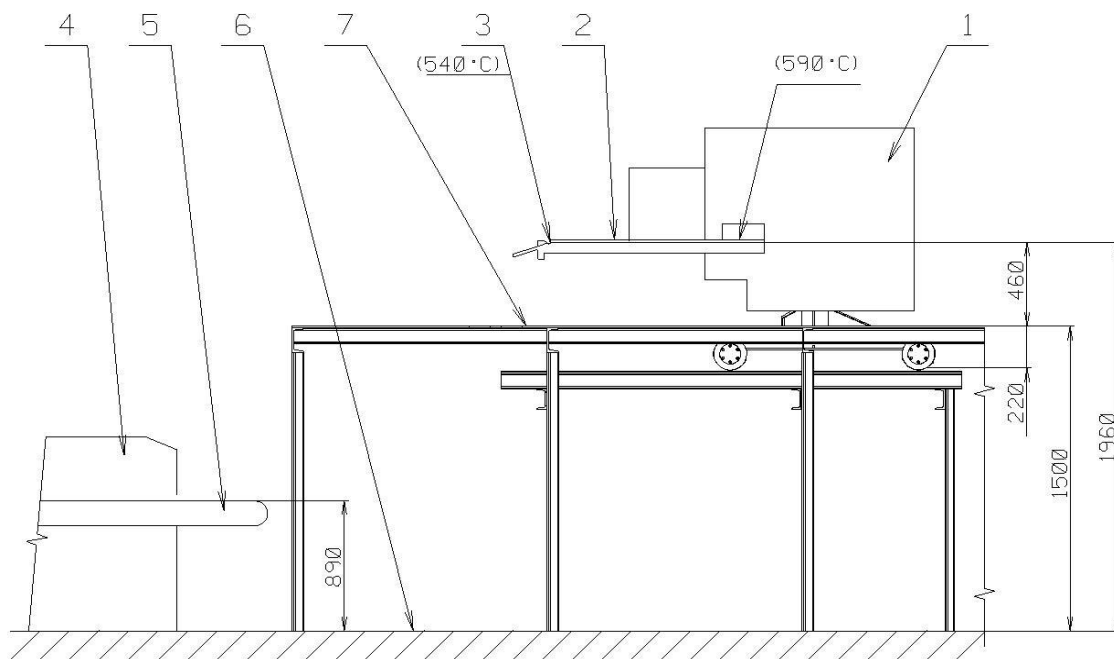
1.3.2 Geometrické podmínky

Pro větší přehlednost jsou geometrické podmínky rozděleny na vertikální studii a půdorysné dispoziční řešení pracoviště.

Vertikální studie pracoviště

Pracoviště se nachází v 1. patře budovy, pětice strojů bude umístěna na vyvýšeném pódiu (1500 mm) nad podlahou haly. Pódium není ještě vystavěno a jeho konstrukci je možné upravit podle potřeb zvolené manipulační cesty. Výstupní bod

výlisků z tvarovacího stroje je na konci 900 mm dlouhého drátěného pásu o šíři 50 mm, který je nedílnou součástí každého zmíněného tvarovacího stroje a slouží jako odstávka. Výstupní pozice výlisků z tvarovacího stroje se nachází ve výšce 1960 mm nad podlahou haly a 460 mm nad pódiem a teplota výlisků, v tomto místě, je experimentálně určena na 540 °C. Stroje jsou do pódia zapuštěny 220 mm. Vstupní pás chladicí pece je ve výšce 890 mm. Schéma (obr. 7) je záměrně liniové a horizontální, rozmístění neodpovídá skutečnosti.



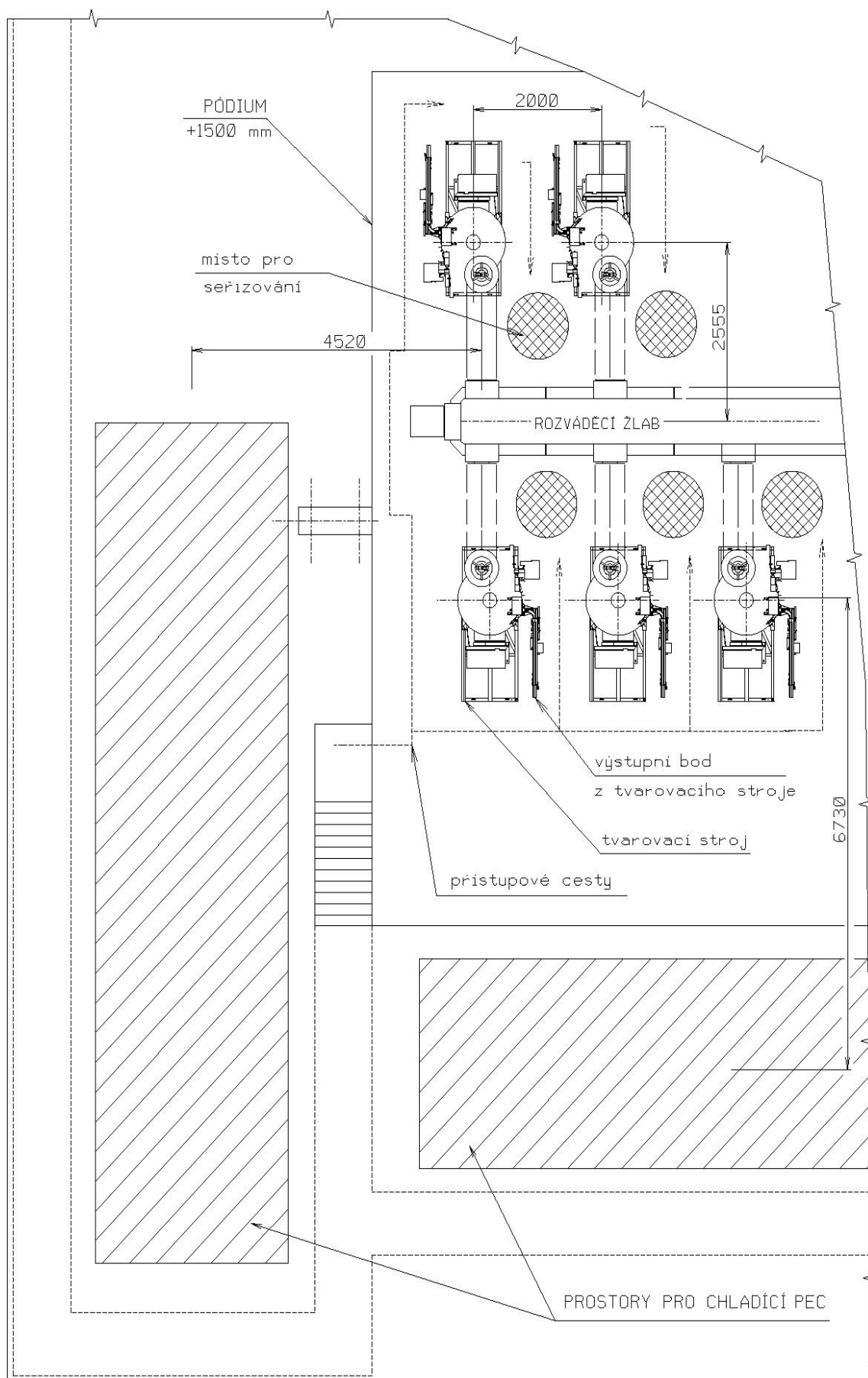
Obr. 7: Vertikální schéma

1 – tvarovací stroj, 2 – výstupní pás, 3 – výstupní bod, 4 – chladicí pec, 5 – vstupní pás chladicí pece, 6 – podlaha haly, 7 – pódiu

Půdorysné dispoziční řešení pracoviště

Pracovní části sklářského tavicího agregátu s lisy jsou rozmístěny s osovou vzdáleností 2000 mm v podobě žlabu H. Na schématu (obr. 8) jsou šrafováním vyznačeny dva různé prostory pro umístění chladicí pásové pece. Křížovým šrafováním jsou označena místa, která musí zůstat přístupná technikům a čárkovanými čarami jsou naznačeny vnitropodnikové a přístupové dopravní cesty.

Všechny cesty musí být snadno přístupné. Cesty k rozváděcímu žlabu mezi stroji nejsou používány s velkou frekvencí, je ale nutná možnost jejich rychlého opuštění v případě havárie, tzn. klást konstrukční překážky do profilu cesty je možné jen v omezené míře.

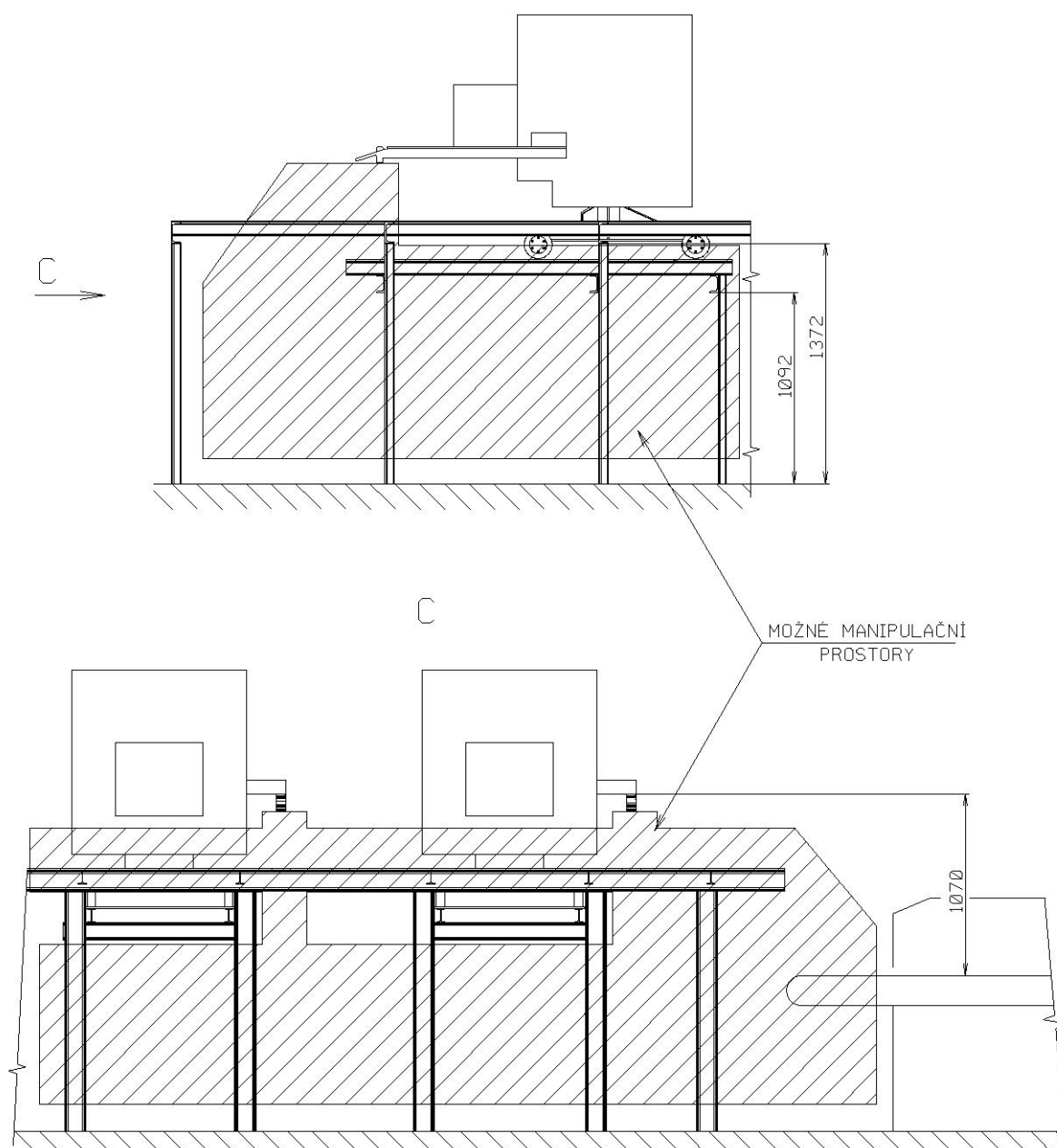


Obr. 8: Schéma haly

1.3.3 Lokalizace manipulačního zařízení

Z geometrických podmínek vyplývají možné prostory pro manipulaci u podlahy pódia, přímo v pódiu, či pod pódiem. Průnik šrafovaných ploch v nárysu a bokorysu (obr. 9) jsou možné manipulační prostory. Tyto prostory vedou i přes stojiny pódia, jejichž polohu lze upravovat podle potřeb vybrané manipulační cesty. Mezi výstupní pozicí tvarovacího stroje a vstupním pásem chladicí pásové pece je nutné překonat výškový rozdíl 1070 mm.

Dále je nutné akceptovat fakt, že stroj se může při údržbě pohybovat na kolejnicích směrem od rozváděcího žlabu (obr. 8) a proto je nutné zachovat volný prostor před výstupním pásem tvarovacího stroje (obr. 9).



Obr. 9: Manipulační prostory

1.3.4 Technologická omezení

Při experimentech ve firmě bylo zjištěno, že teplota výlisků ve výstupní pozici tvarovacího stroje je 540 °C (obr. 7). Kvůli zamezení vzniku nebezpečného vnitřního pnutí, které v hotových skleněných výrobcích zůstává a je příčinou snížené pevnosti výlisků, je nutné dodržet chladicí křivku dané skloviny. Určujícím bodem chladicí křivky použité skloviny je tzv. horní chladicí teplota, od které je nutné dodržet předepsaný chladicí postup (použít chladicí pec). Horní chladicí teplota je vždy dána viskozitní křivkou a u dané skloviny (K94) je určena výrobcem, na základě testů Sklářského ústavu Hradec Králové, na hodnotu 465 °C. Výlisky je proto nutné dopravit do chladicí pece s teplotou vyšší, nebo rovnou hodnotě 465 °C.

Pro úspěšné řešení alternativní koncepce a samotného konstrukčního řešení je nutné znát dobu samovolného chlazení výlisků z teploty 540 °C na teplotu 465 °C. Pro toto zjištění lze využít několik postupů:

- o Matematický výpočet;
- o Výpočet pomocí PC – metoda konečných prvků;
- o Experiment v reálném čase (zahřátí výlisků a následné chladnutí).

Jelikož výpočty jsou závislé na koeficientech a nutně by bylo potřeba zjednodušení tvaru výlisku, byl vybrán ke zjištění času chladnutí reálný experiment.

Experiment

Výlisky byly vloženy do přehřáté elektrické pícky v laboratoři katedry, kde byly ještě asi 1 hodinu zahřívány. Pícka byla nastavena na teplotu 620 °C a teplota okolí byla 20 °C. Po vyjmutí na sibalovou podložku byly výlisky snímány připravenou sekvencí termokamery (obr. 10), která zaznamenala reálné chladnutí povrchu výlisků v čase z teploty 550 °C na teplotu 300 °C.

Je třeba zmínit, že výlisek byl ochlazován volnou konvekcí (nepohyboval se v tekutině) a radiací. Použitím sibalové izolační podložky bylo výrazně omezeno vedení tepla směrem do podložky, která v reálném prostředí bude nahrazena dopravníkovým elementem. Lze předpokládat, že v reálném prostředí, vzhledem k nucené konvekci a kondukcii do podložky, by výlisky chladly rychleji.



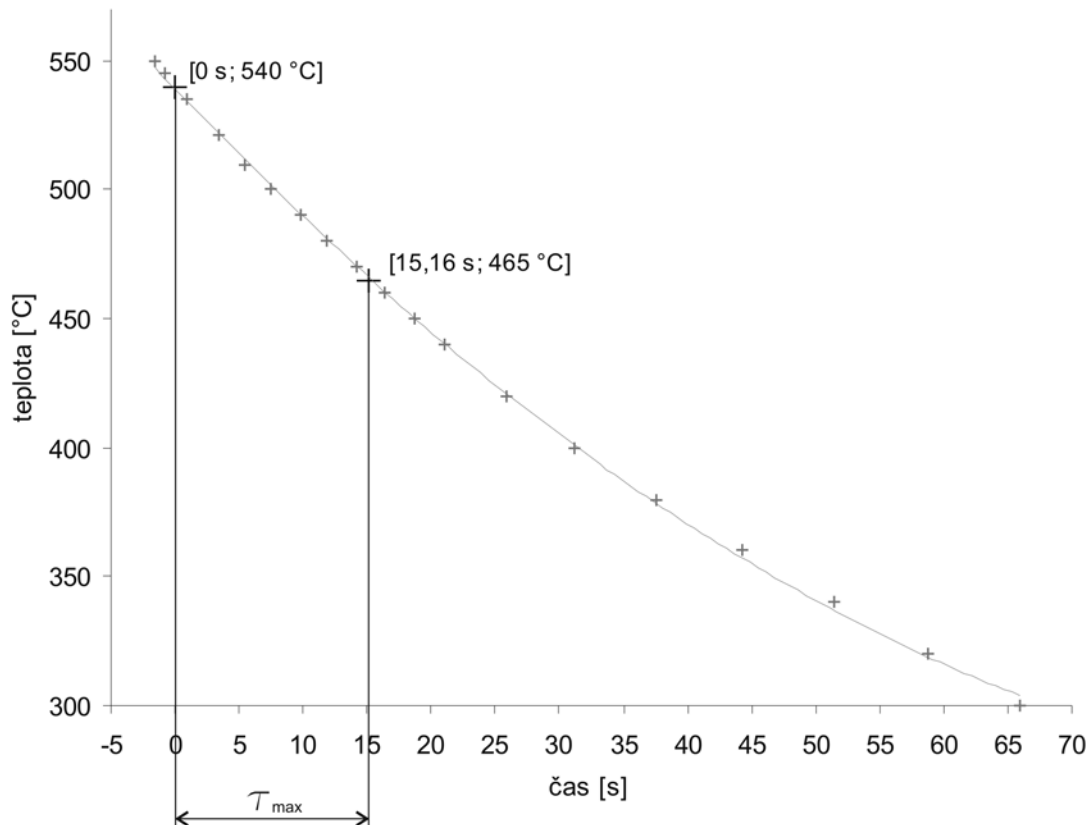
Obr. 10: Snímání termokamerou

Zároveň je nutné podotknout, že experiment byl snímán termokamerou, která nemůže z fyzikálního hlediska proměřovat vnitřek těles, ale jen jejich povrch, kde lze předpokládat teplotu nižší než uvnitř výlisku.

Parametry experimentu:

teplota okolí -	$t_{ref} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
emisivita -	$\varepsilon_e = 0,9$
vzdálenost kamery od snímaného objektu -	$d_o = 0,5\text{ m}$

Pomocí sekvenčních snímků termokamery byl vypracován graf časového průběhu chladnutí (obr. 11), kde je na svislé ose vynesena teplota povrchu výlisku a na vodorovné ose čas. V křivce chladnutí jsou zvýrazněny body [0 s; 540 °C] a [15,16 s; 465 °C], ze kterých je patrné, že čas potřebný k chladnutí výlisku z teploty 540 °C na 465 °C je $\tau_{max} = 15,16\text{ s}$.



Obr. 11: Časový průběh chladnutí

Závěr experimentu

Vzhledem k manipulačním vzdálenostem od lisů k prostoru pro chladicí pec je čas chladnutí výlisků příliš krátký. Proto je nutné dopravní trať vhodně tepelně izolovat či přehřívat, tedy realizovat řízený chladicí proces během manipulace.

Pokud je počítáno s 20% rezervou, je nutné dopravit výlisky na vstup do řízeného chladicího procesu za 12 s po opuštění výstupní pozice tvarovacího stroje.

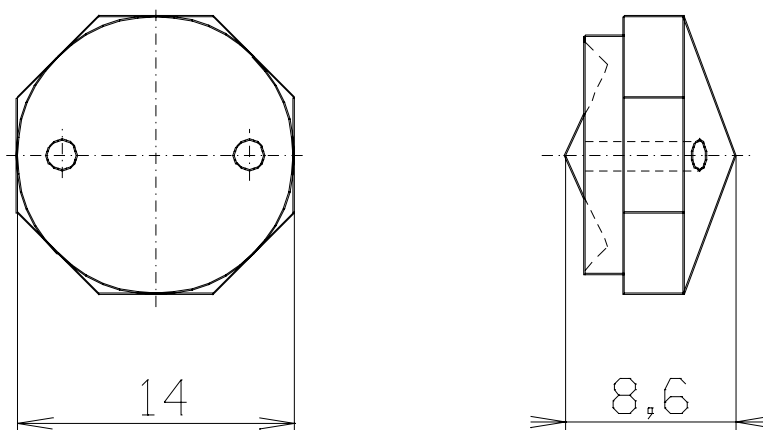
1.4 Převrácený sortiment

V základním provedení se jedná o osmi-hranou hlavičku o rozměrech uvedených v obr. 12.

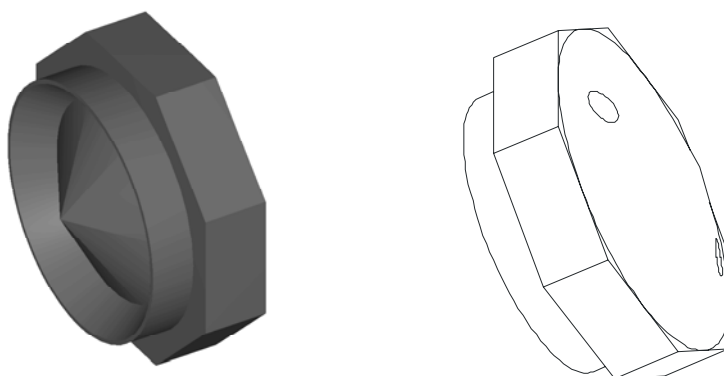
Hmotnost výrobku: 2,3 +/- 0,1 g

Materiál: olovnatá sklovina K94 s 30% olova

Hustota: 3,1 g · cm⁻³



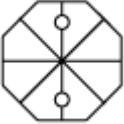
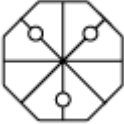
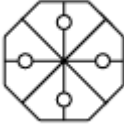
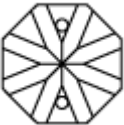
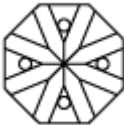
Obr. 12: Rozměry výrobku



Obr. 13: 3D model

Sortiment je závislý na výrobní technologii bezbrokového tvarování hlaviček a proto je dle [1] složen z ověšů – hlaviček o velikosti 14 mm a 16 mm. Tyto konečné výrobky jsou uvedeny v tab. 1.

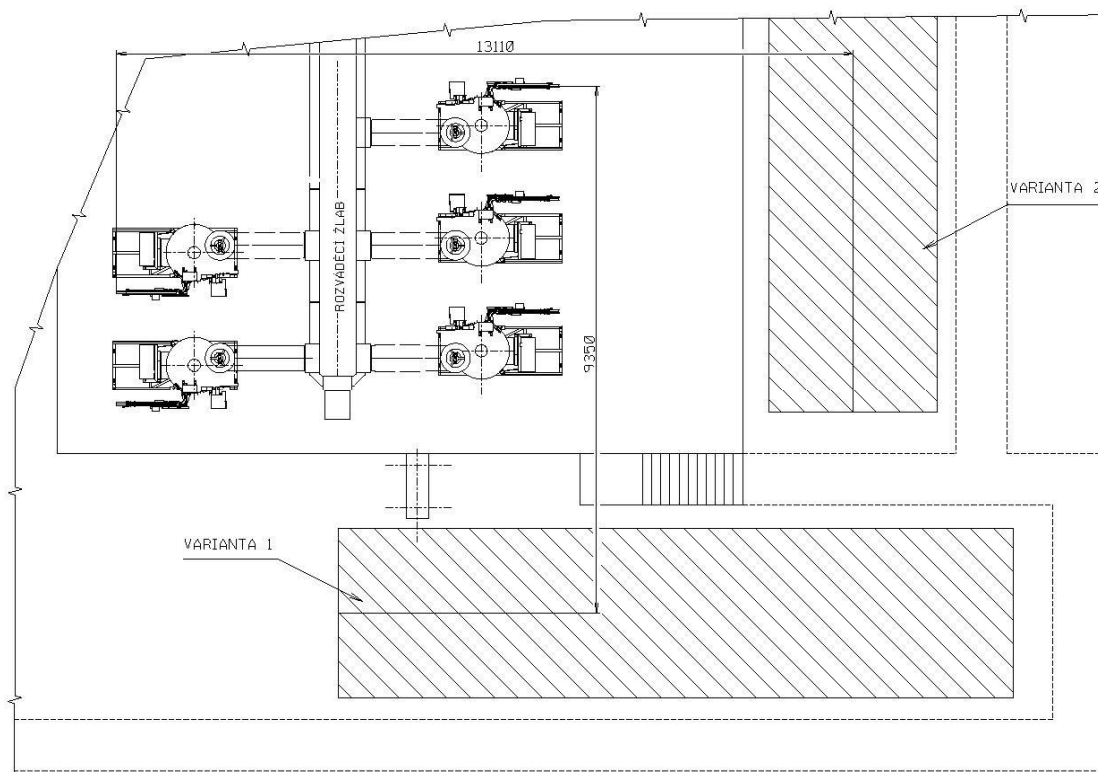
Tab. 1: Možné konečné výrobky [2]

Oktagony			
			
Octagon 2552	Octagon 2571	Octagon 2572	Octagon 2573
			
Octagon 2611	Octagon 2636	Octagon 2669	Octagon 2665

2 Alternativní návrhy manipulace

Tato kapitola respektuje podmínky uvedené v předchozí kapitole. V první řadě je nutné učinit rozhodnutí, v jaké úrovni nad podlahou haly bude horizontální manipulace provedena (2.1). Vertikální manipulace od výstupních pásů lisů je nutná v každém případě a je obsahem kapitoly 2.2, řešení další manipulace je náplní kapitoly 2.3.

V kapitole 1.3.2 (obr. 8) jsou uvedeny dvě varianty umístění chladicí pece. Z konstrukčního a ekonomického hlediska je výhodná varianta, která je nejbližší k tvarovacím strojům. Dle obr. 14 je patrné, že nejvhodnější varianta umístění chladicí pece je varianta 1.



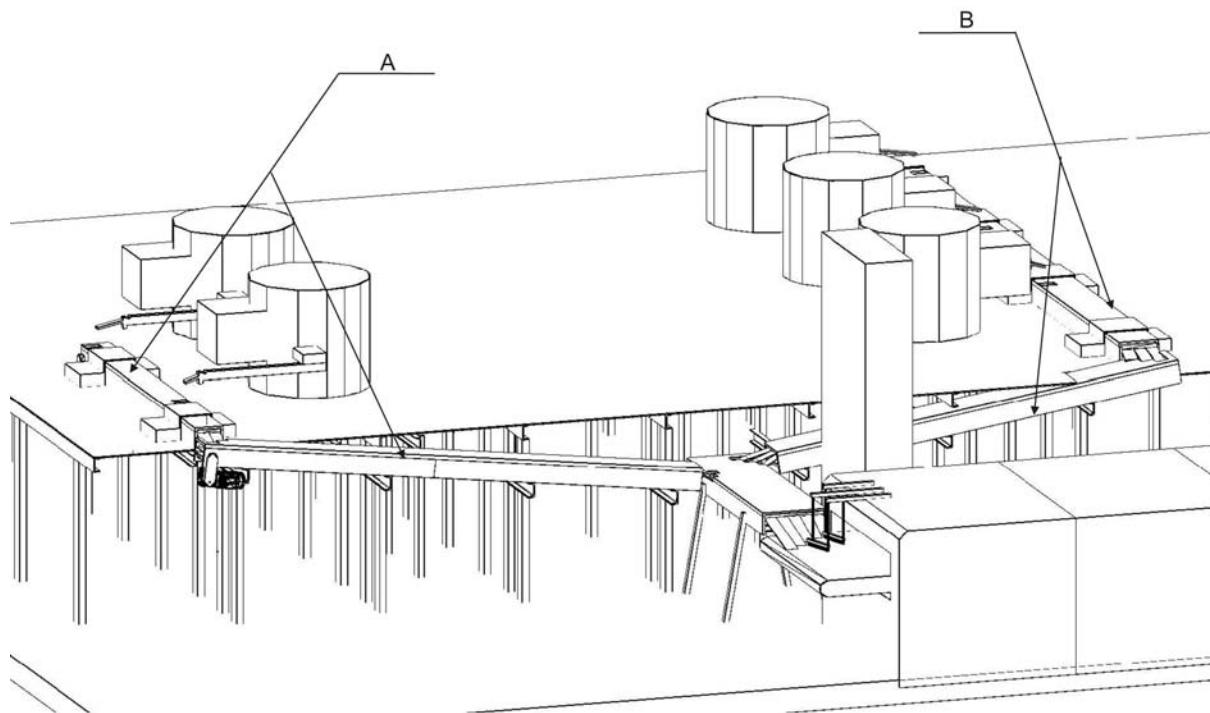
Obr. 14: Umístění chladicí pece

2.1 Manipulační úroveň

Pro manipulaci od výrobních strojů je nutné posoudit využití všech volných úrovní pro manipulační cestu. Pro posouzení byly vybrány úrovně nad pódiem a pod pódiem.

2.1.1 Varianta A – úroveň nad pódium

Po krátké vertikální manipulaci z lisu (kapitola 2.2) jsou výlisky manipulovány směrem k chladicí peci na plošině pódia. Profil manipulačního zařízení křížuje svou dráhou přístupové cesty k tvarovacím strojům (obr. 15). K překonání těchto křížení byly navrženy stupně, kterými je možno překonat dopravní trať.



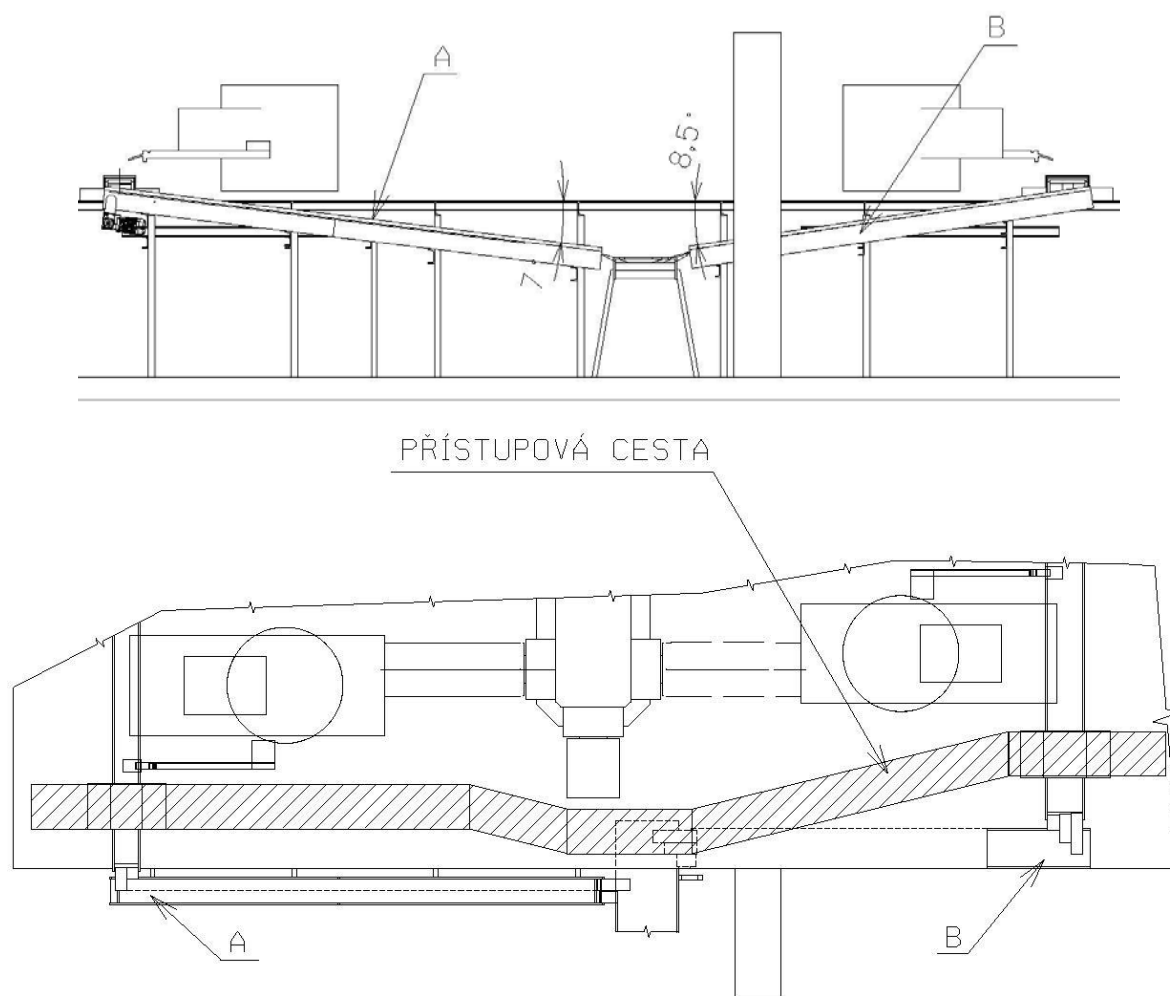
Obr. 15: 3D dispozice varianty A

K překonání rozdílu výšky pódia a vstupního pásu chladicí pece slouží nakloněný manipulátor, který je přivařen na vnějším okraji konstrukce pódia. Problém nastává u větve B, kde šikmému manipulátoru překáží na vnějším okraji pódia sloup haly. Tento nedostatek byl překonán zabudováním příslušného manipulátoru do prostoru pódia, došlo tedy k zúžení přístupové cesty na okraji plošiny pódia. Toto zúžení není nijak závažné a profil přístupové cesty zůstane ve stejném rozsahu jako u větve A (obr. 16).

Maximální úhel sklonu šikmého manipulátoru je dosažen u větve B a je $\beta = 8,5^\circ$, což v případě uložení výlisků na takto nakloněnou ocelovou rovinu nepředstavuje riziko suvného pohybu (2.1). Součinitel tření mezi povrchy sklo – ocel je podle [3] $f_s = 0,5$.

$$\operatorname{tg} \beta < f_s \quad (2.1)$$

$$0,15 < 0,5$$



Obr. 16: Dispozice varianty A (nárys, půdorys)

Výhodou této varianty je snadná přístupnost manipulačního zařízení a jeho pohonů. Nevýhodou je složitější přístup ke strojům a vystavení manipulačního zařízení hutním podmínkám (nebezpečí poškození).

2.1.2 Varianta B – úroveň pod pódiem

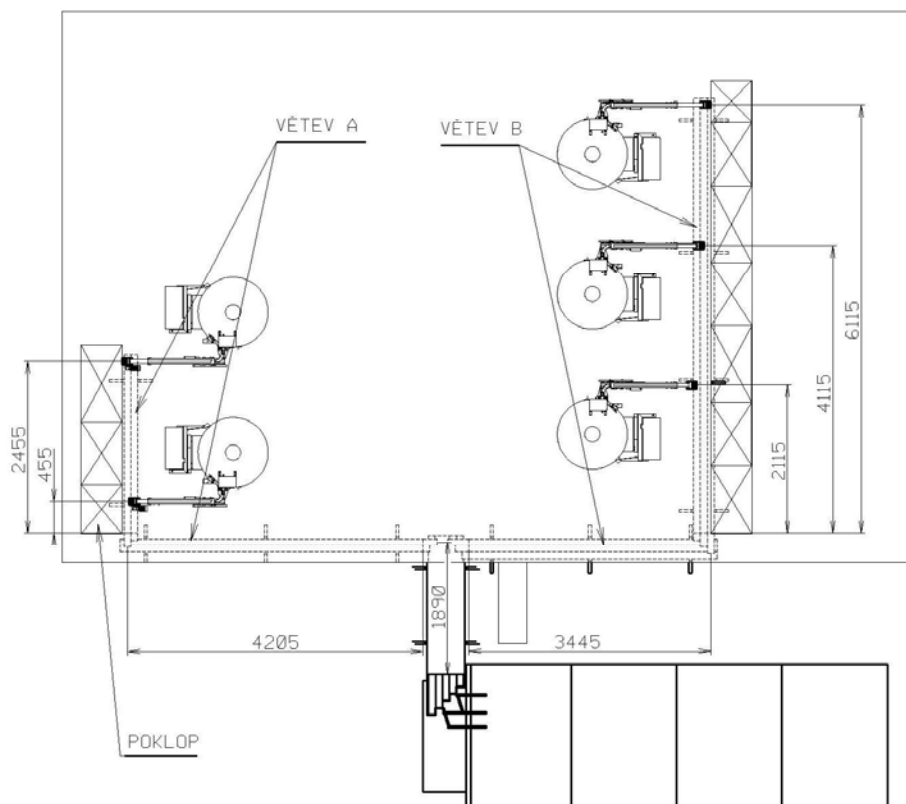
K překonání rozdílu výšky výstupní pozice z lisu a vstupního pásu chladicí pece je u této varianty zapotřebí jen jedné vertikální manipulace, která zaváží výlisky pod pódium.

Po vertikální manipulaci z lisu jsou výlisky manipulovány směrem k chladicí peci pod plošinou pódia (obr. 17). Konstrukce pódia je navržena s ohledem na prostor pro manipulační zařízení. Stojiny pódia tedy nezasahují do profilu manipulačního zařízení.

Pro snadný přístup k manipulačnímu zařízení byly v pódiu navrženy poklopy, které se otvírají jen v případě nutné údržby zařízení a jen v daném potřebném úseku. Obsluha může přistoupit k manipulačnímu zařízení z pódia či z boku pod pódiem, kde

při činnosti není omezována výškou konstrukce pódia (obr. 9).

Nevýhodou varianty je horší přístup k manipulačnímu zařízení. Výhodou je neomezení přístupových cest ke strojům.



Obr. 17: Dispozice varianty B

2.1.3 Výběr varianty manipulační úrovně

Pro výběr nejvhodnější varianty bylo použito rozhodovací analýzy, patřící do kategorie heuristických metod. Metoda propojuje rozhodování založené na zkušenostech a exaktní rozhodování. Nejdříve byla sestavena kritéria vztahující se k problému, poté se tato kritéria posoudila párovým srovnáním, tím se určilo pořadí významnosti kritérií. Poté se přiřadily prosté hodnoty k jednotlivým variantám. Rozhodující je pak součet vážených hodnot, který určil užitečnost jednotlivých variant.

Na základě analýzy technických podmínek a technologických požadavků byl stanoven následující seznam kritérií:

- 1) přístupnost manipulačního zařízení;
- 2) přístupnost lisů;
- 3) ochrana manipulačního zařízení před havárií;
- 4) míra naplnění technických podmínek (kladení překážek do profilů přístupových cest).

Tab. 2: Rozhodovací analýza 1

Párové srovnání kritérií					Matice užitenosti alternativ					
					X		A		B	
Číslo kritéria	Počet voleb	Pořadí významnosti	Váha	Hodnota		Hodnota		Hodnota		
				Prostá	Vážená	Prostá	Vážená	Prostá	Vážená	
1	1	3	2	100	200	90	180	60	120	
2	3	1	4	100	400	60	240	90	360	
3	0	4	1	100	100	30	30	90	90	
4	2	2	3	100	300	70	210	90	270	
Celkem					1000	660		840		
Užitnost v relativním vyjádření [%]						66%		84%		
Pořadí alternativ podle užitenosti						2.		1.		

2
1
2
2
4

Podle rozhodovací analýzy (tab. 2) byla vybrána pro manipulaci varianta B.

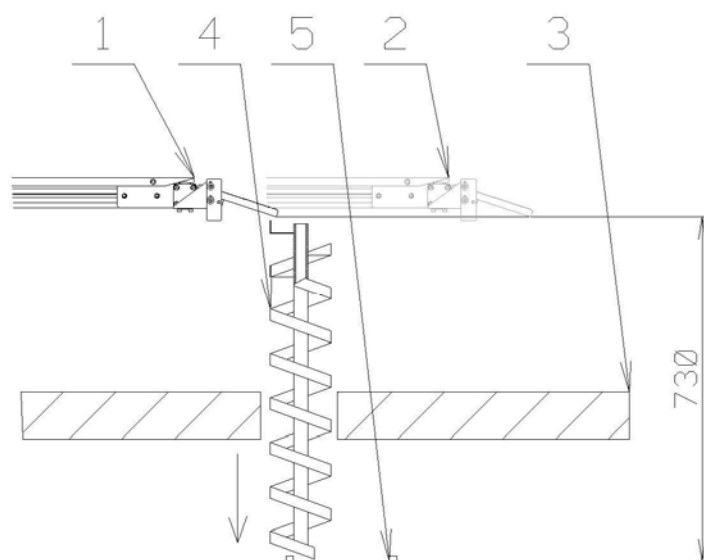
2.2 Vertikální koncepce

Navrhovaný dopravník je umístěn pod výstupními pásy jednotlivých tvarovacích strojů, ze kterých vypadávají jednotlivé kusy výlisků. Tyto dopravníky nerealizují řízený chladicí proces, a proto musí být doba manipulace kratší než 12 s, jak je uvedeno v závěru experimentu (1.3.4). Výlisky vypadávají na další dopravní prvky horizontální manipulace, které již realizují řízený chladicí proces a budou předmětem dalších kapitol.

Z nejrůznějších možností šetrného překonání výškového rozdílu byly vybrány tři návrhy k podrobnějšímu posouzení.

2.2.1 Varianta A - spirálový skluz

Tobogany se užívají k překonání značných výškových rozdílů při minimální půdorysné ploše skluzu. Jedná se o prvky nepoháněné, pohyb je realizován účinkem tíže. Předpokládá se, že se výlisky pohybují ve spirálovém žlábků klouzavým pohybem bez rotace (obr. 18). Nevýhodou je delší čas manipulace, nekontrolovatelný pohyb výlisků a vystavování výlisků otěru a rázům.

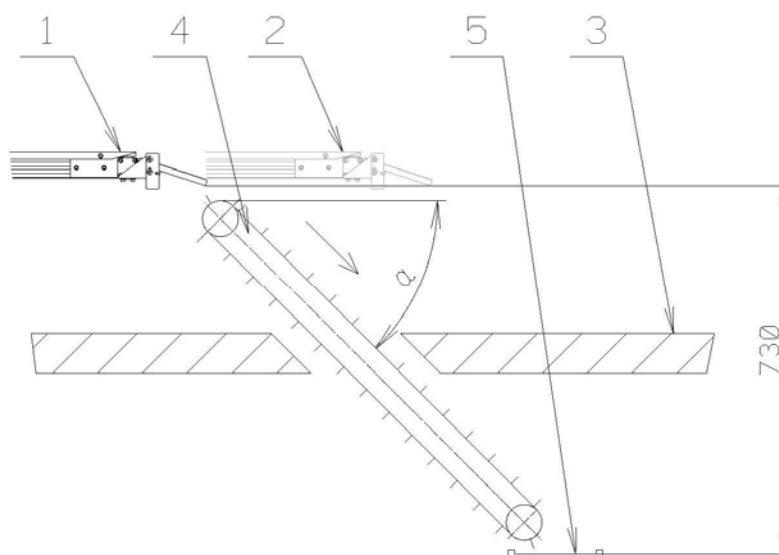


Obr. 18: Spirálový skluz

1 – výstupní pás tvarovacího stroje, 2 – možná pozice pásu při údržbě, 3 – pódium, 4 – spirálový skluz, 5 – navazující dopravník

2.2.2 Varianta B - pásový dopravník

Nakloněný pásový dopravník (obr. 19) s policemi ve formě L profilů připevněných na drátěný pás. Úhel náklonu α by měl být maximální možný z prostorových důvodů, aby byla zajištěna podmínka volných manipulačních cest na pódium. Jedná se o poháněný dopravník.



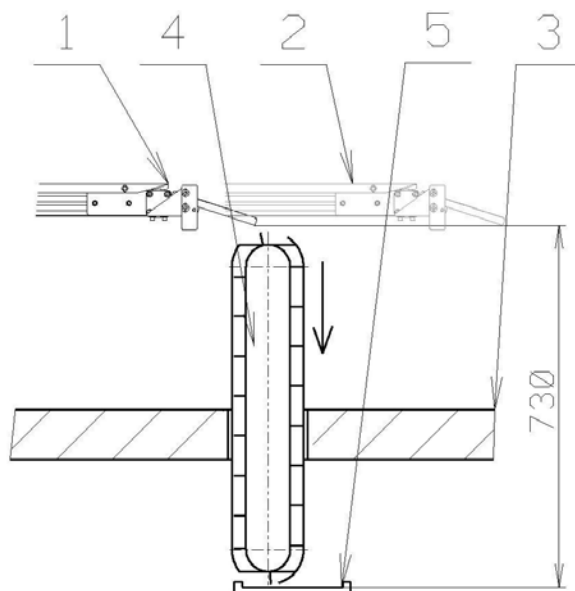
Obr. 19: Pásový dopravník

1 – výstupní pás tvarovacího stroje, 2 – možná pozice pásu při údržbě, 3 – pódium, 4 – pásový dopravník, 5 – navazující dopravník

Nevýhodou je značná zastavěná půdorysná plocha a delší manipulační cesta.

2.2.3 Varianta C - vertikální pásový dopravník

Svislý drátěný pásový dopravník (obr. 20) osazený policemi z průmyslových kartáčů, odolávajících vysokým teplotám, je modifikací varianty B, kdy je úhel sklonu dopravníku $\alpha = 90^\circ$. Tím je zajištěna minimální půdorysná plocha dopravníku.



Obr. 20: Vertikální pásový dopravník

1 – výstupní pás tvarovacího stroje, 2 – možná pozice pásu při údržbě, 3 – pódium, 4 – pásový dopravník, 5 – navazující dopravník

2.2.4 Výběr varianty vertikální manipulace

Na základě analýzy technických podmínek a technologických požadavků byl stanoven následující seznam kritérií:

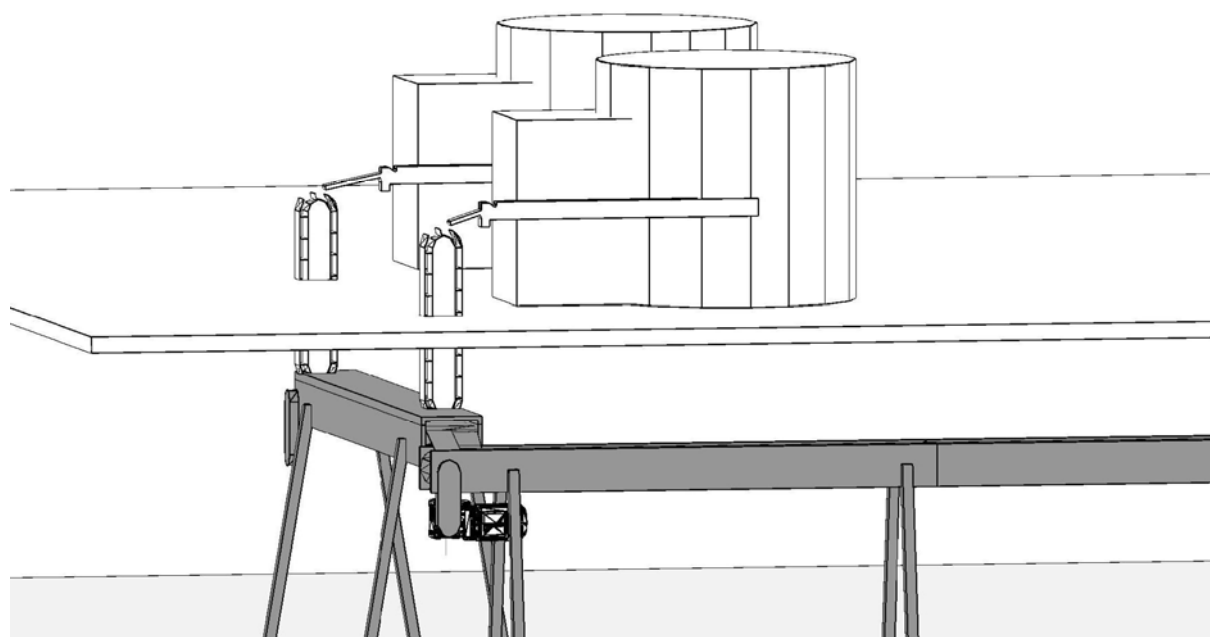
- 1) šetrnost manipulace (otěr, rázy);
- 2) jednoduchost konstrukce;
- 3) plynulost toku výlisků;
- 4) rychlost;
- 5) náklady.

Podle již popsané rozhodovací analýzy (tab. 3) byla vybrána pro manipulaci varianta C (obr. 21).

Tab. 3: Rozhodovací analýza 2

Párové srovnání kritérií					Matice užitenosti alternativ							
					X		A		B		C	
Číslo kritéria	Počet voleb	Pořadí významnosti	Váha	Hodnota		Hodnota		Hodnota		Hodnota		
				Prostá	Vážená	Prostá	Vážená	Prostá	Vážená	Prostá	Vážená	
1	4	1	5	100	500	30	150	70	350	90	450	
2	1	4	2	100	200	50	100	30	60	40	80	
3	3	2	4	100	400	20	80	90	360	90	360	
4	2	3	3	100	300	20	60	70	210	80	240	
5	0	5	1	100	100	50	50	30	30	50	50	
Celkem					1500	440	1010	1180				
Užitnost v relativním vyjádření [%]						29,3%	67,3%	78,6%				
Pořadí alternativ podle užitenosti						3.	2.	1.				

1	1	1
1	3	1
1	4	3
2	3	3
3	3	4



Obr. 21: Příklad použití vertikálního dopravníku

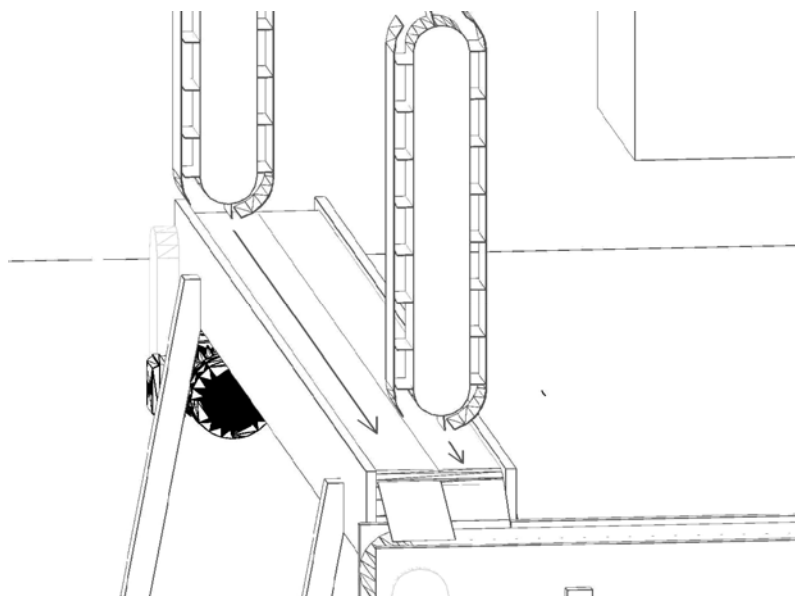
2.3 Horizontální manipulace

Pro výběr šetrné manipulace za vertikálním dopravníkem byly vybrány 2 varianty, při kterých byla zohledněna technologická omezení.

2.3.1 Varianta A – pásové dopravníky

Základem varianty jsou přehřívané dopravníky s drátěnými pásy. Přehřívání je realizováno elektrickým topným panelem KANTHAL umístěným nad pásem s výlisky. Přenos tepla je radiačního rázu. Atmosféra v izolovaném manipulačním zařízení je udržována pod teplotou deformace výlisků na hodnotě 500 °C.

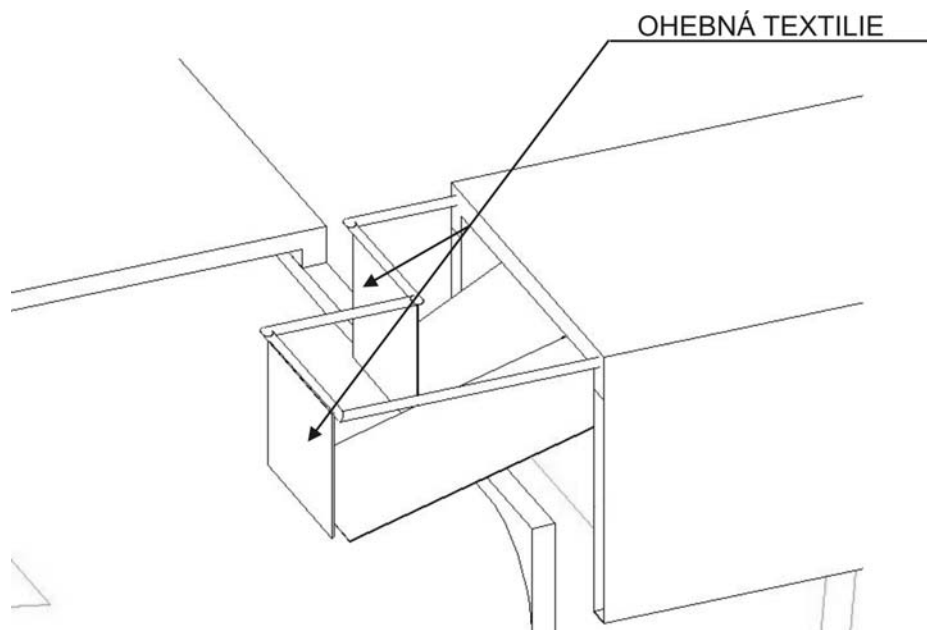
Výlisky jsou kladeny na pás vertikálním dopravníkem. Pro každý vertikální dopravník je určena na horizontálním pásu vlastní pozice (obr. 22), výlisky z jednotlivých strojů se tedy neatakují a vytváří rovnoběžné řádky.



Obr. 22: Řazení výlisků

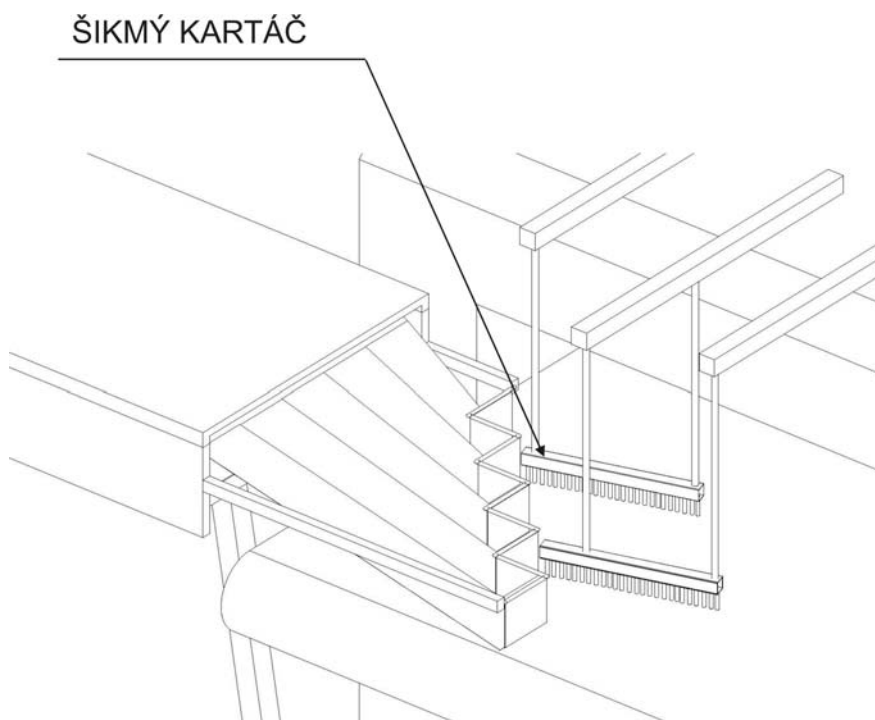
Jelikož je nutné na dopravníkové trati realizovat pravoúhlé zatáčky a napojování dvou větví dopravníků, byl navržen systém skluzů, které mají zabezpečit rovnoměrné rozložení výlisků v řádcích i za napojením větví i za zatáčkou manipulačních cest. Aby nedocházelo vlivem kinetické energie ke kutálení a atakování výlisků na následujícím dopravníku, jsou skluzy vybaveny brzdícími pruhy z teplotně odolné ohebné textilie, která jednotlivý výlisek přibrzdí těsně před dopadem na následující drátěný pás (obr. 23). Použitá textilie od firmy BASALTEX je vyrobena z čedičových vláken, které odolávají dlouhodobě teplotě 600 °C.

Pro zamezení atakování výlisků je nastavena celá soustava tak, že vždy následující pás ve směru toku výlisků má větší dopravní rychlost než předcházející pás.



Obr. 23: Zastavování výlisků

Výlisky přichází na pás chladicí pece, která je ve společnosti Preciosa k dispozici a rozřazují se podle předchozího principu. Jelikož se pás chladicí pásové pece pohybuje nižší rychlostí než je rychlost manipulace, je pás opatřen šikmým kartáčem, který visí 10 mm nad pásem chladicí pece a případné nahromaděné výlisky rovnoměrně rozprostírá.



Obr. 24: Rozprostírání výlisků

Využitelnost pásové chladicí pece.

Následující vzorce byly použity z [5].

Výlisek je přibližně kruhového půdorysu o průměru: $d_v = 0,015 \text{ m}$.

Výpočtový průměr výlisku:

$$D_v = (d_v + x) = (0,015 + 0,003) = 0,018 \text{ m} \quad (2.2)$$

Užitečná šířka pásu pece: $w_1 = 1,5 \text{ m}$.

Rychlost pásu pece pro výlisky daných rozměrů: $v_1 = 12 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$.

Pro výpočet teoretického počtu výlisků kruhového půdorysu na pás za hodinu byl odvozen vztah [5]:

$$N_{\text{hto}} = 1,157 \frac{w_1 \cdot v_1}{D^2} = 1,157 \frac{1,5 \cdot 12}{0,018^2} = 64277,8 \text{ ks} \cdot \text{hod}^{-1} = 64277 \text{ ks} \cdot \text{hod}^{-1} \quad (2.3)$$

Výrobnost lisů:

$$Q_n = 600 \text{ ks} \cdot \text{min}^{-1} = 36000 \text{ ks} \cdot \text{hod}^{-1}$$

Procentuální využití chladicí pece, která je k dispozici:

$$\frac{36000}{64277} = 0,56 \Rightarrow 56\%$$

Toto využití je pouze teoretické při ideálním rozprostírání výlisků a minimalizování mezer mezi nimi.

Čas manipulace na vstupní pás chladicí pece (z nejvzdálenějšího místa)

Dráha vertikální manipulace je $s_v = 730 \text{ mm}$ (obr. 20). Rychlost vertikální manipulace byla zvolena na $v_v = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow$ doba dopravy:

$$\tau_v = \frac{s_v}{v_v} = \frac{0,73}{0,2} = 3,65 \text{ s} \quad (2.4)$$

Z rychlosti manipulace dále plyne, že při výrobě 2 ks/s připadá jeden výlisek na 0,1 m vertikálního dopravníku. Podle této hodnoty byl přizpůsoben rozestup polic dopravníku na 0,1 m, čímž je minimalizováno vzájemné atakování výlisků.

Výlisky vstupují na horizontální manipulaci o dráze $s_{h1} = 6,115 \text{ m}$ (obr. 17), rychlost byla opět volena na $v_{hB1} = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow$ výlisky jsou rozmístěny na dopravníku po 0,15 m a doba manipulace je: $\tau_{h1} = \frac{s_{h1}}{v_{hB1}} = \frac{6,115}{0,3} = 20,38 \text{ s}$.

Další dráha je dlouhá $s_{h2} = 3,445 \text{ m}$, rychlost dopravníku zvolena na $v_{hB2} = 0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow$ výlisky jsou rozmístěny na dopravníku po 0,2 m a doba

manipulace je: $\tau_{h2} = \frac{s_{h2}}{v_{hB2}} = \frac{3,445}{0,4} = 8,61 \text{ s}$.

Následující dráha: $s_{h3} = 1,890 \text{ m}$, rychlost: $v_{h3} = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow$ výlisky jsou rozmístěny na dopravníku po 0,25 m a doba manipulace je: $\tau_{h3} = \frac{s_{h3}}{v_{h3}} = \frac{1,890}{0,5} = 3,78 \text{ s}$.

Doba manipulace po skluzech je volena na $\tau_{sA} = 4 \text{ s}$.

Celková doba manipulace od výstupní pozice tvarovacího stroje na pás chladicí pece je: $\tau_{B1} = \tau_{h1} + \tau_{h2} + \tau_{h3} + \tau_v + \tau_{sA} = 20,38 + 8,61 + 3,78 + 3,65 + 4 = 40,42 \text{ s}$.

Celkové množství výlisků v přihřívaných dopravnících

Větev A – délky využitých řádků : 2,455 m; 0,455 m; $4,205 \times 2 \Rightarrow$

$$n_{A1} = \frac{2,445 + 0,445}{0,15} = 19,3 \text{ ks} \quad (2.5)$$

$$n_{A2} = \frac{4,205}{0,2} \cdot 2 = 42,05 \text{ ks}$$

Větev B – délky využitých řádků (obr. 17): 6,115 m; 4,115 m; 2,115 m; $3,445 \times 3 \Rightarrow$

$$n_{B1} = \frac{6,115 + 4,115 + 2,115}{0,15} = 82,3 \text{ ks}$$

$$n_{B2} = \frac{3,445}{0,2} \cdot 3 = 51,7 \text{ ks}$$

Poslední dopravník (pro obě větve současně) – délky řádků: $1,890 \times 5 \Rightarrow$

$$n_3 = \frac{1,890}{0,25} \cdot 5 = 37,8 \text{ ks}$$

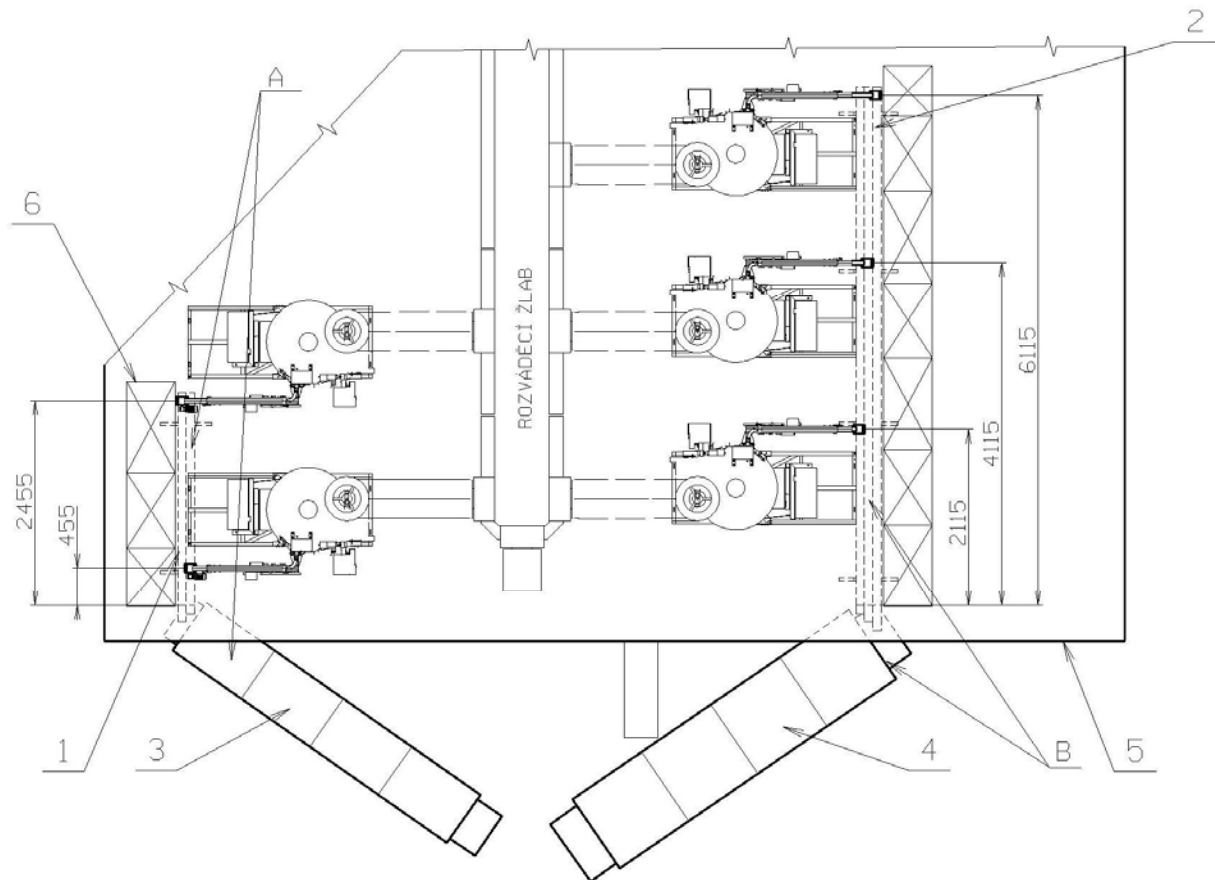
Celkové množství výlisků ve vyhřívaných dopravnících v jednom okamžiku:

$$n_{Celk} = n_{A1} + n_{A2} + n_{B1} + n_{B2} + n_3 = 19,3 + 42,05 + 82,3 + 51,7 + 37,8 = 233,15 \text{ ks} \approx 233 \text{ ks}$$

2.3.2 Varianta B – maloprofilová chladicí pec

Po vertikální manipulaci z výstupní pozice lisu jsou výlisky kladeny opět na přihřívaný dopravník, kde se sdružují ze všech lisů nad danou větví manipulačního zařízení a vytváří opět rovnoběžné řádky. Po sebrání všech výlisků dané větve manipuluje přihřívaný dopravník výrobky na vstupní pásy příslušných maloprofilových chladicích pecí (obr. 25), které jsou rozmístěny šikmo k přírodním dopravníkům z důvodů prostorových (betonový sloup u větve B a konstrukce pódia).

Také vkládání výlisků do předpecí je efektivnější. Maloprofilové pece ústí do jednoho bodu, odkud je již prováděna expedice výlisků na brusírně.



Obr. 25: Dispozice varianty B

A – větev A, B – větev B, 1 – přehřívavý manipulátor větve A, 2 – přehřívavý manipulátor větve B, 3 – chladicí pec větve A, 4 – chladicí pec větve B, 5 – hranice pódia, 6 – poklopy pro údržbu

Chladicí pec, která v podniku stejné výlisky chladí, má 4 sekce, užitečnou délku pásu $L_1 = 6,4$ m, užitečnou šířku pásu $w_1 = 1,5$ m, rychlost pásu $v_1 = 20 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} = 0,2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Čas potřebný na chlazení je tedy:

$$\tau_{ch} = \frac{L_1}{v_1} = \frac{6,4}{0,2} = 32 \text{ min} \quad (2.6)$$

Pokud uvažujeme o zkrácení chladicí pece na $L_2 = 4$ m, je nutné snížit rychlost pásu tak, aby výlisky v peci byly 32 minut:

$$v_2 = \frac{L_2}{\tau_{ch}} = \frac{4}{32} = 0,125 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} = 12,5 \text{ cm} \cdot \text{min}^{-1} \quad (2.7)$$

Pro větev A je počet výlisků vstupujících do pece $N_{htoA} = 14400 \text{ ks} \cdot \text{hod}^{-1}$, pro větev B pak $N_{htoB} = 21600 \text{ ks} \cdot \text{hod}^{-1}$. Z (2.3) vyjádříme užitečnou šířku pásu w_2 :

$$w_{2A} = \frac{D^2 \cdot N_{\text{htoA}}}{v_2 \cdot 1,157} = \frac{0,018^2 \cdot 14400}{7,5 \cdot 1,157} = 0,538 \text{ m} \quad (2.8)$$

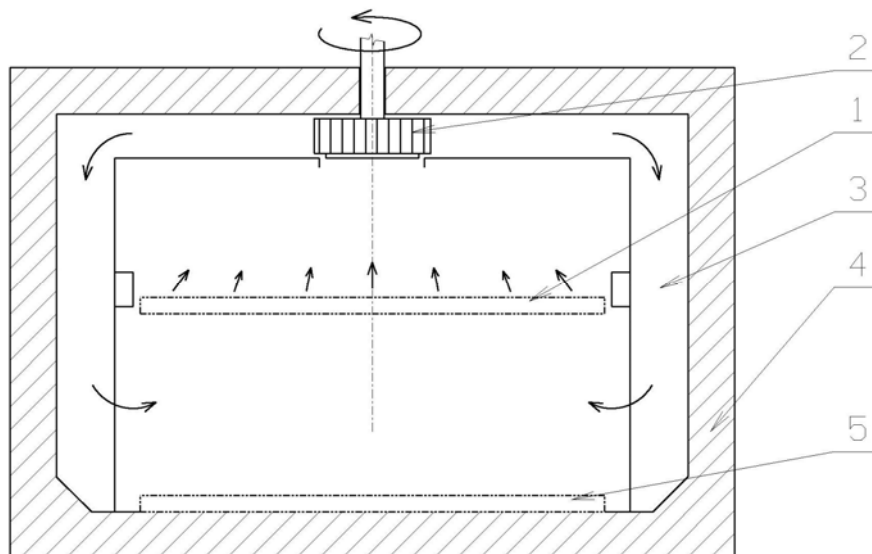
$$w_{2B} = \frac{D^2 \cdot N_{\text{htoB}}}{v_2 \cdot 1,157} = \frac{0,018^2 \cdot 21600}{7,5 \cdot 1,157} = 0,806 \text{ m} \quad (2.9)$$

V (2.8) a (2.9) jsou vypočítány minimální užitečné šířky pásů pecí. U větve A byla zvolena šířka $w_{2Ask} = 0,550 \text{ m}$ a u větve B $w_{2Bsk} = 0,850 \text{ m}$. Lze tedy říci, že po sečtení šíře pásů obou pecí se hodnota téměř rovná šíři pásu stávající pece.

Doba manipulace na pás maloprofilové chladicí pece (z nejvzdálenějšího místa)

Doba vertikální a první horizontální manipulace je totožná s variantou A (kapitola 2.3.1). Doba manipulace po skluzech je zvolena na $\tau_{sB} = 2,5 \text{ s}$.

Celková doba manipulace od výstupní pozice tvarovacího stroje na pás maloprofilové chladicí pece je: $\tau_{B2} = \tau_{h1} + \tau_v + \tau_{sB} = 3,65 + 20,38 + 2,5 = 26,53 \text{ s}$.



Obr. 26: Příčný řez chladicí pece [6]

1 – dopravní pás, 2 – ventilátor, 3 – vertikální postranní kanály (ohřev cirkulujícího vzduchu), 4 – tepelná izolace, 5 – zpětný chod pásu.

Celkové množství výlisků v přehříváných dopravnících

Větev B – délky využitých řádků (obr. 25): 6,115 m; 4,115 m; 2,115 m $\Rightarrow$

$$n_B = \frac{6,115 + 4,115 + 2,115}{0,15} = 82,3 \text{ ks}$$

Větev A – délky využitých řádků : 2,455 m; 0,455 m $\Rightarrow$

$$n_A = \frac{2,445 + 0,445}{0,15} = 19,4 \text{ ks}$$

Celkové množství výlisků ve vyhřívaných dopravnících v jednom okamžiku:

$$n_{Celk} = n_A + n_B = 82,3 + 19,4 = 101,7 \text{ ks} \approx 102 \text{ ks}.$$

2.3.3 Výběr varianty horizontální manipulace

Soubor kritérií

- 1) nákladnost konstrukce;
- 2) úspora místa v huti;
- 3) míra naplnění technických podmínek (průnik volných manipulačních prostorů) a naplnění podmínek zadání úkolu.

Tab. 4: Rozhodovací analýza 3

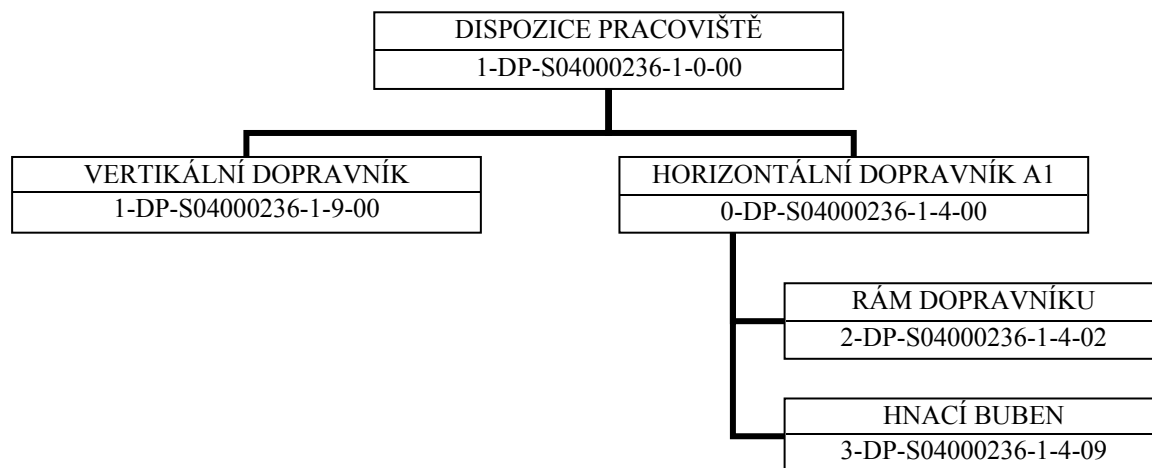
Párové srovnání kritérií					Matice užitenosti alternativ					
					X		A		B	
Číslo kritéria	Počet voleb	Pořadí významnosti	Váha		Hodnota		Hodnota		Hodnota	
					Prostá	Vážená	Prostá	Vážená	Prostá	Vážená
1	0	3	1		100	100	70	70	50	50
2	1	2	2		100	200	50	100	90	180
3	2	1	3		100	300	90	270	50	150
Celkem					600		440		380	
Užitnost v relativním vyjádření [%]							73,33%		63,33%	
Pořadí alternativ podle užitenosti							1.		2.	

Pomocí rozhodovací analýzy (tab. 4) byla vybrána pro manipulaci varianta A – přihrávané pásové dopravníky.

3 Konstrukční řešení vybrané varianty

3.1 Popis konstrukce

Na obr. 27 je znázorněno schéma přiložené výkresové dokumentace, které ukazuje vazby mezi jednotlivými výkresy.



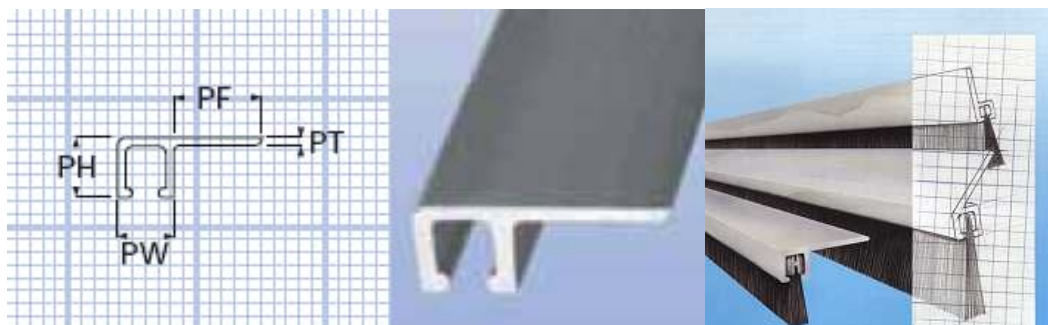
Obr. 27: Přehled výrobní dokumentace

Na dispoziční sestavě (DISPOZICE PRACOVIŠTĚ) je znázorněna celá situace v řešeném technologickém úseku mezi lisy BT-H a chladicí pecí. Z jednotlivých lisů jsou výlisky dopravovány skluzem na vertikální nevyhřívané dopravníky. Z nich jsou kladeny na pásy horizontálních vyhřívaných dopravníků, přičemž pro výlisky z jednotlivých lisů jsou na nich vyhrazeny potřebné prostory (obr. 22). Na trati jsou pravoúhlé zatáčky vyřešeny systémem různě dlouhých skluzů. Za posledním dopravníkem jsou výlisky kladeny skluzem na pás chladicí pásové pece, kde jsou rozprostírány šikmými kartáči.

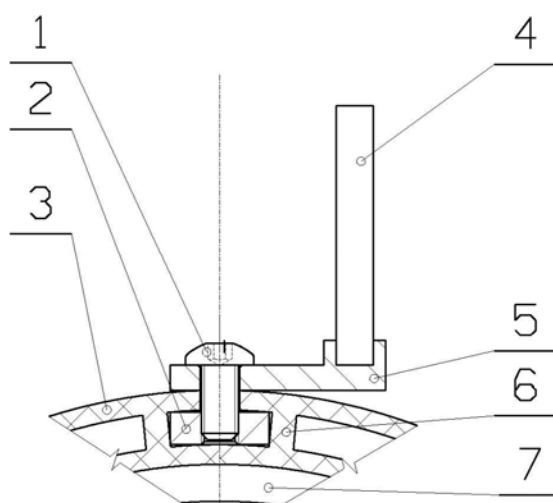
Sestava VERTIKÁLNÍ DOPRAVNÍK řeší zavážení výlisků pod plošinu pódia. Doba manipulace je 3,65 s (kapitola 2.3.1) a při této manipulaci nejsou výlisky přehřívány. Dopravník je zavěšen na konstrukci pódia pomocí L profilů s možností výškového nastavení celého dopravníku.

Ze skluzu lisu jsou výlisky kladeny na teplotně odolné ohebné kartáčové police (obr. 28), na kterých jsou svezeny k vyhřívanému horizontálnímu dopravníku. Kartáčové police doléhají k plechovému krytu a tím zabraňují propadnutí výlisků. Na plechovém krytu vertikálního dopravníku je připevněna ochranná kartáčová lišta, která usměrňuje výlisky na pohyblivé police. Pohyblivé police jsou po 0,1 m našroubovány na drátěném pásu pomocí plechu, který je prostrčen pásem v prostoru

mezi příčnými tyčkami pásu (obr. 29). Odolné kartáčové lišty jsou dodány firmou OSBORN a jsou vyrobeny z drátků z nerezavějící oceli.

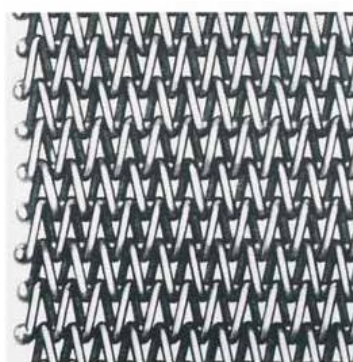


Obr. 28: Profil kartáčové lišty



Obr. 29: Uchycení police

1 – šroub, 2 – plech, 3 – drátěný pás, 4 – ocelový kartáč, 5 – profil kartáčové lišty typu F, 6 – příčné tyčky pásu, 7 – buben dopravníku.



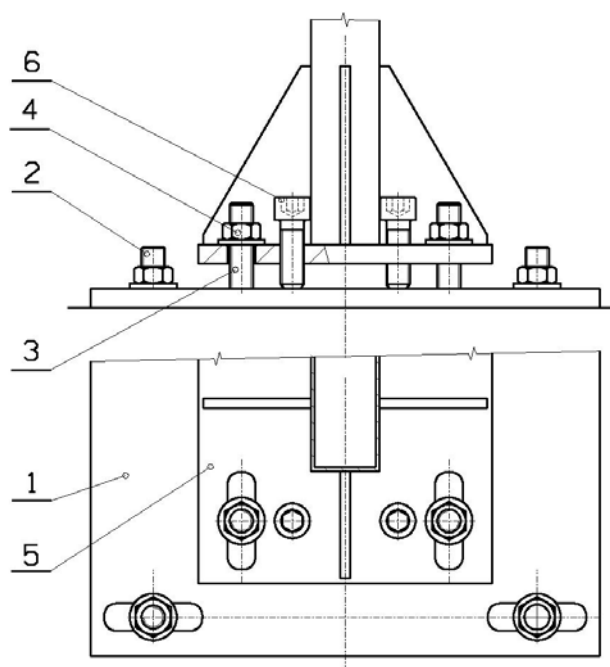
Obr. 30: Drátěný pás

Drátěný pás je od firmy PERFO LINEA [8] – pás 1A (obr. 30):

Průměr příčných tyček	1,8 mm
Průměr drátu spirály	1,6 mm
Hmotnost	13,5 kg.m ⁻²
Rozteč tyček	8 mm

Průměry hnacího a vratného bubnu jsou podle [8]: $(5-10) \times$ rozteč příčných tyček, tedy 40-80 mm. Průměry bubnů jsou tedy voleny na 80 mm. Napínání pásu je realizováno pomocí napínacích šroubů. Celý rám je šroubovaný z důvodu snadné montáže do omezeného otvoru v pódiu.

Sestava HORIZONTÁLNÍ DOPRAVNÍK A1 znázorňuje první vyhřívaný dopravník větve A. Vlastní dopravník je nainstalován na nosném svařovaném rámu, který je ukotven systémem, umožňujícím prostorovou orientaci celého dopravníku. Na kotvici základně (obr. 31 poz. 1), která je připevněna pomocí kotvicích šroubů (2) k podlaze, jsou navařeny čtyři šrouby (3), opatřeny maticemi (4). V patce svařovaného rámu (5) jsou vyříznuty závitové díry pro šrouby (6), které společně s maticemi (4) umožňují výškové nastavení celého rámu.



Obr. 31: Systém kotvení

1 – kotvicí základna, 2 – kotvicí šroub, 3 – šroub bez hlavy, 4 – matice, 5 – patka rámu, 6 – šroub

Kromě dopravníku je na nosném rámu přišroubován i rám izolace, který je svařen z dutých tenkostěnných profilů 30×30 mm a 30×50 mm. Mezi tento svařený rám jsou vloženy sibalové izolační desky o tloušťce 50 mm, které jsou jištěny na svých místech příložkami přišroubovanými na rám izolace. Celý rám je zakryt přišroubovaným plechem.

Na rámu izolace a na sibalových deskách jsou pomocí tíže a tvarové vazby uloženy topné panely KANTHAL – MODUTHAL [13] o tloušťce 50 mm. V těchto panelech jsou kromě topné spirály implementovány i termočlánky na regulaci teploty uvnitř izolované atmosféry.

Bubny pásového dopravníku jsou pomocí přílozek uloženy k rámu. Mezi přírubou a rámem, který prochází také izolovanou atmosférou, jsou vložky z minerální plsti, proti vedení nežádoucího tepla k ložiskům.

Drátěný pás je opět jako u vertikálních dopravníků od firmy PERFO LINEA – pás 1A. Průměry hnacího a vratného bubnu jsou voleny na 80 mm.

Z důvodu tepelné dilatace pásu je napínací ústrojí řešeno závažím, které vyvozuje stálou napínací sílu. V kapitole 3.2.2.1 je vypočítána hmotnost závaží $m_z = 15,86 \text{ kg} \Rightarrow$ rozměry závaží z oceli o hustotě $7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$:

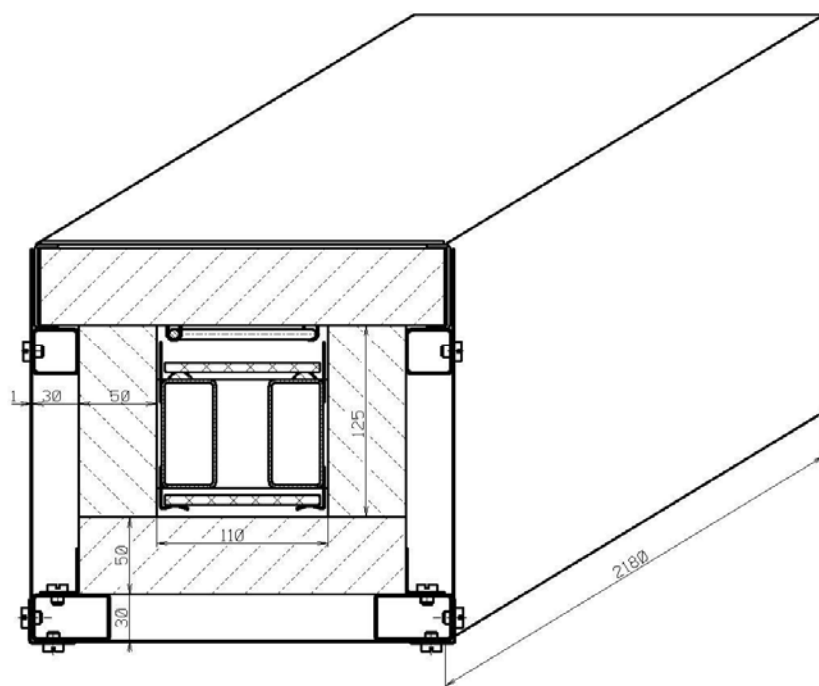
$(0,1045 \times 0,140 \times 0,138) \text{ m}$.

Průměry kladek napínacího ústrojí jsou voleny na 40 mm.

RÁM DOPRAVNÍKU je výkres svařované sestavy. Rám je svařen z tenkostěnných uzavřených profilů žáruvzdorné oceli třídy 17. Na tento rám jsou přivařeny návarky pro uchycení přílozek bubnů. Až po svaření jsou do těchto návarek vyvrtány díry a vyříznuty závity. Dále jsou na rám děrovými svary přivařeny ochranné plechy proti dotyku drátěného dopravního pásu a sibalových desek a ohýbané plechy na držení zpětného chodu pásu.

3.2 Konstrukční výpočty

3.2.1 Tepelné výpočty izolované trati



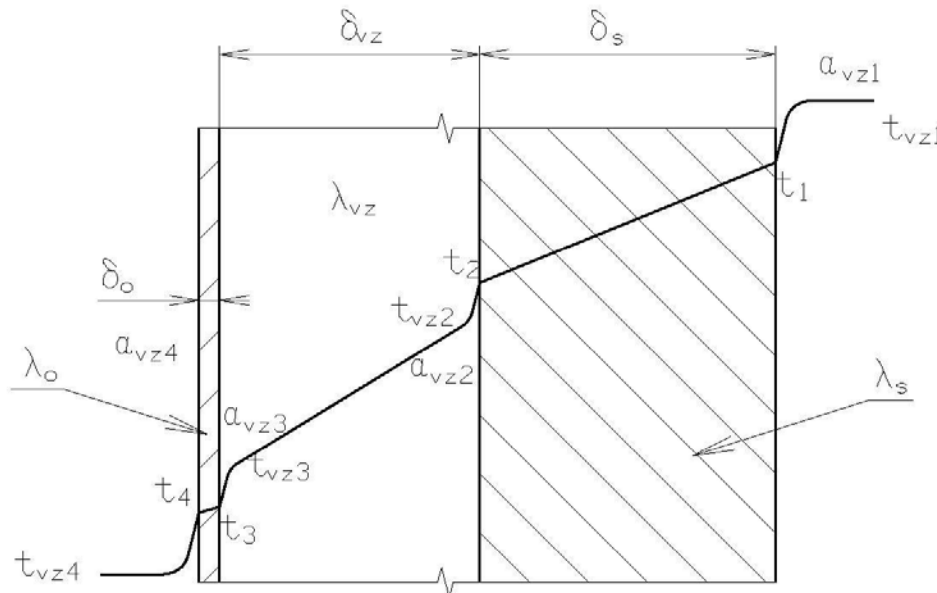
Obr. 32: Schéma stěn

Izolace je navržena ze sibalových desek, tloušťky 50 mm, vložených do svařené konstrukce z dutých profilů 30×30 mm a 30×50 mm, dále pak ze vzduchové mezery o tloušťce 30 mm uzavřené ocelovým plechem o tloušťce 1 mm podle obr. 32.

3.2.1.1 Výpočet ztrátového tepla izolovanou stěnou dopravníku

Teplota uvnitř izolované atmosféry –	$t_{vz1} = 500\text{ °C}$
Teplota vzduchu v huti –	$t_{vz4} = 30\text{ °C}$
Součinitel tepelné vodivosti oceli –	$\lambda_o = 14\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Součinitel tepelné vodivosti sibalů –	$\lambda_s = 0,12\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Součinitel tepelné vodivosti vzduchu –	$\lambda_{vz} = 0,0262\text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Tloušťka ocelového plechu –	$\delta_o = 0,001\text{ m}$ (zvoleno)
Tloušťka sibalů –	$\delta_s = 0,050\text{ m}$ (zvoleno)
Tloušťka vzduchové mezery –	$\delta_{vz} = 0,030\text{ m}$ (zvoleno)

Teplota stěn (počáteční hodnota zvolena, hodnoty jsou dále aproximovány prostou iterací) $t_1 = 490\text{ °C}$, $t_2 = 300\text{ °C}$, $t_3 = 150\text{ °C}$, $t_4 = 50\text{ °C}$



Obr. 33: Schéma izolace

Pro výpočet součinitele přestupu tepla mezi stěnami a vzduchem byly použity empirické vzorce podle [7] (hodnoty jsou dále vypočteny prostou iterací):

$$\alpha_{vz} = 2,1 + 0,083 \cdot t_{st} \quad \text{pro } t_{st} < 200\text{ °C}$$

$$\alpha_{vz} = 7,9 + 0,054 \cdot t_{st} \quad \text{pro } t_{st} > 200\text{ °C}$$

$$t_1 \Rightarrow \alpha_{vz1} = 7,9 + 0,054 \cdot t_1 = 34,36 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$t_2 \Rightarrow \alpha_{vz2} = 7,9 + 0,054 \cdot t_2 = 24,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$t_3 \Rightarrow \alpha_{vz3} = 2,1 + 0,083 \cdot t_3 = 14,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$t_4 \Rightarrow \alpha_{vz4} = 2,1 + 0,083 \cdot t_4 = 6,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Tepelný tok na m²:

$$\begin{aligned} \dot{q} &= \frac{(t_{vz1} - t_{vz4})}{\left(\frac{1}{\alpha_{vz1}} + \frac{\delta_s}{\lambda_s} + \frac{1}{\alpha_{vz2}} + \frac{\delta_{vz}}{\lambda_{vz}} + \frac{1}{\alpha_{vz3}} + \frac{\delta_o}{\lambda_o} + \frac{1}{\alpha_{vz4}} \right)} = \\ &= \frac{(500 - 30)}{\left(\frac{1}{34,36} + \frac{0,05}{0,12} + \frac{1}{24,1} + \frac{0,03}{0,026} + \frac{1}{14,5} + \frac{0,001}{14} + \frac{1}{6,25} \right)} = 252,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \end{aligned}$$

Výpočet teplot stěn:

$$\dot{q} = \alpha_{vz4} \cdot (t_4 - t_{vz4}) \Rightarrow t_4 = t_{vz4} + \frac{\dot{q}}{\alpha_{vz4}} = 30 + \frac{252,5}{6,25} = 70,4^\circ\text{C}$$

$$\dot{q} = \frac{\lambda_o}{\delta_o} \cdot (t_3 - t_4) \Rightarrow t_3 = t_4 + \frac{\dot{q}}{\lambda_o} \cdot \delta_o = 70,4 + \frac{252,5}{14} \cdot 0,001 = 70,42^\circ\text{C}$$

$$t_{vz3} = t_3 + \frac{\dot{q}}{\alpha_{vz3}} = 70,42 + \frac{252,5}{7,945} = 102,2^\circ\text{C}$$

$$t_{vz2} = t_{vz3} + \frac{\dot{q}}{\lambda_{vz}} \cdot \delta_{vz} = 102,2 + \frac{252,5}{0,0262} \cdot 0,03 = 391,3^\circ\text{C}$$

$$t_2 = t_{vz2} + \frac{\dot{q}}{\alpha_{vz2}} = 391,3 + \frac{252,5}{24,1} = 401,78^\circ\text{C}$$

$$t_1 = t_2 + \frac{\dot{q}}{\lambda_s} \cdot \delta_s = 401,78 + \frac{252,5}{0,12} \cdot 0,05 = 506,99^\circ\text{C}$$

$$t_{vz1} = t_1 + \frac{\dot{q}}{\alpha_{vz1}} = 506,99 + \frac{252,5}{35,27} = 514,15^\circ\text{C}$$

Z tab. 5 je patrné, že teplota vnější stěny a tepelný tok konvergují na hodnotě $t_4 = 63,59^\circ\text{C}$, $\dot{q} = 247,84 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Tab. 5: Určení teploty stěny

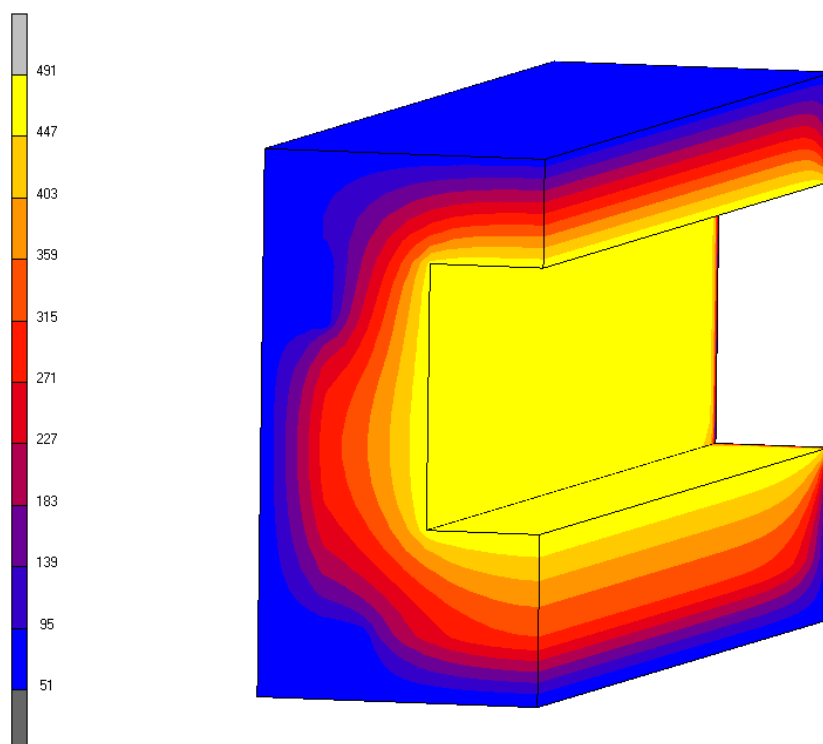
α_{vz1} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	α_{vz2} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	α_{vz3} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	α_{vz4} [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	$\dot{q}$ [W·m ⁻²]	t_4 [°C]	t_3 [°C]	t_{vz3} [°C]	t_{vz2} [°C]	t_2 [°C]	t_1 [°C]	t_{vz1} [°C]
34,3600	24,1000	14,5500	6,2500	252,5385	70,4062	70,4242	102,2092	391,3755	401,8542	507,0786	514,2363
35,2822	29,6001	7,9452	7,9437	250,5797	61,5444	61,5623	96,3184	383,2417	391,7072	496,1154	503,3388
34,6902	29,0522	7,2097	7,2082	247,0489	64,2734	64,2910	97,5137	380,3941	388,8977	491,8348	499,0041
34,4591	28,9005	7,4362	7,4347	248,1022	63,3709	63,3886	97,0924	381,1789	389,7636	493,1396	500,3248
34,5295	28,9472	7,3613	7,3598	247,7593	63,6639	63,6816	97,2280	380,9218	389,4808	492,7139	499,8939
34,5065	28,9320	7,3856	7,3841	247,8713	63,5682	63,5859	97,1836	381,0057	389,5731	492,8528	500,0346
34,5141	28,9369	7,3776	7,3762	247,8348	63,5994	63,6171	97,1981	380,9784	389,5430	492,8075	499,9887
34,5116	28,9353	7,3802	7,3788	247,8467	63,5892	63,6069	97,1933	380,9873	389,5528	492,8223	500,0037
34,5124	28,9359	7,3794	7,3779	247,8428	63,5926	63,6103	97,1949	380,9844	389,5496	492,8175	499,9988
34,5121	28,9357	7,3797	7,3782	247,8441	63,5915	63,6092	97,1944	380,9853	389,5507	492,8191	500,0004
34,5122	28,9357	7,3796	7,3781	247,8437	63,5918	63,6095	97,1946	380,9850	389,5503	492,8185	499,9999
34,5122	28,9357	7,3796	7,3781	247,8438	63,5917	63,6094	97,1945	380,9851	389,5504	492,8187	500,0000
34,5122	28,9357	7,3796	7,3781	247,8438	63,5918	63,6095	97,1945	380,9851	389,5504	492,8186	500,0000
34,5122	28,9357	7,3796	7,3781	247,8438	63,5917	63,6094	97,1945	380,9851	389,5504	492,8187	500,0000
34,5122	28,9357	7,3796	7,3781	247,8438	63,5917	63,6095	97,1945	380,9851	389,5504	492,8187	500,0000

Plocha stěn kolem dopravníku

$$S_s = (0,11 \cdot 2,180) \cdot 2 + (0,125 \cdot 2,180) \cdot 2 = 1,0246 \text{ m}^2$$

Celkový tepelný tok (ztrátový):

$$\dot{Q}_z = \dot{q} \cdot S_s = 247,84 \cdot 1,0246 = 253,94 \text{ W}$$

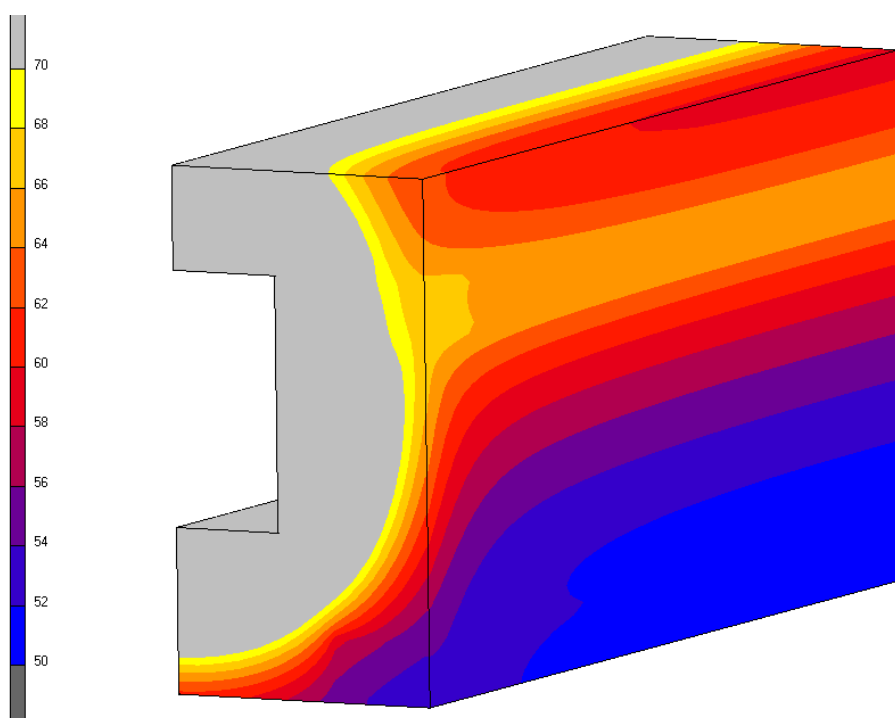


Obr. 34: Teplotní profil izolace 50-500 °C

Vzhledem k tvaru profilu izolovaného tunelu je předpoklad výpočtu pro neohraničené stěny značně zjednodušující a výsledek se tedy výrazně liší od skutečnosti. Základní problém nastává v rozích tunelu.

Pro lepší stanovení výsledku a pro porovnání byl vytvořen počítačový model celé izolace a výpočet byl proveden pomocí počítačové simulace programem Marc Mentat. Vstupní hodnoty jsou totožné s ručním výpočtem, uvedeným v kapitole 3.2.1.1. Výpočet je proveden pro stacionární stav. Na obr. 34 je znázorněn výsledek teplotního profilu izolovaného tunelu včetně víka (topný panel) na čtvrtinovém modelu.

Pro podrobnější zjištění teplot na povrchu tunelu je uveden teplotní model ještě pro teploty od 50–70 °C (obr. 35).



Obr. 35: Teplotní profil izolace 50-70 °C

3.2.1.2 Výpočet množství tepla potřebného k ohřátí vzduchu uvnitř izolované atmosféry

$$\text{Objem izolované atmosféry} - V = 0,125 \cdot 0,11 \cdot 2,18 = 0,03 \text{ m}^3$$

$$\text{Hustota vzduchu: } \rho_{vz} = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\Rightarrow \text{hmotnost vzduchu: } m_{vz} = \rho_{vz} \cdot V = 0,036 \text{ kg}$$

$$\text{Měrné teplo vzduchu} - c = 1000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$Q = m \cdot c \cdot (t_{vz1} - t_{vz4}) = 0,036 \cdot 1000 \cdot (500 - 30) = 16905 \text{ J}$$

Tepelný tok

Čas potřebný k vyhřátí izolované atmosféry – $t = 1800 \text{ s}$ (zvoleno)

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{16905}{1800} = 9,39 \text{ W}$$

3.2.1.3 Výpočet množství tepla uniklého vstupními a výstupními otvory

Výpočet proveden podle normy ČSN 06 0210:

$$\dot{Q}_v = c_t \cdot \dot{V}_{vh} \cdot (t_{vz1} - t_{vz4}) = 1300 \cdot 0,000166 \cdot (500 - 30) = 101,83 \text{ W}$$

$$c_t = 1300 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\dot{V}_{vh} = \frac{n_h}{3600} \cdot V_m = \frac{20}{3600} \cdot 0,03 = 0,000166 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

n_h – intenzita výměny vzduchu - (zvoleno – 20 h^{-1})

V_m – objem vnitřního prostoru - $V_m = 0,110 \cdot 0,125 \cdot 2,180 = 0,03 \text{ m}^3$

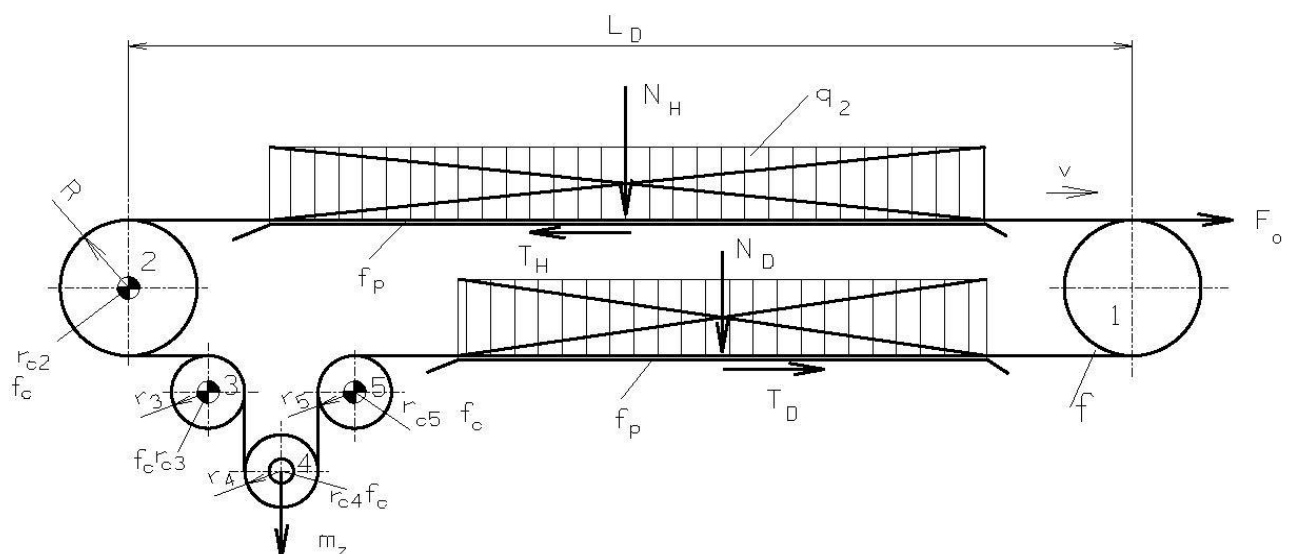
Příkon izolovaného tunelu:

Příkon vypočítáme jako součet potřebného tepelného toku pro vyhřátí, ztrátového tepelného toku a tepla unikajícího konci. Tento součet zvětšíme o 50 % z důvodů rezervy výkonu:

$$P = 1,5 \cdot (\dot{Q} + \dot{Q}_z + \dot{Q}_o) = 1,50 \cdot (9,39 + 253,94 + 101,83) = 547,7 \text{ W}$$

3.2.2 Výpočty pohonu horizontálního pásového dopravníku A1

3.2.2.1 Výpočet potřebné obvodové síly



Obr. 36: Schéma zatížení dopravníku

Pro výpočet obvodové hnací síly na bubnu a hmotnosti závaží bylo použito rovnic rovnováhy. Byla zanedbána hmotnost bubnů a napínacích kladek, reakce působící na čep byly vypočteny jen z tahové síly pásu. Výpočet vede k lineární soustavě osmi rovnic o osmi neznámých. Tyto rovnice byly uspořádány do matice a ta byla vypočtena pomocí programu Mathcad.

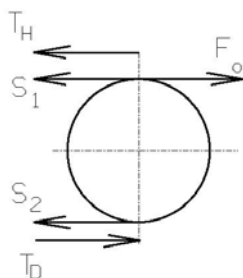
Dáno:

$f = 0,1$	součinitel vláknového tření - ocel – ocel
$\alpha_o = 3,14 \text{ rad}$	úhel opásání – 180° $\Rightarrow e^{\alpha \cdot f} = 1,368$
$f_p = 0,15$	součinitel tření o podporu
$f_c = 0,05$	součinitel tření v ložiskách
$m_v = 1 \text{ kg}$	hmotnost výlisků na pásu
$q_2 = 1,35 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	hmotnost 1 metru pásu
$L_D = 2,5 \text{ m}$	délka dopravníku
$R = 0,04 \text{ m}$	poloměr bubnu
$r_{c2} = 0,01 \text{ m}$	poloměr ložiska bubnu
$r_{c3,4,5} = 0,0075 \text{ m}$	poloměr ložiska kladek

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$	tíhové zrychlení
$F_o [\text{N}]$	Obvodová síla hnacího bubnu (neznámá)
$S_{1,2,3,4,5} [\text{N}]$	tahy v pásu (neznámá)
$m_z [\text{kg}]$	hmotnost závaží (neznámá)
$N_H [\text{N}]$	normálová síla horní větve pásu
$N_D [\text{N}]$	normálová síla dolní větve pásu
$T_H [\text{N}]$	třecí síla horní větve pásu
$T_D [\text{N}]$	třecí síla dolní větve pásu

$$N_H = (m_v + q_2 \cdot L_D) \cdot g \quad N_D = q_2 \cdot L_D \cdot g \quad T_H = N_H \cdot f_p \quad T_D = N_D \cdot f_p$$

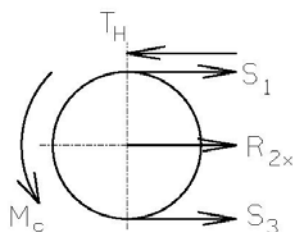
1)



$$F_o + S_2 - S_1 - T_D - T_H = 0$$

$$S_1 + T_H = (S_2 - T_D) \cdot e^{\alpha \cdot f}$$

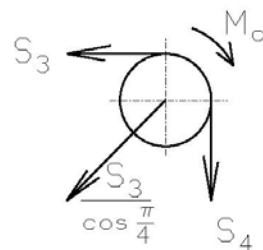
2)



$$S_1 \cdot R - T_H \cdot R - R_{2x} \cdot r_{c2} \cdot f_c - S_3 \cdot R = 0$$

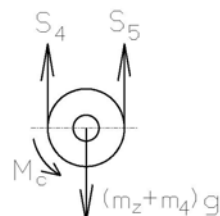
$$S_1 - T_H + S_3 + R_{2x} = 0$$

3)



$$S_3 \cdot r_3 - \frac{S_3}{\cos\left(\frac{\pi}{4}\right)} \cdot r_{c3} \cdot f_c - S_4 \cdot r_3 = 0$$

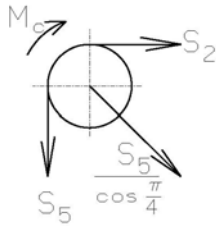
4)



$$S_4 \cdot r_4 - [(m_z + m_4) \cdot g - S_4 - S_5] \cdot r_{c4} \cdot f_c - S_5 \cdot r_4 = 0$$

$$S_4 + S_5 - (m_z + m_4) \cdot g = 0$$

5)



$$S_5 \cdot r_5 - \frac{S_5}{\cos\left(\frac{\pi}{4}\right)} \cdot r_{c5} \cdot f_c - S_2 \cdot r_5 - T_d \cdot r_5 = 0$$

$$a := \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -e1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 & -R & 0 & 0 & -rc2 \cdot fc & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r3 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) - fc \cdot rc3 & -r3 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & r4 + rc4 \cdot fc & rc4 \cdot fc - r4 & 0 & -g \cdot rc4 \cdot fc & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & g & 0 \\ 0 & 0 & -r5 & 0 & 0 & r5 - \frac{fc \cdot rc5}{\cos\left(\frac{\pi}{4}\right)} & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad b := \begin{pmatrix} Th + Td \\ -Th - Td \cdot e1 \\ Th \cdot R \\ Th \\ 0 \\ m4 \cdot g \cdot rc4 \cdot fc \\ -m4 \cdot g \\ Td \cdot r5 \end{pmatrix}$$

$$c := a^{-1} \cdot b$$

$$c = \begin{pmatrix} 25.086 \\ 86.817 \\ 73.135 \\ 82.414 \\ 80.229 \\ 80.229 \\ -162.793 \\ 15.856 \end{pmatrix} \Rightarrow F_o = 25,086 \text{ N}, m_z = 15,856 \text{ kg}$$

3.2.2.2 Návrh pohonu horizontálního dopravníku (v = konst)

Dáno:

$F_o = 25,09 \text{ N}$	obvodová síla na hnacím bubnu
$v_{h1} = 0,3 \text{ m/s}$	rychlost pohybu pásu
$M_H \text{ [Nm]}$	Hnací moment
$n_H \text{ [s}^{-1}\text{]}$	Otáčky za převodovým ústrojím

$k = 3$	Součinitel bezpečnosti (voleno)
$P_H \text{ [W]}$	Příkon dopravníku
$P_{HD} \text{ [W]}$	Dimenzovaný příkon dopravníku

$$M_H = F_o \cdot R = 25,09 \cdot 0,04 = 1 \text{ Nm}$$

$$P_H = F_o \cdot v_{h1} = 25,09 \cdot 0,3 = 7,53 \text{ W}$$

$$M_H = \frac{P_H}{2 \cdot \pi \cdot n_H} \Rightarrow n_H = \frac{P_H}{2 \cdot \pi \cdot M_H} = \frac{7,53}{2 \cdot \pi \cdot 1} = 1,2 \text{ s}^{-1} = 72 \text{ min}^{-1}$$

$$P_{HD} = P_H \cdot k = 7,53 \cdot 3 = 22,59 \text{ W}$$

$\Rightarrow$ podle dimenzovaného výkonu byl vybrán pohon z katalogu firmy Wattdrive [9]
(tab. 6)

Tab. 6: Zvolený motor horizontálního dopravníku.

typ převodového ústrojí:	Převodové ústrojí s čelno-šnekovým ozubením s asynchronním elektromotorem	
označení typu :	SU 404S 72K6	
údaje způsobu provozu :		
teplota okolí :	+40	°C
údaje motoru:		
výkon motoru :	0.18	[kW]
jmenovité otáčky :	870	[1/min]
jmenovitý kroutící moment :	2	[Nm]
maximální kroutící moment:	4	[Nm]
napjetí :	400	[V]
frekvence :	50	[Hz]
řazení :	Y	
jmenovitý proud :	0,7	[A]
cos φ :	0.64	
druh ochrany :	IP 55	
poloha svorkovnice :	strana 1 kabel I	
moment setrvačnosti :	0.83x10-3	[kgm2]
data-údaje převodového ústrojí:		
výstupní otáčky :	244	[1/min]
výstupní kroutící moment :	6	[Nm]
převodový poměr :	3.56	
dovolený vstupní kroutící moment :	10.7	[Nm]
výstupní hřídel :	Ø 20 k6 x 40	[mm]
pero :	DIN6885.1	
váha :	15	[kg]
moment setrvačnosti :	0.28x10-3	[kgm2]
mazivo :	syntetický olej - CLP PG ISO VG 460	
druh frekvenčního měniče:	frekvenční měnič s řízením křivky napjetí-frekvence	
označení typu :	UDGL2500-0004TCW1	
údaje frekvenčního meniča :		
pro výkon motoru :	0.37	[kW]
napájecí napjetí:	3~ 380..480VAC (±10%), 50/60Hz (±5%)	
jmenovitý proud měniče :	1.5	[A]
přetížitelnost (proudu) :	150%	
výchozí frekvence :	1...400	[Hz]
výchozí napjetí :	3 x 0 V až UIN	
druh ochrany :	IP20	
siet'ový filter :	bez	
rozměry Š x V x H (šířka x výška x hloubka) :	85/148/124	[mm]
brzdový střídač :	intergrovaný	
Váha :	1.5	[kg]

3.2.2.3 Kontrola navrženého motoru ($v \neq \text{konst}$)

Následující vzorce byly použity z [4].

Kontrola momentů setrvačnosti

Dáno:

J_L [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]	moment setrvačnosti zátěže
J_A [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]	moment setrvačnosti pohonu
ω_p [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$]	úhlová rychlost za převodovým ústrojím
$J_{p\ddot{R}}$ [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]	moment setrvačnosti převodového ústrojí
J_R [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]	moment setrvačnosti rotoru motoru

ω_M [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$]	úhlová rychlost motoru
J_B [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]	moment setrvačnosti bubnu
$m_B=2,5$ kg	hmotnost bubnu
$m_{ZA}=8,046$ kg	Hmotnost zátěže (pás + výlisky) ($5,400 \cdot 1,35 + 1$)

$$J_L < 3 \cdot J_A$$

$$\frac{1}{2} \cdot J_A \cdot \omega_p^2 = \frac{1}{2} \cdot J_{p\ddot{R}} \cdot \omega_M^2 + \frac{1}{2} \cdot J_R \cdot \omega_M^2, \text{ kde}$$

$$\omega_p = 2\pi \cdot n = 2\pi \cdot 1,2 = 7,47 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\omega_M = 2\pi \cdot n_M = 2\pi \cdot \frac{870}{60} = 91,1 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$J_A = \frac{J_{p\ddot{R}} \cdot \omega_M^2 + J_R \cdot \omega_M^2}{\omega_p^2} = \frac{0,00028 \cdot 91,1^2 + 0,00083 \cdot 91,1^2}{7,47^2} = 0,165 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$\frac{1}{2} \cdot J_L \cdot \omega_p^2 = \frac{1}{2} \cdot J_B \cdot \omega_p^2 + \frac{1}{2} \cdot J_B \cdot \omega_p^2 + \frac{1}{2} \cdot m_{ZA} \cdot v^2$$

$$J_B = \frac{1}{2} \cdot m_B \cdot R^2 = \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 0,04^2 = 0,002 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_L = \frac{2 \cdot J_B \cdot \omega_p^2 + m_{ZA} \cdot v^2}{\omega_p^2} = \frac{2 \cdot 0,002 \cdot 7,47^2 + 8,05 \cdot 0,3^2}{7,47^2} = 0,017 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$J_L < 3 \cdot J_A \Rightarrow \text{zvolený motor vyhovuje.}$$

Momentová kontrola

$M_{\max}=4$ Nm	Maximální moment motoru
M_v [Nm]	moment motoru na překonání dopravní výšky a pasivních odporů
M_{zP} [Nm]	moment motoru na zrychlení posuvných hmot
M_{zR} [Nm]	moment motoru na zrychlení rotačních hmot
$i=3,56$	Převodový poměr
$\tau_r=0,5$ s	Doba rozběhu
ε_p [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-2}$]	Úhlové zrychlení
M_R [Nm]	Rozběhový moment

$$M_R = M_V + M_{ZP} + M_{ZR}$$

$$M_V = F \cdot \frac{R}{i \cdot \eta} = 13,65 \cdot \frac{0,04}{3,56 \cdot 0,98} = 0,1565 \text{ Nm}$$

$$M_{ZP} = F_{ZP} \cdot \frac{R}{i \cdot \eta} = 4,85 \cdot \frac{0,04}{3,56 \cdot 0,98} = 0,0556 \text{ Nm}$$

$$F_{ZP} = m \cdot a = m \cdot \frac{v}{t_r} + l \cdot 2 \cdot q_2 \cdot \frac{v}{t_r} = 1 \cdot \frac{0,3}{0,5} + 5,450 \cdot 1,3 \cdot \frac{0,3}{0,5} = 4,85 \text{ N}$$

$$M_{ZR} = (J_A + J_L) \cdot \varepsilon_p = 2,72 \text{ Nm}$$

$$\varepsilon_p = \frac{\varpi_p}{t_r} = \frac{7,47}{0,5} = 14,94 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$M_R = M_V + M_{ZP} + M_{ZR} = 0,1565 + 0,0556 + 2,72 = 2,931 \text{ Nm}$$

$$M_R \leq M_{\max} \Rightarrow \text{zvolený motor vyhovuje}$$

3.2.3 Výpočty pohonu vertikálního pásového dopravníku

3.2.3.1 Výpočet napínací síly

Pro výpočet sil ve vertikálním dopravníku bylo použito vzorců podle [10].

Dáno:

$f=0,1$	součinitel vláknového tření -ocel – ocel
$f_c=0,05$	součinitel tření v ložiskách
$q_{2V}=0,945 \text{ kg/m}$	hmotnost 1 metru pásu
$L_{VD}=0,575 \text{ m}$	délka dopravníku
$R=0,04 \text{ m}$	poloměr bubnu
$g=9,81 \text{ m/s}^2$	tíhové zrychlení
$\alpha_o=3,14 \text{ rad}$	úhel opásání – 180°

$F_1 \text{ [N]}$	tah v pásu (neznámá)
$F_2 \text{ [N]}$	tah v pásu (neznámá)
$F_N \text{ [N]}$	napínací síla (neznámá)
$r_{c2}=0,01 \text{ m}$	poloměr ložiska napínacího bubnu
$k_n = 2$	součinitel bezpečnosti napínací síly

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{f\alpha} \Rightarrow F_1 = e^{f\alpha} \cdot F_2 \quad (3.1)$$

$$F_1 = \frac{1}{2} F_N + F_N \cdot f_c \cdot \frac{r_{c2}}{R} - q_{2V} \cdot g \cdot L_{VD} \quad (3.2)$$

$$F_2 = \frac{1}{2} F_N - q_{2V} \cdot g \cdot L_{VD} \quad (3.3)$$

Dosazeno do rovnice (3.2):

$$\frac{1}{2} F_N \cdot e^{f\alpha} - q_{2V} \cdot g \cdot L_{VD} \cdot e^{f\alpha} = \frac{1}{2} F_N + F_N \cdot f_c \cdot \frac{r_{c2}}{R} - q_2 \cdot g \cdot L_{VD}$$

$$F_N \left(\frac{1}{2} \cdot e^{f\alpha} - \frac{1}{2} - f_c \cdot \frac{r_{c2}}{R} \right) = q_2 \cdot g \cdot L_{VD} \cdot e^{f\alpha} - q_2 \cdot g \cdot L_{VD}$$

$$F_N = \frac{q_2 \cdot g \cdot L_{VD} \cdot e^{f\alpha} - q_2 \cdot g \cdot L_{VD}}{\frac{1}{2} \cdot e^{f\alpha} - \frac{1}{2} - f_c \cdot \frac{r_{c2}}{R}} =$$

$$= \frac{0,945 \cdot 9,81 \cdot 0,575 \cdot 1,368 - 0,945 \cdot 9,81 \cdot 0,575}{\frac{1}{2} \cdot 1,368 - \frac{1}{2} - 0,05 \cdot \frac{0,01}{0,04}} = 11,44 \text{ N}$$

$$F_{NV} = F_N \cdot k_n = 11,43 \cdot 2 = 22,86 \text{ N}$$

Dosazeno do rovnice (3.3):

$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot 22,86 - 0,945 \cdot 9,81 \cdot 0,575 = 6,1 \text{ N}$$

Dosazeno do rovnice (3.1):

$$F_1 = 1,369 \cdot 6,1 = 8,35 \text{ N}$$

3.2.3.2 Návrh pohonu vertikálního dopravníku (v = konst)

Dáno:

F [N]	obvodová síla na hnacím bubnu
$V_v=0,2 \text{ m/s}$	rychlost pohybu pásu
M_v [Nm]	Hnací moment
n_v [s^{-1}]	Otáčky za převodovým ústrojím

k = 3	Součinitel bezpečnosti (voleno)
P_v [W]	Příkon dopravníku
P_{VD} [W]	Dimenzovaný příkon dopravníku

$$F = F_1 - F_2 = 8,35 - 6,1 = 2,25 \text{ N}$$

$$M_v = F \cdot R = 2,25 \cdot 0,04 = 0,09 \text{ Nm}$$

$$P_v = F \cdot v_v = 2,25 \cdot 0,2 = 0,45 \text{ W}$$

$$M_v = \frac{P_v}{2 \cdot \pi \cdot n_v} \Rightarrow n_v = \frac{P_v}{2 \cdot \pi \cdot M_v} = \frac{0,45}{2 \cdot \pi \cdot 0,09} = 0,8 \text{ s}^{-1} = 48 \text{ min}^{-1}$$

$$P_{VD} = P_v \cdot k = 0,45 \cdot 3 = 1,35 \text{ W}$$

$\Rightarrow$ podle dimenzovaného výkonu byl vybrán pohon z katalogu firmy Parvalux [11]:

DC motor se šnekovým převodovým ústrojím PM7S:

Výkon motoru:	7,5 W
Otáčky motoru:	1500 min^{-1}
Výstupní otáčky:	50 min^{-1}
Výstupní moment:	0,7 Nm
Maximální moment:	1,2 Nm
Moment setrvačnosti motoru:	$3,61 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Moment setrvačnosti převodového ústrojí:	$1,18 \cdot 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$

3.2.3.3 Kontrola navrženého motoru (v ≠ konst)

Kontrola momentů setrvačnosti

Dáno:

J_{LV} [$kg \cdot m^2$]	moment setrvačnosti zátěže
J_{AV} [$kg \cdot m^2$]	moment setrvačnosti pohonu
ω_{pV} [$rad \cdot s^{-1}$]	úhlová rychlost za převodovým ústrojím
$J_{PŘV}$ [$kg \cdot m^2$]	moment setrvačnosti převodového ústrojí
J_{RV} [$kg \cdot m^2$]	moment setrvačnosti rotoru motoru

ω_{MV} [$rad \cdot s^{-1}$]	úhlová rychlost motoru
J_{BV} [$kg \cdot m^2$]	moment setrvačnosti bubnu
$m_{BV}=1$ kg	hmotnost bubnu
$m_{ZAV}=1,3608$ kg	Hmotnost zátěže (pás) (1,440 · 0,945)

$$J_{LV} < 3 \cdot J_{AV}$$

$$\frac{1}{2} \cdot J_{AV} \cdot \omega_{pV}^2 = \frac{1}{2} \cdot J_{PŘV} \cdot \omega_{MV}^2 + \frac{1}{2} \cdot J_{RV} \cdot \omega_{MV}^2, \text{ kde}$$

$$\omega_{pV} = 2\pi \cdot n_V = 2\pi \cdot 0,8 = 5,03 \text{ rad} \cdot s^{-1}$$

$$\omega_{MV} = 2\pi \cdot n_M = 2\pi \cdot \frac{1500}{60} = 157,08 \text{ rad} \cdot s^{-1}$$

$$J_{AV} = \frac{J_{PŘV} \cdot \omega_{MV}^2 + J_{RV} \cdot \omega_{MV}^2}{\omega_{pV}^2} = \frac{1,18 \cdot 10^{-5} \cdot 157,08^2 + 1,18 \cdot 10^{-5} \cdot 157,08^2}{5,03^2} = 0,023 \text{ kg} \cdot m^2$$

$$\frac{1}{2} \cdot J_{LV} \cdot \omega_{pV}^2 = \frac{1}{2} \cdot J_{BV} \cdot \omega_{pV}^2 + \frac{1}{2} \cdot J_{BV} \cdot \omega_{pV}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_{ZAV} \cdot v_V^2$$

$$J_{BV} = \frac{1}{2} \cdot m_{BV} \cdot R^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,0,04^2 = 0,0008 \text{ kg} \cdot m^2$$

$$J_{LV} = \frac{2 \cdot J_{BV} \cdot \omega_{pV}^2 + m_{ZAV} \cdot v_V^2}{\omega_{pV}^2} = \frac{2 \cdot 0,0008 \cdot 5,03^2 + 1,3608 \cdot 0,2^2}{5,03^2} = 0,0038 \text{ kg} \cdot m^2$$

$$J_{LV} < 3 \cdot J_{AV} \Rightarrow \text{zvolený motor vyhovuje.}$$

Momentová kontrola

$M_{\max V} = 1,2$ Nm	Maximální moment motoru
M_{VV} [Nm]	moment motoru na překonání dopravní výšky a pasivních odporů
M_{ZPV} [Nm]	moment motoru na zrychlení posuvných hmot
M_{ZRV} [Nm]	moment motoru na zrychlení rotačních hmot
$i_V = 30$	Převodový poměr
$\tau_r = 0,5$ s	Doba rozběhu
ε_{pV} [$rad \cdot s^{-2}$]	Úhlové zrychlení
M_{RV} [Nm]	Rozběhový moment

$$M_{RV} = M_{VV} + M_{ZPV} + M_{ZRV}$$

$$M_{VV} = F \cdot \frac{R}{i \cdot \eta} = 2,25 \cdot \frac{0,04}{30 \cdot 0,98} = 0,003 \text{ Nm}$$

$$M_{ZPV} = F_{ZPV} \cdot \frac{R}{i \cdot \eta} = 0,53 \cdot \frac{0,04}{30 \cdot 0,98} = 0,0007 \text{ Nm}$$

$$F_{ZPV} = m \cdot a = L_V \cdot 2 \cdot q_{2V} \cdot \frac{v_V}{\tau_r} = 1,44 \cdot 0,945 \cdot \frac{0,2}{0,5} = 0,53 \text{ N}$$

$$M_{ZRV} = (J_{AV} + J_{LV}) \cdot \varepsilon_{pV} = 0,27 \text{ Nm}$$

$$\varepsilon_{pV} = \frac{\varpi_{pV}}{t_r} = \frac{5,03}{0,5} = 10,06 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$M_{RV} = M_{VV} + M_{ZPV} + M_{ZRV} = 0,003 + 0,0007 + 0,27 = 0,273 \text{ Nm}$$

$$M_{RV} \leq M_{\max V} \Rightarrow \text{zvolený motor vyhovuje}$$

3.2.4 Kontrola pera na hnací hřídeli horizontálního dopravníku

Na hřídeli hnacího bubnu volím PERO ČSN 02 2562 6×6×28 mm $\Rightarrow t_1 = 2,5 \text{ mm}$,
l = 28 mm, materiál 11600 $\Rightarrow p_D = 90 \text{ MPa}$.

$$p = \frac{2 \cdot M_H}{d \cdot t_1 \cdot l} = \frac{2 \cdot 1000}{18 \cdot 2,5 \cdot 28} = 1,59 \text{ MPa} \leq p_D \Rightarrow \text{zvolené pero vyhovuje}$$

4 Zhodnocení

Navržené konstrukční řešení manipulace malých lustrových ověsů je za daných technologických podmínek schopno plnit svou funkci v závodě 6, firmy Preciosa a. s. Zařízení bylo navrženo s ohledem na možné zabudování do a pod konstrukci podia.

Problém je možné řešit i mnoha jinými způsoby, než navrženými touto prací. Dané řešení plní problém manipulace z tvarovacích strojů na vstupní pás chladicí pásové pece podle mantinelů zadání.

4.1 Technické vlastnosti

Rychlost vertikální manipulace:	$v_v = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Rychlost horizontální manipulace A1:	$v_{hA1} = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Rychlost horizontální manipulace A2:	$v_{hA2} = 0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Rychlost horizontální manipulace B1:	$v_{hA1} = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Rychlost horizontální manipulace B2:	$v_{hA2} = 0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Rychlost horizontální manipulace AB:	$v_{h3} = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
Teplota uvnitř izolovaných tunelů horizontální manipulace:	$t_{vz1} = 500 \text{ }^{\circ}\text{C}$

4.2 Přínos zařízení

Realizace manipulačního zařízení povede k níže uvedeným skutečnostem:

- o automatická kontinuální doprava výlisků na chladicí pec
- o stálost kvality celé vyráběné produkce
- o další zpracovávání výlisků je postupné (brusírna), bez mezičasu
- o minimalizování zásahů obsluhy do manipulace

Manipulační zařízení bylo navrhováno primárně pro závod 6, ale lze ho instalovat v jiných provozech zadavatele. Je pouze nutné dodržet dané vstupní podmínky, zvláště geometrické a dispoziční.

Závěr

V předložené diplomové práci byl konstrukčně zpracován návrh manipulačního zařízení pro přemisťování skleněných výlisků z lisů BTH na pás průběžné chladicí pece.

V první části byla popsána stávající výrobní technologie v závodě 6, firmy Preciosa, a.s. Byla zde představena nová výrobní technologie a byly definovány požadavky na zpracování konstrukčního řešení manipulačního zařízení.

V druhé kapitole byly nastíněny možné alternativní návrhy řešení vertikální a horizontální manipulace výlisků od všech strojů. Výběr varianty pro konstrukční řešení byl proveden pomocí rozhodovací analýzy.

Třetí kapitola podrobně popisuje konstrukční návrh zvolené varianty horizontální a vertikální manipulace. Byly provedeny konstrukční výpočty, navrženy pohony a byla zpracována příložená výkresová dokumentace.

Konstrukční návrh vypracovaný v jednotlivých kapitolách a ve výkresové dokumentaci je možné realizovat v podmínkách závodu 6, firmy Preciosa, a.s a lze konstatovat, že požadavky zadání byly splněny.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BELDA, J. *Sklářské a keramické stroje I*. Liberec: TUL Fakulta strojní, 1994.
285 s. ISBN 80-7083-149-9
- [2] PRECIOSA. *Tvary a výbrusy* [online]. [cit. 18.11.2009]. Dostupný z www:
<http://www.preciosa.com/cs/komponenty/lustrove-ovesy/tvary-a-vybrusy.html>>
- [3] CHVÁLA, B; NEDBAL, J; DUNAY, G. *Automatizace*. Praha: SNTL/ALFA, 1985.
603 s.
- [4] NOVOTNÝ, F. *Základy robotiky*. Separáty skript. Liberec: TUL Fakulta strojní,
2007. 260 s.
- [5] SCHILL, F. *Chlazení skla*. Praha: SNTL, 1955. 141 s.
- [6] SCHILL, F. *Chlazení skla*. Praha: Informatorium, 1993. 301 s.
- [7] BELDA, J. *Sklářské a keramické stroje II*. Liberec: TUL Fakulta strojní, 1986.
147 s.
- [8] PERFO LINEA. *Ocelové dopravní pásy* [online]. [cit. 13.10.2009]. Dostupný
z www: < <http://www.perfolinea.cz/files/docs/katalogy/cs/pasy.pdf>>
- [9] WATTDRIIVE. *Cat4CAD* [online]. [cit. 7.2.2010].
Dostupný z www: < <http://www2.wattdrive.com/cat4cad1/>>
- [10] STEHLÍK, J. *Dopravníky*. Liberec: TUL Fakulta strojní, 2004. 88 s.
ISBN 80-7083-888-4
- [11] PARVALUX. *Permanent magnet catalogue 2009* [online]. [cit. 9.2.2010].
Dostupný z www:
<http://downloads.parvalux.com/catalogues/2009_permanentmagnet.pdf>
- [12] OSBORN. *Multistrip* [online]. [cit. 24.3.2010]. Dostupný z www:
<http://www.osborn.de/Download/kataloge/multistrip_deu_engl.pdf>
- [13] KANTHAL. *Moduthal* [online]. [cit. 24.3.2010].
Dostupný z www: <<http://www.kanthal.com/Global/Downloads/Furnace%20products%20and%20heating%20systems/Heating%20modules/Moduthal%20heating%20modules/Moduthal%20heating%20modules%20ENG.pdf>>