



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

KONSTRUKCE JEDNOÚČELOVÉHO STROJE PRO BROUŠENÍ CIHEL LI CRETE

CONSTRUCTION OF SINGLE-PURPOSE MACHINE FOR GRINDING BRICKS LI CRETE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Hubálek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Dvořáček, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav konstruování
Student: **Bc. Tomáš Hubálek**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Konstrukční inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Dvořáček, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Konstrukce jednoúčelového stroje pro broušení cihel LI CRETE

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Moderním stavebním prvkem pro interiéry je samonosná betonová cihla se světlovody. Po výrobě cihly odlitím je nutno provést finální úpravu povrchu opakovaným přebroušením s vysokou přesností. Návrh jednoúčelového stroje umožní provádět postupné broušení na výsledný rozměr 300 x 150 x 100 mm s přesností 0,2 mm.

Typ práce: vývojová - konstrukční

Projekt: Vývojová zakázka (HS)

Cíle diplomové práce:

Hlavním cílem je vyvinout zařízení pro broušení cihel LICRETE.

Dílčí cíle diplomové práce:

- zpracování výkresové dokumentace funkčního vzorku,
- ověření funkčnosti návrhu na prototypu,
- návrh technologického postupu broušení,
- návrhová sestava zařízení pro sériovou výrobu.

Požadované výstupy: funkční vzorek, průvodní zpráva, výkresy součástí, výkres sestavení, návrhový výkres.

Rozsah práce: cca 72 000 znaků (40 - 50 stran textu bez obrázků).

Struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/BP_DP/Zasady_VSKP_2017.pdf

Seznam literatury:

SHIGLEY, J.E., MISCHKE, C.R. a BUDYNAS, R.G. Konstruování strojních součástí. 1. vyd., 2010, VUTIAM, Brno. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 4. 11. 2016



v.z. Hartl

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
ředitel ústavu

v.z. J. Katolický

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem jednoúčelového stroje pro broušení betonových světlopropustných cihel LiCrete, které jsou novým designovým stavebním prvkem pro interiéry. Po odlití cihly je nutno provést finální úpravu povrchu obroušením s vysokou přesností. Současně se brousí beton i polymethylmethakrylátové (PMMA) světlopropustné prvky. Broušení probíhá za mokra a je zde důležité dodržet šířku i vzhledové vlastnosti cihel. V rešeršní části je popsán současný stav poznání související s řešenou problematikou broušení cihel LiCrete. V další části jsou navrženy koncepční varianty řešení. Následuje konstrukční řešení, které obsahuje kompletní konstrukci jednoúčelového stroje s příloženou výkresovou dokumentací. Na závěr tato práce obsahuje koncepční návrh linky pro kontinuální broušení cihel na jeden průjezd s vysokou produktivitou.

KLÍČOVÁ SLOVA

Jednoúčelový stroj, broušení betonu, LiCrete, dopravník, automatizace.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design a one-purpose machine for grinding concrete light-permeable bricks LiCrete. The bricks LiCrete are a new interior design component. The final step of manufacturing is wet grinding with high quality and accuracy. At the same time it is grinded the concrete and light-permeable parts made by polymethylmethacrylate (PMMA). It is important to keep size and quality appearance of the bricks. The research part contains description of the problems related to the grinding of the bricks LiCrete. The next part is about conceptual variants of the solution. The construction contains the complex solution of one-purpose machine with technical drawings. The last part include a conceptual design of continuous high-productive machine for grinding LiCrete bricks.

KEY WORDS

One purpose machine, grinding concrete, LiCrete, conveyor, automation.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HUBÁLEK, T. *Konstrukce jednoúčelového stroje pro broušení cihel LICRETE*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 86 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Dvořáček, Ph.D..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že diplomovou práci *Konstrukce jednoúčelového stroje pro broušení cihel LI CRETE* jsem vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Jiřího Dvořáčka, Ph.D., a uvedl jsem v seznamu zdrojů všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne 19. května 2017

.....
Bc. Tomáš Hubálek

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jiřímu Dvořáčkovi, Ph.D. za vedení a užitečné rady při tvorbě diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu v průběhu studia.

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| 1 Úvod..... | 15 |
| 2 Přehled současného stavu poznání..... | 16 |
| 2.1 Vlastnosti betonu | 16 |
| 2.2 Broušení a leštění kamene | 16 |
| 2.2.1 Broušení | 17 |
| 2.2.2 Brusné hlavy | 18 |
| 2.2.3 Technologický postup broušení | 19 |
| 2.3 Broušení a leštění PMMA | 19 |
| 2.3.1 Leštění plamenem | 19 |
| 2.3.2 Vliv změny teploty na drsnost povrchu | 20 |
| 2.4 Kalové hospodářství | 21 |
| 2.5 Stroje pro opracování betonu..... | 22 |
| 2.5.1 Ramenové broušící stroje | 22 |
| 2.5.2 Mostové brusky | 22 |
| 2.5.3 Jednoučelové broušící linky | 22 |
| 2.5.4 Obráběcí centra..... | 22 |
| 2.6 Manipulační zařízení | 23 |
| 2.7 Úchopné hlavy pro robotická ramena..... | 23 |
| 2.7.1 Mechanické hlavy | 24 |
| 2.7.2 Podtlakové úchopné hlavice | 24 |
| 2.8 Jednoučelové broušící linky | 24 |
| 2.8.1 Firma Keller..... | 25 |
| 2.8.2 Firma Lingl | 26 |
| 2.9 Druhy dopravníků..... | 27 |
| 2.9.1 Pásové dopravníky..... | 27 |
| 2.9.2 Článekové dopravníky..... | 28 |
| 3 Analýza problému a cíl práce..... | 29 |
| 3.1 Analýza problému..... | 29 |
| 3.2 Cíl diplomové práce | 29 |
| 4 Koncepční řešení | 31 |
| 4.1 Varianta I, broušící automat | 31 |
| 4.1.1 Varianta Ia | 31 |
| 4.1.2 Varianta Ib | 32 |
| 4.2 Varianta II, pevné upnutí | 32 |
| 4.3 Varianta III, pevné upnutí naležato | 34 |
| 4.4 Varianta IV, řetězová linka..... | 35 |
| 4.5 Varianta pohonu lineární osy..... | 36 |
| 4.6 Vedení lineární osy | 37 |
| 4.7 Odměrování polohy | 38 |
| 4.8 Rám..... | 38 |
| 4.9 Způsoby realizace dopravníku..... | 38 |
| 4.10 Volba motoru pro dopravník | 39 |
| 5 Konstrukční řešení | 40 |
| 5.1 Technologie broušení a obsluha stroje | 40 |
| 5.1.1 Technologie broušení | 40 |
| 5.1.2 Obsluha stroje..... | 41 |
| 5.2 Konstrukce broušící linky..... | 41 |

| | |
|--|-----------|
| 5.2.1 Uložení hlavního brusného motoru..... | 41 |
| 5.2.2 Výkon hlavního motoru | 42 |
| 5.2.3 Kontrola velikosti krouticího momentu krokového momentu..... | 43 |
| 5.2.4 Upnutí brusných kotoučů na brusném motoru..... | 43 |
| 5.2.5 Upnutí cihel..... | 46 |
| 5.2.6 Pohon dopravníku | 48 |
| 5.2.7 Rám stroje | 59 |
| 5.3 Krytování a chlazení stroje | 60 |
| 5.3.1 Krytování | 60 |
| 5.3.2 Chlazení a filtrace | 60 |
| 5.3.3 Elektronika a řízení | 63 |
| 5.3.4 Předběžný výpočet ceny | 64 |
| 5.4 Modální analýza zařízení | 65 |
| 5.5 Kontinuální linka | 67 |
| 6 Diskuze..... | 70 |
| 7 Závěr | 73 |
| 8 Seznam použitých zdrojů | 74 |
| 9 Seznam použitých zkratk, symbolů a veličin | 77 |
| 10 Seznam obrázků a grafů..... | 79 |
| 11 Seznam tabulek | 81 |
| 12 Seznam příloh..... | 82 |

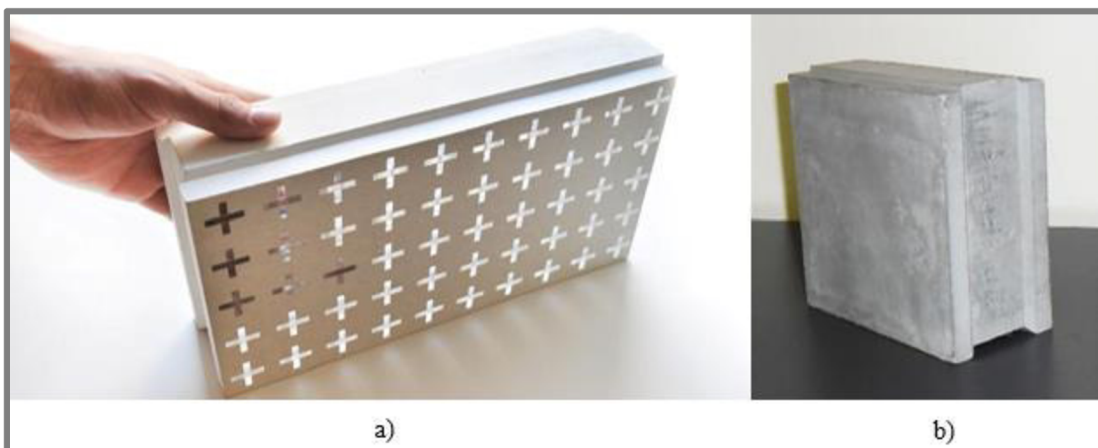
1 ÚVOD

Betonové cihly LiCrete (Obr. 1-1a) jsou novinkou mezi stavebními materiály. Jsou vyrobeny z betonu a světlo propustných prvků, které tvoří vnitřní světlovod. Cihly dokáží propustit vysoké procento denního i umělého světla a tím nechají vyniknout světelným efektům. Díky revolučním vlastnostem přinesou nadčasový design, nové možnosti ve světě architektury i interiérového designu. Cihly jsou vhodné především k výstavbě interiérových příček [1].

Cihly se lepí pomocí polyuretanové pěny na sebe jako poslední krok stavby. Proto se klade veliký důraz na přesnost a vzhled cihel. Na obrázku 1-2 je zjednodušený postup výroby. Prvním krokem je sestavení plastových světlopropustných prvků spolu s formou. Následuje zalití betonem a ponechání formy vyzrát 24 až 48 hodin. Na obou pohledových plochách vznikne nestejněměrný přídavek, který je nutno obrousit a následně cihly vyleštit (Obr. 1-1b), aby světlo propustné prvky získaly průhlednost. Obě operace probíhají za mokra.

V současné době výroba těchto cihel není automatizována a vyrábí se ručně. Z tohoto důvodu je cena cihel velmi vysoká a výroba nedosahuje potřebné kvality. Cílem je navrhnout produktivnější zařízení pro konečné opracování cihel LiCrete.

Jak už z textu vyplývá, bude nutné navrhnout zařízení i technologický postup opracování, aby se dodržela stanovená šířka cihly. V diplomové práci budou navrženy koncepční návrhy. Jeden z nich bude rozpracován a vyroben jako prototyp pro otestování zvoleného způsobu.



Obr. 1-1 a) Betonová cihla LiCrete [1] b) Neobroušená poloviční cihla



Obr. 1-2 Technologický postup výroby cihel LiCrete [34]

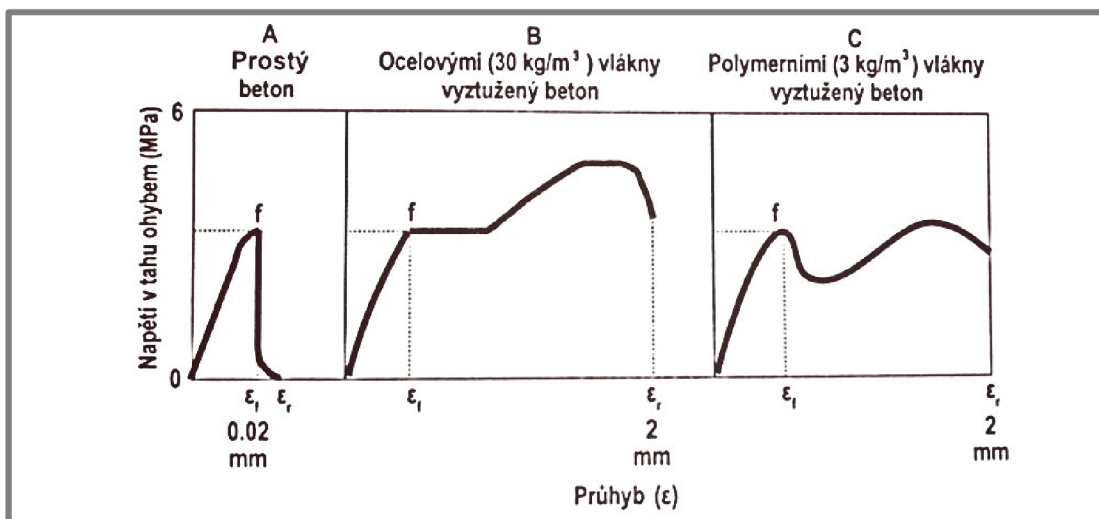
2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

2.1 Vlastnosti betonu

Beton se skládá ze dvou hlavních složek, kamenů a cementové matrice, která spojuje a obaluje jednotlivá zrna kameniva. Kamenivo se skládá především z písku a štěrku. Cementová matrice nebo také cementová pasta se skládá z cementu a vody. Nejznámější a nejvíce používaný je Portlandský cement. Mimo tyto hlavní složky se do betonu přidávají tekuté chemické přísady, práškové minerální přísady a kovová nebo polymerní vlákna. Beton je kompozitní materiál a má dobré vlastnosti v tlaku, ale za působení tahu nebo smyku nedosahuje uspokojivých výsledků [2].

Přidání vláken do betonu se zlepši tahová pevnost (Obr. 2-1), zamezí se tvorbě a šíření trhlin, zvýší se rázová pevnost a odolnost proti abrazi. Chemické složení, tvar a obsah vláken v betonu má vliv na výsledné mechanické vlastnosti. Vlákna mohou být polymerní, kovová, skelná atd. [2].

Vložení skelných a celulózových vláken do betonových cihel LiCrete se zvýšila tahová pevnost a zamezilo se vzniku vlasečnicových trhlin, které vznikaly u prvního návrhu cihel.



Obr. 2-1 Vliv vláken na průhyb betonu na napětí v tahu ohybem [2]

2.2 Broušení a leštění kamene

Opracování kamene se řídí normou TNSK 01/1992 a dělí se do tří skupin podle vzhledu a způsobu opracování na [3]:

- Hrubá kamenická výroba (HKV)
- Čistá kamenická výroba (ČKV)
- Ušlechtilá kamenická výroba (UKV)

Pro opracování cihel je vhodné broušení, které se řadí do ušlechtilé kamenické výroby. V tabulce 2-1 je výpis, co patří do ušlechtilé kamenické výroby.

Tab. 2-1 Ušlechtilé úpravy [3]

| Typ operace | Specifikace |
|-----------------------------------|---|
| Broušená povrchová úprava | Brousící disk s karbidem křemíku s cílem zajistit plochý jednotlivý vzhled |
| Hrubě broušená povrchová úprava | Hrubé broušení SiC zrnitostí F. 60, cílem je odstranit nerovnosti |
| Středně broušená povrchová úprava | Střední broušení SiC zrnitosti F. 120 |
| Jemně broušená povrchová úprava | Jemné broušení SiC zrnitost F. 220 |
| Matově broušená povrchová úprava | Jemné broušení SiC zrnitost F. 400, plochý jednolitý a neleštěný povrch |
| Leštěná povrchová úprava | Po úpravě leštícím kotoučem nebo plstí |
| Voskovaná povrchová úprava | Přirozené dutiny zaplněné cement, šelakem, pryskyřicí nebo jinými materiály |

2.2.1 Broušení

Broušení je efektivní při použití brusiva vyšší tvrdosti, než je mikrotvrdost minerálů kamene a přírodního pojiva minerálů. Také vysoká tvrdost brousících zrn zaručí delší životnost segmentů. Tvar brusného zrna hodnotíme podle množství řezných hran a rohů. Otupené hrany a rohy je nutné včas nahradit a tím obnovit řezivost nástroje. Obnova řezivosti je závislá na pevnosti vazby, která se volí podle broušeného materiálu. Pro dobrou funkci brousícího kotouče je také důležité odplavování rozrušeného materiálu z plochy. U brousících těles s velmi pevnou a hutnou strukturou dochází k menšímu opotřebení brousícího tělesa, ale dosahují menších objemů obroušené plochy, proto brousí pomaleji. U brousících těles s velmi pórovitou strukturou, volný prostor způsobuje snadnější vyplavování obroušeného materiálu a tím brousící tělesa brousí rychleji, ale i rychleji dochází k opotřebení a tím rostou náklady na broušení [4].

Jako brusivo pro broušení kamene se využívá syntetický materiál SiC – karbid křemíku s obchodním značením Carborundum Elektrite nebo diamantové nástroje vyráběné ze syntetických diamantů. Pro diamantové nástroje horší kvality užíváme název „diabortové nástroje“. Diabortová zrna jsou vázána kovovým pojivem s kovovou vazbou s předepsanou koncentrací zrn [4].

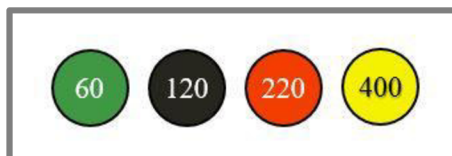
Značení zrnitosti je podle normy FEPA. Pro strojní broušení se využívá vázané brusivo, které je tvořeno práškem SiC, pojivem a prvky korigující vlastnosti brusiva.

U brousícího tělesa sledujeme [4]:

- Zrnitost podle FEPA (velmi hrubá až extra jemná)
- Tvrdost pojiva (velmi měkká až zvlášť tvrdá)
- Sloh (velmi hutný až zvlášť pórovitý)
- Typ pojiva (keramické, silikátové, magnezitové, umělá pryskyřice)

Zrnitostí podle FEPA je vyjádřena stupnice třídění (Obr. 2-2). Tvrdost pojiva má vliv na uvolnění opotřebeného zrna. U málo pevného pojiva se zrna uvolní předčasně, ještě před plným využitím. Na druhou stranu pevné pojivo udržuje dlouho otupěná zrna v nástroji.

Broušící segmenty, které mají hutný sloh, hůře odvádějí kal a pomaleji brousí. Výkon broušení je ovlivňován všemi uvedenými parametry. Rozhoduje i přítlak, odplavování kalu z prostoru mezi zrny, rychlost otupění hran na zrnech a tvrdost pojiva [4].



Obr. 2-2 Příklad značení zrnitosti FEPA [4]

2.2.2 Brusné hlavy

Využívá se vázané brusivo, z kterého se tvoří brusná hmota a ta se tvaruje do různých segmentů. K broušení se využívají brusné hlavy, které jsou tvořeny z jednotlivých segmentů. Segmenty obsahují vázané brusivo například zrna karbidu křemíku (SiC) s vazbou, která nejvíce vyhovuje obráběnému materiálu [4].

Tvar broušících tělísek je dán typem brusné hlavy:

Brusný kotouč

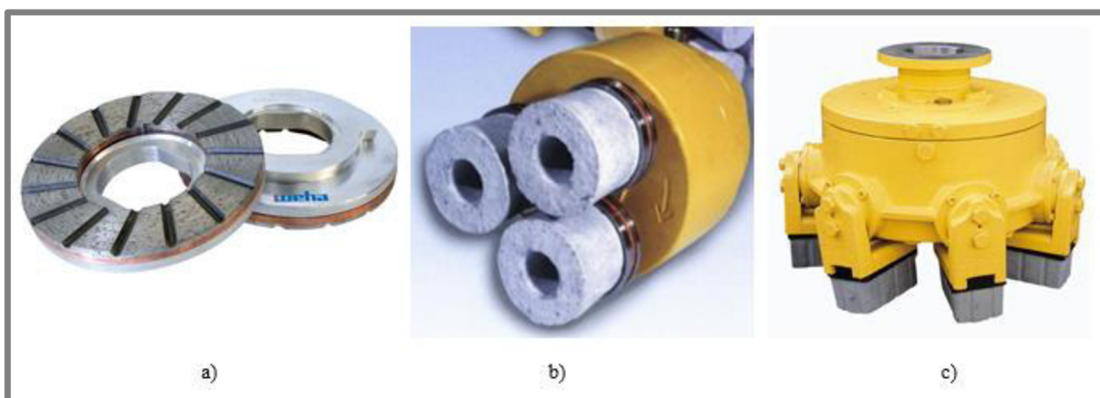
Jedná se o brusný kotouč, kde středem je přiváděna chladicí voda. Kotouč je určen pro mostové brusky a broušící linky (Obr. 2-3a) [4].

Planetová hlava.

Po obvodu hlavy obíhají satelitní planetky a to v protipohybu rotující hlavy. Planetka tvoří miskou, na kterou se lepí pomocí tmelu segmenty. Středem planetky se přivádí voda, která odvádí obroušený materiál a odvádí teplo. Hlava je určená pro mostové brusky a broušící linky (Obr. 2-3b) [4].

Hlava s výkyvnými rameny (Wackelkopf).

Při rotačním pohybu hlavy jsou na bočních výstupech vykyvována ramena s tvarovými brusky tvaru částí válce. Tento typ hlavy (Obr. 2-3c) je vhodný pro mostové brusky a broušící linky [4].



Obr. 2-3 a) Brusný kotouč [26] b) Planetová hlava [28] c) Hlava Wackelkopf [27]

2.2.3 Technologický postup broušení

Obvykle broušení tvrdých kamenů vyžaduje pět stupňů broušení (Obr. 2-4). Pro měkké kameny (vápenec a mramory) postačí pouze čtyři stupně broušení. Broušení probíhá postupně na více stupních brousících hlav, následující hlava vždy zahradí stopy po předchozím broušení [4].

Stupeň je definován použitím brusiva SiC dané zrnitosti a s označením F:

| | | |
|----------------------------|--|-------|
| 1. hrubě broušený povrch | brusivo SiC | F 60 |
| 2. středně broušený povrch | brusivo SiC | F 120 |
| 3. jemně broušený povrch | brusivo SiC | F 220 |
| 4. matově broušený povrch | brusivo SiC | F 400 |
| 5. leštěný povrch | leštící kotouč nebo plst' s leštícím práškem | |

Obr. 2-4 Postup broušení [4]

2.3 Broušení a leštění PMMA

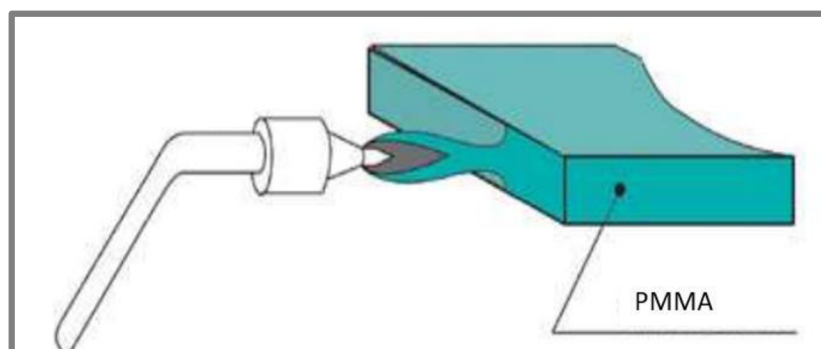
2.3

Pro broušení polymethylmethakrylátu (PMMA) je doporučeno postupovat ve třech krocích a za mokra. První krok je hrubé broušení se zrnitostí F 60. Druhý krok je střední broušení se zrnitostí F 220 a třetím krokem je jemné broušení za mokra, se zrnitostí F 400 až F 600, kterým se zabrání trhlinám z vnitřního pnutí. Při broušení není nutný velký přítlak. Poté následuje leštění. Při strojním leštění je nutné si dát pozor na teplo vznikající třením a použít jen velmi měkké leštící látky [5].

2.3.1 Leštění plamenem

2.3.1

Plamen z hořáku se směřuje do místa leštění (Obr. 2-5). Vlivem vysoké teploty se povrch PMMA jemně spaluje a dochází k zatáhnutí povrchu, který zesklovává a dosáhne optického lesku. Při neodborném nebo nezkušeném zahřívání může dojít k vzplanutí a následné tepelné deformaci výrobku, proto je zvládnutí této technologie obtížné [6].



Obr. 2-5 Leštění plamenem [6]

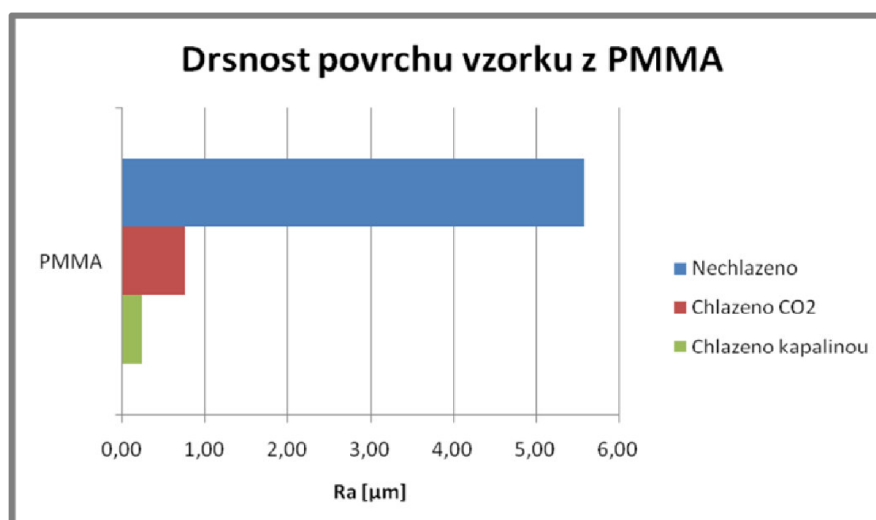
2.3.2 Vliv změny teploty na drsnost povrchu

Jiří Mrlík [7] hodnotil v bakalářské práci (Tab. 2-2, Obr. 2-6) jak velký vliv má druh chladiva na obroušenou plochu PMMA. Broušená plocha měla rozměry (50 x 10) mm. Vzorky byly broušeny brusným kotoučem 98A 60K 9V 01. Jednalo se o kotouč z umělého korundu s keramickým pojivem. Otáčky kotouče byly $2\,550\text{ min}^{-1}$, hloubka záběru 0,04 mm a rychlost posuvu $14\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. První experiment byl proveden bez chlazení. Druhý experiment byl proveden s chlazením CO_2 v plynném skupenství a vzorky byly schlazeny pouze před broušením, během broušení nebylo možné vzorky chladit. V třetím experimentu byly vzorky chlazeny i během broušení obráběcím olejem Polybio 420 [7].

Tab. 2-2 Vliv chladiva na drsnost povrchu [7]

| Č. měření | Nechlazeno | | Chlazeno CO_2 | | Chlazeno kapalinou | |
|---------------------|----------------------|----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | Ra [μm] | Rz [μm] | Ra [μm] | Rz [μm] | Ra [μm] | Rz [μm] |
| 1 | 4,15 | 24,46 | 0,79 | 5,03 | 0,25 | 2,32 |
| 2 | 4,64 | 30,12 | 0,82 | 5,15 | 0,25 | 2,03 |
| 3 | 6,57 | 37,22 | 0,86 | 5,65 | 0,21 | 2,02 |
| 4 | 5,18 | 29,05 | 0,82 | 5,31 | 0,22 | 1,89 |
| 5 | 6,72 | 38,57 | 0,70 | 4,14 | 0,22 | 1,93 |
| 6 | 6,64 | 38,87 | 0,59 | 4,70 | 0,37 | 3,88 |
| 7 | 4,06 | 27,57 | 0,75 | 4,78 | 0,31 | 2,41 |
| 8 | 6,74 | 39,36 | 0,71 | 4,49 | 0,24 | 1,88 |
| 9 | 5,48 | 28,84 | 0,59 | 4,28 | 0,10 | 0,72 |
| 10 | 6,38 | 35,25 | 0,77 | 5,27 | 0,23 | 2,35 |
| 11 | 5,22 | 32,19 | 0,88 | 5,55 | 0,22 | 1,87 |
| 12 | 5,81 | 32,84 | 0,77 | 4,98 | 0,22 | 1,97 |
| 13 | 5,75 | 32,81 | 0,63 | 3,84 | 0,21 | 1,60 |
| 14 | 5,07 | 29,78 | 0,76 | 4,64 | 0,18 | 1,72 |
| 15 | 5,39 | 34,57 | 0,83 | 5,49 | 0,20 | 2,10 |
| Průměrná hodnota | 5,59 | 32,77 | 0,75 | 4,89 | 0,23 | 2,05 |
| Směrodatná odchylka | 0,8681 | 4,3601 | 0,0885 | 0,5226 | 0,0568 | 0,6236 |

Z testu vyplývá, že pro dosažení lepší kvality povrchu je nutné při broušení PMMA součást chladiť v celém procesu broušení.



Obr. 2-6 Graf drsnosti povrchu na druhu chladiva [7]

2.4 Kalové hospodářství

2.4

Strojní kamenická výroba pracuje výhradně ve vodním režimu. Znehodnocená voda se musí obnovit čištěním. V znehodnocené vodě se nachází kaly příližně podle tabulky 2-3.

Voda při opracování kamene zajišťuje chlazení nástroje, oplachuje nástroj mimo řez, vyplachuje prostor mezi pracovním břitem nástroje a kamenem a splavuje kal pryč z obrobku. Spotřeba vody (Tab. 2-4) je udávána výrobcem nástrojů a ovlivňuje výkonnost broušení [8].

Tab. 2-3 Zrnitost kalů v rozměrovém i procentuálním zastoupení [8]

| velikost zrna mm | kaly v % | | |
|---------------------|-----------------|------------------|---------|
| | tvrdé materiály | | mramory |
| | od brusek | od listových pil | |
| přes 1,000 | 0 | 0,2 | 0,55 |
| 0,500 –1,000 | 0,1 | 0,7 | 0,5 |
| 0,200-0,500 | 0,7 | 2,7 | 0,53 |
| 0,100-0,200 | 1,55 | 3,25 | 0,71 |
| 0,075-0,100 | 2,6 | 5,5 | 0,6 |
| 0,075-0,050 | 4,1 | 18,5 | 2,62 |
| do 0,050 | 90,95 | 68,75 | 94,49 |

Tab. 2-4 Spotřeba vody a obsah pevných látek v kalové vodě [8]

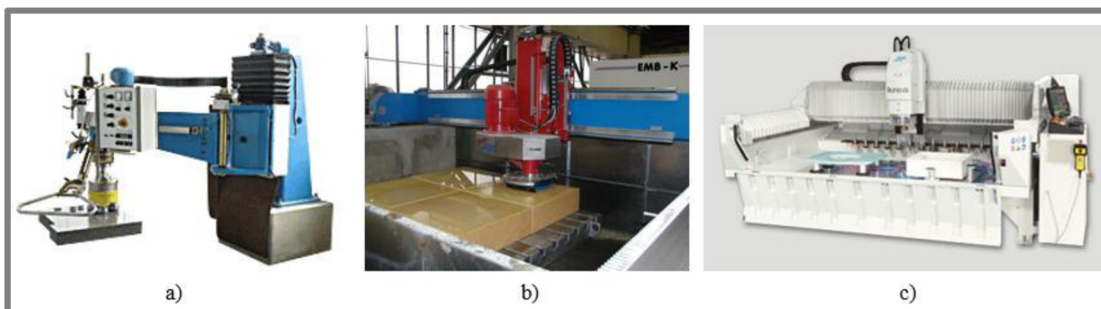
| | |
|---|------------------------|
| Přibližná spotřeba vody u mostové brusky s průměrem brusného kotouče 300 mm | 20 l·min ⁻¹ |
| Průměrný obsah pevných látek v kalové vodě při broušení | 25 g·l ⁻¹ |

2.5 Stroje pro opracování betonu

Stroje používané v kamenoprůmyslu jsou vhodné i pro opracování betonu. Jedna z možných variant je vybrat některý stroj a navrhnout efektivní výměnu cihel.

Brousicí stroje se dělí na [9]:

- Brousicí ramena
- Brousicí automat (typ mostových brusek)
- Jednoučelové brousicí linky (vícehlavé brusky)
- Obráběcí centra



Obr. 2-7 a) Brousicí rameno [3] b) Mostová bruska [4] c) CNC obráběcí centrum KREA [5]

2.5.1 Ramenové brousicí stroje

Ramenové brousicí stroje (Obr. 2-7a) patří mezi nejstarší stroje. Obsluha vyžaduje přímé nasazení pracovníka. Stroj má univerzální použití a není omezen na délce, šířce ani výšce broušeného kamene, protože rameno lze zavěsit na libovolnou sloupovou nosnou konstrukci [9].

2.5.2 Mostové brusky

Mostové brusky (Obr. 2-7b) brousí především kamenné desky a rovinné plochy. Stroj má jedno vřeteno s brousicí hlavou. Stroj je vhodný pro broušení nebo leštění velkých ploch. Řízení je automatické, pouze je nutné měnit nástroje. Na jednom stroji postupně nasazují všechny brousicí stupně od broušení až po leštění. Výhodou je univerzální použití stroje [9].

2.5.3 Jednoučelové brousicí linky

Jedná se o speciální stroje pro broušení. Materiál je dopravován po válečkové trati nebo pásem pod brousicí hlavy. Vyšší rychlost dopravního cyklu umožňuje použití většího počtu hlav. Slouží k sériové výrobě typizovaných výrobků. Dosahují největších výkonů, ale nejsou univerzálně použitelné [9].

2.5.4 Obráběcí centra

Obráběcí centra (Obr. 2-7c) se používají pro tvarově složitější desky. Ovládání centra je plně automatické [9].

2.6 Manipulační zařízení

Pro první návrh bude sloužit manipulační vozík s rychlou výměnou a otočením více cihel naráz pro brousíci automat. Zde bude nutné vyřešit celkovou konstrukci, zvedací mechanismus (Obr. 2-8a), systém dostatečného upnutí (Obr. 2-8b) a způsob otáčení cihel.




Obr. 2-8 a) Příklad zvedacího mechanismu [33] b) Příklad rychloupínky [32]

2.7 Úchopné hlavy pro robotická ramena

Druhé řešení dokončovacích operací cihel bude opět řešeno pomocí brousíciho automatu, ale zde dojde k zvýšení stupně automatizace, kdy naskládání a otáčení cihel bude řešit robotické rameno s vhodně zvolenou upínací hlavou. Proto jsou zde více rozepsány pouze upínací hlavy, které jsou vhodné pro upnutí cihel.

Úchopná hlava (efektor) se podle charakteru styku dělí na mechanickou, magnetickou, podtlakovou a třecí (Tab. 2-5) [13].

Tab. 2-5 Rozdělení efektorů podle druhu uchopení objektů [29]

| Typ efektoru | Typ pohonu | Příklady |
|--------------|--------------------|--|
| Mechanické | Elektrické |  |
| | Pneumatické | |
| | Hydraulické | |
| Podtlakové | Ejektory |  |
| | Sací ventily | |
| | Pneumatické pumpy | |
| Magnetické | Permanentní magnet |  |
| | Elektromagnet | |
| Třecí | Lepivé plochy |  |
| | Tvárné chapadla | |
| | Jehly | |

Úchopná síla musí být dostatečně veliká, aby bylo zaručeno bezpečné držení objektu ve všech fázích pohybu, kde mohou působit tíhové, setrvačné a odstředivé síly [13].

Při konstrukci úchopových prvků je nutné splnit tyto požadavky jako je [13]:

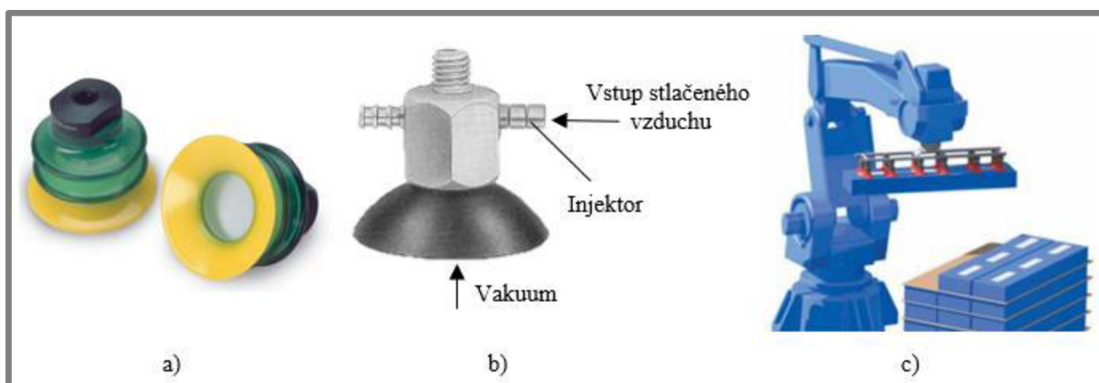
- Vyvození dostatečné úchopné síly podle podmínek činnosti
- Zaručení přesnosti polohy uchopení objektu
- Možnost kompenzace polohy a orientace
- Minimální hmotnost a rozměry úchopných prvků

2.7.1 Mechanické hlavy

Mezi nejjednodušší prostředky k zachycení objektů při přenášení patří různé typy tvarových nůžek, čepy, vidlice, háky, pružné čelisti apod., které se označují jako pasivní mechanické úchopné hlavice. Aktivní mechanické úchopné hlavice jsou označovány jako mechanická chapadla. Při manipulaci s objekty se nejvíce uplatňují úchopné hlavice se dvěma aktivními prvky. Otevírání a zavírání čelistí lze řešit pneumaticky, hydraulicky nebo pomocí elektromotoru [13].

2.7.2 Podtlakové úchopné hlavice

Jedná se o pryžové deformační přísavky. Dělí se na pasivní a aktivní podtlakové prvky. U pasivního prvku se vyvodí úchopná síla po přitlačení přísavky na povrch (Obr. 2-9a). Deformací se zmenší objem vnitřního prostoru a při zpětném pohybu vzniká podtlak. Pro bezpečné uchopení je podmínkou vysoká těsnost styku [13].



Obr. 2-9 a) Měchová přísavka (pasivní prvek) [30] b) Přísavka s ejektorem [31] c) Příklad použití [30]

Kde není zaručen dostatečně hladký povrch, tam se používají aktivní úchopové prvky. Podtlak se vytvoří vývěvou nebo ejektorem. Při použití vývěvy se připojuje na společné odsávací vedení i více podtlakových komor. Běžný rozsah tlaku vývěv je (30 až 80) kPa. Pro úchopné hlavice s ejektorem jsou dva způsoby řešení. První možnost je připojení několika podtlakových komor na jeden ejektor. Druhá možnost je vybavení každé podtlakové komory ejektorem (Obr. 2-9b). Výhoda druhé možnosti je výrazně nižší cena, ale nevýhodou je vysoká spotřeba vzduchu. Příklad použití je uveden na obrázku 2-9c [13].

2.8 Jednoúčelové broušící linky

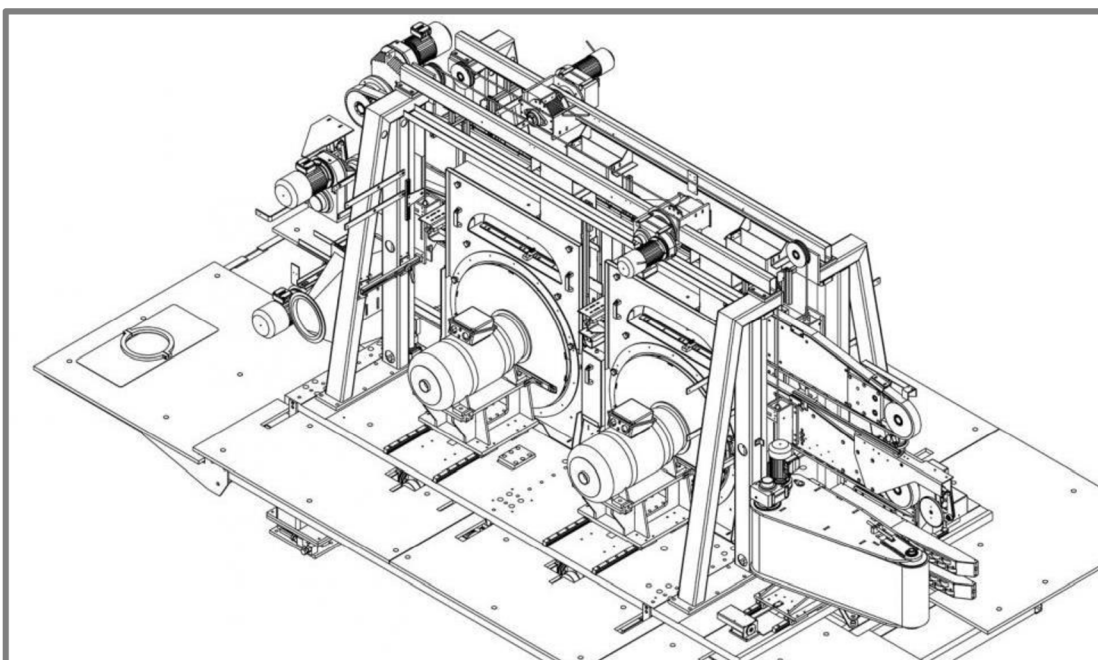
V současnosti se na trhu brousí hliněné cihly pro přesné ustavení. Tyto linky brousí výšku hliněných cihel a tvárnic pro pozdější přesné ustavení cihel při stavbě.

Nevýhodou je, že tyto stroje pracují za sucha a nedisponují možností vyšší kvality opracování povrchu cihel, slouží pouze pro hrubé broušení.

2.8.1 Firma Keller

2.8.1

Firma Keller se zabývá návrhem a konstrukcí strojních zařízení pro logistiku a manipulaci v cihlářském průmyslu. Mimo jiné navrhuje zařízení pro broušení hliněných cihel a tvárnic (Obr. 2-10) [14].



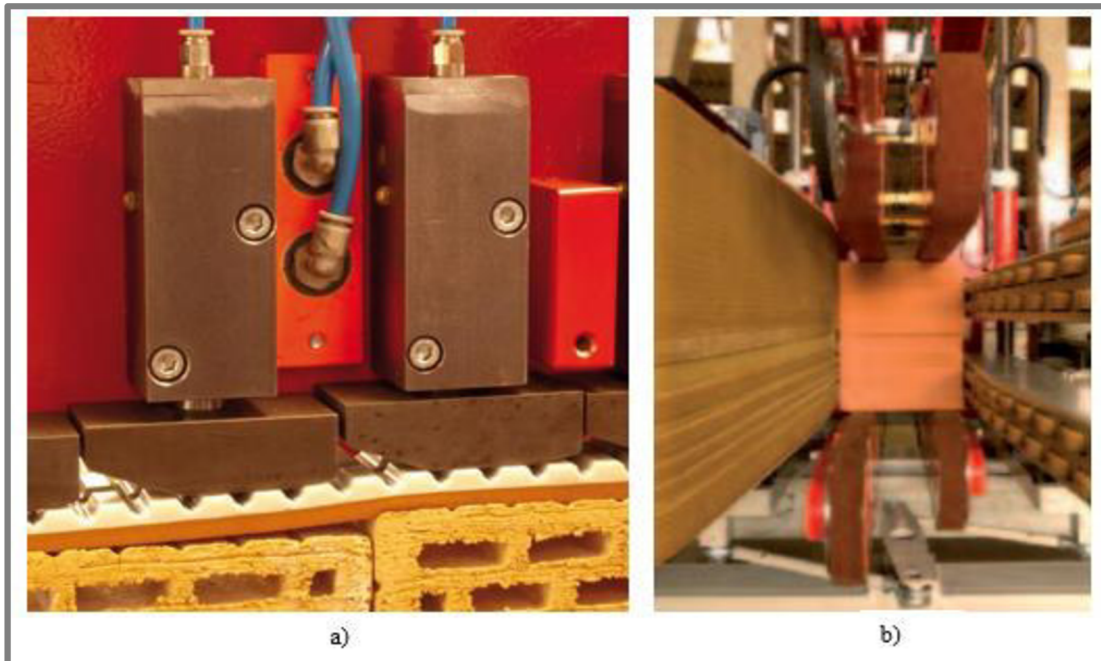
Obr. 2-10 Broušící linka od firmy Keller [14]

Keller HCW

Jedná se o standardní zařízení pro broušení hliněných cihel za sucha s šířkou (219 až 249) mm. Cihly jsou upevněny mezi dva dopravní pásy (Obr. 2-11b). Horní pás je přitlačován pneumatickými písty a tím dojde k vyvození upínací síly a zároveň k vyrovnání výškové nepřesnosti cihel (Obr. 2-11a). Přitlačnou sílu lze změnou tlaku regulovat. Stroj obsahuje čtyři brusné jednotky umístěné naproti sobě. Brusný nástroj má průměr 650 mm. Měřicí systém laserově měří opotřebení nástroje a nastavuje polohou brusné jednotky pomocí servopohonu s krokem 0,03 mm. Doplnující parametry stroje jsou uvedeny v tabulce 2-6 [14].

Tab. 2-6 Parametry stroje Keller HCW [10]

| Keller HCW – standardní broušící stroj | |
|---|------------------------|
| Brusná šířka | 219 – 249 mm |
| Tolerance | +/- 0,2 mm |
| Brusná výška | 115 – 425 mm |
| Max. brusná rychlost | 15 m·min ⁻¹ |
| Příkon | 130 kW |



Obr. 2-11 a) Pneumatické přitlačování cihel [14] b) Způsob vedení cihel [14]

2.8.2 Firma Lingl

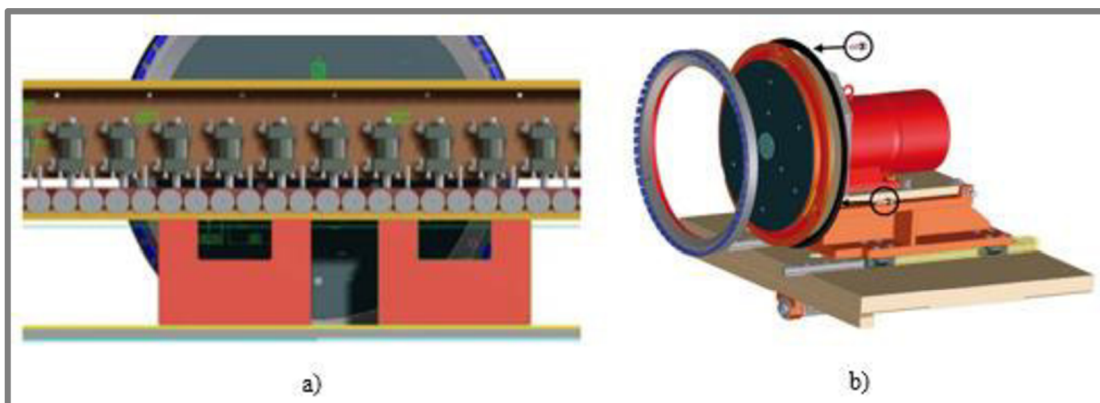
Tato firma se zabývá výrobou strojů a zařízení především pro cihlářský průmysl. Mezi jejich stroje patří modulární brusky pro broušení cihel (Obr. 2-12) [15].



Obr. 2-12 Broušící stroj firmy Lingl - 2 moduly [15]

Lingl broušící stroj PSZ

Jedná se o modulární zařízení pro broušení hliněných cihel za sucha. Cihly jsou dopravovány mezi dvěma dopravními pásy. Horní pás je přitlačován pneumatickými písty a tím dojde k vyvození přitlačné síly (Obr. 2-13a). Přitlačná síla lze změnou tlaku regulovat. Pro nastavení šířky cihly, se brusná jednotka (Obr. 2-13b) pohybuje po lineárním vedení. Broušení probíhá z obou stran zároveň. Doplňující parametry stroje jsou v tabulce 2-7. [15].



Obr. 2-13 a) Princip přitlačování cihel [15] b) Brusná jednotka [15]

Tab. 2-7 Parametry brousícího stroje Lingl [11]

| Lingl – brousící linka - 2 moduly | |
|-----------------------------------|--------------|
| Délka stroje | 4,31 m |
| Šířka stroje | 2,94 m |
| Výška stroje | 3,08 m |
| Celková hmotnost stroje | 12 000 kg |
| Výška stroje | 3,08 m |
| Brusná šířka | 125 – 500 mm |
| Brusná výška | 80 – 400 mm |
| Průměr brusného kotouče | 750 mm |
| Příkon | 215 kW |

2.9 Druhy dopravníků

2.9

Třetí návrh způsobu dokončovacích operací cihel bude řešen pomocí brousící jednoučelové linky. Jedná se o nejproduktivnější typ stroje. Proto je zde krátká rešerše o možnostech dopravy cihel.

Dopravník je strojní zařízení určené pro plynulou dopravu sypkých nebo kusových materiálů. Podle konstrukce se dělí na dopravníky s tažným elementem a bez tažného elementu [16].

Dopravníky s tažným elementem.

Dopravovaný materiál nevykonává žádný relativní pohyb vzhledem k tažnému elementu. Do této skupiny patří například dopravníky pásové, článkové a žlabové [16].

Dopravníky bez tažného elementu.

Dopravovaný materiál vykonává relativní pohyb vůči hnacímu prvku. Do této skupiny patří například dopravníky vibrační, šnekové, válečkové a dopravní skluzy [16].

2.9.1 Pásové dopravníky

2.9.1

Jsou vhodné pro přepravu sypkých i kusových materiálů. Nekonečný pás je tažným i nosným elementem pásového dopravníku (Obr. 2-14). Pás je poháněn bubnem a podpírán válečky nebo rovinnou plochou [16].

Pro pohon se nejčastěji používají elektromotory, které přes spojku s brzdou a převodovkou pohánějí hnací bubnu. Celé hnací ústrojí může být uloženo uvnitř hnacího bubnu [16].



Obr. 2-14 Příklad pásového dopravníku [40]

Napnutím pásu se zajišťuje přenos sil z pohánějícího bubnu na pás a omezuje prověšení pásu. K vyvození napínací síly je několik způsobů. Například tuhé napínací ústrojí, kde pohybem vratného bubnu pomocí šroubů vyvodíme potřebnou sílu. Druhá možnost je napínání s konstantní napínací silou, kde síla je vyvozena závažím. Další způsob je napínání s regulovatelnou napínací silou, kde napínací síla je regulována automaticky. Elektronicky se snímají otáčky bubnu a na základě velikosti skluzu akční člen zvyšuje nebo snižuje napínací sílu [16].

Válečky podpírají a vedou dopravní pás. Mají mít zanedbatelný odpor proti otáčení a nízkou hmotnost. Válečky musejí být staticky i dynamicky vyvážené. Váleček se skládá z pláště s navařenými čely, ve kterých jsou nalisována ložiska. Ložiska musejí být chráněna proti vnikání prachu a nečistot. Válečky se vkládají do válečkových stolic. Vzdálenost mezi válečky závisí na šířce pásu, ložném profilu a na druhu dopravovaného materiálu. Velká rozteč způsobí prověšení pásu, špatnou boční stabilitu, nepříznivý dynamický účinek i větší příkon dopravníku [16].

2.9.2 Článekové dopravníky

Dopravním prostředkem jsou oběžné řetězy s články. Tvar článků je dán druhem dopravovaného materiálu a účelem použití [16].

Článekový pás se skládá z tažného orgánu (článekový řetěz), podpěrných kladek a vedení. Podepření a vedení článekového pásu je buď kluzné, pro krátké dopravníky, nebo valivé. Pro pohon je nejčastěji použit jeden elektromotor. Napínání článekového pásu se provádí v místech nejmenšího tahu a je nutné dbát na rovnoměrné napnutí obou řetězů [16].

3 ANALÝZA PROBLÉMU A CÍL PRÁCE

3

3.1 Analýza problému

Cihla LiCrete je nový moderní designový prvek, který přinese nové možnosti v architektuře. V současné době se tyto cihly brousí ručně, což vede k nedostatečné kvalitě opracování a nízké produktivitě. Jak vyplývá z rešeršní části, na trhu není vhodný stroj pro opracování těchto cihel, který by měl požadované vlastnosti. Z rešerše vyplývá volba technologického postupu broušení a leštění cihel. Snahou je opracovat cihly na co nejméně technologických kroků. Navržený postup se ověří po výrobě zařízení. Nutno zdůraznit, že celý proces je chlazen vodou a na to je nutno myslet při návrhu stroje.

Z předchozí kapitoly vyplývá volba koncepčních řešení. Pro první dva návrhy řešení bude použit broušící automat. Velkou výhodou automatu je univerzálnost použití. Automat by mohl být využit i k opracování jiných betonových či kamenných rovinných dílů.

Z rešerše upínacích hlav pro průmyslové roboty, bude vybrán způsob upínání cihel a poté bude následovat konstrukční návrh druhé varianty. Upínání bude s mechanickou nebo podtlakovou úchopnou hlavou.

Pro třetí variantu byl proveden průzkum nabízených strojů na trhu, které se zabývají podobnou technologií broušení hliněných cihel. Následně byla provedena rešerše způsobů dopravy betonových cihel mezi broušící jednotky. Výhoda u pásového dopravníku je nižší cena, ale nevýhoda je, že v případě opotřebení části pásu je nutná výměna celého pásu. Výhodou článkového dopravníku je snadná výměna pouze porušeného článku.

Technologie broušení se bude skládat přibližně z šesti operací, které je nutné ověřit testem. Nejdříve se nahrubo obrousí přebytečný materiál a poté budou následovat jednotlivé operace leštění, kde každá další operace bude s vyšší zrnitostí kotouče. Mechanickým leštěním povrchu docílíme světelné propustnosti PMMA prvků. Chlazení bude vodou u všech operací. Leštění PMMA plamenem byla jako druhá možnost, ale bylo by složité zavádět další pracoviště s rozdílnou technologií.

Na závěr je uvedeno krátce kalové hospodaření. V případě návrhu broušící kontinuální linky bude nutné vyřešit přívod, odvod a čištění vody.

3.2 Cíl diplomové práce

3.2

Hlavní cílem diplomové práce je vyvinout zařízení pro broušení cihel LiCrete, včetně způsobu finálních úprav cihel. Výsledný návrh bude podložen výpočty a výkresovou dokumentací.

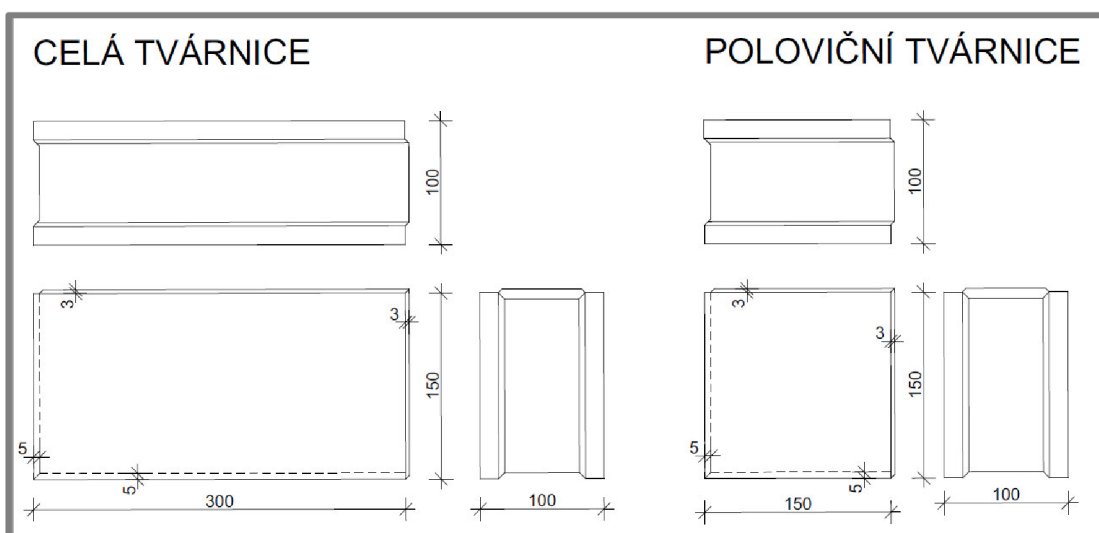
Dílčí cíle diplomové práce:

- Návrh technologického postupu broušení
- Zpracování výkresové dokumentace funkčního vzorku
- Ověření funkčnosti návrhu na prototypu
- Návrhová sestava zařízení pro sériovou výrobu

Diplomová práce se zabývá způsobem broušení betonových cihel. Důraz je kladen na jednoduchou obsluhu, tak aby byly dodrženy požadavky na produktivitu výroby cihel.

Zadání a parametry od zadavatele:

- Kapacita (10 – 100) m² cihel za den (celé i poloviční cihly)
- Rozměr cihel: (300 x 150 x 100) mm (Obr. 3-1)
- Hustota cihly: 1 200 kg·m⁻³
- Rozměrová přesnost šířka cihly: 0,2 mm
- Obrousit přídavek 5 mm, který je rozdělen nesymetricky
- Vzhled cihel: PMMA bez škrábanců, dostatečná světelná propustnost nesmí docházet k ulomení hran během procesu
- Po dokončovacích operacích nutný oplach cihel



Obr. 3-1 Rozměry cihly

Diplomová práce se dělí na dvě části. V první části je úkolem navrhnut prototyp zařízení pro broušení cihel, který bude splňovat obroušení 10 m² cihel za den. To odpovídá obroušení 220 cihel za den. Na tomto zařízení se otestuje zvolený způsob a navrhnu se provozní parametry zařízení. V druhé části diplomové práce bude uveden koncepční návrh zařízení s vyšší automatizací pro obroušení 100 m². Odpovídá to přibližně kapacitě 2 200 cihel za den.

4 KONCEPČNÍ ŘEŠENÍ

V této kapitole je sestaveno několik návrhů způsobů realizace broušení betonových cihel. V každé pod kapitole jsou zhodnoceny výhody a nevýhody každé varianty. Na závěr této kapitoly jsou uvedeny varianty komponent, které by se daly použít.

4.1 Varianta I, broušící automat

První možnost broušení cihel je použití broušícího automatu například pro broušení kamenných desek (Obr. 4-1 b). Při výměně a otáčení cihel ručně by tento postup byl pomalý a pracný, proto cílem by bylo vymyslet způsob rychlé výměny více cihel pro zvýšení kapacity výroby.

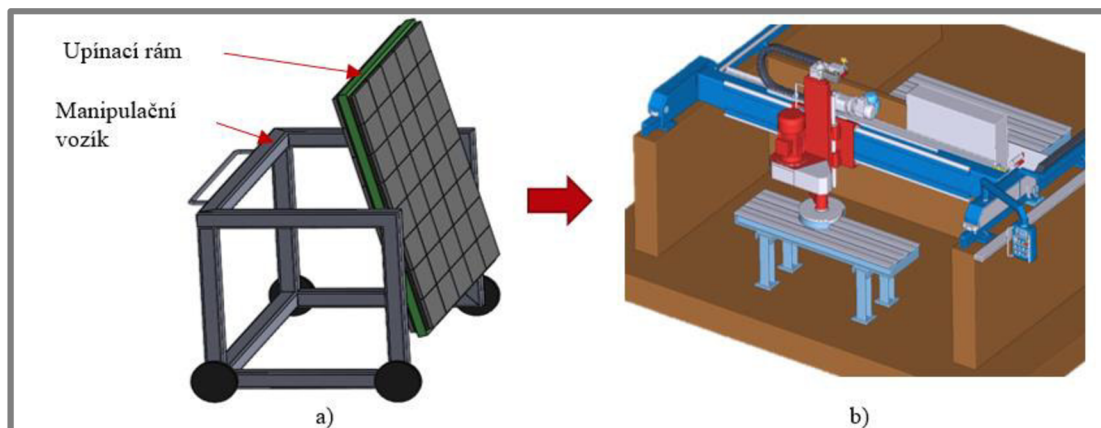
Technologický postup opracování cihel

Prvním krokem by se cihly obrousily na přesný rozměr nejprve z jedné strany. Cihly by se položily na rovnější plochu cihly, která byla při zpracování na dně formy a brousila by se ta méně přesná strana, která je pouze zarovnaná při výrobě zarovnávací lištou. Tento postup je důležitý pro výslednou přesnost. Hrubým broušením by se docílil postupně požadovaný rozměr. Stroj pracuje automaticky, nastaví se požadovaná výška materiálu k odebrání, výška třísky a rozměr opracovávané plochy. Následovalo by změření opracované výšky, vlivem opotřebování kotouče dojde k zvětšení skutečného rozměru, a provedl by se poslední kalibrační úběr. Poté by následovaly dokončovací operace s postupně zvyšující se hrubostí kotoučů. Předpokládá se použití přibližně pěti až šesti kotoučů. Po kompletně dokončené jedné strany by následovalo otočení cihel a stejný postup pro druhou stranu. Předběžně vypočtená maximální produktivita tohoto řešení je 15 m² při osmi hodinové směně. Vychází to při zadané rychlosti posuvu 4,5 m · min⁻¹, průměru kotouče 300 mm, čtyřech hrubovacích přejezdech a šesti dokončovacích přejezdů pro každou stranu. Ve výpočtu je také zahrnuta výměna kotoučů i výměna cihel.

4.1.1 Varianta Ia

Použití manipulačního vozíku (Obr. 4-1a). Cihly by se naskládaly a upnuly do rámu 5 x 8 cihel (1 500 mm x 1 200 mm), tak aby co nejlépe využily pracovní prostor stroje. Upínání cihel by proběhlo mimo pracovní stroj, obsluha by tak měla dostatečný čas na přípravu a snížily by se prostoje stroje.

Zde by bylo nutné vyřešit dostatečné pevné ustavení a upnutí cihel, ale zároveň aby bylo jednoduché a rychlé na výměnu cihel. Dále je nutné vymyslet otáčení rámu, aretaci ve vodorovné poloze a způsob zvedání. Upínací rám by nesměl přesahovat výšku cihly, tak aby bylo umožněno cihly brousit z obou stran, a musí být dostatečně tuhý, aby unesl váhu cihel 280 kg. Zhodnocení výhod a nevýhod je v tabulce 4-1.



Obr. 4-1 a) Manipulační vozík b) Brousicí poloautomat firmy Euromasiv [38]

Tab. 4-1 Výhody a nevýhody varianty Ia

| Varianta Ia | |
|------------------------------------|-----------------------|
| Výhody: | Nevýhody: |
| - dostatečné pro 10 m ² | - malá produktivita |
| - poloautomatické broušení | - náročné pro obsluhu |
| - univerzální použití stroje | |
| - levnější varianta | |

4.1.2 Varianta Ib

Tento způsob využívá automatizovatelného robota, který nahrazuje lidský zdroj. Robot by naskládal potřebný počet cihel na stůl, otáčel by je a vyměňoval. Zde by bylo nutné vyřešit způsob upnutí a otočení cihel na robotickém ramenu, tak aby splňovalo pevné a dostatečné upnutí. Obsluha by pouze kontrolovala správnou funkci stroje, vyměňovala palety cihel a měnila kotouče. Výhodou je výrazné zjednodušení obsluhy a nevýhodou je zvýšení pořizovací ceny (Tab. 4-2).

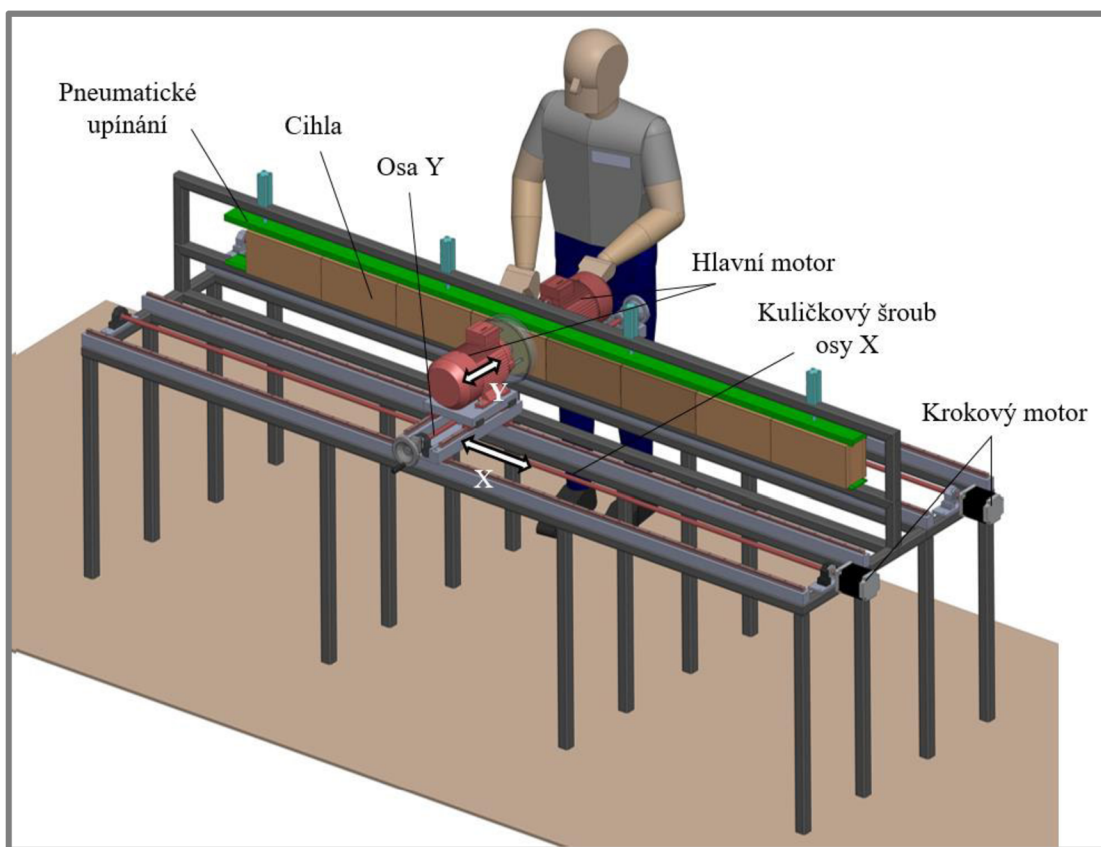
Tab. 4-2 Výhody a nevýhody varianty Ib

| Varianta Ib | |
|------------------------------------|---------------------|
| Výhody: | Nevýhody: |
| - dostatečné pro 10 m ² | - malá produktivita |
| - automatické broušení | - vysoká cena |
| - univerzální použití stroje | |
| - méně náročné na obsluhu | |

4.2 Varianta II, pevné upnutí

Jedná se o jeden pár brousících motorů, které se pohybují po lineárním vedením. Broušení probíhá z obou stran zároveň. Řada cihel je pevně upnuta pneumatickými válci, jak je znázorněno na obrázku 4-2.

Technologický postup broušení by se skládal z několika operací. Za prvé by se cihly naskládaly do řady na lištu, která má tvar negativu drážky cihly. Cihla by byla ze shora upnuta do podobné lišty tvaru negativu cihly a upnuta pneumatickými válci. Poté by pohyblivý support s motorem pohyboval ve směru X tam i zpět do té doby, než by se cihly obrousily na požadovaný rozměr. Poloha je nastavena pomocí krokového motoru. Přísuv ve směru Y je nastaven pomocí kuličkového šroubu. Po každém projetí se nastaví požadovaný úběr. Po obroušení nejhrubším kotoučem na požadovaný rozměr s přídavkem na zbývající operace následuje výměna kotouče, nastavení správného úběru a přejetí tam i zpět. Celkem je předpokládáno šest technologických operací se zvyšováním hrubosti kotoučů, kde první kotouč obrousí přídavek. Nakonec bude proveden oplach, osušení cihel a výměna cihel za nové neopracované. Zhodnocení výhod a nevýhod je v tabulce 4-3.

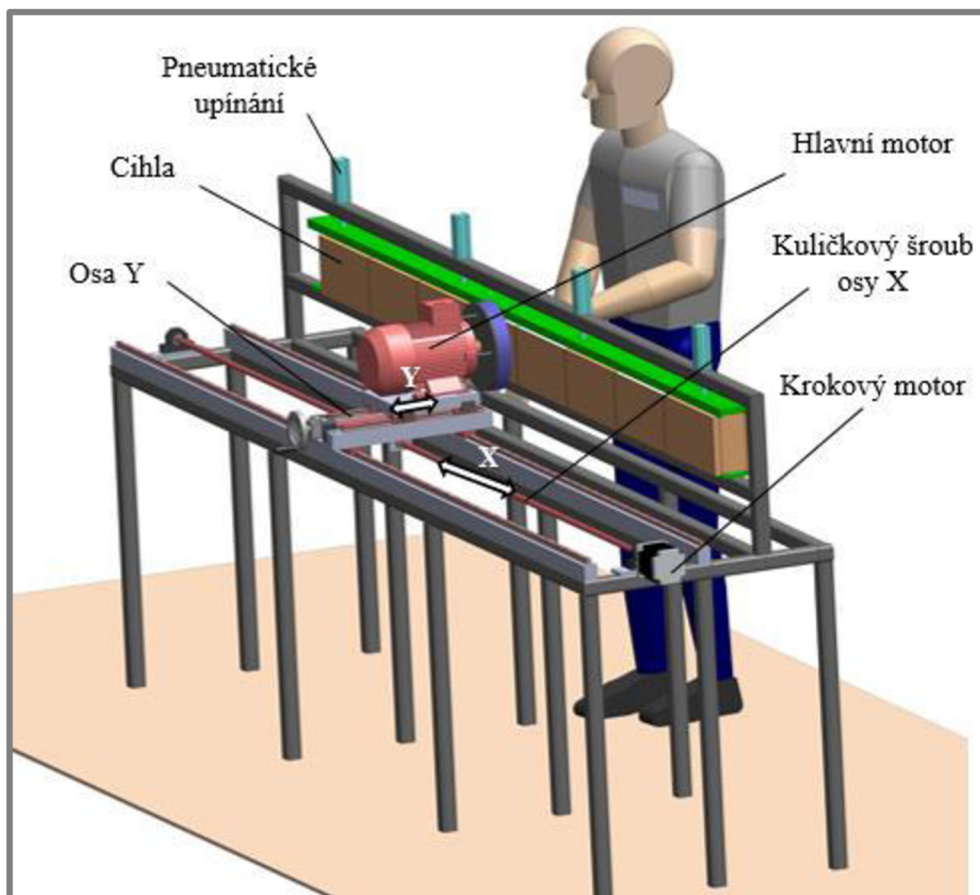


Obr. 4-2 Návrh varianty II

Tab. 4-3 Zhodnocení výhod a nevýhod druhé varianty

| Varianta II | |
|------------------------------------|-------------------------|
| Výhody: | Nevýhody: |
| - dostatečné pro 10 m ² | - malá produktivita |
| - nízký stupeň automatizace | - vyšší potřeba obsluhy |
| - nízká cena zařízení | - špatná výměna cihel |
| - jednoduchá údržba | |

U této varianty je problém s tím, že cihly se vkládají do upínacího zařízení přes lineární vedení suportu. Problém by se vyřešil použitím jednoho motoru (Obr. 4-3), cihly by se brousily pouze z jedné strany, ale klesla by produktivita. Po obroušení cihel z jedné strany na čisto by následovalo otočení cihel a obroušení z druhé strany nebo optimalizací stroje a zkrácením šířky lineárního vedení v ose X a tím zlepšení přístupnosti.

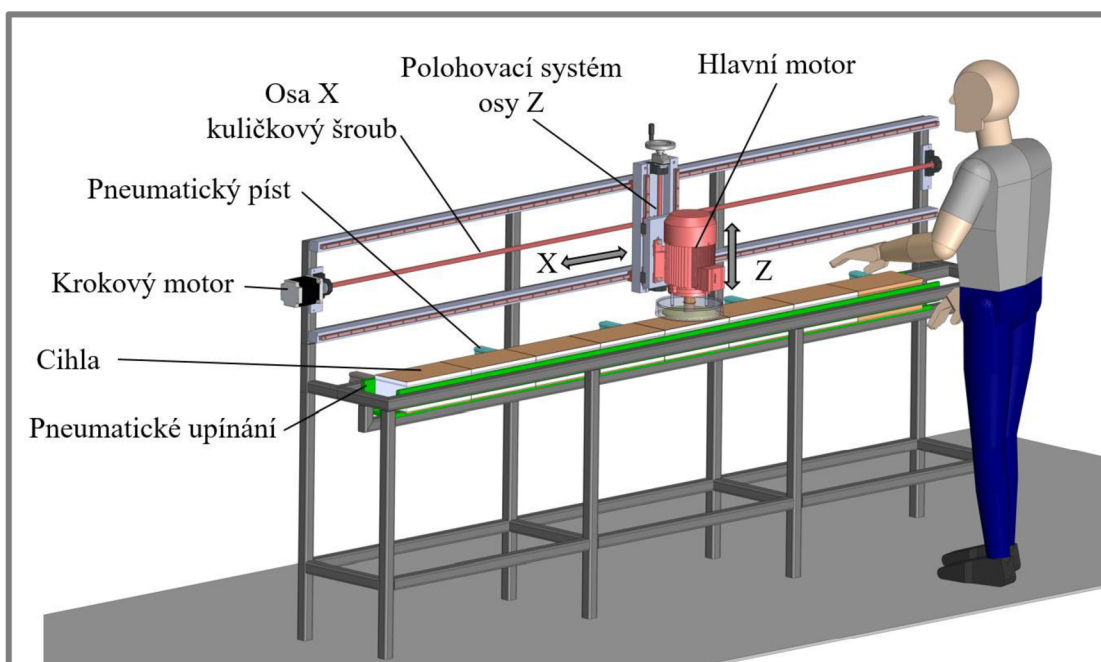


Obr. 4-3 Varianta II - zlepšení přístupu

4.3 Varianta III, pevné upnutí naležato

Druhá varianta se skládá z jednoho motoru. Broušení probíhá naležato. Technologický postup je velmi podobný jako v předchozí podkapitole. Rozdíl je pouze v tom, že nejdříve se na přesný rozměr všemi technologickými operacemi obrousí cihly z jedné strany a po otočení cihel bude probíhat broušení z druhé strany. Nakonec bude následovat oplach, osušení cihel a výměna cihel.

Jednoduché schéma je zobrazeno na obrázku 4-4. Výhody a nevýhody této varianty jsou v tabulce 4-6.



Obr. 4-4 Návrh varianty III

Tab. 4-4 Zhodnocení výhod a nevýhod varianty III

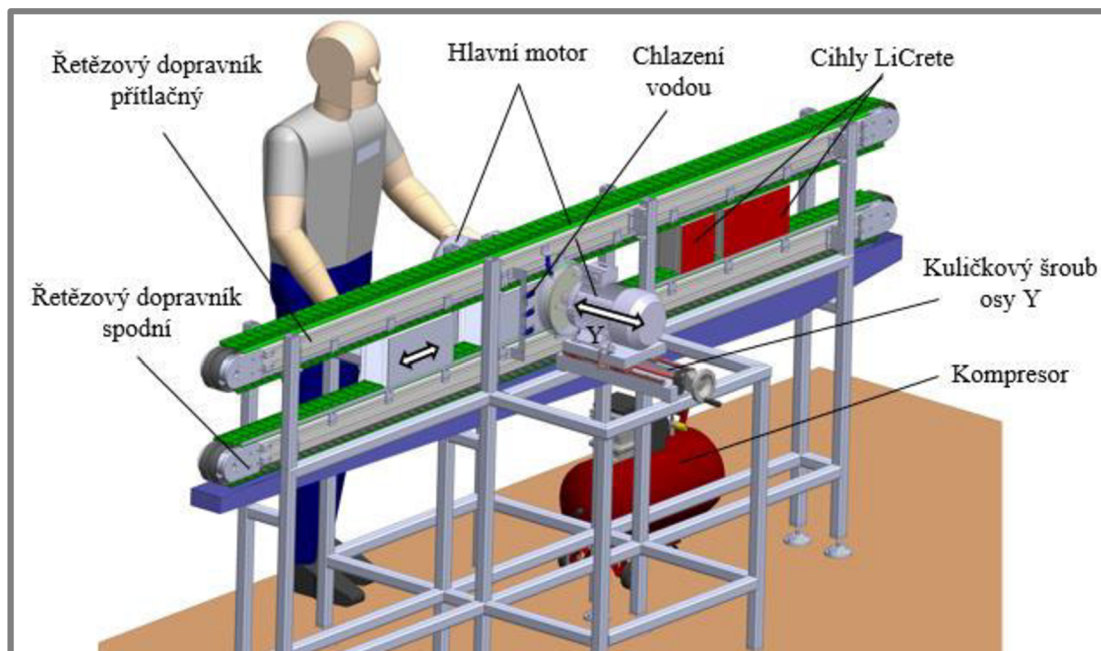
| Varianta III | |
|------------------------------------|-------------------------|
| Výhody: | Nevýhody: |
| - dostatečné pro 10 m ² | - malá produktivita |
| - nízký stupeň automatizace | - vyšší potřeba obsluhy |
| - nízká cena zařízení | |
| - jednoduchá údržba | |

4.4 Varianta IV, řetězová linka

4.4

Tato třetí varianta (Obr. 4-5) má potenciál pro vysokou produktivitu v případě osazení šesti páry brusných motorů pro kontinuální broušení. Prototyp se skládá ze dvou motorů.

Technologický postup pro tento prototyp je nepatrně rozdílný oproti předchozím dvou variantám. Podavač pustí na pás čtyři cihly. Na pásu budou projíždět cihly tam a zpět s potupným přísuvem motoru k sobě před každým průjezdem. Po obroušení cihel na požadovaný rozměr, krokový motor pustí cihly dále na dopravník. Takto se obrousí například 200 cihel, poté se vymění kotouč za jemnější a bude následovat kontinuální leštění cihel na jedno projetí. Takto se cihly vyleští přibližně pěti kroky s postupně se zvyšující se zrnitostí kotoučů. Po otestování se ověří dostatečný počet technologických kroků. Po každém průjezdu se cihly očistí vodou a vysuší vzduchem pro snadnější manipulaci. Výhody a nevýhody této varianty jsou shrnuty v tabulce 4-5.



Obr. 4-5 Návrh varianty IV

Tab. 4-5 Zhodnocení výhod a nevýhod čtvrté varianty

| Varianta IV | |
|------------------------------|------------------------|
| Výhody: | Nevýhody: |
| - vysoká produktivita | - vyšší cena |
| - vysoký stupeň automatizace | - náročnější na údržbu |
| - jednoduché na obsluhu | - náročné za výrobu |

4.5 Varianta pohonu lineární osy

Pro realizaci lineární osy je několik možností. Zde je krátce uvedeno několik z nich s popisem.

Kuličkový šroub a matice

Kuličkový šroub a matice zajišťuje lineární posuv. Povrch šroubu a matice je vybroušen a zakalen. Mezi maticí a šroubem obíhají kuličky, které snižují tření, a tím je dosaženo vysoké účinnosti. Matice se dodávají s vymezenou vůlí nebo s předepnutou maticí a tím lze odstranit axiální vůli. Výhoda je vysoká tuhost a schopnost převedení rotačního pohybu na posuvný [17].

Trapézový šroub

Trapézový šroub je levnější varianta oproti kuličkovým šroubům, ale na druhou stranu disponuje menší účinností i přesností. Výhodou je vysoká spolehlivost. Tento způsob je vhodný pro méně přesná zařízení.

Ozubený řemen

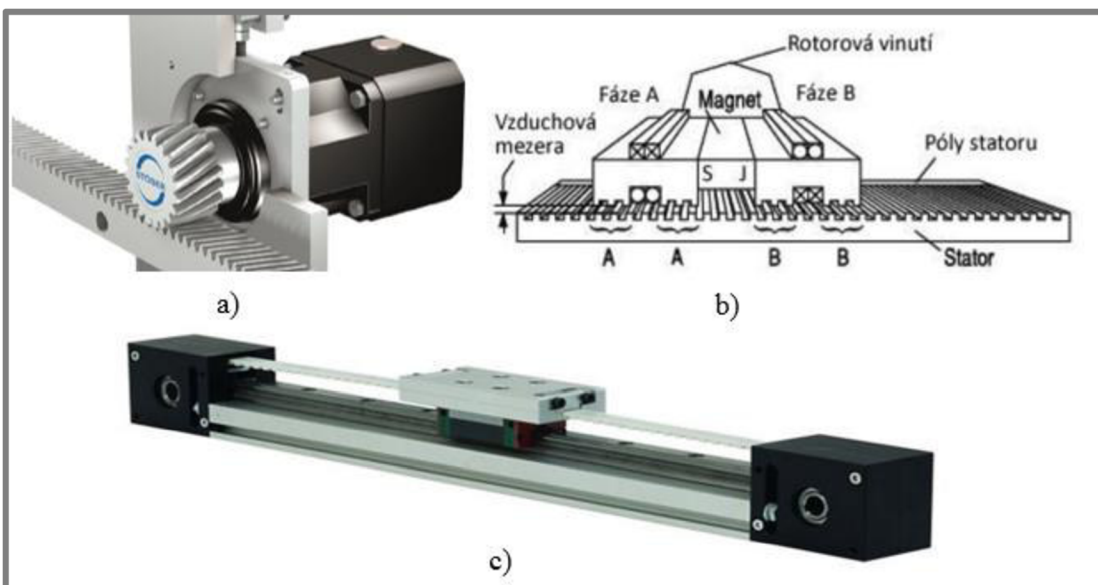
Výhodou ozubeného řemenu (Obr. 4-6c) je jednoduchá údržba, tichý chod, vhodnost i pro znečištěné prostředí a pro vysoké rychlosti. Nevýhodou je nižší přesnost oproti kuličkovým šroubům [17].

Pohon pomocí hřebenu

Použití hřebenu (Obr. 4-6a) je vhodné pro pohon s dlouhým zdvihem. Vůle se vymezuje dvěma motory nebo duplexním pastorkem [17].

Lineární motor

Lineární motory se používají pro dosažení vysokých rychlostí. Nemají žádný mechanický převod, posuvová síla je vyvozena působením elektromagnetických sil. Není nutné použít přídavné odměřování polohy. Jeho nevýhodou je poměrně vysoká cena. Princip motoru je znázorněn na obrázku 4-6b [17].



Obr. 4-6 a) Ozubený hřeben [35] b) Schéma lineárního elektromotoru [36] c) Ozubený řemen [37]

4.6 Vedení lineární osy

4.6

Nepodepřené vodící tyče

Použití vodících tyčí (Obr. 4-7b) je levnější varianta oproti lineárnímu tvarovému vedení. Vhodné pro kratší vzdálenosti. Při delší vzdálenosti klesá tuhost a mohlo by docházet k průhybu vodících tyčí.

Lineární tvarové vedení

Výhodou je vysoká životnost, snadná údržba, vysoká tuhost, schopnost kompenzovat i radiální moment. Lineární tvarové vedení (Obr. 4-7a) má vyšší pořizovací cenu než použití vodících tyčí.



Obr. 4-7 a) Lineární tvarové vedení [21] b) Lineární kruhové vedení [22]

4.7 Odměřování polohy

Odměřování polohy je důležitým prvkem pro dosažení požadované přesnosti. Existuje více způsobů odměřování a v základě se dělí na přímé odměřování, kde je hodnota například odečtena přímo z pohyblivého stolu nebo nepřímé odměřování, kde se poloha přepočítá například z natočení kuličkového šroubu.

Přímé na lineární ose

Princip spočívá v odměřování polohy přímo z pohybujícího mechanismu lineární osy. Výhodou přímého odměřování (Obr. 4-8a) je eliminace chyb vzniklé nepřesností pohybujícího mechanismu nebo tepelnou a elastickou roztažností vedení [18].

Nepřímé odměřování

Jedná se například o měření úhlu natočení kuličkového šroubu. Tento způsob je vhodný pro méně přesné a méně náročné aplikace. Výhodou je jednodušší a levnější konstrukční řešení. Často bývá odměřování zabudované v motoru osy (Obr. 4-8b) [19].



Obr. 4-8 a) Přímé snímání polohy [25] b) Nepřímé snímání polohy [24]

4.8 Rám

Složený rám z hliníkových profilů

Výhodou hliníkových profilů je jednoduchá montáž a demontáž, nízká hmotnost, odolnost proti korozi, ale nevýhodou je vysoká cena.

Svařovaný rám z ocelových profilů

Výhodou je vysoká tuhost, stabilita a nízká cena. Mezi nevýhody patří nemožnost rozebrání.

4.9 Způsoby realizace dopravníku

Pás

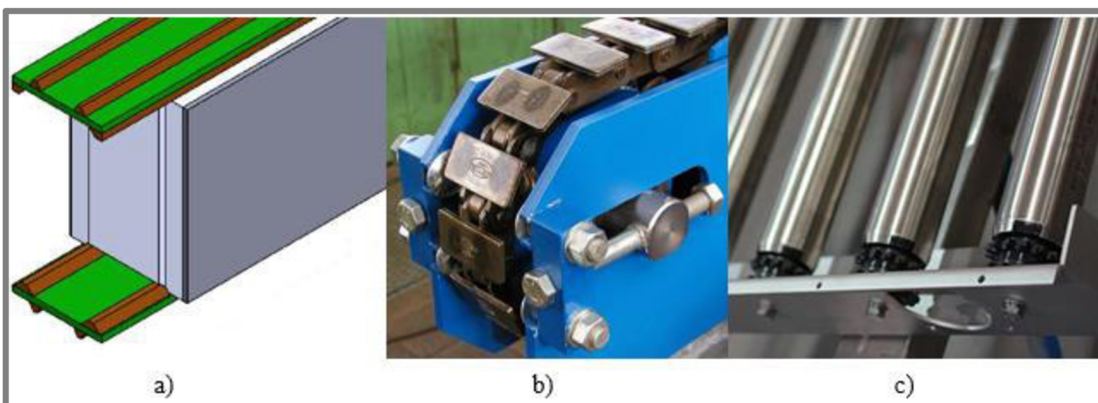
Dopravní pás (Obr. 4-9a) je vhodný pro vysoké obvodové rychlosti. Pro přesné ustavení lze pás osadit segmenty nebo vodícími klínky.

Řetězový dopravník

Řetězový dopravník (Obr. 4-9b) je vhodný do znečištěného prostředí, pro vysoká zatížení a dlouhou životnost. Na řetěz s unašeči je možné upevnit tvarové segmenty. Zde je zaručena vyšší tuhost systému.

Válečková trať

Válečková trať (Obr. 4-9c) je vhodná do znečištěného prostředí vysokého zatížení a pro nízké rychlosti dopravy. Nevýhodou může být rozměrová náročnost.



Obr. 4-9 a) Tvar pásu b) Řetěz s unašeči [26] c) Válečková trať

4.10 Volba motoru pro dopravník

4.10

U pásového dopravníku je požadovaná změna obvodové rychlosti a postupný rozběh a brždění pásu.

Krokový motor

Motor je poháněn impulsy a tím se dá velmi jednoduše nastavit rychlost otáčení nebo úhel pootočení. Jde o levnější variantu než použití servomotoru. Nevýhoda je vysoká citlivost na přetížení a chybějící zpětná vazba [20].

Servomotor

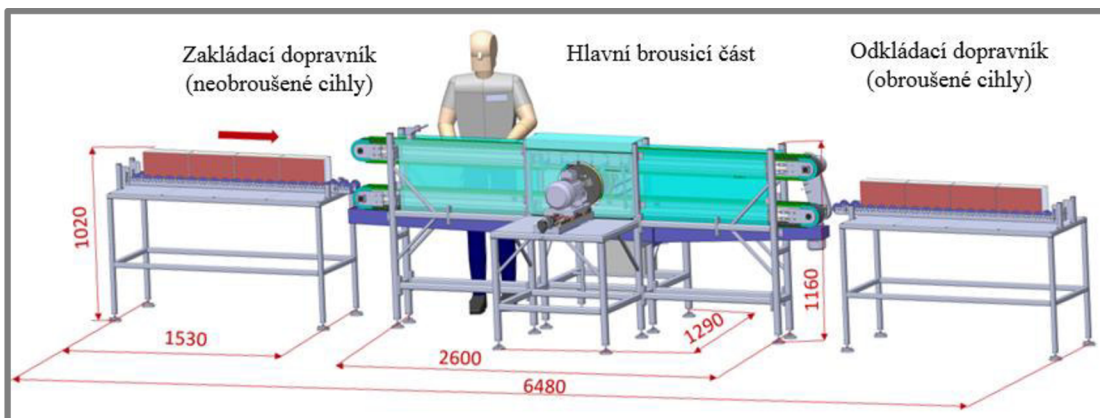
Servomotor se vyznačuje zpětnou vazbou o poloze a má vyšší přesnost, ale i vyšší pořizovací cenu.

5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

V kapitole je popsáno konstrukční řešení broušícího prototypu, který je sestaveno na základě předchozích koncepčních řešení. Model ve 3D byl vytvořen v programu SolidWorks 2013.

5.1 Technologie broušení a obsluha stroje

Na začátek tu je uvedena technologie broušení a výrobní postup, z toho poté vychází konstrukční řešení. Jedná se o prototyp broušící linky, která ve výsledku dokáže obrousit 10 m² cihel za den (Obr. 5-1), což přibližně odpovídá kapacitě 220 cihel za den. Podle zadání firmou Gravelli, se jedná o zařízení s nižší produktivitou a menšími náklady na výrobu, na kterém se otestuje zvolená technologie broušení. Snahou bude ověřit počet výměn brusných a leštících kotoučů při současné dosažení dobré kvality povrchu cihly.



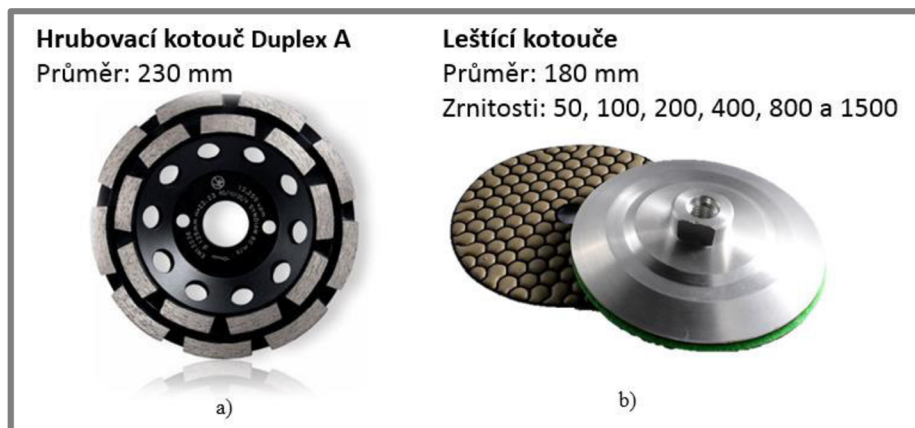
Obr. 5-1 Broušící linka se základními rozměry

5.1.1 Technologie broušení

Broušení probíhá na šest technologických kroků a celý proces je chlazen vodou. Po konzultaci s firmou Gent byly vybrány kotouče, které se standardně používají pro broušení betonu ručním náradím. Prvním krokem je hrubé broušení cihel na požadovanou šířku 100 mm s přídavkem pro následné leštění. Z jedné strany je nutno obrousit přibližně 1 mm vrstvy tvrdšího betonu a na druhé straně zůstává přibližně 4 mm vrstvy měkčího betonu, který by se měl snadněji opracovat s možností vyšší výškou úběru.

Hrubé broušení obstará kotouč Duplex A o průměru 230 mm (Obr. 5-2a). Tento typ kotouče je vhodný pro broušení nevyzrálého betonu, cihly se budou brousit (24 až 48) hodin po zaformování, což je krátká doba a nedojde k vyžrání betonu. Doporučená rychlost broušení pro hrubovací kotouč se pohybuje mezi (30 a 40) m·s⁻¹. Po kotouči jsou rozloženy sintrované diamantové segmenty.

Dalším krokem je leštění. K tomu to se použije unašeč se suchým zipem, kde kotouč s diamantovým brusivem se jednoduše připne na unašeč (Obr. 5-2b). Zde je zaručena rychlá a snadná výměna brusných kotoučů. Kotouče o průměru 180 mm se budou vyměňovat s postupně zvyšující se hrubostí 50, 100, 200, 400 a 800. Doporučená rychlost broušení se pohybuje mezi (20 a 30) m·s⁻¹. Vytvoření přítlaku pro leštění bude vysvětleno v další podkapitole.



Obr. 5-2 Použité kotouče a) Duplex A b) leštící kotouče

5.1.2 Obsluha stroje

Nejdříve si pracovník naskládá čtyři cihly na odkládací dopravník, spustí hlavní brousící motory, dopravník, chlazení, nastaví první úběr a posune připravené cihly na dopravník. Následuje poloautomatické broušení. Cihly pojíždějí po dopravníku tam a zpět a kotouče při každé změně směru pohybu přijedou blíže o výšku úběru. Po skončení broušení, obsluha zkontroluje rozměr cihel a rozhodne, zda rozměr vyhovuje a pošle cihly na odkládací dopravník nebo změni kalibraci stroje a nechá cihly přebrousit. V případě použití laserového měření šířky cihly, PLC vyhodnotí šířku cihly, zda se nachází v dané toleranci. Pokud je šířka cihly správná, pošle je na odkládací dopravník. Pokud je šířka větší než požadovaná, rozhodne o dalším broušením.

V průběhu broušení pracovník si připraví další čtyři cihly na odkládací dopravník a obroušené cihly poskládá na paletu, kde čekají na následující leštění. Po obroušení dostatečného množství, například požadovaných 220 cihel, pracovník vymění unašеч a typ kotouče za leštící. Při leštění je potřeba dvou osob, kde první osoba kontinuálně posílá cihly na dopravník a druhá osoba odebírá cihly z druhé strany dopravníku. Na jednu hrubost kotouče se opět obrousí celá zakázka 220 cihel. Poté následuje výměna kotouče za jemnější a postup se opakuje. Kotouče se vyměňují až na závěrečnou hrubost 800.

5.2 Konstrukce brousící linky

V podkapitole jsou popsány jednotlivé podsestavy a konstrukční body výrobní, linky.

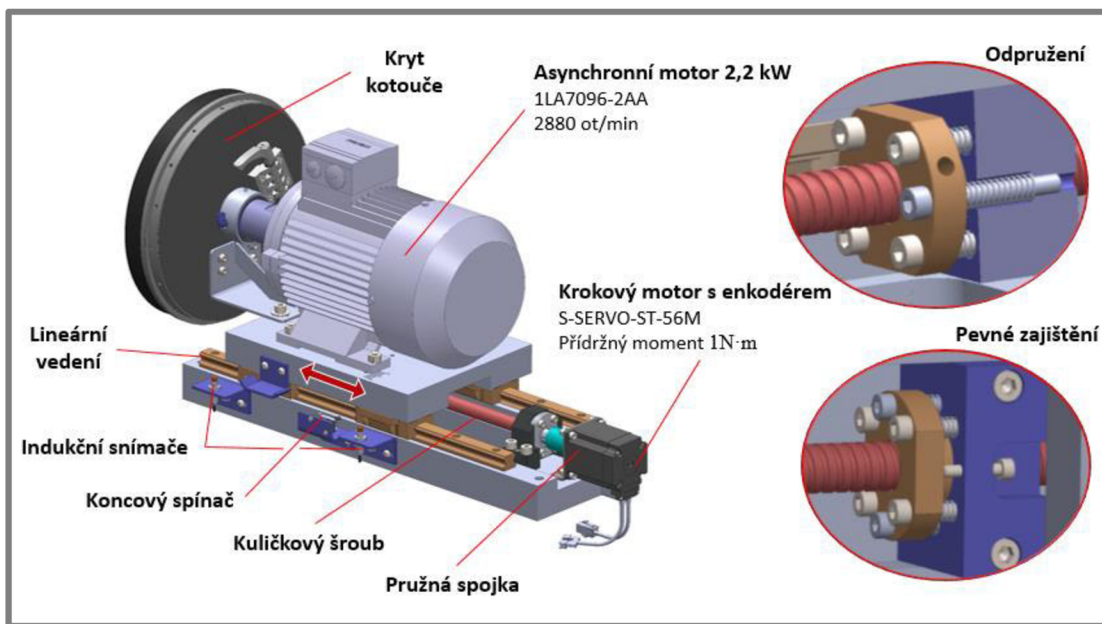
5.2.1 Uložení hlavního brusného motoru

Brusná podsestava (Obr. 5-3) je složena z několika dílů. Hlavní asynchronní motor 1LA7096 o výkonu 2,2 kW je přišroubován k ocelové desce. Motor se může podle svíslé osy na každou stranu pootočit až o 3 °, tak aby byla dosažena kolmost k dopravníku. Ocelová deska se pohybuje po lineárním vedením HGW20CC. Pohyb desky zajišťuje kuličkový šroub 16P5 se stoupáním 5 mm na otáčku o průměru 16 mm s vymezenou vůlí. Kuličkový šroub je spojen s krokovým motorem přes pružnou spojku 002-10_6. Krokový motor SM-56M s přídržným momentem 1 Nm má na zadní části namontován enkodér ke snímání natočení hřídele (4 000 pulzů na otáčku) tím dokáže určit přesnou polohu stolu.

5.1.2

5.2

5.2.1



Obr. 5-3 Brusná podsestava

5.2.2 Výkon hlavního motoru

Výkon motoru byl vybrán na základě porovnání strojů, pro které se používají vybrané brusné kotouče. Tento postup byl vybrán z důvodu, že nebylo možné nalézt publikaci, která by se zabývala silami vznikajícími při broušení nevyzrálého betonu. Z tabulky 5-1 vyplývá, že zvolený motor 1LA7096 o výkonu 2 200 W je dostatečný i s uvažováním nepřetržitého a dlouhodobého provozu.

Tab. 5-1 Úhlové brusky

| Označení | Výkon (W) |
|----------------------------------|-----------|
| Úhlová bruska WPF 1800 | 1 800 |
| Robustní bruska za mokra LW 1202 | 1 600 |
| Úhlová bruska WEHA WPF 1700 | 1 700 |

Kde:

| | | |
|-------------|-------------------|----------------------------------|
| $n_{20/60}$ | min^{-1} | otáčky motoru při dané frekvenci |
| f | 60; 20 Hz | frekvence |
| p_p | 1 | počet pól párů |

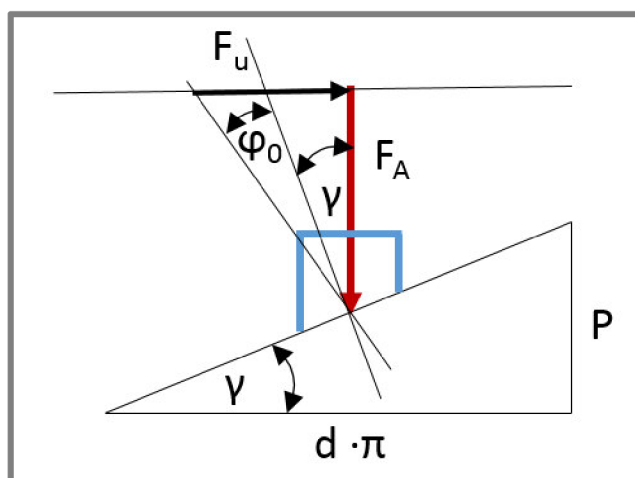
Výpočet rozsahu otáček hlavních motorů

$$n_{60} = 60 \cdot \frac{f}{p_p} = 60 \cdot \frac{60 \text{ Hz}}{1} = 3600 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{20} = 60 \cdot \frac{f}{p_p} = 60 \cdot \frac{20 \text{ Hz}}{1} = 1800 \text{ min}^{-1}$$
(1)

5.2.3 Kontrola velikosti kroučícího momentu krokového motoru

Zde je vypočítán potřebný moment krokového motoru pro vyvození maximální přítláčné síly 50 N při leštění (Obr. 5-4).



Obr. 5-4 Výpočet utahovacího momentu

Kde:

| | | | |
|-------------|-----|----|-----------------------------------|
| F_A | 50 | N | axiální síla |
| γ | | ° | úhel stoupání |
| φ_0 | 8,5 | ° | třecí úhel za klidu (ocel - ocel) |
| F_u | | N | utahovací síla |
| d | 16 | mm | průměr kuličkového šroubu |
| P | 5 | mm | stoupání kuličkového šroubu |
| M_u | | Nm | utahovací moment |

Úhel stoupání

$$\gamma = \arctg\left(\frac{P}{d \cdot \pi}\right) = \arctg\left(\frac{5 \text{ mm}}{16 \text{ mm} \cdot \pi}\right) = 5,68^\circ \quad (2)$$

Utahovací síla

$$F_u = F_A \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_0) = 50 \text{ N} \cdot \operatorname{tg}(5,68^\circ + 8,5^\circ) = 12,6 \text{ N} \quad (3)$$

Utahovací moment

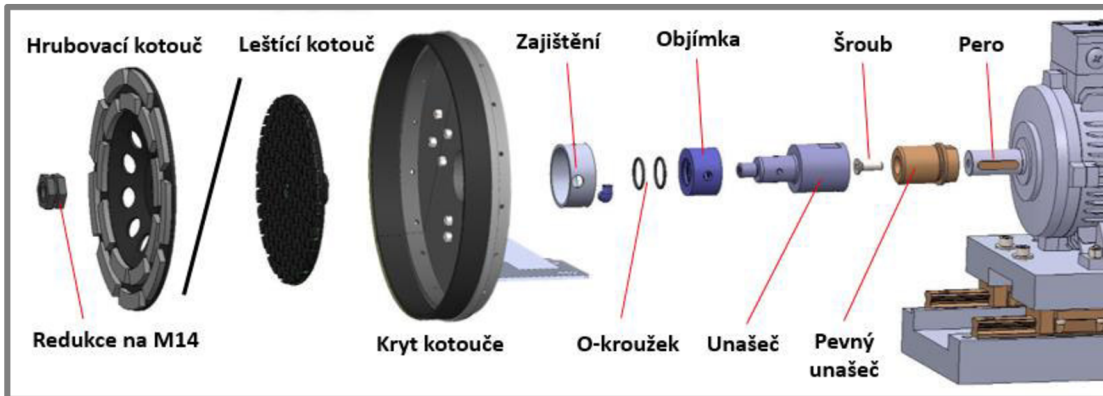
$$M_u = F_u \cdot \frac{d}{2} = 12,6 \text{ N} \cdot \frac{16 \text{ mm}}{2} = 101 \text{ Nmm} \sim 0,1 \text{ Nm} \quad (4)$$

Minimální moment k pohybu kuličkového šroubu je 0,1 Nm. Krokový motor byl vybrán s přídržným momentem 1 Nm.

5.2.4 Upnutí brusných kotoučů na brusném motoru.

Nejprve se do hřídele motoru vloží pero a šroubem se dotáhne pevný unašeč. Poté se našroubuje unašeč s chlazením středem, objímka s o-kroužky a poté se můžou upevnit kotouč.

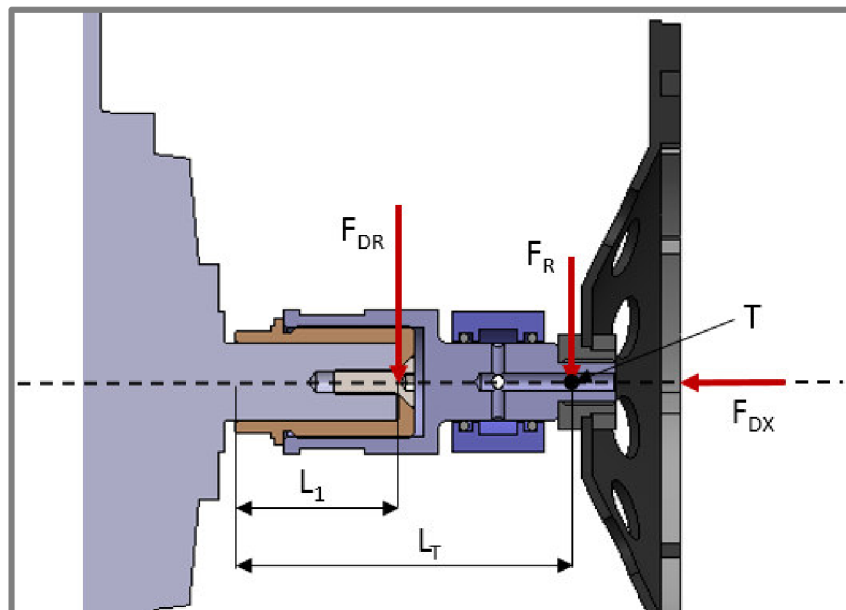
Hrubovací kotouč je upnut pevně přes redukci na unašeč (Obr. 5-5). Leštící kotouč se skládá z leštící vrstvy připevněné pomocí suchého zipu na hliníkový unašecí disk. Na unašeč, který má levý závit M14, se přímo našroubuje unašecí disk. Levý závit brání proti případnému uvolnění kotouče při rozběhu.



Obr. 5-5 Upnutí kotoučů, hrubování/leštění

Kontrola zatížení ložisek brusného motoru

Na obrázku 5-8 je zobrazeno působení dovolených sil pro motor zjištěné z katalogu výrobce [21]. Síla F_R nahrazující tíhovou sílu upínací podstavy kotouče, při upnutí těžšího hrubovacího kotouče.



Obr. 5-6 Silové působení

Kde:

| | | | |
|----------|-----|----|---|
| F_{DR} | 605 | N | maximální dovolená radiální síla na konci hřídele |
| F_{DX} | 400 | N | maximální dovolená axiální síla |
| F_R | | N | přečtená maximální síla radiální síla |
| F_A | 50 | N | axiální síla |
| F_T | 27 | N | radiální síla nahrazující upnutí kotouče |
| L_T | 103 | mm | vzdálenost k těžišti |
| L_1 | 50 | mm | vzdálenost k osazení |

Kontrola axiálního zatížení

$$\begin{aligned} F_{DX} &\gg F_A \\ 400 \text{ N} &\gg 50 \text{ N} \end{aligned} \quad (5)$$

Z porovnání dovolené a působící axiální síly vyplývá, že působící axiální síla je zanedbatelná.

Přepočet dovoleného zatížení do působíště zatěžovací síly

$$F_R = \frac{L_1}{L_T} \cdot F_{DR} = \frac{50 \text{ mm}}{103 \text{ mm}} \cdot 605 \text{ N} = 330 \text{ N} \quad (6)$$

Vychází to z lineárního přepočtu maximální dovolené radiální síly.

Přepočet dovoleného zatížení do působíště zatěžovací síly

$$\begin{aligned} F_R &\gg F_T \\ 330 \text{ N} &\gg 27 \text{ N} \end{aligned} \quad (7)$$

Z rovnic vyplývá zanedbatelné radiální i axiální zatížení hřídele, proto může být kotouč připojen přímo na hřídeli motoru.

Kontrola lineárního vedení

Lineární vedení bylo vybráno dle vhodných rozměrů. Zde proběhla statická kontrola podle katalogového listu HIWIN [22].

Kde:

| | | | |
|----------|--------|----|---------------------------------------|
| m | 220 | kg | celková hmotnost na lin. vedení |
| C_0 | 16 110 | N | statická únosnost jednoho lin. vozíku |
| F_G | | m | tíhová síla |
| F_{G1} | | m | tíhová síla na jeden vozík |
| f_k | | | statický bezpečnostní faktor |

Celková tíhová síla

$$F_G = m \cdot g = 37,25 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} = 365 \text{ N} \quad (8)$$

Tíhová síla na jeden vozík

$$F_{G1} = \frac{F_G}{4} = \frac{365 \text{ N}}{4} = 91 \text{ N} \quad (9)$$

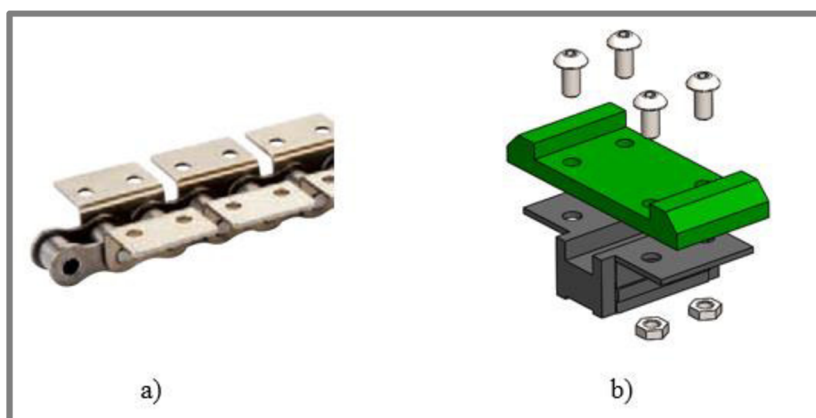
Statická bezpečnost

$$f_k = \frac{C_0}{F_{G1}} = \frac{16\,110 \text{ N}}{91 \text{ N}} = 177 \quad (10)$$

Jak vyplývá z výpočtu, statická bezpečnost je velmi vysoká, čímž vybraný vozík vyhovuje.

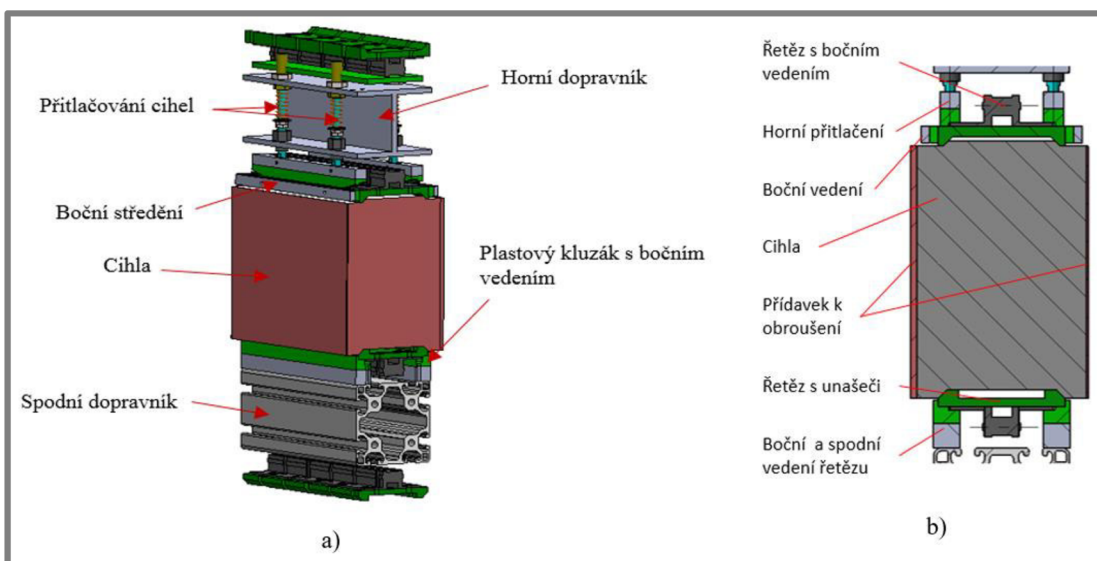
5.2.5 Upnutí cihel

Cihla má po obvodu drážku (Obr. 3-1), do které cihly mezi sebou zapadají. Tyto drážky jsou využity i pro upnutí a vycentrování cihel na řetěz. Plastové segmenty (Obr. 5-7b) tvaru negativu cihly se přišroubují na řetěz 12B-1 s U unašeči (Obr. 5-7a) pomocí šroubů. Segmenty se budou připevňovat na řetěz pomocí přípravku tak, aby byla zajištěna přesnost ustavení. Materiál segmentů a kluzných lišt je PE-UHMW 1000, jedná se o vysoce molekulární polyethylen, který má dobré mechanické i kluzné vlastnosti a odolává abrazivnímu opotřebení.



Obr. 5-7 a) Řetěz s U unašeči 12B – 1 [18] b) Upevnění segmentů na řetěz

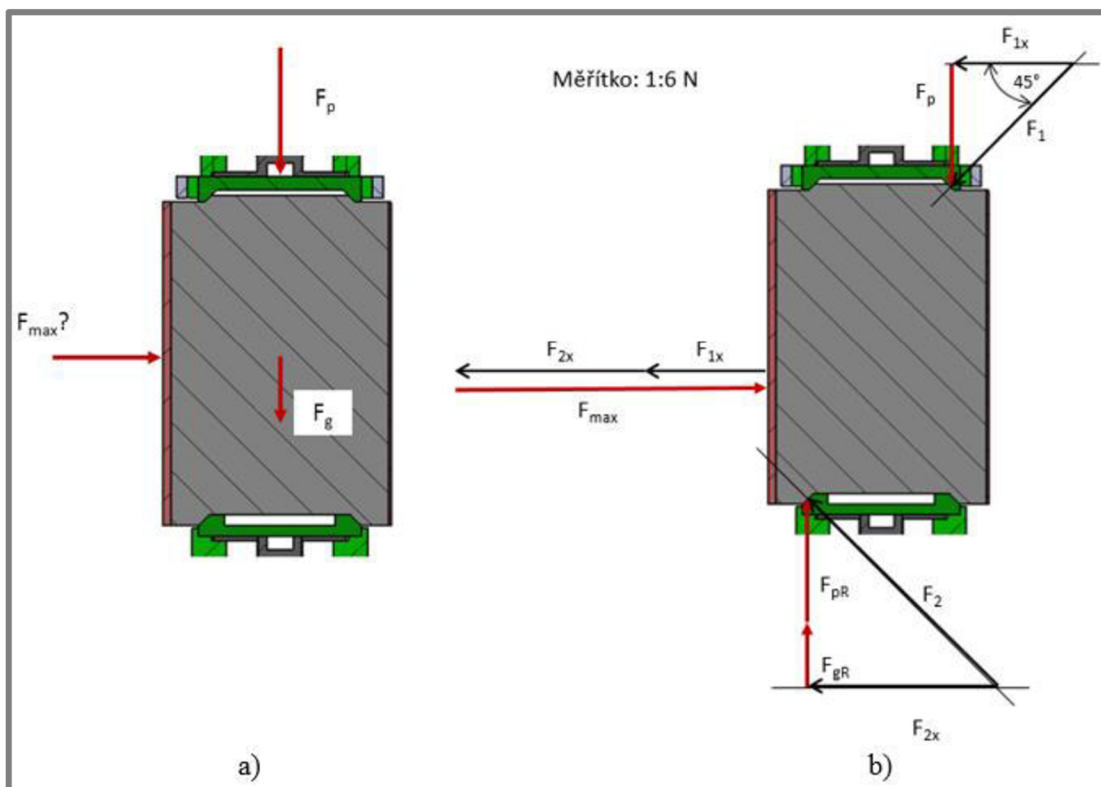
V části, kde probíhá broušení je nutné řetěz středit a přitlačovat tak, aby bylo zajištěno pevné upnutí. Boční středění je opět ze stejného plastu PE-UHMW 1000, jako jsou vyrobeny segmenty. Středící lišty jsou stavitelné, tak aby se co nejlépe vymezila boční vůle řetězu. Přesnost výroby cihel závisí na přesném vedení cihel (Obr. 5-8b). Cihly jsou ze shora přitlačovány pružinovým mechanismem, který vyvodí dostatečnou sílu pro upnutí cihel. Mechanismus je stavitelný (0 - 20) mm (Obr. 5-8a) a tím lze měnit přitlačnou sílu (11 až 230) N i výšku kluzáku v nezatíženém stavu dorazovou kontra matkou.



Obr. 5-8 a) přitlačování cihel b) upnutí cihel

Výpočet upínací síly - kontrola

Ze statické rovnováhy vypočítáme maximální sílu F (Obr. 5-9a), která vznikne při přitlačování kotouče k cihle. Je uvažován nejhorší případ, kdy brousí pouze jeden kotouč z jedné strany. Tření není pro zjednodušení uvažováno. Při působení síly F_{max} dojde posunu cihly doprava, čímž se stanou pouze dvě vazby zámku funkční. Pro zjednodušení je uvažován bodový kontakt. Přítlačná síla F_p je maximální, která lze vyvodit přítlačným mechanismem. Výsledkem grafického řešení je velikost F_{max} (Obr. 5-9b).



Obr. 5-9 Grafické řešení a) Působení sil b) Grafické řešení

Kde:

| | | | |
|-----------|-----|---|--------------------------------|
| F_{max} | | N | maximální přípustná boční síla |
| F_p | 144 | N | síla od pružinového upnutí |
| F_{pR} | 144 | N | reakce od pružinové upnutí |
| F_g | 76 | N | tíhová síla |
| F_{1x} | | N | x-ová složka síly v bodě 1 |
| F_1 | | N | síla v dotyku 1 |
| F_2 | | N | síla v dotyku 1 |
| F_{2x} | | N | x-ová složka síly v bodě 2 |
| F_{gr} | | N | reakce od tíhové síly |

Z grafického řešení plyne maximální síla F_{max} 364 N. Při leštění je uvažovaná přítlačná síla (0 – 50) N, proto bezpečnost upnutí cihel je až sedminásobná.

Kontrola tlakového zatížení plastových vodících lišt

Výpočet byl proveden pro nejnepříznivější případ, kdy plastové segmenty se opírají pouze o plastové lišty. Vypočítal jsem výslednou zatěžující sílu na jednu cihlu skládající se z tíhové síly cihly a přitlačné síly. Plocha je sečtena z kluzných ploch.

Kde:

| | | | |
|-------|------|-----------------|----------------------------------|
| F_p | 144 | N | přitlačná síla |
| F_g | 76 | N | tíhová síla jedné cihly |
| P_D | 4,5 | MPa | tlak, který způsobí 1% deformaci |
| S | 3168 | mm ² | kluzná plocha |

Celková tíhová síla

$$P = \frac{F_p + F_g}{S} = \frac{144 \text{ N} + 76 \text{ N}}{3168 \text{ mm}^2} = 0,069 \text{ MPa} \quad (11)$$

Porovnání tlakového zatížení

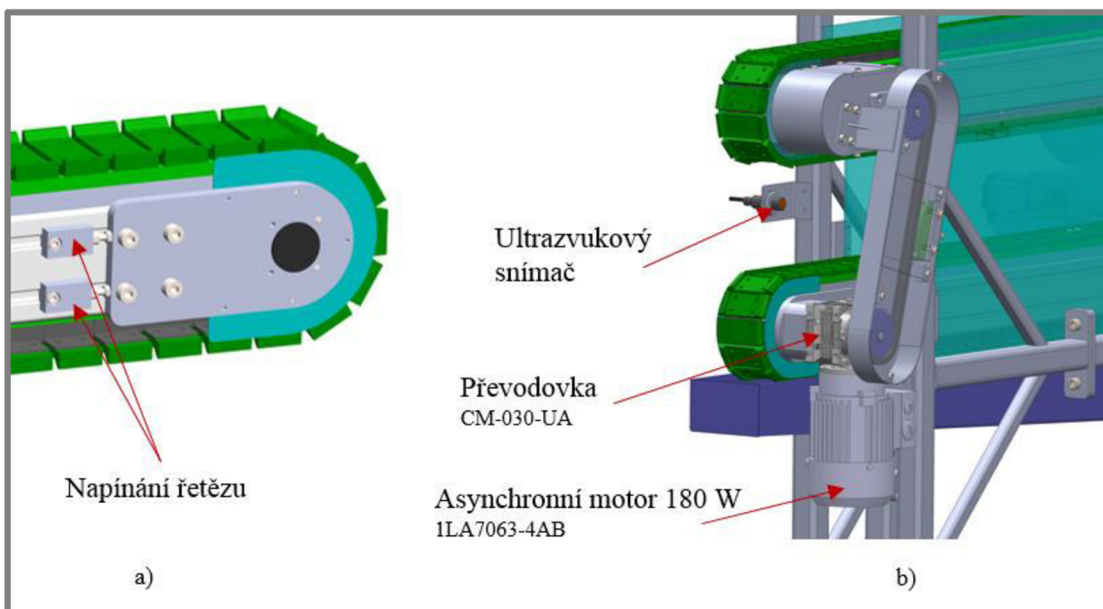
$$P_D \gg P$$

$$4,5 \text{ MPa} \gg 0,069 \text{ MPa} \quad (12)$$

Z rovnice 12 vyplývá zanedbatelné zatížení kluzných ploch.

5.2.6 Pohon dopravníku

Pro pohon obou dopravníků se stará asynchronní třífázový motor o výkonu 0,18 kW připojený přes šnekovou převodovku s převodovým poměrem $i = 50$ (Obr. 5-10b). Označení převodovky je CM-030-U5. Pomocí stavitelných šroubů na každé straně dopravníku, lze dopínat řetěz v průběhu životnosti (Obr. 5-10a).



Obr. 5-10 a) Napínání řetězu b) Pohon spodního dopravníku

Výpočet otáček a rychlosti dopravníku

Frekvence motoru se může pohybovat od 20 do 60 Hz. Zde je vypočítána minimální a maximální rychlost pohybu cihel.

Kde:

| | | | |
|-------|--------|-------------------|--------------------------|
| f | 60; 20 | Hz | frekvence |
| n_d | | min^{-1} | otáčky motoru dopravníku |
| p_p | 2 | | počet pól párů |

Otáčky motoru při dané frekvenci.

$$n_{d60} = 60 \cdot \frac{f}{p_p} = 60 \cdot \frac{60 \text{ Hz}}{2} = 1800 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{d20} = 60 \cdot \frac{f}{p_p} = 60 \cdot \frac{20 \text{ Hz}}{2} = 600 \text{ min}^{-1}$$
(13)

Kde:

| | | | |
|-------|--------|-------------------|------------------------------------|
| f | 60; 20 | Hz | frekvence |
| n_i | | min^{-1} | otáčky řetězového kola dopravníku |
| i | 50 | | převodový poměr šnekové převodovky |

Otáčky řetězového kola dopravníku

$$n_{i60} = \frac{n_{d60}}{i} = \frac{1800 \text{ min}^{-1}}{50} = 36 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{i20} = \frac{n_{d20}}{i} = \frac{600 \text{ min}^{-1}}{50} = 12 \text{ min}^{-1}$$
(14)

Kde:

| | | | |
|-------------|-------|----------------------------------|-----------------------------------|
| d_p | 97,65 | mm | roztečný průměr řetězového kola |
| n_i | | min^{-1} | otáčky řetězového kola dopravníku |
| $v_{20;60}$ | | $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ | rychlost řetězového dopravníku |

Přepočítání otáček na rychlost pásu

$$v_{60} = d_p \cdot n_i \cdot \pi = 0,09765 \text{ m} \cdot 36 \text{ min}^{-1} \cdot \pi$$

$$= 11,04 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \sim 11 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$
(15)

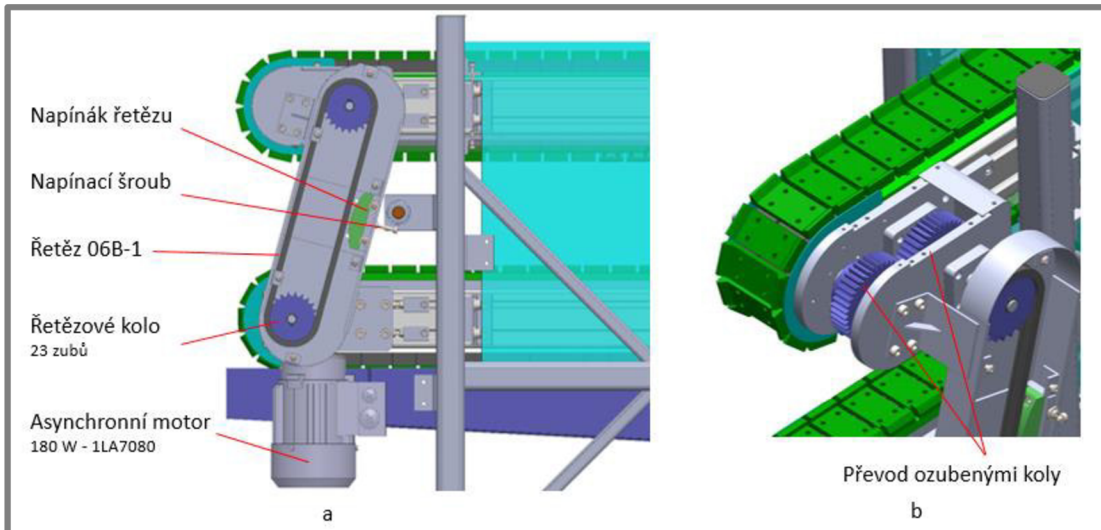
$$v_{20} = d_p \cdot n_i \cdot \pi = 0,09765 \text{ m} \cdot 12 \text{ min}^{-1} \cdot \pi$$

$$= 3,68 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \sim 3,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

Po přepočítání otáček motoru se uvažuje nastavitelná rychlost dopravníku $(4 - 12) \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Synchronní spojení mezi dopravníky

Při řízení horního a spodního dopravníku zvlášť vlastními motory by bylo problematické dosáhnout stejné rychlosti obou pásů při rozdílném zatížení. Proto je zde použito pevné spojení obou dopravníků. Pro přenos výkonu na horní řetězový dopravník slouží řetěz 06B-1 (Obr. 5-11a). Pro změnu smyslu otáčení horního dopravníku je zde použit převod ozubenými koly (Obr. 5-11b).



Obr. 5-11 a) Převod řetězem b) Převod ozubenými koly

Výpočet výkonu motoru pro řetězový dopravník

Kde:

| | | | |
|-----------------|-------|-------------------------------|---|
| P_1 | | kg | celková maximální přepravovaná hmotnost |
| ρ | 1 200 | $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ | hustota cihel |
| l_1 | 3 | m | délka dopravníku |
| b | 0,1 | m | šířka cihly |
| c | 0,15 | m | výška cihly |
| d_t | | mm | délka řetězu na řetězovém kole |
| $L_{\check{r}}$ | | m | celková délka řetězu |
| M_r | 10,5 | kg | celková hmotnost řetězu |
| ρ_r | 1,66 | $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ | hmotnost jednoho metru řetězu |

Celková maximální přepravovaná hmotnost

$$P_1 = l_1 \cdot b \cdot c \cdot \rho = 3 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 1200 \text{ kgm}^{-3} = 54 \text{ kg} \quad (16)$$

Délka řetězu na řetězovém kole

$$d_t = p \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{180^\circ}{z}\right) \cdot 1000} = 19,05 \text{ mm} \cdot \frac{1}{\sin\left(\frac{180^\circ}{17}\right) \cdot 1000} \quad (17)$$

$$= 0,104 \text{ mm}$$

Celková délka řetězu

$$L_{\check{r}} = 2 \cdot l_1 + \pi \cdot d_t = 2 \cdot 3 \text{ m} + \pi \cdot 0,104 \text{ m} = 6,326 \text{ m} \quad (18)$$

Celková hmotnost řetězu

$$M_r = L_{\check{r}} \cdot \rho_r = 6,326 \text{ m} \cdot 1,66 \text{ kgm}^{-3} = 10,5 \text{ kg} \quad (19)$$

Výpočet tažné síly a výkonu dopravníku

Kde:

| | | |
|--------|-----|------------------------------|
| F_r | 0,3 | součinitel tření |
| F_s | 1,3 | součinitel provozu |
| F_v | 0,7 | součinitel rychlosti |
| p_r | 1 | počet řetězů |
| T_1 | N | tažná síla |
| η | 0,7 | účinnost dopravníku |
| N_1 | W | výpočet požadovaného příkonu |

Výpočet tažné síly

$$T_1 = 9,81 \cdot \frac{[(M_r + P_1) \cdot F_r \cdot F_s \cdot F_v]}{p_r} =$$

$$T_1 = 9,81 \cdot \frac{[(10,5 \text{ kg} + 54 \text{ kg}) \cdot 0,3 \cdot 1,3 \cdot 0,7]}{1} = 172,74 \text{ N} \quad (20)$$

Výpočet tažného příkonu

$$N_1 = \frac{T_1 \cdot v_{p20}}{1 \cdot 60 \cdot \eta} = \frac{172,74 \text{ N} \cdot 3,5 \text{ mmin}^{-1}}{1 \cdot 60 \cdot 0,7} = 14,4 \text{ W} \quad (21)$$

$$N_5 = \frac{T_1 \cdot v_{p60}}{1 \cdot 60 \cdot \eta} = \frac{172,74 \text{ N} \cdot 11 \text{ mmin}^{-1}}{1 \cdot 60 \cdot 0,7} = 45,24 \text{ W} \sim 45 \text{ W}$$

Potřebný výkon pro spodní dopravník vyšel 45 W. Spodní i horní dopravník je poháněn jedním motorem o výkonu 180 W. Ve výkonu zvoleného motoru jsou zahrnuty ztráty v řetězovém i ozubeném převodu, odpor vzniklý při broušení a účinnost systému.

Kontrola krouticího momentu motoru

Kde:

| | | |
|------------------|-------------------|---|
| M | Nm | krouticí moment motoru |
| P_M | 180 W | výkon motoru |
| n_j | min ⁻¹ | jmenovité otáčky |
| i | | převodový poměr šnekové převodovky |
| $M_{p\check{r}}$ | 0,7 Nm | výstupní moment ze šnekové převodovky |
| M_{kA} | 25 Nm | potřebný krouticí moment (z rovnice 26) |

Výpočet krouticího momentu na hřídeli při jmenovitých otáčkách [21]

$$M = 9,55 \cdot \frac{P_M}{n_j} = 9,55 \cdot \frac{180 \text{ W}}{1350 \text{ min}^{-1}} = 1,27 \text{ Nm} \quad (22)$$

Krouticí moment vystupující z převodovky

$$M_{př} = M \cdot i = 1,27 \text{ Nm} \cdot 50 = 64 \text{ Nm} \quad (23)$$

Porovnání výsledných momentů

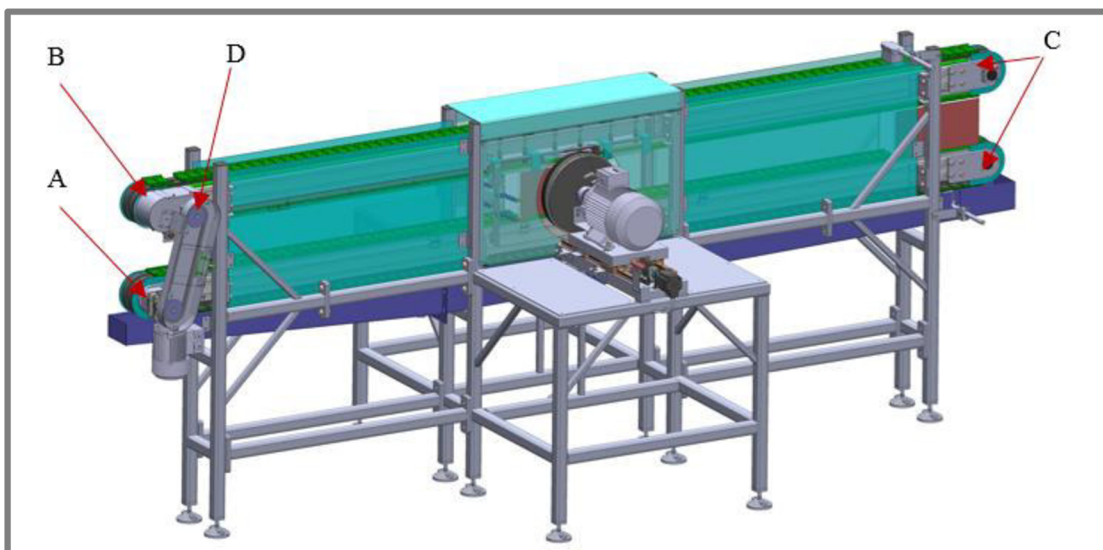
$$M_{kA} < M_{př} \quad (24)$$

$$25 \text{ Nm} < 64 \text{ Nm}$$

Jak vyplývá z kontroly, zvolený motor z hlediska krouticího momentu při jmenovitých otáčkách vyhovuje.

Kontrola pevnosti hřídelů

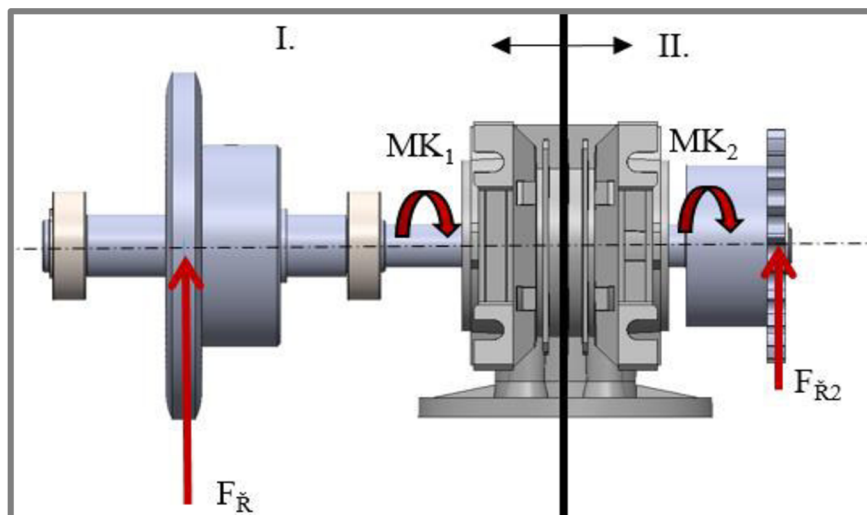
Byla vybrána nejvíce zatěžovaná hřídel a ta byla poté podrobena výpočtu na cyklickou únavu (Obr. 5-12). Hřídel D přenáší krouticí moment i ohybový moment konce hřídele od přenášené výkonu ze spodního dopravníku. V porovnání s výkonem přenášeném na spodním dopravníku je na horním dopravníku zanedbatelný, proto zde nebyl nutný pevnostní výpočet. Podobně je to i u hřídelů označených C. Hřídele C se pouze otáčejí a nepřenášejí žádný krouticí moment, pouze jsou prohýbány od sil působících v řetězech. Hřídel B přenáší krouticí moment i ohybový moment, ale opět s porovnáním se zatížením na dolním dopravníku je namáhání zanedbatelné. Proto je pevnostně kontrolována pouze hřídel A.



Obr. 5-12 Namáhané hřídele

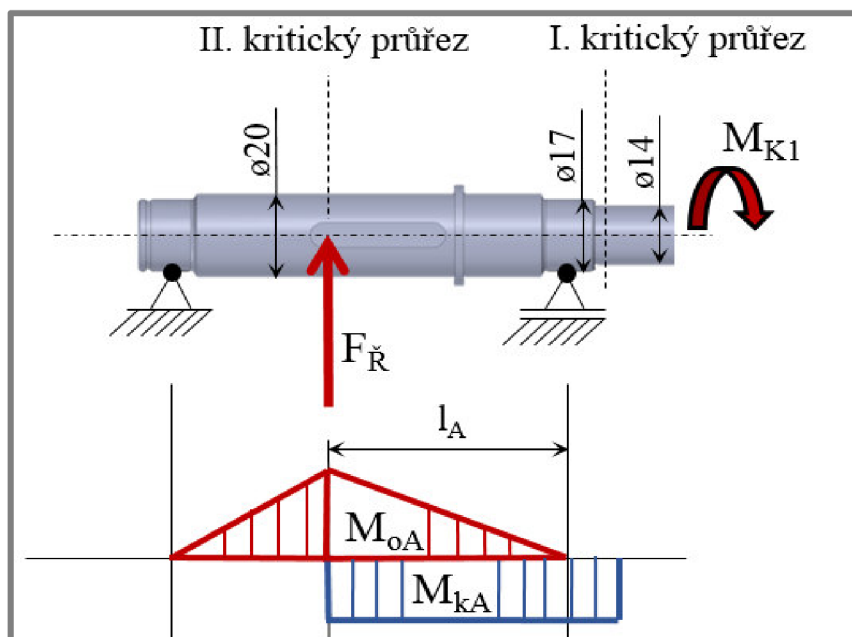
Pevnostní kontrola hřídele A

Pro zjednodušení výpočtu je hřídel rozdělena na dvě části řešené odděleně (Obr. 5-13). Nejdříve je řešena část I. Výpočet zatížení vychází z tažné síly v řetězu při plném zatížení, která je třikrát z důvodu bezpečnosti zvýšena. Do výpočtu jsou zahrnuty i ztráty vzniklé třením.



Obr. 5-13 Výpočet hřídele A

Na obrázku 5-14 v horní části vidíte statický rozbor a ve spodní části průběh ohybového a kroučícího momentu. Z hlediska výpočtu se zde nacházejí dva kritické průřezy, které je vhodné zkontrolovat. Síla F_R byla vypočtena jako tři násobek tažné síly vzniklé při plném zatížení dopravníku i s uvažování ztrát. Z této síly vychází i kroučící moment M_{K1} . Neuvažuje se plný výkon při zaseknutí řetězu.



Obr. 5-14 Výpočet hřídele A v místě I

Kde:

| | | |
|----------|----|--------------------------------------|
| F_R | | maximální síla v řetězu |
| M_{kA} | Nm | maximální kroučící moment na hřídeli |
| M_{oA} | Nm | maximální ohybový moment |

Maximální síla v řetězu

$$F_R = T_1 \cdot 3 = 173 \text{ N} \cdot 3 = 519 \text{ N} \quad (25)$$

Maximální krouticí moment

$$M_{kA} = F_{\ddot{R}} \cdot \frac{d_P}{2} = 519 \text{ N} \cdot \frac{0,09765 \text{ m}}{2} = 25 \text{ Nm} \quad (26)$$

Maximální ohybový moment

$$M_{oA} = F_{\ddot{R}} \cdot l_A = 519 \cdot 0,055 = 28,5 \text{ Nm} \quad (27)$$

Výpočet kritický průřez I.

Zde působí pouze krouticí moment na průměr hřídele 14 mm.

Kde:

| | | | |
|-------------|-----|-----|------------------------------|
| τ_{1A} | | MPa | napětí od krutu v místě 1 |
| τ_{kD} | 170 | MPa | dovolené napětí (citaci dát) |
| d | 14 | mm | průměr hřídele v daném místě |

Napětí od krutu v místě 1

$$\tau_{1A} = \frac{M_{kA}}{W_k} = \frac{M_{kA}}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}} = \frac{25 \text{ 000 Nmm}}{\frac{\pi \cdot 14^3 \text{ mm}}{16}} = 46 \text{ MPa} \quad (28)$$

Kontrola napětí

$$\tau_{1A} < \tau_{kD} \quad (29)$$

$$46 \text{ MPa} < 170 \text{ MPa}$$

Hřídel v místě I vyhovuje na střídavý cyklický krut.

Výpočet druhého kritického průřezu.

Na hřídeli o průměru 20 mm působí současně krouticí i ohybový moment, proto zde bylo vypočítáno redukované napětí. V tomto místě se také nachází drážka pro pero, která vnáší vrub, proto dovolené napětí sníženo o vrubový koeficient.

Kde:

| | | | |
|----------------|------|-----|--|
| τ_{k2A} | | MPa | napětí od krutu v místě 2 |
| σ_{o2A} | | MPa | napětí od ohybu v místě 2 |
| d | 20 | mm | průměr hřídele v daném místě |
| σ_{red} | | MPa | redukované napětí podle HMH |
| σ_{okd} | 305 | MPa | dovolené cyklické střídavé ohybové napětí [23] |
| β_0 | 1,74 | | součinitel vrubu pro drážku pro pero [24] |
| σ_D | | MPa | dovolené napětí |

Napětí od krutu

$$\tau_{k2A} = \frac{M_{kA}}{W_k} = \frac{M_{kA}}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}} = \frac{25 \text{ 000 Nmm}}{\frac{\pi \cdot 20^3 \text{ mm}}{16}} = 16 \text{ MPa} \quad (30)$$

Napětí od ohybu

$$\sigma_{o2A} = \frac{M_{0A}}{W_o} = \frac{M_{0A}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{28\,500 \text{ Nmm}}{\frac{\pi \cdot 20^3 \text{ mm}}{32}} = 36 \text{ MPa} \quad (21)$$

Redukované napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{o2A}^2 + 3 \cdot \tau_{k2A}^2} = \sqrt{36^2 \text{ MPa} + 3 \cdot 16^2 \text{ MPa}} = 45,5 \text{ MPa} \quad (32)$$

Dovolené napětí

$$\sigma_D = \frac{\sigma_{okd}}{\beta_0} = \frac{305 \text{ MPa}}{1,76} = 173 \text{ MPa} \quad (33)$$

Porovnání výsledného napětí

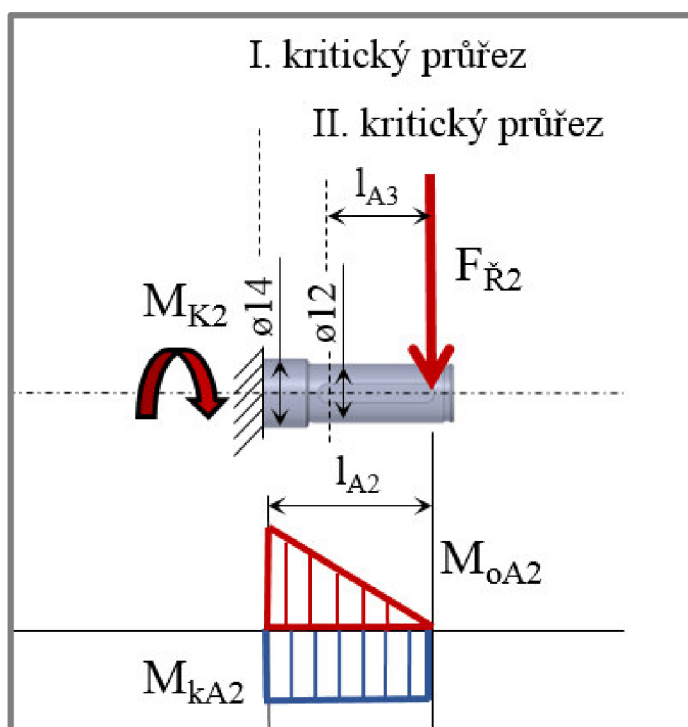
$$\sigma_{red} < \sigma_D \quad (34)$$

$$45,5 \text{ MPa} < 173 \text{ MPa}$$

Hřídel v místě II vyhovuje na střídavý cyklický ohyb.

Výpočet druhé části hřídele

Zde uvažují maximální odebíraný výkon při prokluzu horního pásu. Potřebný výkon vychází ze sil od přitlačných pružin. Nepředpokládá se zaseknutí řetězu. Zatížení druhé části hřídele na obrázku 5-15.



Obr. 5-15 Výpočet hřídele A část II

Kde:

| | | | |
|-------|-----|---|--|
| F_f | | N | síla v horním dopravníku |
| N_p | 288 | N | maximální síla od pružinového dotlačení |
| f | 0,6 | | předpokládaný statický koeficient tření (PE - beton) |

| | | |
|------------------|----|-------------------------------------|
| M_{k2} | Nm | kroucí moment na horním dopravníku |
| $F_{\check{R}2}$ | N | maximální síla v řetězu |
| M_{OA2I} | Nm | maximální ohybový moment na hřídeli |
| M_{OAI} | Nm | ohybový moment v místě II |

Síla v horním dopravníku

$$F_f = N_p \cdot f = 288 \text{ N} \cdot 0,6 = 173 \text{ N} \quad (35)$$

Kroucí moment na horním dopravníku

$$M_{k2} = F_f \cdot \frac{d_p}{2} = 173 \text{ N} \cdot \frac{0,09765 \text{ m}}{2} = 8,4 \text{ Nm} \quad (36)$$

Výpočet síly na konci hřídele

$$F_{\check{R}2} = \frac{2 \cdot M_{k2}}{d_{p2}} = \frac{2 \cdot 8,4 \text{ Nm}}{0,06995 \text{ m}} = 240 \text{ N} \quad (37)$$

Maximální ohybový moment na hřídeli

$$M_{OA2I} = F_{\check{R}2} \cdot l_{A2} = 240 \text{ N} \cdot 0,035 \text{ m} = 8,4 \text{ Nm} \quad (38)$$

Ohybový moment na v místě II

$$M_{OAI} = F_{\check{R}2} \cdot l_{A3} = 240 \text{ N} \cdot 0,02 \text{ m} = 4,8 \text{ Nm} \quad (39)$$

Kontrola kritického průřezu I

Zde působí kroucí moment i maximální ohybový moment na průměr hřídele 14 mm.

Kde:

| | | |
|-----------------|---------|--|
| τ_{k2AI} | MPa | napětí od krutu v místě I |
| σ_{o2AI} | MPa | napětí od ohybu v místě I |
| d | 14 mm | průměr hřídele v daném místě |
| σ_{red} | MPa | redukované napětí podle HMH |
| σ_{okd} | 305 MPa | dovolené cyklické střídavé ohybové napětí [23] |
| β_0 | 1,74 | součinitel vrubu pro drážku pro pero [24] |
| σ_D | MPa | dovolené napětí |

Napětí od krutu

$$\tau_{k2AI} = \frac{M_{k2}}{W_k} = \frac{M_{k2}}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}} = \frac{8\,400 \text{ Nm}}{\frac{\pi \cdot 14^3 \text{ mm}^3}{16}} = 15,6 \text{ MPa} \quad (40)$$

Napětí od ohybu

$$\sigma_{o2AI} = \frac{M_{0AI}}{W_o} = \frac{M_{0AI}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{8\,400 \text{ Nm}}{\frac{\pi \cdot 14^3 \text{ mm}^3}{32}} = 31 \text{ MPa} \quad (41)$$

Redukované napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{o2AI}^2 + 3 \cdot \tau_{k2AI}^2} = \sqrt{31^2 \text{ MPa} + 3 \cdot 15,6^2 \text{ MPa}} = 41 \text{ MPa} \quad (42)$$

Porovnání výsledného napětí

$$\begin{aligned}\sigma_{red} &< \sigma_{okD} \\ 41 \text{ MPa} &< 305 \text{ MPa}\end{aligned}\quad (43)$$

Hřídel v místě I vyhovuje i s vysokou bezpečností na střídavý cyklický ohyb.

Kontrola kritického průřezu II

V tomto průřezu o průměru 12 mm se nachází drážka pro pero, proto je dovolené napětí sníženo o vrubový koeficient. Hřídel je zatěžován současně krutem i ohybem, což opět vede na výpočet redukovaného napětí podle HMH.

Kde:

| | | | |
|------------------|------|-----|---|
| τ_{k2AII} | | MPa | napětí od krutu v místě II |
| σ_{o2AII} | | MPa | napětí od ohybu v místě II |
| d | 12 | mm | průměr hřídele v daném místě |
| σ_{red} | | MPa | redukované napětí podle HMH |
| β_0 | 1,74 | | součinitel vrubu pro drážku pro pero [24] |
| σ_D | | MPa | dovolené napětí |

Napětí od krutu

$$\tau_{k2AII} = \frac{M_{k2}}{W_k} = \frac{M_{k2}}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}} = \frac{8\,400}{\frac{\pi \cdot 12^3}{16}} = 25 \text{ MPa} \quad (44)$$

Napětí od ohybu

$$\sigma_{o2AII} = \frac{M_{oAII}}{W_o} = \frac{M_{oAI}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{4\,800 \text{ Nm}}{\frac{\pi \cdot 12^3 \text{ mm}^3}{32}} = 28 \text{ MPa} \quad (45)$$

Redukované napětí

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_{o1A}^2 + 3 \cdot \tau_{k1A}^2} = \sqrt{28^2 \text{ MPa} + 3 \cdot 25^2 \text{ MPa}} = 51 \text{ MPa} \quad (46)$$

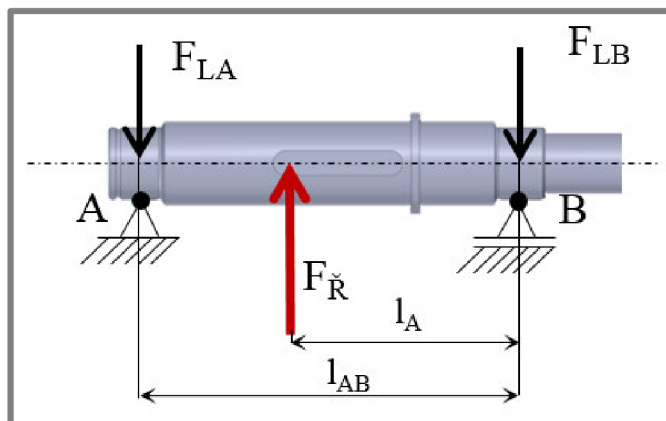
Porovnání výsledného napětí

$$\begin{aligned}\sigma_{red} &< \sigma_D \\ 51 \text{ MPa} &< 173 \text{ MPa}\end{aligned}\quad (47)$$

Hřídel v místě II vyhovuje na střídavý cyklický ohyb.

Kontrola životnosti nejvíce zatěžovaného ložiska

Nejvíce zatěžovaná ložiska se nachází na hřídeli A. Nejdříve je nutné vypočítat reakce, které působí v podporách (Obr. 5-16). Výpočet vychází ze silové a momentové rovnováhy.



Obr. 5-16 Reakce v ložiskách, hřídel A

Kde:

| | | | |
|-----------------|-----|----|---|
| $F_{\check{R}}$ | 519 | N | maximální síla v řetězu |
| F_{LA} | | N | reakce v bodě A |
| F_{LB} | | N | reakce v bodě B |
| l_A | 55 | mm | vzdálenost mezi silou $F_{\check{R}}$ a bodem B |
| l_{AB} | 90 | mm | vzdálenost mezi body A a B |
| P_{LA} | | N | ekvivalentní dynamické zatížení |
| L_{nmh} | | h | trvanlivost ložiska v hodinách |

Maximální síla v řetězu

$$Fy: F_{\check{R}} - F_{LA} - F_{LB} = 0$$

$$M_B: -F_{\check{R}} \cdot l_A + F_{LA} \cdot l_{AB} = 0$$

$$\Rightarrow F_{LA} = \frac{F_{\check{R}} \cdot l_A}{l_{AB}} = \frac{519 \text{ N} \cdot 0,055 \text{ m}}{0,090 \text{ m}} = 317 \text{ N}$$

$$\Rightarrow F_{LB} = F_{\check{R}} - F_{LA} = 519 \text{ N} - 317 \text{ N} = 202 \text{ N}$$

(48)

Ekvivalentní zatížení P je stejné jako F_{LB} . Nepůsobí zde axiální zatížení.

Ekvivalentní dynamické zatížení

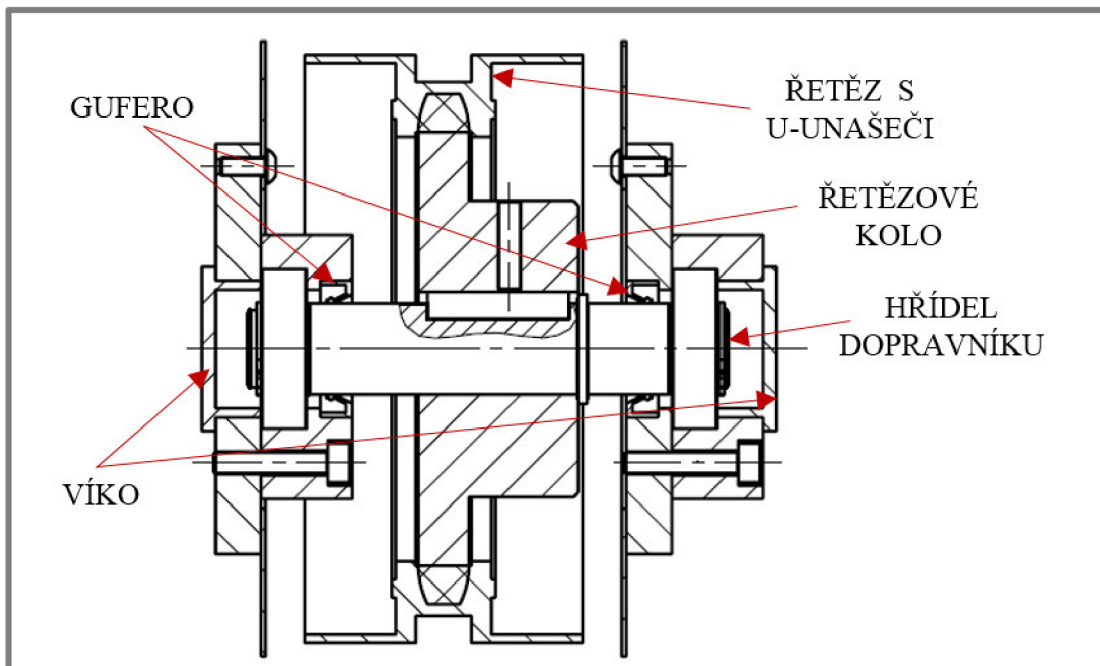
$$P_{LA} = 317 \text{ N} \quad (49)$$

Maximální ohybový moment

$$L_{nmh} = \frac{10^6}{60 \cdot n_{60}} \cdot \left(\frac{C}{P_{LA}} \right)^a = \frac{10^6}{60 \cdot 12 \text{ min}^{-1}} \cdot \left(\frac{4650 \text{ N}}{317 \text{ N}} \right)^3 \quad (50)$$

$$= 438\,377 \text{ h} \sim 2107 \text{ roků}$$

Životnost je dostatečně vysoká i v uvážení náročnějšího prostředí. Všechna ložiska jsou krytována z jedné strany guferou a z druhé víkem (Obr. 5-17).



Obr. 5-17 Krytování ložisek

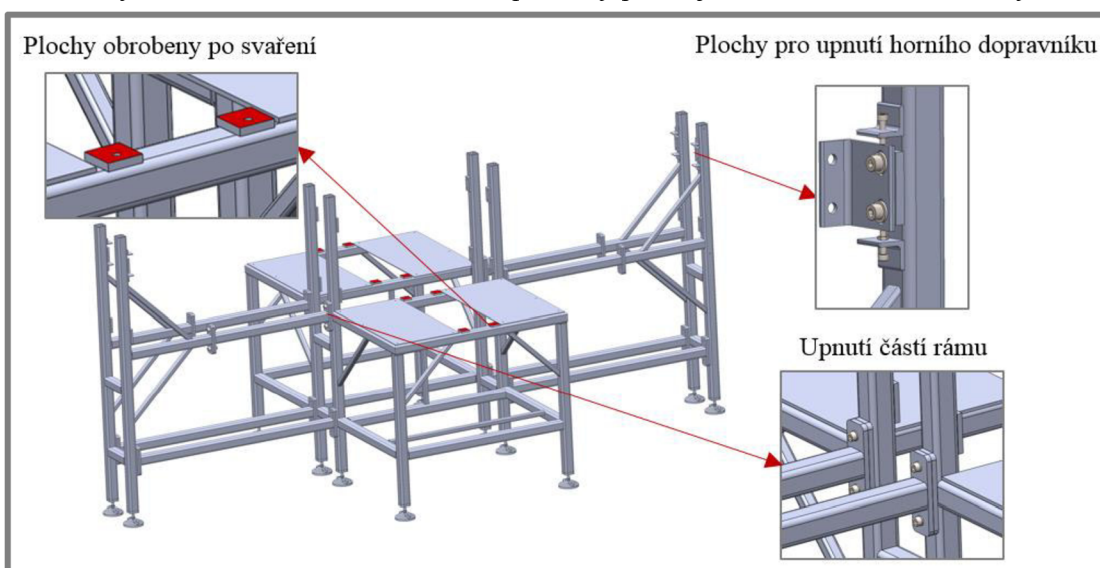
5.2.7

5.2.7 Rám stroje

Výsledný rám (Obr 5-18) byl navržen podle výsledků modální analýzy v kapitole 5.4. Hlavní kostru rámu tvoří ocelový profil o rozměru (40 x 40 x 3) mm. Pro celkové zpevnění rámu je použit profil (20 x 20 x 3) mm.

Rám se skládá ze tří rozebiratelných částí pro lepší převoz celé linky a snazší opracování spojovacích ploch. Plochy pro ustavení lineární osy, označené červeně, bude nutné opracovat po svaření, kvůli zajištění přesné polohy lineární osy.

Výška pracovní roviny pro muže a těžkou práci se z ergonomického hlediska pohybuje mezi 750 až 900 mm od podlahy [25]. K tomu je uzpůsoben rám, jehož výška od podlahy po řetězový dopravník je 870 mm. Celý rám je posazen na výškově stavitelných nohách, které se ukotví do podlahy pro zajištění celkové tuhosti. Výškově



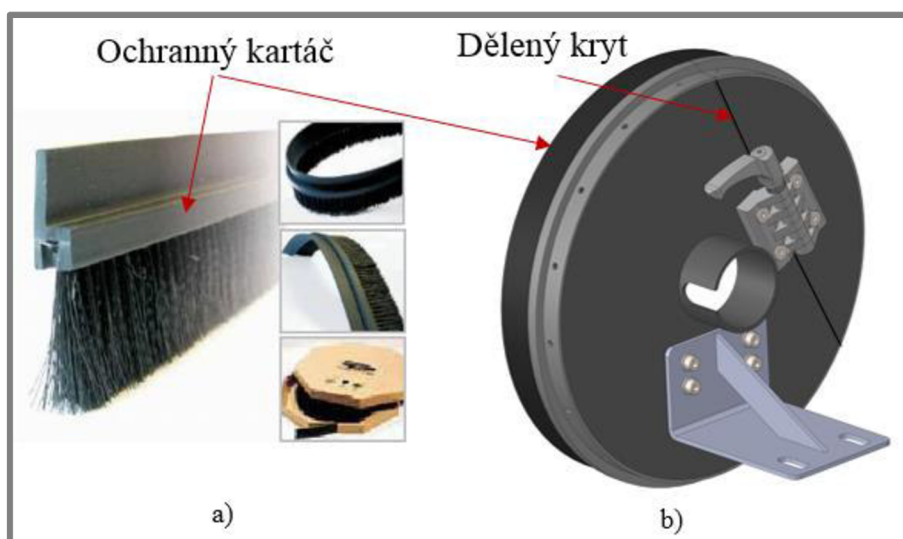
Obr. 5-18 Rám stroje

nastavení horního i spodního dopravníku lze pomocí navařeného L profilu a zajišťovacího šroubu a matice (Obr. 5-18).

5.3 Krytování a chlazení stroje

5.3.1 Krytování

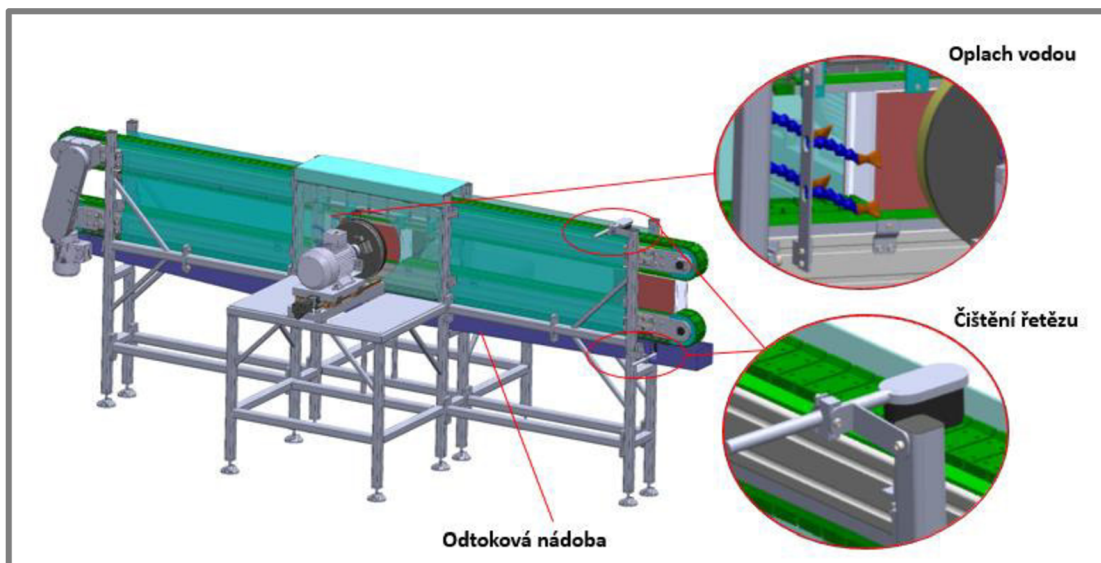
Celý stroj je krytován z desek polymethylmetakrylátu z několika důvodů. Kryty zajišťují bezpečnost stroje a za druhé zamezují rozstříku vody do okolí (Obr. 5-20). Krytování je provedeno deskami s PMMA z obou stran. Mezi svařenou kostrou a krytovaním je umístěno těsnění. Zvláště je krytován kotouč flexibilní kartáčovou lištou z termoplastické pryže. Lišta je s plechovým svařencem spojena pomocí nýtů (Obr. 5-19a). Kryt kotouče je dělený pro snadnější přístup při výměně kotouče a zamezuje rozstříku chladicí kapaliny do okolí (Obr. 5-19b).



Obr. 5-19 a) Kartáč KOTIQUICK [41] b) Kryt kotouče

5.3.2 Chlazení a filtrace

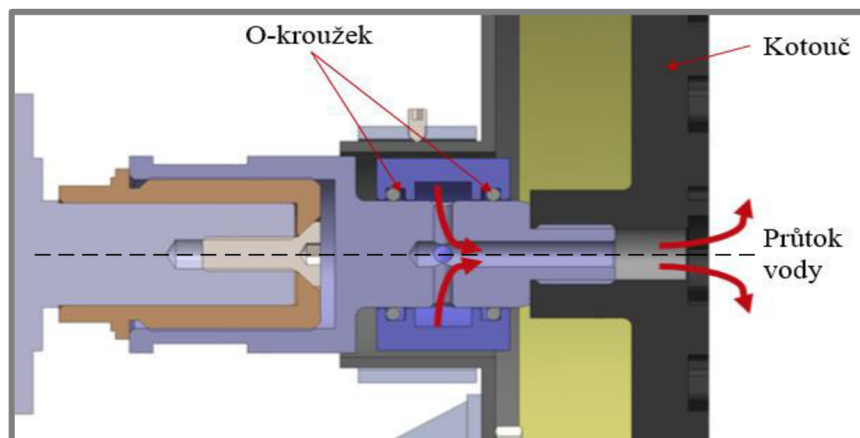
Celý proces je chlazen vodou v uzavřeném okruhu. Pod spodním dopravníkem je umístěna odtoková nádoba pro zachytávání stékající vody. Voda z nádoby teče do filtračního zařízení. Z filtrační nádoby je čerpadlem dopravována voda do několika míst (Obr. 5-20). Z obou stran každého kotouče jsou stavitelné kloubové trysky, tak aby se docílilo dostatečného chlazení kotouče. Při projetí cihel následuje oplach cihel a tím se cihly očistí z obou stran. Horní i spodní řetězový dopravník je čištěn kartáčem s přívodem vody.



Obr. 5-20 Krytování a chlazení

Chlazení během procesu má několik funkcí, sníží opotřebení kotouče, odvádí obroušený materiál i obroušené brusivo z místa broušení, odvádí vzniklé teplo a při broušení plastových světlovedných prvků dosahujeme chlazením lepšího povrchu.

Na obrázku 5-21 je řez středem chlazení. Je zde dobře vidět přívod vody středem kotouče přímo do místa broušení a obroušený materiál se odplavuje pryč. Nerotující objímka je těsněna dvěma O-kroužky, které těsní rotační a nerotační část.



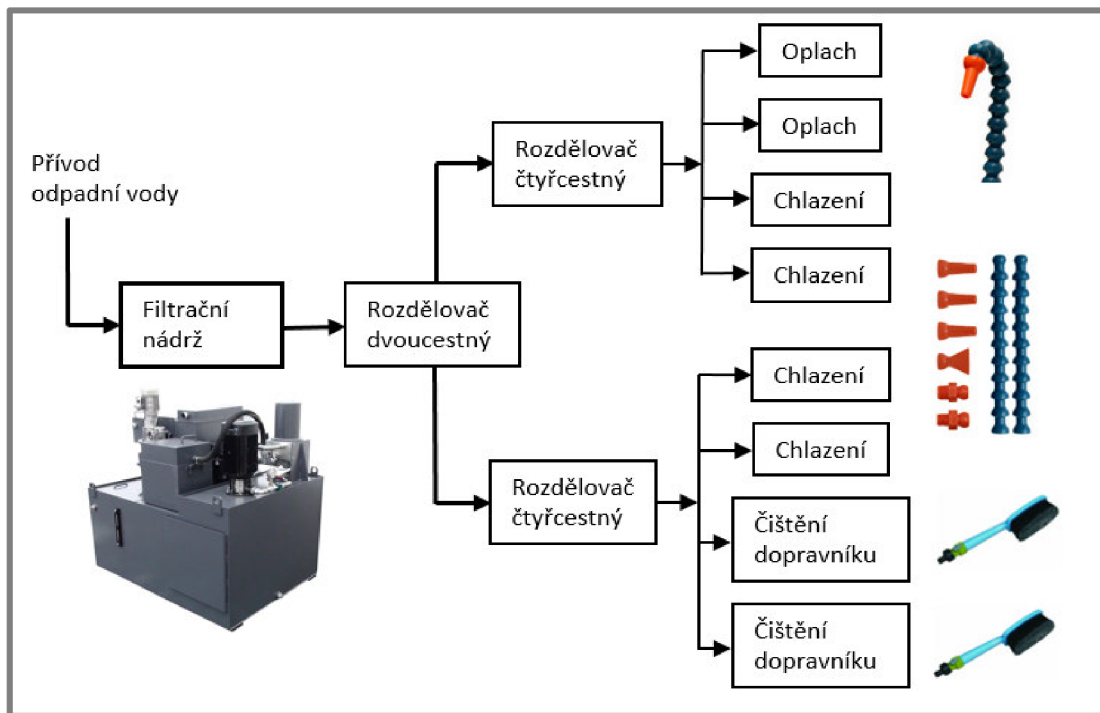
Obr. 5-21 Chlazení středem kotouče

Filtrace

Filtrace pro obroušení 10 m² za den musí pojmout přibližně 60 kg obroušeného prachu, při předpokladu čištění jednou denně (rovnice 61). Ke konci dne je nutné celý stroj i filtraci vyčistit. Rozsah ulpívání suspenze na stroji se ověří při testování. Voda obíhá v uzavřeném okruhu přes filtraci. V tomto případě je vhodné použití externí filtrace pro snadnější přístup a jednodušší čištění mimo pracoviště.

Pro prototyp se použije univerzální filtrace od firmy HYTEK s přibližným objemem nádrže 600 litrů, průtokem chladicí kapaliny maximálně 100 l·min⁻¹ a maximálním tlakem 6 barů. Filtrace na obrázku 5-22 je pouze ilustrační. Do filtrační nádoby povede odpadní voda zachycená z odtokové nádoby hadicí o průměru 1". Výstup z čerpadla povede 1/2" hadicemi. Zapojení hadic bude převážně přes

rychlospojky a šroubení. Dvojcestný a čtyřcestné rozváděcí ventily mají u každého výstupu uzavíratelný kohout (Obr. 5-22).



Obr. 5-22 Schéma chlazení [39]

Výpočet objemu a hmotnosti prachu za den při produktivitě 10 m^2 (to odpovídá kapacitě 220 cihel za den).

Kde:

| | | | |
|--------|-------|-------------------------------|---------------------------|
| n | 220 | | počet cihel za den |
| a | 0,3 | m | délka cihly |
| p_b | 0,005 | m | přídavek k obroušení |
| c | 0,15 | m | výška cihly |
| V | | m^3 | obroušený objem za den |
| ρ | 1 200 | $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ | hustota cihel |
| m_b | | kg | obroušená hmotnost za den |

Obroušený objem

$$V = a \cdot c \cdot p_b \cdot n = 0,3 \text{ m} \cdot 0,15 \text{ m} \cdot 0,005 \text{ m} \cdot 220 = 0,0495 \text{ m}^3 \quad (51)$$

Obroušená hmotnost za den

$$m_b = V \cdot \rho = 0,0495 \text{ m}^3 \cdot 1200 \text{ kgm}^{-3} = 59,4 \text{ kg} \quad (52)$$

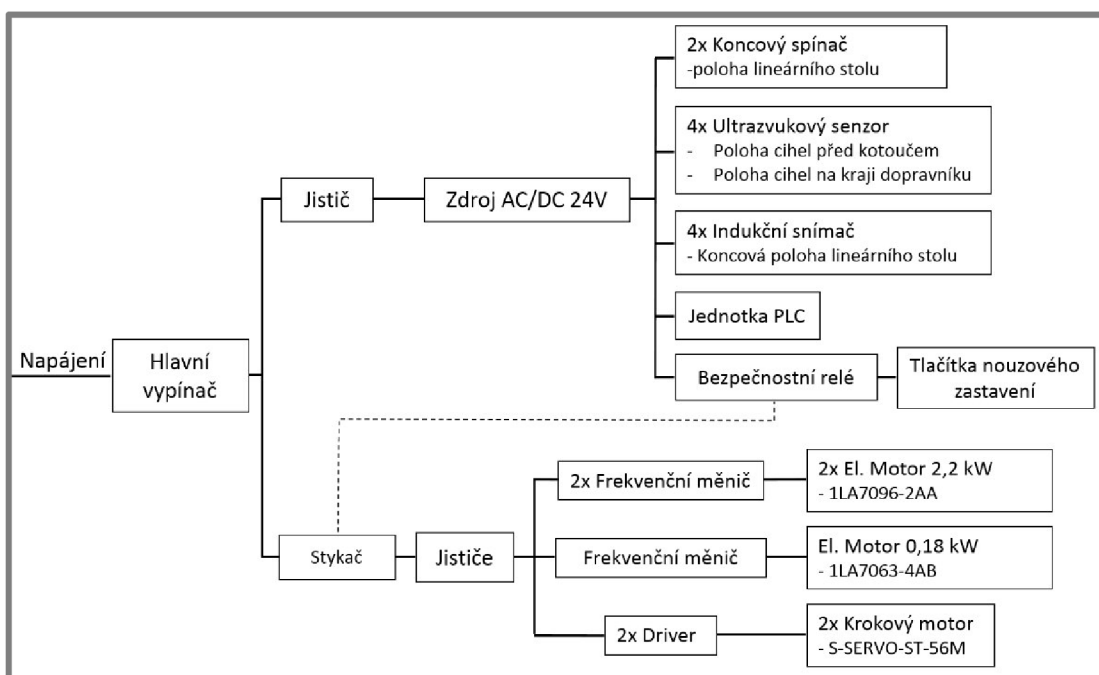
Osušení cihel pomocí vzduchu

Na konci dopravníku je možnost cihly osušit vzduchem a tím odstranit přebytečnou vodu z povrchu cihly. Pro prototyp není tato nadstavba důležitá a v případě potřeby bude zařazena až v kontinuální lince. Realizace bude spočívat v dokoupení kompresoru s expanzní nádobou a upevnění vzduchových trysek.

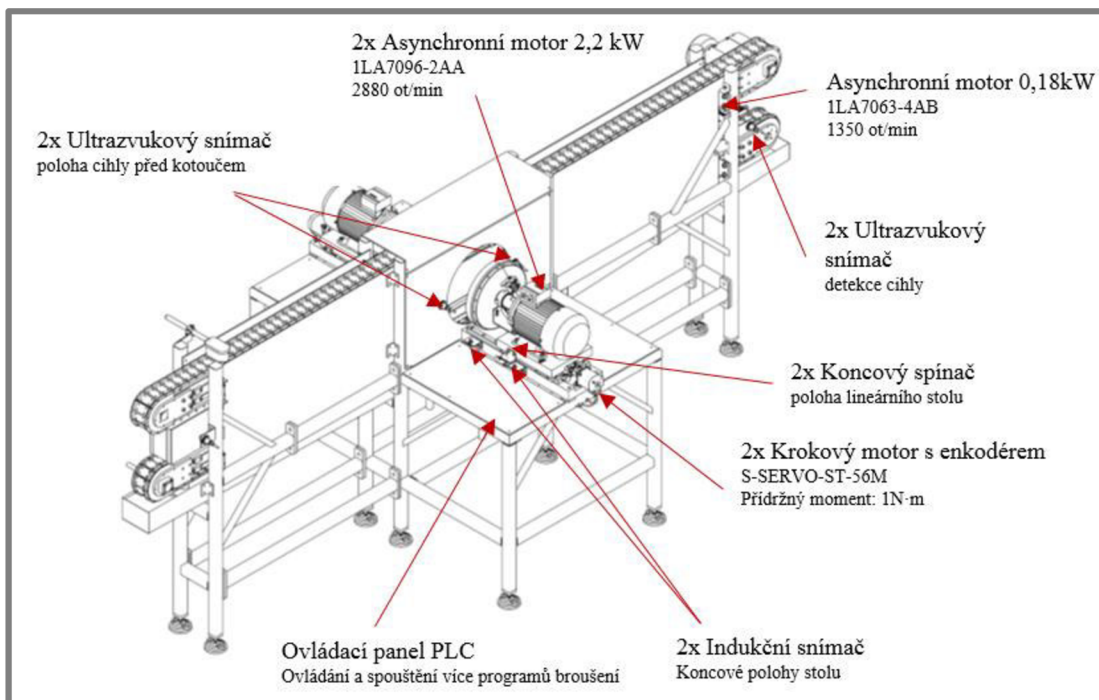
5.3.3 Elektronika a řízení

Mým úkolem nebylo naprogramování a zapojení stroje, proto je zde uvedeno schématické umístění jednotlivých součástí (Obr. 5-24) a schéma zapojení (Obr. 5-23). Na elektronice bylo spolupracováno programátorem od firmy DMT Jelínek. Detekce přítomnosti cihel je nutná na obou koncích dopravníku a i před brusným kotoučem. Koncový spínač umístění na polohovacím stole slouží k zjištění polohy lineární osy, tak aby byla změřena absolutní poloha.

LCD panel s tlačítky slouží k jednoduchému ovládání, kde pracovník může měnit programy broušení i korekci opotřebení nástrojů. Skříň s elektronikou bude umístěna mimo stroj.



Obr. 5-23 Schéma zapojení elektroniky



Obr. 5-24 Umístění elektroniky

5.3.4 Předběžný výpočet ceny

V tabulce 5-2 je předběžný odhad ceny prototypu. V ceně není započtena výroba a práce na sestavení.

Tab. 5-2 Předběžná cena zařízení

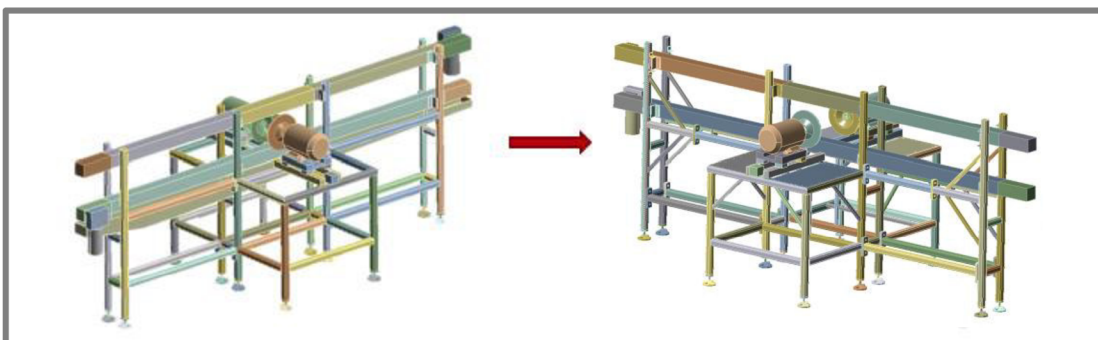
| Cena elektroniky | | Cena mechaniky | |
|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------|
| PLC jednotka | 10 900 Kč | rám | 60 000 Kč |
| 4x ultrazvukové snímače | 19 000 Kč | 2x řetězový dopravník | 70 000 Kč |
| 2x koncové spínače | 600 Kč | 6x brusné kotouče | 15 000 Kč |
| 4x indukční snímače | 8 160 Kč | lin. vedení a kuličkový šroub | 20 000 Kč |
| 2x frekvenční měnič 2,2 kW | 11 400 Kč | převodovka i50 | 4 000 Kč |
| frekvenční měnič 0,4 kW | 3 800 Kč | řetěz 12 B-1 | 10 000 Kč |
| 2x asynchronní motor 2,2 kW | 8 600 Kč | ostatní díly | 8 000 Kč |
| asynchronní motor 0,180 kW | 4 000 Kč | | |
| mezisoučet | 66 460 Kč | mezisoučet | 187 000 Kč |
| | | Celkový součet | 253 460Kč |

5.4 Modální analýza zařízení

Cílem modální analýzy je zjištění vlastních frekvencí stroje. Provozováním stroje na vlastních frekvencích by došlo k nárůstu vibrací, a to by mohlo vést ke snížení přesnosti stroje.

Zjednodušení modelu celého zařízení.

Postupnou optimalizací konstrukce rámu, přidáváním ocelových profilů, bylo dosaženo zvýšení tuhosti celého rámu (Obr. 5-25). Snahou je provozovat zařízení mimo vlastní frekvenci, popřípadě tyto frekvence rychle překonat.

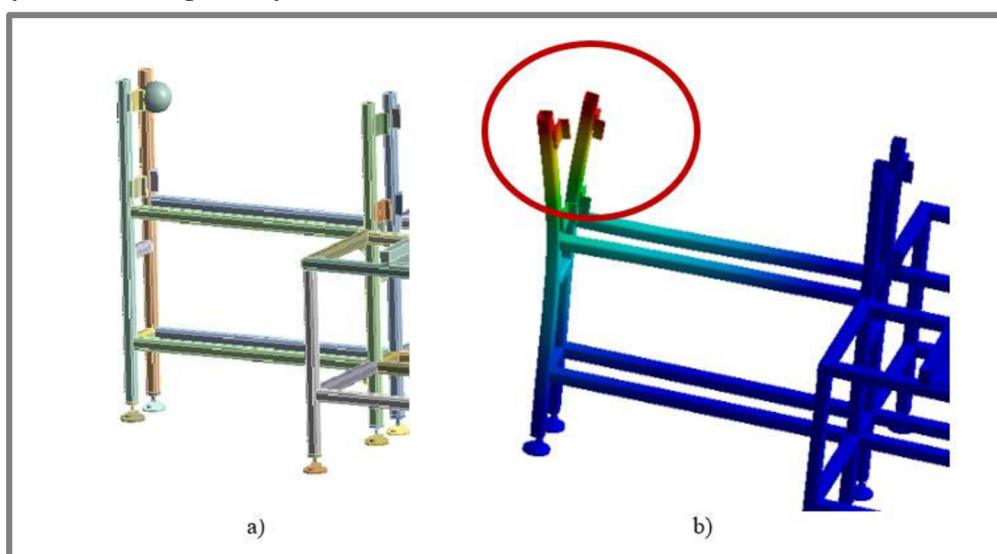


Obr. 5-25 Optimalizace rámu

Zjednodušení výpočtového modelu

Původně měl být horní a spodní dopravník nahrazen hmotným bodem (Obr. 5-26a), umístěným na upínací plochy dopravníku, a tak reprezentovat danou hmotu dopravníků. Ukázalo se, že upínací plochy se chovaly nestejně a neodpovídaly reálnému chování (Obr. 5-26b). Z tohoto důvodu byl horní a spodní dopravník nahrazen objemem o hustotě odpovídající skutečné hmotnosti dané části dopravníku (Obr. 5-28).

Celý rám byl uchycen za spodní stavěcí nohy, kde spodní plocha byla nastavena jako pevná vazba. Odpovídá to skutečnému ustavení stroje, kdy stroj bude přes stavěcí nohy ukotven do podlahy.



Obr. 5-26 a) Přidání hmotného bodu b) Chování hmotného bodu

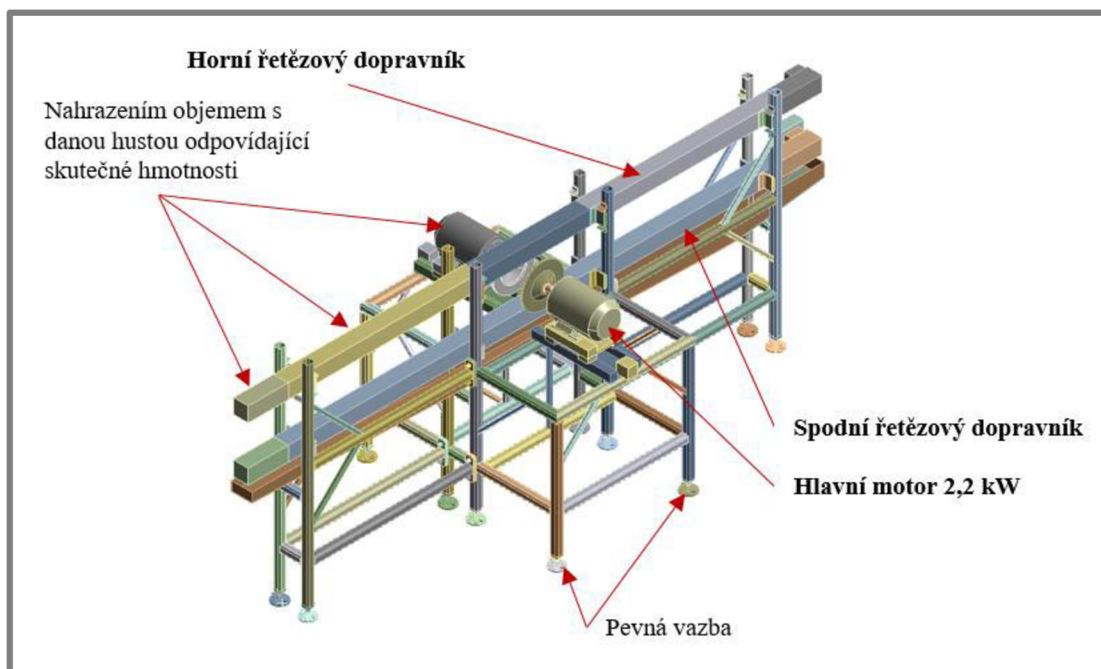
Parametry modální analýzy:

Počet těl: **267**
 Velikost prvků **10 mm**
 Počet elementů: **350 925**
 Počet uzlů: **1 153 848**

Postupnou optimalizací rámu stroje se podařilo úspěšně snížit rozsah kritických frekvencí a jejich počet v pracovním rozsahu stroje (40 – 60) Hz. Tento maximální rozsah vychází z přepočtu doporučených řezných rychlostí pro oba typy kotoučů.

| | Mode | <input checked="" type="checkbox"/> Frequency [Hz] |
|---|------|--|
| 1 | 1, | 24,746 |
| 2 | 2, | 27,061 |
| 3 | 3, | 31,389 |
| 4 | 4, | 85,685 |
| 5 | 5, | 89,25 |
| 6 | 6, | 95,694 |

Obr. 5-27 Výsledky vlastních frekvencí



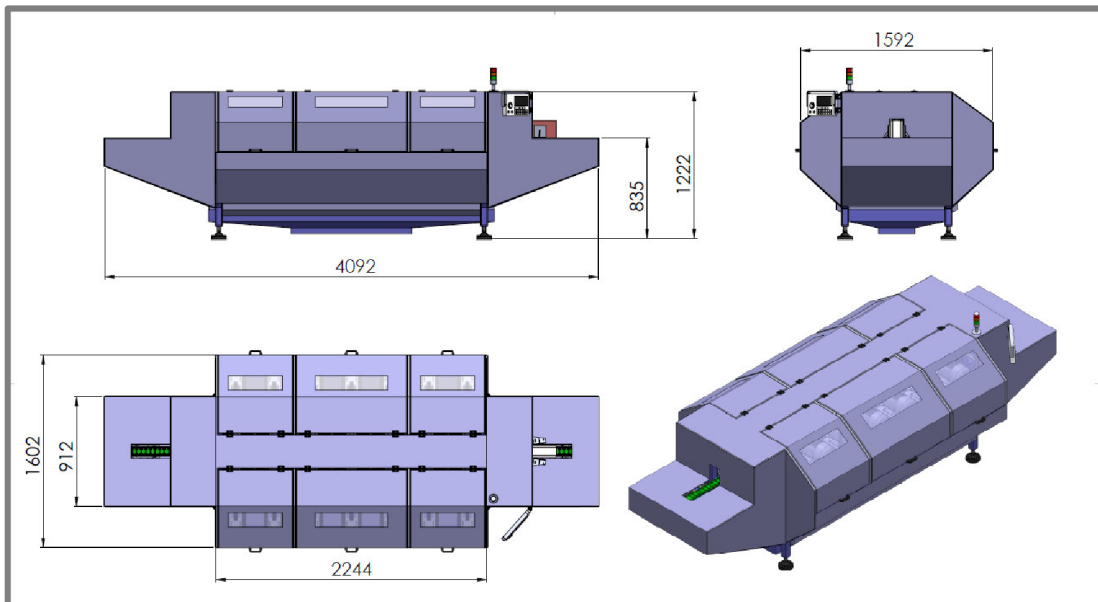
Obr. 5-28 Zjednodušení modelu

Výsledky vlastních frekvencí jsou přiloženy v příloze 1. Vypočteno bylo prvních šest vlastních frekvencí (Obr. 5-27). První tři vlastní frekvence jsou blízko sebe v rozsahu (25 - 31) Hz, proto tyto otáčky rychle překročíme při rozběhu nezátíženého stroje.

Celý model byl pro výpočet zjednodušen, například zde nebyly uvažovány kryty, které celé zařízení zpevní, proto vlastní frekvence bude nutné reálně ověřit po zapojení stroje.

5.5 Kontinuální linka

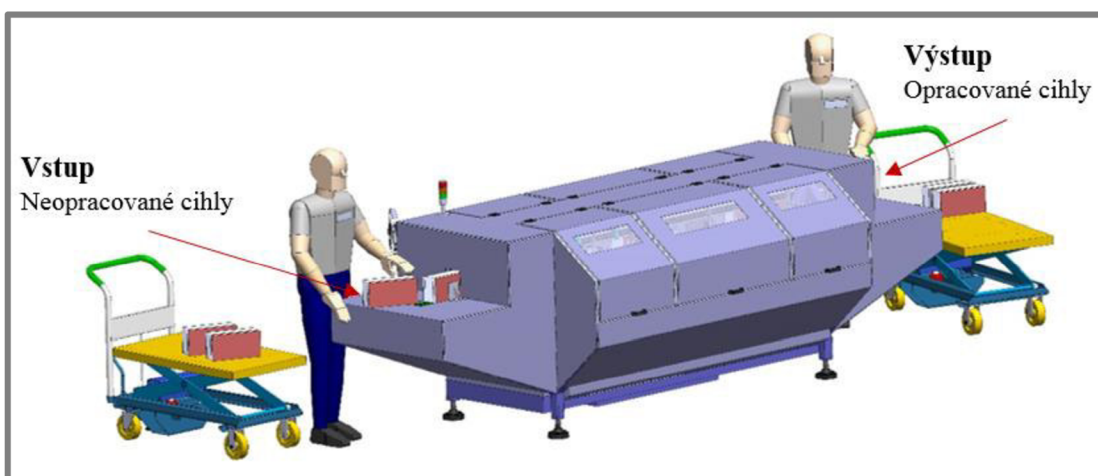
Součástí práce je i návrh kontinuální linky. Jedná se o vysoce produktivní řešení opracování cihel LiCrete. Návrh vychází z prototypu linky. Základní pohledy s rozměry jsou na obrázku 5-29.



Obr. 5-29 Kontinuální linka

Technologie broušení a obsluha stroje

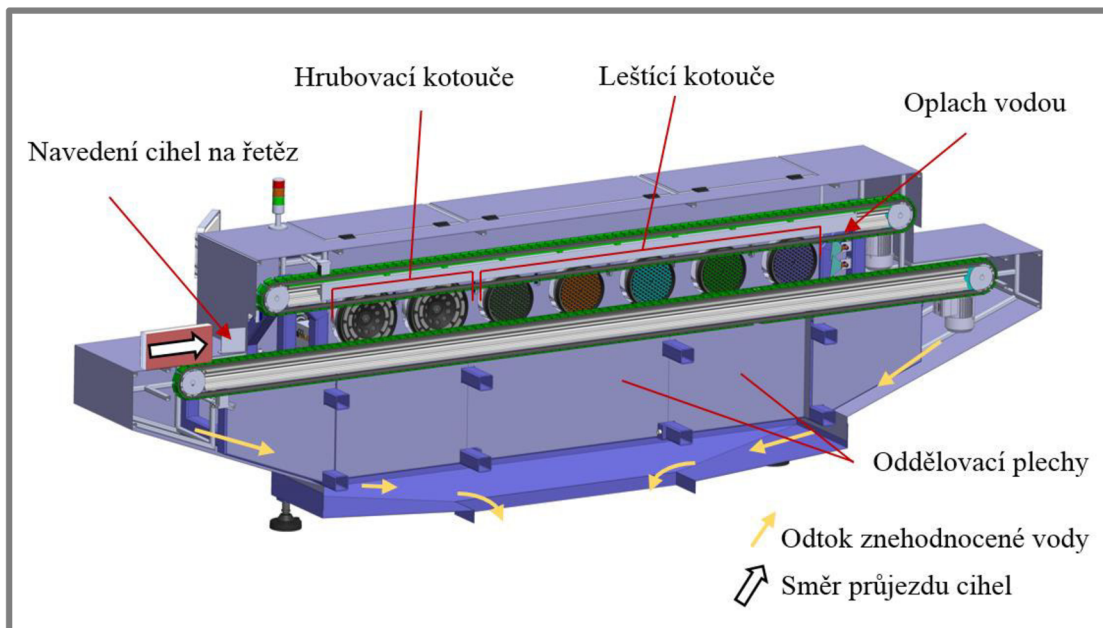
Pracovník na jedné straně skládá cihly na řetězový dopravník. Cihly mohou být podávány jednotlivě nebo hned za sebou. Cihly se pomocí vedení navedou a ustaví mezi horní a spodní řetězový dopravník (Obr. 5-30). Řetěz na horním dopravníku je přitlačován pomocí pružinového mechanismu. Princip je obdobný jako u prototypu linky. Linka je osazena sedmi páry motorů s kotouči. První dva páry hrubovacích kotoučů obrousí přebytečný materiál na požadovaný rozměr a poté následuje leštění, kdy následující kotouč zahladí stopu předchozího kotouče. Každý motor je zvlášť na



Obr. 5-30 Kontinuální linka

lineárním vedení, proto se dá samostatně pohybovat, nastavovat přesná poloha kotouče nebo vyvodit různý přítlak pro leštění.

Mezi každým brusným kotoučem z obou stran jsou laserové snímače, které s přesností

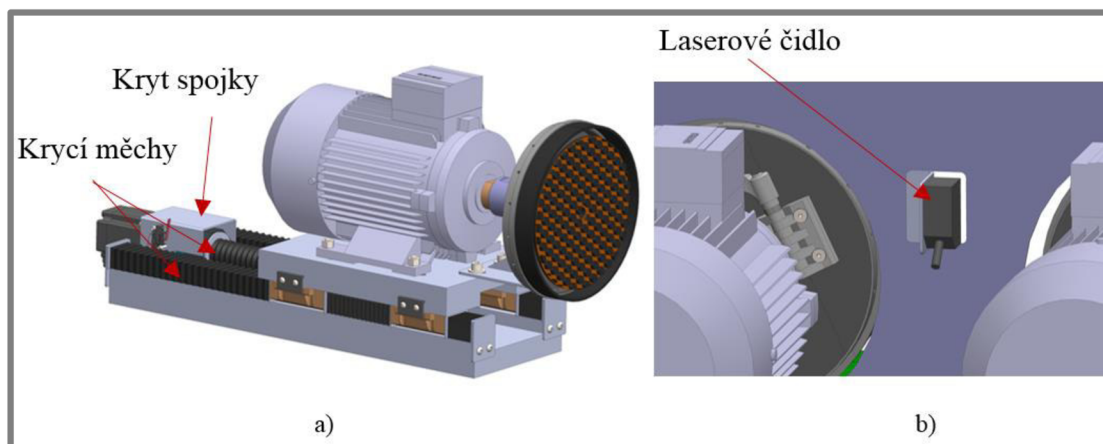


Obr. 5-31 Řez kontinuální linkou

na mikrometry změří šířku cihly. Umístění laserového snímače na obrázku 5-32b. Takto se sleduje během procesu šířka cihly. Pokud daná cihla je na okraji tolerančního pásma, korekci předchozího nástroje se seřídí požadovaná šířka pro následující cihly. Porovnáním korekce na brusných kotoučích a zadané výšky brusných segmentů, stroj vyhodnotí včasnou výměnu kotouče. Laserová čidla mimo jiné detekují přítomnost cihel před lešticími kotouči. Při průjezdu cihly lešticí kotouče přijdou k cihle, vyvodí lešticí přítlak a proběhne leštění. Po průjezdu zadní hrany cihly za střed kotouče, lešticí kotouč odjede do vyčkávací pozice na další cihly.

Podsestava lineární osy

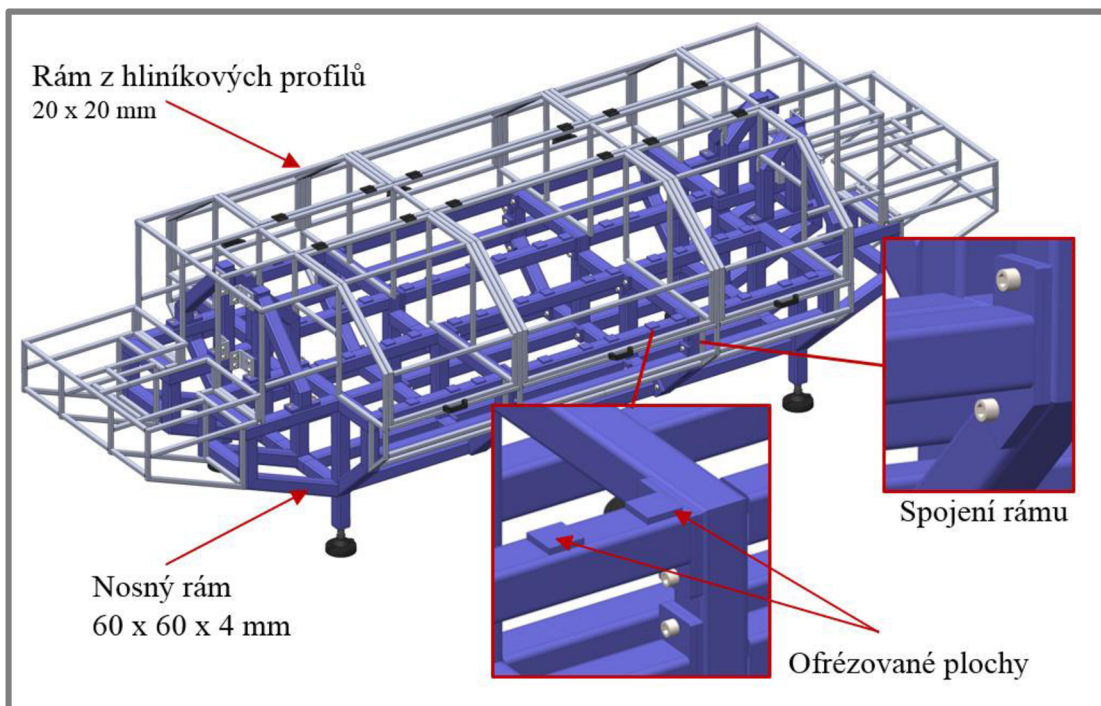
Podsestava lineární osy kontinuální linky se oproti návrhu na prototypu liší přidáním krytování lineárního vedení, krytování kuličkového šroubu a krytu spojky (Obr. 5-32a).



Obr. 5-32 a) Krytování lin. osy b) Umístění snímače

Rám stroje

Hlavní nosný rám se skládá ze svařených ocelových profilů o rozměru (60 x 60 x 4) mm z důvodu, aby disponoval vysokou tuhostí. Pro lepší manipulaci je stroj rozdělen na tři sešroubovatelné části. Prostřední část spojuje krajní svařence. Plochy, které slouží k ustavení lineární podstavy a spojovací plochy jsou ofrézovány po svaření. Na hlavním rámu je usazen krytovací rám z hliníkových profilů o rozměru (20 x 20) mm (Obr. 5-33).



Obr. 5-33 Rám stroje

Celý proces je chlazen vodou z toho důvodu je zde kompletní krytování. Pomocí plechů je oddělena prostřední oblast s hlavním broušením od ostatních částí. Z obrázku 5-31 je patrná návaznost krytu a usměrní tekoucí vody do středu stroje. Odpadní voda bude následně dopravována do filtračního zařízení. Podle zpracovaného řešení od firmy Antares s.r.o. by přibližná cena čističky odpadních vod z broušení betonu byla 1 700 000,-

6 DISKUZE

Hlavním úkolem diplomové práce byl konstrukční návrh prototypu pro broušení cihel LiCrete s minimální kapacitou 220 cihel za den pro zadavatele, firmu Gravelli. Prozatím se cihly brousí ručně a tím se nedosahuje potřebné kvality a produktivity výroby. Tato diplomová práce je prvním krokem pro následný vývoj kontinuální linky s kapacitou výroby minimálně 2 200 cihel za den. Cihla LiCrete je nový designový prvek, který nemá na trhu obdoby a umožňuje unikátní stavební řešení prostor.

Stroje dostupné na trhu, které mají neblíže k potřebné technologii opracování cihel LiCrete, slouží k broušení dosedacích ploch pálených cihel. Pálené cihly jedou na pásovém dopravníku a jsou broušeny z obou stran zároveň. Nevýhody těchto strojů jsou chybějící dokončovací operace leštění, přesné upnutí cihel, a že celý proces probíhá za sucha. U cihel LiCrete je nutné opracovat obě pohledové strany cihly s tím, že se současně opracovává beton s vloženými světlo-propustnými prvky. Proto bylo nutné navrhnout vhodný technologický postup s vysokým požadavkem na přesnost a kvalitu povrchu. Při leštění světlopropustných PMMA prvků je nutné chlazení vodou.

6.1 Prototyp linky

Prototyp se skládá z několika podsestav, kde cihly jedou na řetězovém dopravníku a jsou broušeny z obou stran zároveň. Základní parametry jsou v tabulce 6-1. Linka je schopná opracovat dle požadavku v zadání celé i poloviční cihly. Nejdříve se cihly opracují hrubě na požadovaný rozměr. Cihly jezdí po dopravníku tam i zpět. Takto se opracuje požadovaná denní kapacita výroby. Poté následuje kontinuální broušení na jeden průjezd vždy s jednou hrubostí kotouče. To se provede přibližně na šest technologických operací.

K broušení jsou použity kotouče, které jsou vhodné pro nevyzrálý beton. Díky chlazení středem kotouče se snižuje opotřebení nástrojů, odplavuje se obroušený materiál i obroušená zrna kotouče pryč z místa broušení. Chlazení je také nutné pro leštění PMMA světlopropustných prvků, aby nedocházelo k natavování materiálu.

Hlavní brusný motor se pohybuje po lineárním vedení, kde přesnou polohu stolu nastavuje krokový motor s enkodérem. Nastavení přesné polohy stolu se dosáhne otáčením kuličkového šroubu. Při leštění je nutný určitý přítlak, proto je matice kuličkového šroubu připevněna na pružinách a může se vůči stolu omezeně posunovat. Při hrubování je odpružení vymezeno pomocí šroubu. Jedním z mnoha úkolů bylo vyřešení chlazení středem kotouče. Přívod vody se připojí na objímku, která je těsněna o-kroužky. Voda dále protéká středem unašeče, na který se přímo na závit M14 šroubuje leštící kotouč nebo hrubovací kotouč Duplex A s redukcí.

Pro dopravu cihel byl použit řetězový dopravník s U-unašeči, na kterých jsou přišroubovány polyethylenové segmenty tvaru negativu cihly pro pevné a přesné ustavení cihel s vysokou tuhostí. Řetěz se kluzně pohybuje po vedení a je bočně středěný stavitelnými kluznými lištami, které slouží k vymezení vůle. V místě broušení je na horním dopravníku řetěz přitlačován pomocí stavitelného pružinového mechanismu, tak aby byly cihly dostatečně upnuty. Řetěz je opět bočně středěný

stavitelnými kluznými lištami sloužícími k vymezení vůle. Motor o výkonu 180 W pohání spodní dopravník. Horní a dolní dopravník je pevně svázán řetězovým převodem a pro změnu smyslu otáčení horního dopravníku slouží převod s ozubenými koly. Je to z důvodu stejné rychlosti otáčení obou dopravníků. Před výstupem z dopravníku jsou cihly očištěny vodou. Také horní a spodní dopravník je v průběhu otáčení čištěn kartáčem s přívodem vody.

Rám se skládá ze svařených ocelových profilů o rozměru (40 x 40 x 3) mm vyztužený ocelovým profilem (20 x 20 x 3) mm. Doporučená řezná rychlost pro leštící kotouče se pohybuje okolo $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a pro leštící kotouč okolo $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Po přepočtu je vhodná frekvence leštění 44 Hz a broušení 55 Hz. Z výpočtu modální analýzy stroje vyšly tři vlastní frekvence stroje v rozmezí (25-31) Hz a čtvrtá vlastní frekvence až při 86 Hz. Otáčky motoru se budou pohybovat v rozmezí (40-60) Hz a první tři vlastní frekvence rychle přejdeme při rozběhu stroje bez zatížení.

Voda s obroušeným materiálem je vedena do sběrné nádoby pod dopravníkem, odkud putuje do filtrace.

Na programování a samotné zapojení stroje řeší firma DMT Jelínek. V práci je uvedeno pouze zjednodušené schéma.

Cílem práce bylo mimo jiné i otestování funkčnosti zařízení, které je realizováno ve spolupráci s firmou DMT Jelínek s.r.o. Postup výroby bude prezentován u obhájeb. Získané poznatky budou sloužit ke konstrukci kontinuální linky. Prototyp výrobní linky bude poté sloužit k testování technologie nového složení cihel nebo pro broušení menšího počtu cihel. Prototyp bude schopný přibližně opracovat 685 cihel za den což odpovídá 62 m^2 za den, při uvážení šesti hodin broušení.

Tab. 6-1 Parametry prototypu linky

| Prototyp linky pro broušení cihel LiCrete | |
|---|---|
| Celková délka | 6 480 mm |
| Šířka | 1 080 mm |
| Výška | 1 160 mm |
| Brusná šířka cihly | 60 – 120 mm |
| Výška cihly | 140 – 160 mm |
| Požadovaná tolerance na šířku | 0,2 mm |
| Nejmenší nastavitelná poloha lin. osy | 0,012 mm |
| Rozmezí řezné rychlosti hrubovacího kotouče | $30 - 43 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| Rozmezí řezné rychlosti leštícího kotouče | $25 - 34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ |
| Výrobní kapacita | 685 cihel ~ 62 m^2 |

6.2 Koncepční návrh kontinuální linky

6.2

Předpokládá se velký zájem o tyto cihly, což otevírá se prostor pro optimalizaci, vývoj a návrh designu kontinuální linky, která vychází z navrhnutého prototypu. Skládá se ze sedmi párů brusných i leštících stanovišť, kde základní parametry jsou v tabulce 6-2. Navržená kontinuální linka by měla být schopna opracovat přibližně 9 600 cihel za den, což odpovídá 432 m^2 při uvážování střední rychlosti pásu a šesti hodin provozu linky.

Tab. 6-2 Parametry kontinuální linky

| Kontinuální linka | |
|---|----------------------------------|
| Celková délka | 4 090 mm |
| Šířka | 1 600 mm |
| Výška | 1 220 mm |
| Brusná šířka cihly | 60 – 120 mm |
| Výška cihly | 140 – 160 mm |
| Požadovaná tolerance | +/- 0,1 mm |
| Nejmenší nastavení pozice lin. osy | 0,012 mm |
| Rozmezí řezné rychlosti hrubovacího kotouče | 15 – 43 m·s ⁻¹ |
| Rozmezí řezné rychlosti leštícího kotouče | 11 – 34 m·s ⁻¹ |
| Výrobní kapacita | 9 600 cihel ~ 432 m ² |

7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout prototyp broušící linky, pro broušení speciálních cihel LiCrete.

V teoretické části diplomové práci byl popsán současný stav poznání, kde byla uvedena problematika a způsoby opracování cihel. Práce řeší unikátní problém broušení betonových cihel s vloženými PMMA prvky. Cihla musí vykazovat vysokou kvalitu opracování, zejména její světlopropustné prvky. Proto je zde nezbytné, aby byl celý proces chlazen vodou.

Práce se zabývá zhodnocením různých koncepčních variant, které mimo jiné byly posouzeny na obtížnost obsluhy a požadavku vysoké kapacity výroby. Výsledná konstrukce byla vybrána především díky jednoduché obsluze a v případě kontinuální linky vysoké kapacity výroby. Prototyp linky byl navržen tak, aby opracoval cihly LiCrete s přídavkem 5 mm s přesností 0,2 mm o minimální výrobní kapacitě 220 cihel za den. Prototyp mimo jiné bude sloužit k ověření funkčnosti a návrhu procesních parametrů pro kontinuální linku, kde lze nastavovat a měnit rychlost pohybu cihel na dopravníku, řeznou rychlost, přítlak na leštících kotoučů a výška úběru. Výhodou je přívod chlazení středem kotouče.

Součástí práce pro prototyp linky je kompletní výkresová dokumentace podložena výpočty. Po výrobě kontinuální linky může prototyp sloužit k testování technologie broušení cihel s různým složením. Součástí práce je i koncepční výkres sestavy kontinuální linky (v příloze). Předpokládá se velký zájem o tyto cihly, což otevírá prostor pro optimalizaci, vývoj a design kontinuální linky.

Výstupem práce je ověření funkčního vzorku, který je v současné době realizován firmou DMT Jelínek s.r.o. a bude dále vyvíjen a testován. Hlavní cíle práce byly splněny.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LiCrete. *Gravelli* [online]. Praha, 2012 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.gravelli.com/cz/technologie/licrete>
- [2] COLLEPARDI, Mario. *Moderní beton*. 1. vyd. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009, 342 s. Betonové stavitelství. ISBN 978-80-87093-75-7.
- [3] TICHÝ, Erik a Pavel BARTÁK. *Technologie zpracování kamene I* [online]. První. Hořice, 2009 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.spsks.cz/skola/dokumenty/ucebnice/>
- [4] TICHÝ, Erik a Pavel BARTÁK. *Technologie zpracování kamene III* [online]. První. Hořice, 2009 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.spsks.cz/skola/dokumenty/ucebnice/>
- [5] Pokyny ke zpracování Plexiglas. *Plexisklo* [online]. Praha, 2012 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: http://www.plexisklo.eu/public/media/plexisklo_desky/pokyny-ke-zpracovani-plexiskla-plexiglas.pdf
- [6] PROCHÁZKOVÁ, Jana. *Optimalizace procesu přípravy čistých polymetylmetakrylátových povrchů pro speciální aplikace*. Zlín, 2014. Diplomová práce.
- [7] MRLÍK, Jiří. *Výzkum vlivu změny teploty na parametry drsnosti při broušení*. Zlín, 2012. Bakalářská práce.
- [8] *Technologie zpracování kamene IV* [online]. První. Hořice, 2009 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.spsks.cz/skola/dokumenty/ucebnice/>
- [9] ROŠICKÝ, Václav. *Kamenictví: tradice z pohledu dneška*. 2., upr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2001, 238 s. Stavitel. ISBN 80-247-9055-6.
- [10] Brousíci a frézovací rameno. *Kaspe* [online]. Pelhřimov, 2016 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: http://old.kaspe.cz/cz/b_br100f.php
- [11] Brousíci automat na plochy EMB-K. *Euromasiv* [online]. Pelhřimov, 2010 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.euromasiv.cz/cz/produkty/brusky-pro-brouseni-frezovani-hran-ploch/brousici-automat-na-plochy-emb-k/>
- [12] Italcommma. *Italcommma* [online]. Rokycany, 2016 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.italcommma.cz/stroje-na-obrabeni-kamene/cnc-obrabeci-centra-na-kamen/denver/cnc-obrabeci-centrum-na-kamen-krea>
- [13] MATIČKA, Robert a Jaroslav TALÁCKO. *Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů*. 2. přeprac. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1991. ISBN DT 65-52.
- [14] KELLER HCW Standard grinding machine. *Keller* [online]. 2016 [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: <http://www.keller.de/en/machinery-and-plants/grinding-machines/keller-hcw-standard-grinding-machine.htm#1>
- [15] Grinding centre for plane bricks. *Lingl* [online]. 2015 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: http://www.lingl.com/fileadmin/content/prospekte/einzelmaschinen/19221_planschleifzentrum_de_en_rz_fuer_web.pdf

- [16] KEMKA, Vladislav. *Stavba a provoz strojů: stroje a zařízení pro SPŠ strojní*. Vyd. 1. Praha: Informatorium, 2009. ISBN 978-80-7333-075-0.
- [17] *MM Průmyslové spektrum*. Praha: Vogel Publishing, 2006. ISBN 1212-2572.
- [18] Systém přídatného pastorku ZV a hřebenu. *Rem* [online]. b.r. [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/pohyb-pohony-prevody/prevodovky/pohon-s-ozubenym-hrebenem/system-pridavneho-pastorku-zv-a-hrebenu-844.html>
- [19] Lineární motor. *Pohonna technika* [online]. 2016 [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/linearni-motor>
- [20] Lineární osa s řemenem. *T.E.A. Technik* [online]. 2007 [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <http://www.teatechnik.cz/linearni-osa-remenem-new-generation/>
- [21] Lineární vedení kuličkové. *THK* [online]. 2006 [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <https://www.thk.com/?q=cz/node/3749>
- [22] Lineární kuličková ložiska. *SKF* [online]. b.r. [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/linear-motion/linear-guides-and-tables/linear-ball-bearings/linear-ball-bearing-lbc/index.html>
- [23] Mechanické pohyby pro extrémní prostředí. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2016 [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/mechanicke-pohyby-pro-extremni-prostredi.html>
- [24] Odměřovací systémy a jejich vliv na přesnost. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2013 [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/odmerovaci-systemy-a-jejich-vliv-na-presnost.html>
- [25] Nová generace snímačů polohy. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2016 [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-generace-snimacu-polohy.html>
- [26] Řetězový dopravník. *SG strojírna* [online]. b.r. [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <http://www.sg-stroj.cz/reference-zv>
- [27] Dopravníky. *Likos* [online]. b.r. [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <http://www.liko-s.cz/page/cz/713/dopravniky/>
- [28] Krokový motor. *Pohonná technika* [online]. 2016 [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/krokovy-motor>
- [29] Motory Siemens. *Elektromotory Siemens* [online]. b.r. [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: http://www.elektromotory.net/upload/file/katalog_11a7.pdf
- [30] Lineární vedení. *HIWIN* [online]. b.r. [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/sk/stiahnut/katalog>
- [31] FÜRBACHER, Ivan, Josef STEIDL a Karel MACEK. *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, 1998-2006 [cit. 2017-05-04]. ISBN 8086229025.
- [32] ŘEZNÍČEK, Jan a Jitka ŘEZNÍČKOVÁ. *Pružnost a pevnost v technické praxi: příklady I*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 8001032094.

- [33] Dia fréza KSL. *Weha* [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.weha.cz/dia-freza-ksl-130-sf-k-00-ean5003189-skup559.php>
- [34] Kyvná leštící hlava HTS. *Bouda comemercio* [online]. Červený Újezd, 2011 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.boudacommercio.cz/kyvna-lestici-hlava-hts>
- [35] Planetové vřeteno. *Bouda commercio* [online]. Červený Újezd, 2011 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.boudacommercio.cz/vreteno-pro-stranove-lestici-automaty-tlc3>
- [36] JAŠÍČEK, R. *Manipulační operace s průmyslovými roboty*. Brno, 2013. Bakalářská práce.
- [37] Přisavky. *Vakuum technik* [online]. 2011, b.r. [cit. 2016-05-24]. Dostupné z: http://www.vakuumtechnik.cz/download/piab/PIAB_prisavky_brozura_CZ.pdf
- [38] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2008. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [39] Rychloupínka. *Hahn-kolb* [online]. 2009 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.hahn-kolb.cz/foto_katalog/1506864.jpg
- [40] Zvedací stůl. *Alto systems* [online]. 2011 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.altosystems.cz/gallery/mxe.jpg>
- [41] LiCrete - beton propouštějící světlo. *Stavební noviny* [online]. 2016 [cit. 2016-05-26]. Dostupné z: <http://tvstav.cz/clanek/3212-licreter-beton-propoustejici-svetlo#>
- [42] Brousící automat na plochy EMB-K. *Euromasiv* [online]. b.r. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: <http://www.euromasiv.cz/cz/produkty/brusky-pro-brouseni-frezovani-hran-ploch/brousici-automat-na-plochy-emb-k/>
- [43] Agregáty chlazení. *HYTEK* [online]. b.r. [cit. 2017-02-01]. Dostupné z: http://www.hytek.cz/produkty_prehled.php?pd=29
- [44] *Dopravník pro cihly* [online]. b.r. [cit. 2017-02-02]. Dostupné z: <http://www.wassmer.de/en/ziegel-baustoffe/quarter-bricks/>

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN**Seznam použitých zkratk**

| | |
|------|--|
| 3D | Z anglického překladu: 3-Dimension - Třírozměrná |
| CNC | Z anglického překladu: Computer Numerical Control – Číslicové řízení pomocí počítače |
| ČKV | Čistá kamenická výroba |
| FEPA | Mezinárodní norma z anglického překladu: Federation of European Producers of Abrasives – Evropská federace výrobců brusiva |
| HKV | Hrubá kamenická výroba |
| HMH | Hypotéza Huber, von Mises, Hencky |
| MKP | Metoda konečných prvků |
| PLC | Z anglického překladu: Programmable Logic Controller – programovatelný logický automat |
| PMMA | Polymethylmethakrylát |
| SiC | Karbid křemíku |
| UKV | Ušlechtilá kamenická výroba |

Seznam použitých symbolů a veličin

| | | |
|-------------|-------------------------------|---|
| ρ_r | $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ | hmotnost jednoho metru řetězu |
| φ_0 | $^\circ$ | třecí úhel za klidu |
| a | m | délka cihly |
| b | m | šířka cihly |
| c | m | výška cihly |
| C_0 | N | statická únosnost jednoho lin. vozíku |
| d | mm | průměr kuličkového šroubu |
| d_p | mm | roztečný průměr řetězového kola |
| d_t | mm | délka řetězu na řetězovém kole |
| f | Hz | frekvence |
| F_1 | N | síla v dotyku 1 |
| F_{1x} | N | x-ová složka síly v bodě 1 |
| F_2 | N | síla v dotyku 2 |
| F_{2x} | N | x-ová složka síly v bodě 2 |
| F_A | N | axiální síla |
| F_{DR} | N | maximální dovolená radiální síla na konci hřídele |
| F_{DX} | N | maximální dovolená axiální síla |
| F_G | m | tíhová síla |
| F_g | N | tíhová síla |
| F_{G1} | m | tíhová síla na jeden vozík |
| F_{gr} | N | reakce od tíhové síly |
| f_k | - | statický bezpečnostní faktor |
| F_{\max} | N | maximální přípustná boční síla |
| F_p | N | přítlačná síla |

Seznam použitých zdrojů

| | | |
|---------------|---------------------|--|
| F_{pR} | N | reakce od pružinové upnutí |
| F_R | N | přepočtená maximální síla radiální síla |
| F_r | - | součinitel tření |
| F_s | - | součinitel provozu |
| F_T | N | radiální síla nahrazující upnutí kotouče |
| F_u | N | utahovací síla |
| F_v | - | součinitel rychlosti |
| L_1 | mm | vzdálenost k osazení |
| l_1 | m | délka dopravníku |
| $L_{\dot{r}}$ | m | celková délka řetězu |
| L_T | mm | vzdálenost k těžišti |
| m | kg | celková hmotnost na lin. vedení |
| m_b | kg | obroušená hmotnost za den |
| M_r | kg | celková hmotnost řetězu |
| M_u | Nm | utahovací moment |
| n | - | počet cihel za den |
| N_1 | W | výpočet požadovaného příkonu |
| n_{20} | min ⁻¹ | otáčky hlavního motoru při frekvenci 20 Hz |
| n_{60} | min ⁻¹ | otáčky hlavního motoru při frekvenci 60 Hz |
| n_d | min ⁻¹ | otáčky motoru dopravníku |
| n_i | min ⁻¹ | otáčky řetězového kola dopravníku |
| n_p | min ⁻¹ | otáčky řetězového kola |
| P | mm | stoupání kuličkového šroubu |
| p | mm | rozteč řetězu |
| P_1 | kg | celková maximální přepravovaná hmotnost |
| p_b | m | přídavek k obroušení |
| P_D | MPa | tlak, který způsobí 1% deformaci |
| p_p | - | počet pól párů |
| p_r | - | počet řetězů |
| S | mm ² | kluzná plocha |
| T_1 | N | tažná síla |
| V | m ³ | obroušený objem za den |
| $v_{20;60}$ | m·min ⁻¹ | rychlost řetězového dopravníku |
| v_{p1} | m·s ⁻¹ | minimální rychlost řetězového dopravníku |
| v_{p5} | m·s ⁻¹ | maximální rychlost řetězového dopravníku |
| z | - | počet zubů řetězového kola |
| γ | ° | úhel stoupání |
| ρ | kg·m ⁻³ | hustota cihel |
| η | - | účinnost dopravníku |

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

| | |
|---|----|
| Obr. 1-2 Technologický postup výroby cihel LiCrete [34] | 15 |
| Obr. 1-1 a) Betonová cihla LiCrete [1] b) Neobroušená poloviční cihla | 15 |
| Obr. 2-1 Vliv vláken na průhyb betonu na napětí v tahu ohybem [2] | 16 |
| Obr. 2-2 Příklad značení zrnitosti FEPA [4] | 18 |
| Obr. 2-3 a) Brusný kotouč [26] b) Planetová hlava [28] c) Hlava Wackelkopf [27] | 18 |
| Obr. 2-4 Postup broušení [4] | 19 |
| Obr. 2-5 Leštění plamenem [6] | 19 |
| Obr. 2-6 Graf drsnosti povrchu na druhu chladiwa [7] | 21 |
| Obr. 2-7 a) Brousicí rameno [3] b) Mostová bruska [4] c) CNC obráběcí centrum KREA [5] | 22 |
| Obr. 2-8 a) Příklad zvedacího mechanismu [33] b) Příklad rychloupínky [32] | 23 |
| Obr. 2-9 a) Měchová přísavka (pasivní prvek) [30] b) Příklad přísavky s ejektorem [31] c) Příklad použití [30] | 24 |
| Obr. 2-10 Brousicí linka od firmy Keller [14] | 25 |
| Obr. 2-11 a) Pneumatické přitlačování cihel [14] b) Způsob vedení cihel [14] | 26 |
| Obr. 2-12 Brousicí stroj firmy Lingl - 2 moduly [15] | 26 |
| Obr. 2-13 a) Princip přitlačování cihel [15] b) Brusná jednotka [15] | 27 |
| Obr. 2-14 Příklad pásového dopravníku [40] | 28 |
| Obr. 3-1 Rozměry cihly | 30 |
| Obr. 4-1 a) Manipulační vozík b) Brousicí poloautomat firmy Euromasiv [38] | 32 |
| Obr. 4-2 Návrh varianty II | 33 |
| Obr. 4-3 Varianta II - zlepšení přístupu | 34 |
| Obr. 4-4 Návrh varianty III | 35 |
| Obr. 4-5 Návrh varianty IV | 36 |
| Obr. 4-6 a) Ozubený hřeben [35] b) Schéma lineárního elektromotoru [36] c) Ozubený řemen [37] | 37 |
| Obr. 4-7 a) Lineární tvarové vedení [21] b) Lineární kruhové vedení [22] | 37 |
| Obr. 4-8 a) Přímé snímání polohy [25] b) Nepřímé snímání polohy [24] | 38 |
| Obr. 4-9 a) Tvar pásu b) Řetěz s unašeči [26] c) Válečková trať | 39 |
| Obr. 5-1 Brousicí linka se základními rozměry | 40 |
| Obr. 5-2 Použité kotouče a) Duplex A b) leštící kotouče | 41 |
| Obr. 5-3 Brusná podsestava | 42 |
| Obr. 5-4 Výpočet utahovacího momentu | 43 |
| Obr. 5-5 Upnutí kotoučů, hrubování/leštění | 44 |
| Obr. 5-6 Silové působení | 44 |
| Obr. 5-7 a) Řetěz s U unašeči 12B – 1 [18] b) Upevnění segmentů na řetěz | 46 |
| Obr. 5-8 a) přitlačování cihel b) upnutí cihel | 46 |
| Obr. 5-9 Grafické řešení a) Působení sil b) Grafické řešení | 47 |
| Obr. 5-10 a) Napínání řetězu b) Pohon spodního dopravníku | 48 |
| Obr. 5-11 a) Převod řetězem b) Převod ozubenými koly | 50 |
| Obr. 5-12 Namáhané hřídele | 52 |
| Obr. 5-13 Výpočet hřídele A | 53 |
| Obr. 5-14 Výpočet hřídele A v místě I | 53 |
| Obr. 5-15 Výpočet hřídele A část II | 55 |
| Obr. 5-16 Reakce v ložiskách, hřídel A | 58 |
| Obr. 5-17 Krytování ložisek | 59 |
| Obr. 5-18 Rám stroje | 59 |

| | |
|--|----|
| Obr. 5-19 a) Kartáč KOTIQUICK [41] b) Kryt kotouče | 60 |
| Obr. 5-20 Krytování a chlazení | 61 |
| Obr. 5-21 Chlazení středem kotouče | 61 |
| Obr. 5-22 Schéma chlazení [39] | 62 |
| Obr. 5-23 Schéma zapojení elektroniky | 63 |
| Obr. 5-24 Umístění elektroniky | 64 |
| Obr. 5-25 Optimalizace rámu | 65 |
| Obr. 5-26 a) Přidání hmotného bodu b) Chování hmotného bodu | 65 |
| Obr. 5-27 Výsledky vlastních frekvencí | 66 |
| Obr. 5-28 Zjednodušení modelu | 66 |
| Obr. 5-29 Kontinuální linka | 67 |
| Obr. 5-30 Kontinuální linka | 67 |
| Obr. 5-31 Řez kontinuální linkou | 68 |
| Obr. 5-32 a) Krytování lin. osy b) Umístění snímače | 68 |
| Obr. 5-33 Rám stroje | 69 |

11 SEZNAM TABULEK**11**

| | |
|---|----|
| Tab. 2-1 Ušlechtilé úpravy [3] | 17 |
| Tab. 2-2 Vliv chladiva na drsnost povrchu [7] | 20 |
| Tab. 2-3 Zrnitost kalů v rozměrovém i procentuálním zastoupení [8] | 21 |
| Tab. 2-4 Spotřeba vody a obsah pevných látek v kalové vodě [8] | 21 |
| Tab. 2-5 Rozdělení efektorů podle druhu uchopení objektů [29] | 23 |
| Tab. 2-6 Parametry stroje Keller HCW [10] | 25 |
| Tab. 2-7 Parametry broušícího stroje Lingl [11] | 27 |
| Tab. 4-1 Výhody a nevýhody varianty Ia | 32 |
| Tab. 4-2 Výhody a nevýhody varianty Ib | 32 |
| Tab. 4-3 Zhodnocení výhod a nevýhod druhé varianty | 33 |
| Tab. 4-4 Zhodnocení výhod a nevýhod varianty III | 35 |
| Tab. 4-5 Zhodnocení výhod a nevýhod čtvrté varianty | 36 |
| Tab. 5-1 Úhlové brusky | 42 |
| Tab. 5-2 Předběžná cena zařízení | 64 |
| Tab. 7-1 Parametry prototypu linky | 71 |
| Tab. 6-1 Parametry kontinuální linky | 72 |

12 SEZNAM PŘÍLOH

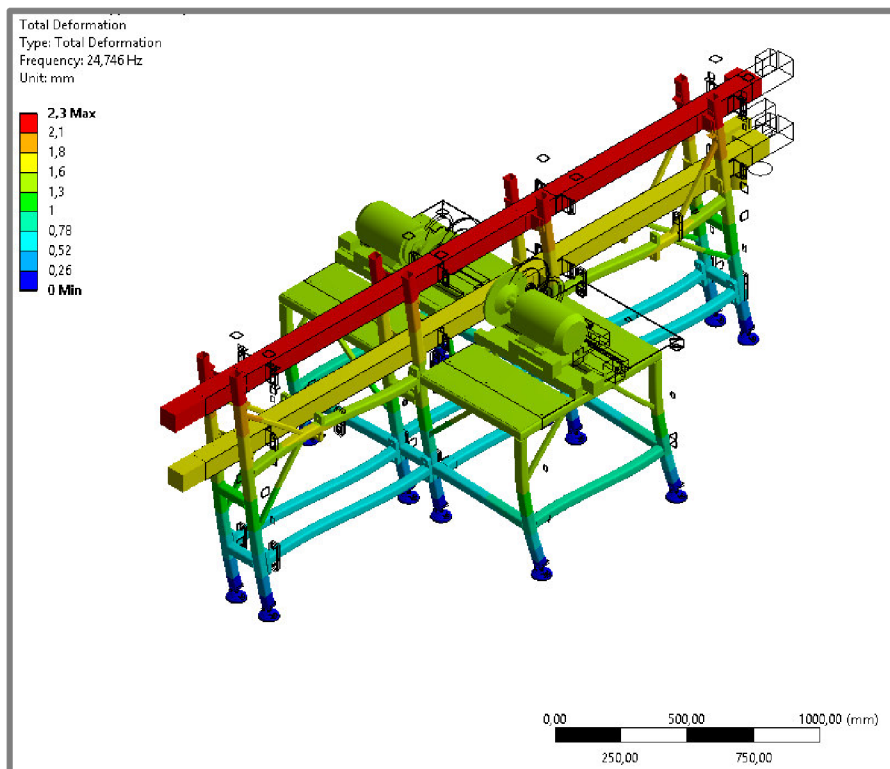
Příloha 1 – Výsledky modální analýzy

Příloha 2 – Výsledek MKP výpočtu

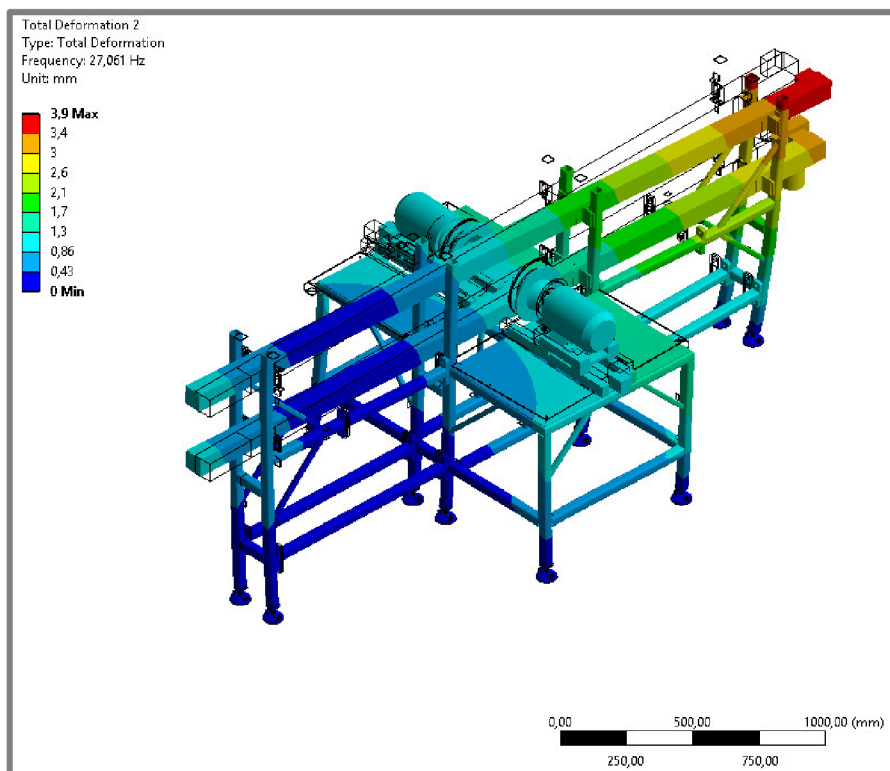
Příloha 3 – Návrhový výkres kontinuální linky

Příloha 4 – Vizualizace kontinuální linky

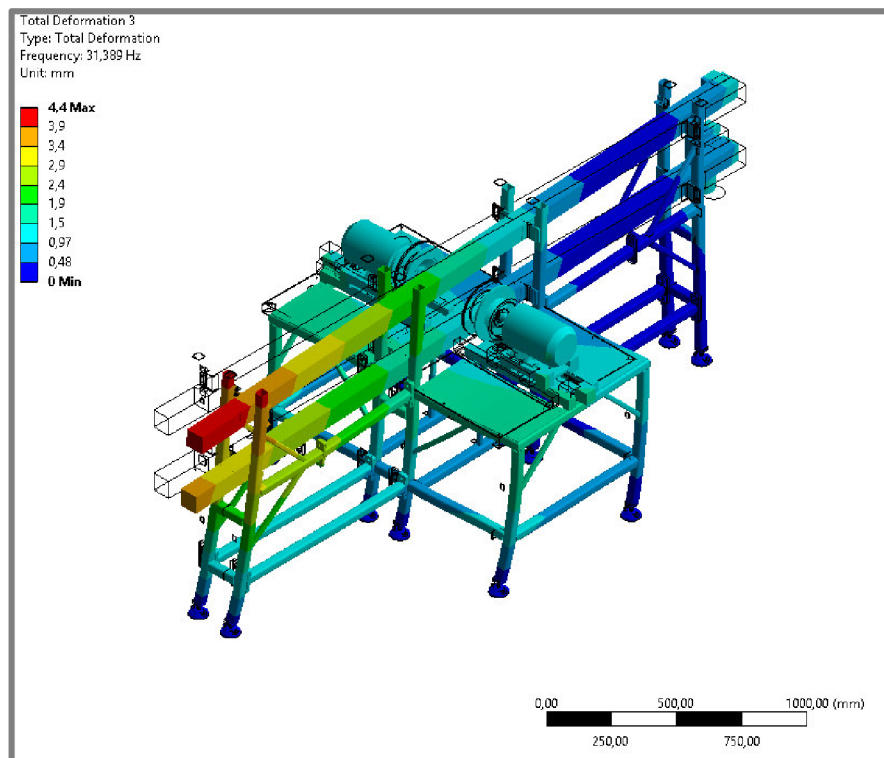
Příloha 1 - Výsledky modální analýzy



Obr. 1 První vlastní frekvence



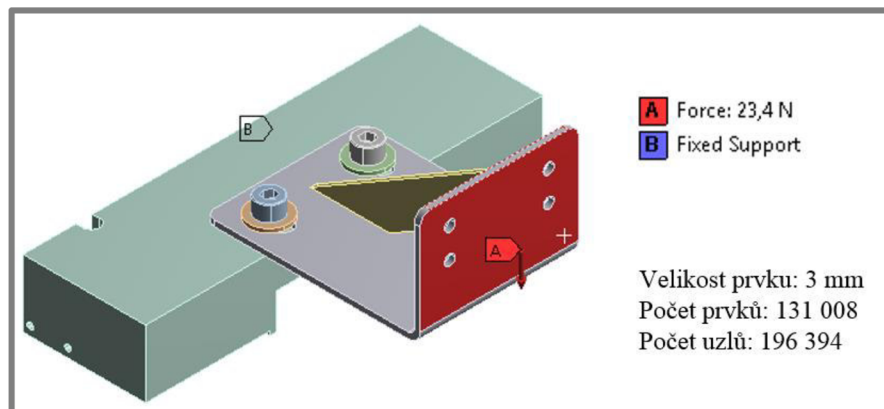
Obr. 2 Druhá vlastní frekvence



Obr. 3 Třetí vlastní frekvence

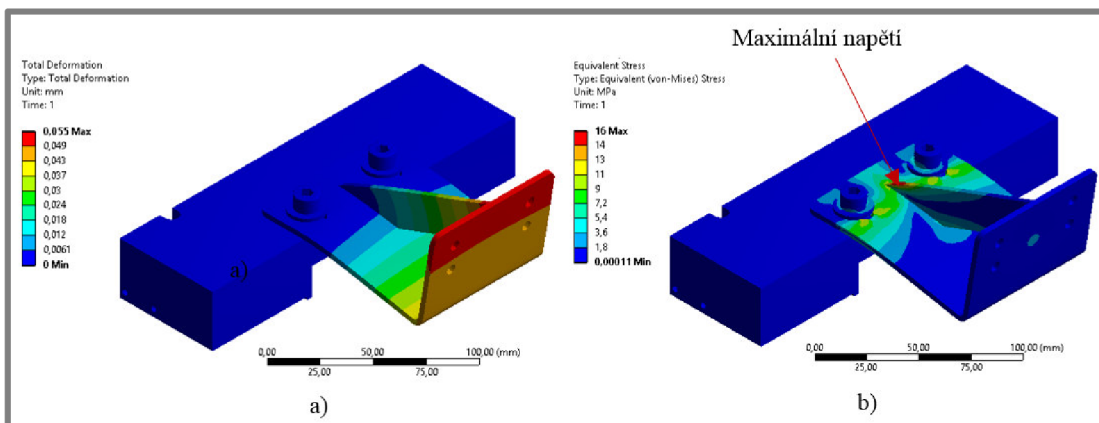
Příloha 2 - Pevnostní kontrola držáku krytu kotouče

Výpočet byl proveden v programu ANSYS Workbench 17.1. Na plochu A byla přidána zatěžovací síla 23,4 N odpovídající tíze krytu kotouče. Pevná podpora byla umístěna na zadní stěnu B.



Obr. 4 Počáteční podmínky

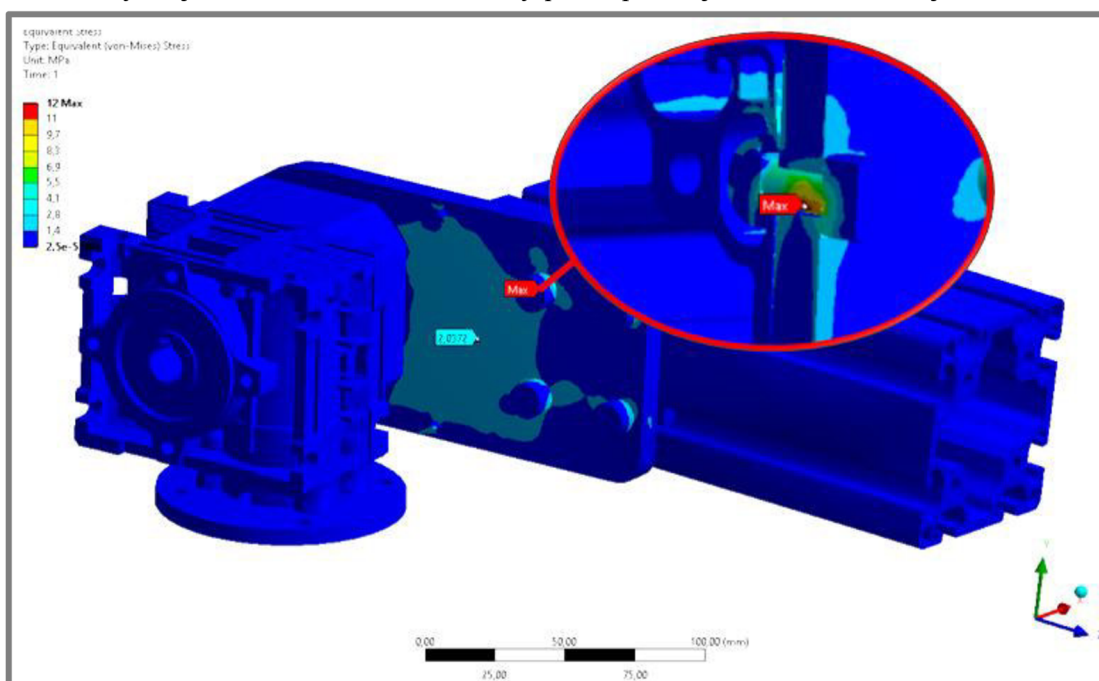
Výsledek výpočtu je na obrázku 5, kde maximální posuv je 0,06 mm a maximální napětí je 8 MPa. Napětí je velmi nízké a nemusíme se ho obávat.



Obr. 5 Výsledek výpočtu a) maximální posuv b) maximální napětí

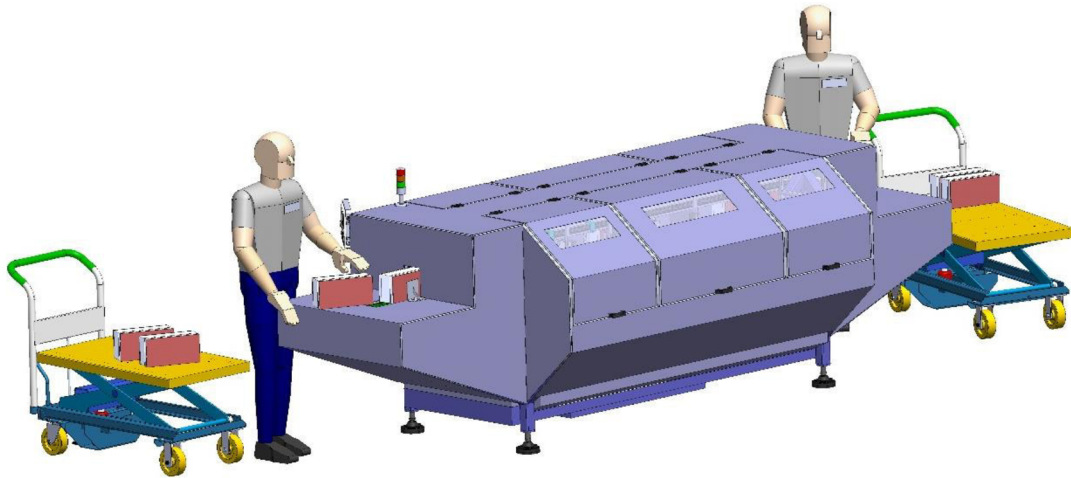
Kontrola upnutí převodovky a motoru

Byla provedena kontrola nejvíce zatěžované desky, na které je upnuta převodovka s motorem. Ve výpočtu byla zapnuta tíhová síla, motor byl nahrazen ekvivalentní silou. Podrobnější výsledky MKP analýzy jsou v příloze 2. Výsledné maximální napětí je 12 MPa a je nízké. Kde mez kluzu hliníkového profilu je 195 MPa a mez kluzu šroubu je 480 MPa. Maximální posunutí převodovky je 0,04 mm. Prvková síť okolo šroubů byla zjemněna na 3 mm. Celkový počet prvků je 103 800 a uzlů je 178 600.

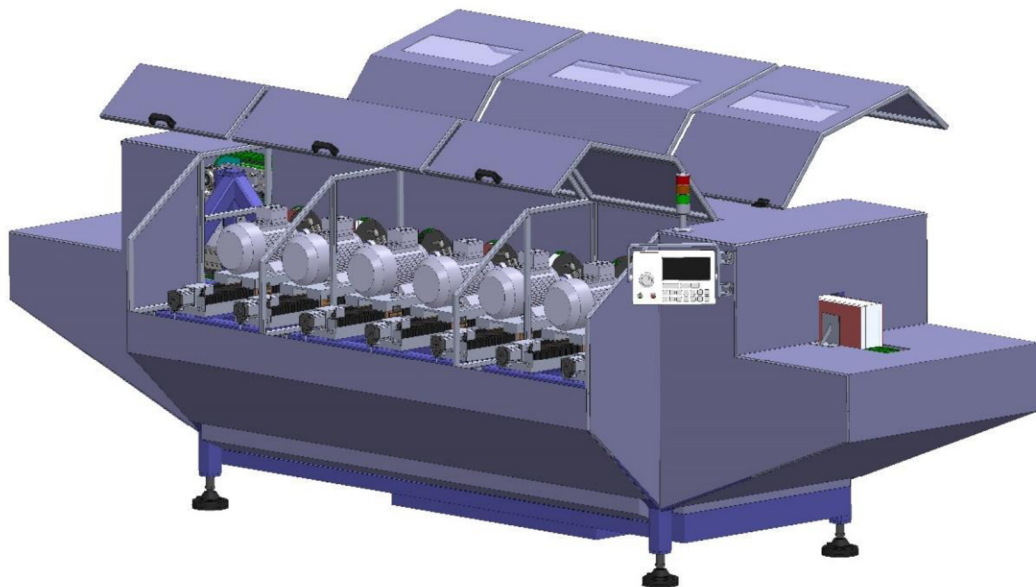


Obr. 6 Výsledek výpočtu

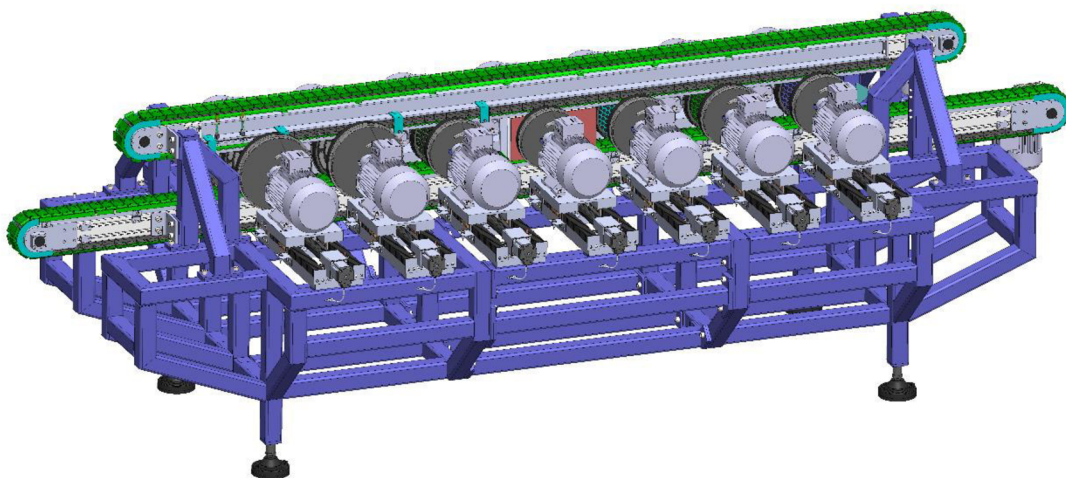
Příloha 4 - Vizualizace kontinuální linky



Obr. 7 Celkový pohled na kontinuální linku



Obr. 8 Kontinuální linka, otevírací dveře



Obr. 8 Kontinuální linka bez krytů