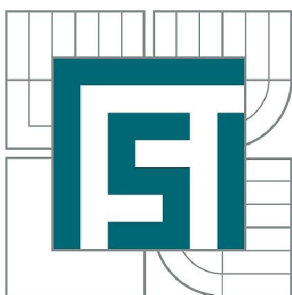


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

## KONSTRUKCE SEMIMOBILNÍHO TŘÍDÍCÍHO ZAŘÍZENÍ NA ŠTĚRKOPÍSEK

DESIGN OF SEMIMOBILE SCREENING DEVICE FOR GRAVEL SAND

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PAVEL KALA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DANIEL KOUTNÝ, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2009/2010

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Pavel Kala

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Konstrukční inženýrství (2301T037)**

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 semimobilního třídícího zařízení na štěrkopísek**

v anglickém jazyce:

### **Design of semimobile screening device for gravel sand**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh semimobilního třídícího zařízení na štěrkopísek s těmito parametry: mokré třídění, vytríděné frakce by měly dosahovat rozměrů 0-5mm, 5-20mm, 20mm a více. Výkon stroje cca 100tun/hod. Při rozložení jednotlivé části stroje nesmí přesahovat přepravní rozměry kamionu ani železničních vagónů.

Cíle diplomové práce:

Diplomová práce musí obsahovat:

1. Úvod
2. Přehled současného stavu poznání
3. Formulaci řešeného problému a jeho technickou a vývojovou analýzu
4. Vymezení cílů práce
5. Návrh metodického přístupu k řešení
6. Návrh variant řešení a výběr optimální varianty
7. Konstrukční řešení
8. Závěr (konstrukční, technologický a ekonomický rozbor řešení)

Typ práce: konstrukční

Účel práce: pro průmysl

Seznam odborné literatury:

SHIGLEY, J. E, MISCHKE, Ch. R, BUDYNAS, R. G. KONSTRUOVÁNÍ STROJNÍCH SOUČÁSTÍ. VUTIUM, 2008. 1300 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Daniel Koutný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 19.11.2009

L.S.

---

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

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

---

## **ABSTRAKT**

Diplomové práce se zabývá návrhem konstrukce semimobilního zařízení pro třídění štěrkopísků. Práce popisuje konstrukční návrh jednotlivých částí stroje. Součástí práce jsou také kontrolní výpočty vybraných konstrukčních uzlů včetně finálních ověřovacích výpočtů a měření.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Semimobilní třídíč, třídění, budič vibrací, síta, písek, štěrk, recyklace

## **ABSTRAC**

Diploma thesis deals with design of semimobile device for sorting sand and describes design of machine parts. This thesis includes checking calculations of selected structural elements and final verification of calculations and measurements.

## **KEY WORDS**

Semimobile sorter, sorting, vibration exciter, sieve, sand, gravel, recycling

---



---

### **Bibliografická citace**

KALA, P. *Konstrukce semimobilního třídícího zařízení na štěrkopískech*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 81 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Daniel Koutný, Ph.D.



---

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně za pomoci uvedené literatury a pod odborným vedením ing. Daniela Koutného Ph.D.

V Brně dne .....

.....  
Pavel Kala

---





---

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu ing. Danielu Koutnému Ph.D. za ochotnou spolupráci i za čas, který mi věnoval při konzultacích. Také bych chtěl poděkovat panu ing. Stanislavu Markovi za odborné konzultace a cenné rady při vytváření této diplomové práce.

Pavel Kala

---



**OBSAH**

<b>OBSAH</b>	<b>11</b>
<b>ÚVOD</b>	<b>13</b>
<b>1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>14</b>
1.1 Popis základních pojmů	14
1.1.1 Třídění	14
1.1.2 Semimobilní třídící jednotka	14
1.1.3 Suché třídění	14
1.1.4 Mokré třídění	14
1.2 Princip funkce třídící jednotky	15
1.3 Způsoby třídění	16
1.4 Třídící plochy mechanických třídíčů	18
1.4.1 Roštnice	18
1.4.2 Ocelová síta	18
1.4.3 Nekomovná síta	20
1.5 Základní prvky konstrukce semimobilního třídíče	21
1.5.1 Geometrie konstrukce	21
1.5.2 Rám	21
1.5.3 Třídíč	22
1.5.4 Skluzy	25
<b>2 FORMULACE PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA</b>	<b>27</b>
2.1 Formulace řešeného problému	27
2.2 Požadavky výrobce	27
2.3 Technická analýza problému	27
2.4 Vývojová analýza	28
<b>3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE</b>	<b>29</b>
<b>4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ</b>	<b>30</b>
<b>5 NÁVRH ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY</b>	<b>31</b>
5.1 Koncept semimobilního třídíče	31
5.2 Třídící jednotka	32
5.3 Rám	32
5.4 Skluzy	33
5.5 Pracovní plošina	35
<b>6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ SEMIMOBILNÍ TŘÍDICÍ JEDNOTKY</b>	<b>36</b>
6.1 Třídící jednotka	37
6.1.1 Sestava budiče vibrací	41
6.1.2 Kontrolní výpočet pera na hřideli budiče	42
6.2 Kontrolní výpočty třídíče	42
6.2.1 Modální analýza	42
6.3 Uložení třídíče	44
6.4 Rozložení napětí v konzole pružin	47
6.5 Rám třídíče	50
6.5.1 Spodní díl rámu	50
6.5.2 Horní díl rámu	51
6.5.3 Podpěra skluzu	53
6.5.4 Pevnostní analýza rámu	54

6.6	Skluzy	58
6.6.1	Posuvný skluz	59
6.6.2	Pevný skluz	60
6.6.3	Otočné skluzy	60
6.6.4	Skruz podsítný	61
6.7	Pracovní plošina	62
6.8	Výroba	65
6.8.1	Výkresová dokumentace	65
6.8.2	Výroba stroje	66
6.8.3	Měření odpružení třídiče	68
	<b>ZÁVĚR</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>75</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</b>	<b>77</b>
	3.2 Seznam obrázků	79
	3.3 Seznam tabulek a grafů	80
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>81</b>

## ÚVOD

---

Pojmy ekologie a recyklace provázejí veškerou výrobu, ať v průmyslu nebo v jakémkoliv jiném odvětví. Proto se v průmyslu objevují stále nové cesty pro výrobu strojů a zařízení určených k ochraně životního prostředí nebo recyklaci odpadů.

Jednou z prvních společností v České Republice, která se začala zabývat problematikou recyklace stavebních odpadů je firma RESTA s.r.o. Přerov. Tato společnost je v současnosti největším českým výrobcem v oblasti mobilních třídících a drticích strojů a jedním z největších provozovatelů této techniky v České republice. Jelikož od roku 2008 spolupracuji s konstrukční kanceláří firmy RESTA s.r.o., zvolil jsem téma diplomové práce právě z oblasti konstruování strojů na třídění a recyklaci.

V předcházejících dvou letech jsem s touto firmou spolupracoval na projektech, které se zabývaly zlevněním a zefektivněním výroby. Náplní práce bylo překonstruovat některá zařízení na vyráběných strojích.

Následující spolupráce s touto firmou spočívala v návržení konstrukce semimobilního třídíče, který by rozšířil nabídku strojních zařízení zejména pro východní Evropu. Rozhodl jsem se proto pro komplexní návrh nového zařízení, které se firma rozhodla vyrábět.

Jedná se o stroj pro třídění sypkých materiálů. Zařízení bude provozováno v pískovnách, lomech či areálech pro zpracování materiálu jako jsou např. písek, štěrk, uhlí, lomový kámen atd.). Třídíč separuje jednotlivé frakce zrn z těžného materiálu a přetříděný materiál odvádí k dalšímu zpracování nebo na úložiště.

## 1 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 1.1 Popis základních pojmů

#### 1.1.1 Třídění

Třídění je proces separace částic materiálu na různé frakce, třídy nebo kategorie. Tříděním se materiál dělí podle velikosti zrna bez ohledu na jeho složení. Zrna jsou od sebe separována podle své velikosti nebo hmotnosti [2].

Třídění kameniva ovlivňuje několik základních faktorů. Prvním a výchozím faktorem se stává požadavek zákazníka na výstupní frakci. Dalšími faktory jsou druh kameniva, jeho vlhkost a množství jílových částic. Podle těchto faktorů se pak stanoví třídící proces (suchý/mokrý) a velikost třídiče.

Označení jednotlivých frakcí zaštiťuje norma ČSN EN 933\_1 a vlhkost těchto frakcí pak norma ČSN EN 932\_2. Tyto normy jsou také důležité k získání certifikátu jakosti pro přetříděnou surovinu.

Základní hodnoty používaných frakcí jsou:

Tab. 1 Druhy frakcí

0/4	4/8	8/16	16/32	32/63	63/120
-----	-----	------	-------	-------	--------

Pozn.: tzn., že např. ve frakci 8/16 se nacházejí jen kamenivo v rozmezí 8-16mm.

#### 1.1.2 Semimobilní třídící jednotka

Semimobilní třídící jednotkou se rozumí stroj (třídič), který je zpravidla součástí třídící linky, není mobilní, ale zároveň není nijak upevněn k podloží, což zjednodušuje jeho následnou manipulaci (např. při stěhování linky). Vzhledem k hmotnosti stroje však musí být podloží zpevněno betonovým základem. Jeho funkce spočívá v třídění sypkých materiálů (štěrkopísků), které se při průchodu strojem separují a výsledným produktem jsou pak různé frakce (velikost zrn) materiálu, které se pomocí pásových dopravníků dopravují na úložiště.

#### 1.1.3 Suché třídění

Je třídění materiálu tzv. suchou cestou. To znamená, že materiál, který je přesíván na sítěch, není zkrápěn (proplavován) pomocí proudu vody. Tento způsob se používá pro stavební sutě, lomový kámen nebo výjimečně na písky s minimálním podílem jílu. Pro tento způsob třídícího procesu se používají zpravidla ocelová síta.

#### 1.1.4 Mokrý třídění

Je třídění materiálu, které se používá zejména v pískovnách a tam, kde je materiál lepkavý a obsahuje jílovité složky. Materiál je na sítěch proplavován proudem vody. Pro tento způsob třídění se používají zejména plastová síta, která lépe odolávají abrazi a korozi. Také je velice důležité u této technologie zajistit dostatečný přívod a odvod vody. Množství vody používané v těchto systémech se pohybuje v řádech tisíců litrů za hodinu podle velikosti třídiče a počtu sít.

#### Semimobilní třídiče (*Semimobile screening unit*)

Jsou stroje specializované pro těžební průmysl. Jejich používání pro třídění kamene či písku započalo v 20. století. Technologie spojená s tříděním se neustále

vyvíjí s ohledem na ekologii a ekonomické aspekty. Mnoho firem zejména ve stavebnictví si dnes tyto stroje pořizuje spolu s drtičem kamene (sutí) a recykluje tak buďto své zmetkové výrobky (patníky, obrubníky, skruže, atd.) nebo suť z demolic, kterou tvoří v převážné většině cihly, kámen, beton a úlomky dřeva. Získanou surovinu pak dále využívají jako přídatnou surovinu pro své nové výrobky nebo jako stavební podsypový materiál.

Konstrukci třídičů lze rozdělit na čtyři základní typy:

**Mobilní** – třídící zařízení je stroj, který se může pohybovat. Jedna z variant mobilního třídiče je vlečná konstrukce. Jedná se o uložení celého stroje na dvou nápravách, přičemž jedna z nich je otočná a pomocí oje se pak přepravuje za nákladním vozem. Druhou variantou je pak stroj vybavený pásovým podvozkem. Tento podvozek však slouží jen pro manipulaci se strojem v rámci areálů. Pro jeho delší přepravu je zapotřebí návěs a tahač.

**Kontejnerový** – toto řídicí zařízení je navrženo tak, aby se dalo přepravovat pomocí nákladního vozu, který má nástavbu pro přepravu odpadních kontejnerů. Jedná se zejména o menší třídící zařízení.

**Semimobilní** – konstrukce (rám) tohoto třídiče je umístěna na zpevněném povrchu, ale není k němu nijak uchycena. Rám se zpravidla skládá z více dílů, protože vzhledem k rozměrům těchto zařízení se musí konstrukce pro přepravu rozebrat.

**Stabilní** – tyto třídiče patří zpravidla k těm největším a nejvýkonnějším strojům. Vzpěry rámu jsou zabetonovány nebo pevně uchyceny k základové desce.

## 1.2 Princip funkce třídící jednotky

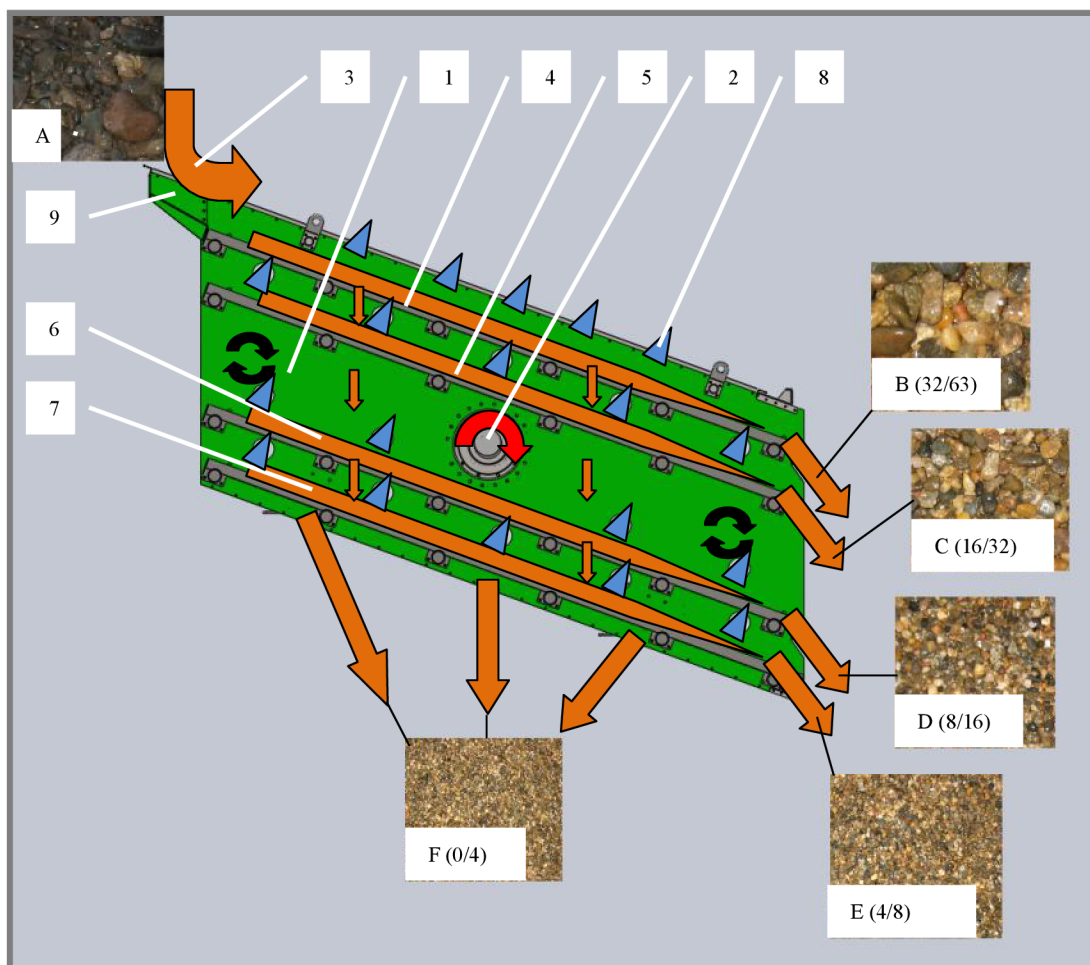
1.2

---

Pro popis funkce je vybrán čtyřsítý model třídiče (obr. 1-12). Jedná se o třídič s kruhovým buzením, který je uložen na vinutých pružinách.

Vibrace třídiče (obr. 1-12, 1) jsou způsobovány budičem vibrací (obr. 1-12, 2), který koná rotační pohyb. Tím vzniká kruhové buzení třídiče. To je naznačeno černými šipkami. Materiál se přivádí do třídiče nejčastěji pomocí pásového dopravníku a dopadá na násypku třídiče (obr. 1-12, 9). Zrna vstupního materiálu (obr. 1-12, A) jsou různě veliká a materiál obsahuje nežádoucí nečistoty, převážně jíl nebo další složky zeminy. Pokud je toto znečištění materiálu nežádoucí používá se zkrápění třídících ploch. Tím se jílovité složky z materiálu vyplaví. Zkrápěcí trysky reprezentují modré trojúhelníky (obr. 1-12, 8). Materiál tak prochází přes plochu první síťové plochy a zároveň se promývá vodou. Materiál s velikostí menší než je okatost síta první síťové plochy, propadne na spodní síťovou plochu (obr. 1-12, 5). Materiál stejné velikosti nebo větší (obr. 1-12, B) pokračuje po první síťové ploše a na jejím konci je skluzem odváděn v převážné většině na pásový dopravník a tím je odveden na skládku materiálu nebo do zásobníků. Tento proces pokračuje obdobně na druhé, třetí i čtvrté síťové ploše, kde je materiál znovu zkrápěn, a vytríděný materiál je odváděn skluzy na pásové dopravníky.





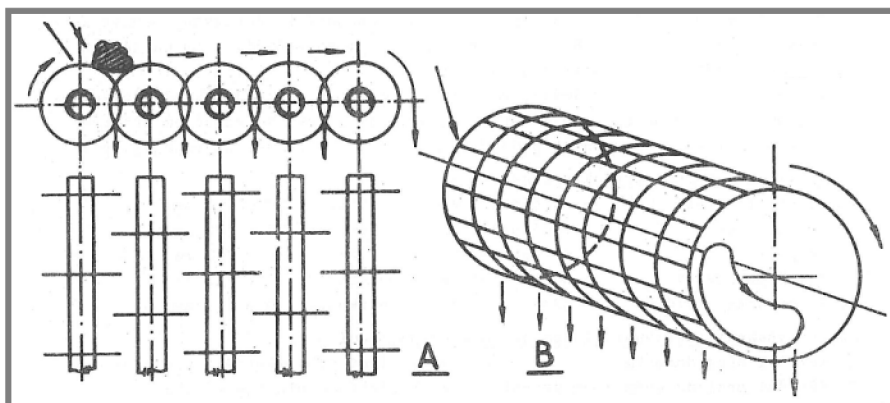
Obr. 1-1 Princip funkce třídíče

Ze čtyřsítového třídíče nám pak vystupuje pět přetříděných frakcí, z první sítové plochy je to frakce B, z druhé C a z třetí sítové plochy frakce D, která má většinou již třetinou velikost zrn na rozdíl od frakce B. Na poslední sítové ploše (obr. 1-12, 7) se třídí frakce E a F. Frakce E odchází s předchozími frakcemi přední částí třídíče zpravidla jedním vícevrstevním skluzem. Frakce F pak odchází podsítným skluzem, který má své vstupní rozměry o něco větší než půdorys třídíče, nebo se pod třídíč umístí pásový dopravník, kterým se materiál odvádí. Použití tohoto pásového dopravníku je ale omezeno pouze na suchý proces třídění.

### 1.3 Způsoby třídění

#### Třídění na pohyblivých rošttech (obr. 1-2A)

Tento způsob třídění se využívá pro hrubé třídění. Materiál je unášen pohyblivým roštovým elementem, který koná rotační nebo kyvný pohyb. Velikost jednotlivých kusů materiálu je dána vzdáleností propadových mezer mezi elementy.



Obr. 1-2 Třídění pohyblivým roštem a rotací [1]

### Třídění rotací (obr. 1-2B)

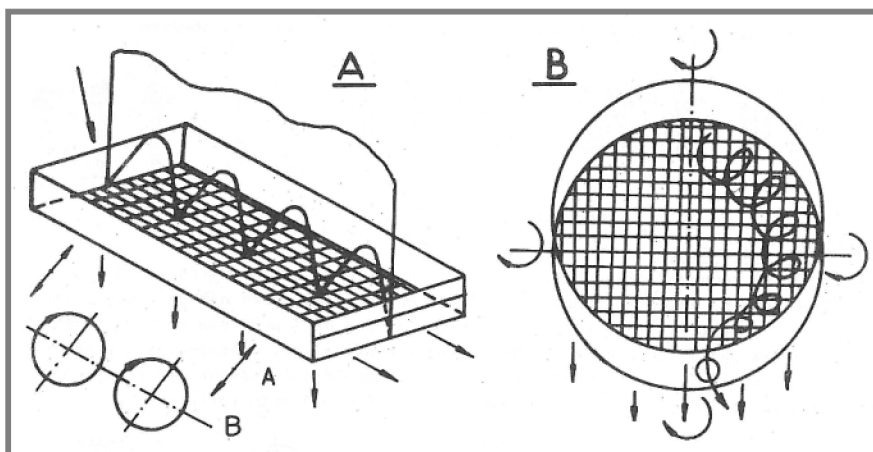
Využívá se pro hrubé nebo střední třídění. Tříděný materiál se převaluje v nakloněném síťovém bubnu, který rotuje konstantní úhlovou rychlostí. Velikost přetříděného materiálu je dána velikostí otvorů v síti bubnu .

### Třídění vrhem (obr. 1-3A)

Tento systém je nejvíce využíván pro jemné i hrubé třídění. Třídění se děje pomocí harmonických kmitů v kolmé rovině k síťové ploše. Materiál je tak vržen v kolmé rovině a vlivem těchto poskoků se přesouvá přes síťovou plochu.

### Třídění plošným pohybem (obr. 1-3B)

Využívá se v oblasti jemného a velmi jemného třídění. Třídění se děje pomocí harmonických kmitů v rovině síťové plochy. Jednotlivá zrna materiálu opíše cykloidní dráhu. Těchto třídících cyklů je několikanásobně více než při třídění vrhem.

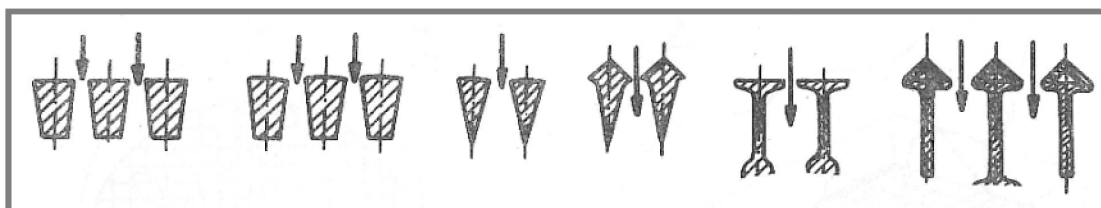


Obr. 1-3 Třídění vrhem roštem a plošným pohybem [1]

## 1.4 Třídící plochy mechanických třídičů

### 1.4.1 Roštnice

Roštnice slouží pro přípravné třídění např. před hlavním tříděním nebo drcením, a zajišťují prvotní vytrídění objemného materiálu o nežádoucích rozměrech, který by neprošel třídičem nebo by zahltl vstup do drtiče. Roštnicová plocha zpravidla nekoná žádný pohyb a v některých aplikacích bývá upevněna na dvou závěsech a při zaplnění je zvedána pomocí pístnic, aby se z nich nežádoucí materiál odstranil. Roštnice se vyrábějí z různých profilů. Použití jednotlivých profilů závisí na tříděném materiálu.

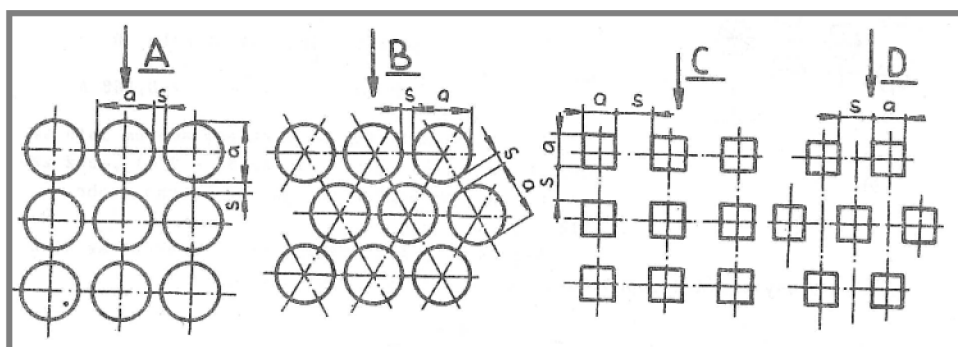


Obr. 1-4 Tvary roštnic [1]

### 1.4.2 Ocelová síta

#### Plechová síta

Plechová síta se vyrábějí z ocelových plechů s vypalovanými, prostřihovanými nebo vrtanými otvory ve tvaru kruhu (obr. 1-5A,B), čtverce (obr. 1-5C,D) či šestihranu. Jejich velikost se pohybuje od 6 do 125mm [1]. Na ploše jsou pak uspořádány v čtvercové (rovnoběžné) nebo šachovité mřížce. Šachovité uspořádání otvorů má na rozdíl od čtvercového větší volnou propadovou plochu a to až o 20% [1] a také se zabrání proklouzávání materiálu mezi otvory. Síta vyráběná stříháním mají kuželovité otvory ( $6^{\circ}$ - $7^{\circ}$ ) [1], které zabráňují váznutí materiálu. U vrtaných sít se kuželovitosti docílí obráběním.



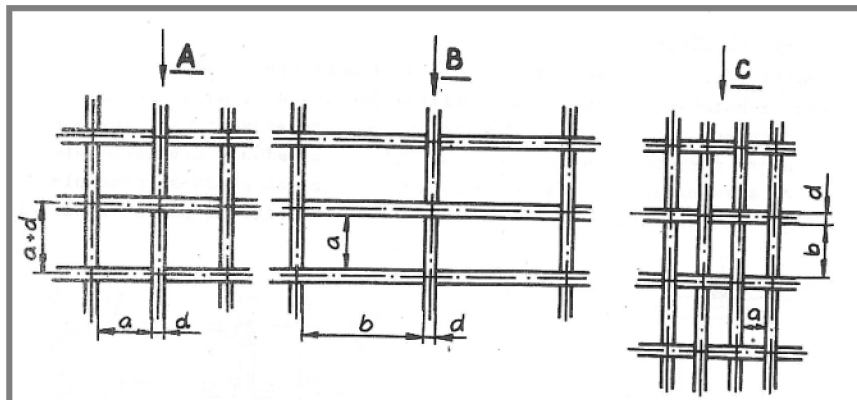
Obr. 1-5 Tvary otvorů [1]

#### Drátěná síta

Drátěná síta jsou vyrobena z ocelových drátů nebo z umělých vláken. Velikost otvorů v síti se pohybuje od 0,1 – 100 mm [1]. Tvar otvorů bývá čtvercový (obr. 1-6A) či obdélníkový (obr. 1-6B,C) a závisí na vlastnostech tříděného materiálu. Čtvercové otvory se vyznačují lepší přesností třídění, ale na rozdíl od obdélníkových menší propadovou plochou. Na rozdíl od plechových sít mají drátěná více členitý

povrch, což má za následek větší tření a opotřebení, proto je nutné zvýšit sklon třídiče. Mají však až o 83% větší propadovou plochu než plechové, to je dáno poměrem průměru drátu a velikosti otvoru [1].

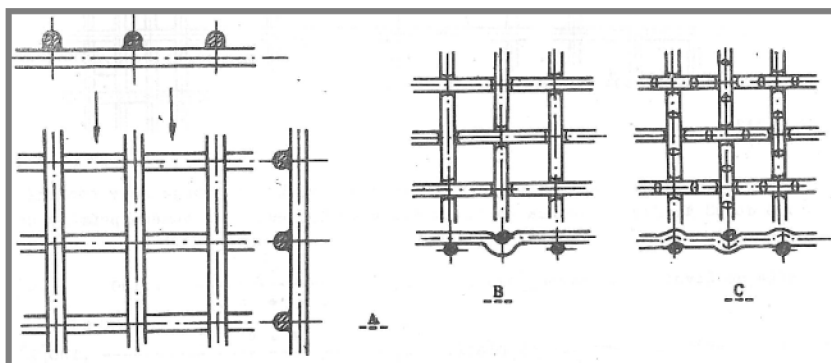
U těchto sít může docházet k posuvu drátů výpletu a tím k nepřesnostem v třídění.



Obr. 1-6 Drátěná síta [1]

#### Svařovaná síta

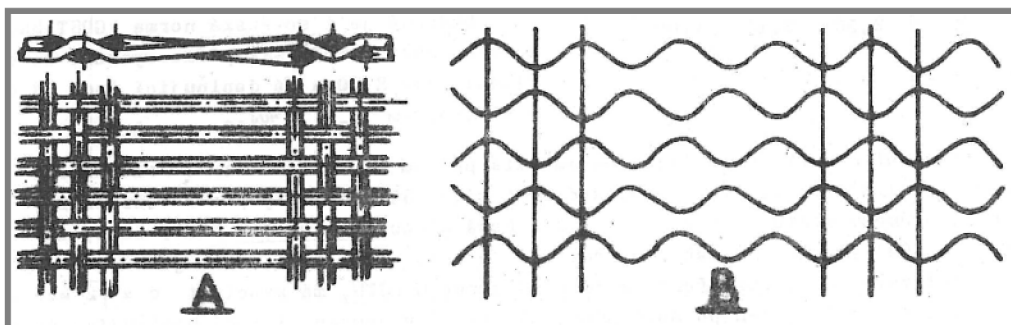
Svařovaná síta jsou vyrobena (svařena) z drátů z manganové oceli. Velikosti otvorů se pohybují od 25mm-100mm [1]. Aby bylo zajištěno správné třídění a nedocházelo k nadměrnému opotřebení, musí být horní řada drátů umístěna po směru toku materiálu. Tím se lépe odvádí nadsítinné frakce, které poté nezanášají otvory v síti.



Obr. 1-7 Drátěná síta [1]

#### Harfová síta

Jsou vyrobena z ocelových drátů, které jsou uspořádány do dlouhých obdélníkových otvorů tak, že jejich délka 4x přesahuje šířku [1]. To způsobuje příčné chvění drátů a napomáhá zabraňovat ucpávání síta materiálem. Používají se zejména pro vibrační třídění vlhkého materiálu.



Obr. 1-8 Drátěná síta [1]

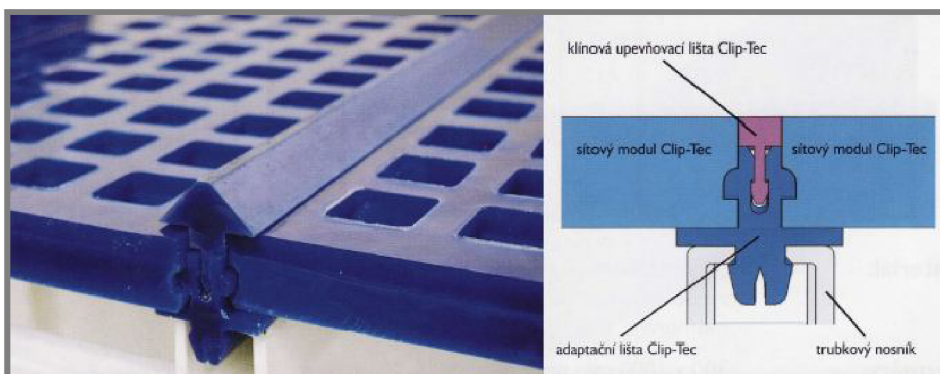
### 1.4.3 Nekovová síta

#### Plastová síta

Plastová síta se vyrábějí z polyuretanového elastomeru, který se vyznačuje nižším třením materiálu o povrch síta a má větší odolnost proti otěru než ocelový drát používaný v kovových sítích. Používají se zejména na mokré třídění nebo odvodňování. Zpravidla se vyrábějí jako moduly nebo síťové dílce, které se usazují na třídící plochy. Velikost otvorů je 2 – 130mm a tloušťka síta je 20-60mm. Jejich nevýhodou je menší propadová plocha a výrazně vyšší cena než u ocelových sítí.

#### Polyuretanový modulový systém Clip-Tec a Clip-Clean

Tato technologie využívá stavebnicový systém modulů s kónickými oky, které mají standardní rozměr 300x1000mm. Tyto moduly se upevňují na adaptační lišty, které jsou upevněny na rozpěrách tříděče.



Obr. 1-9 Clip-Tec [3]

Systém Clip-Clean má membránovou síťovou plochu, která při třídění vibruje a tím se zamezuje zanášení otvorů. Může být vybavena i oklepávacími polyuretanovými koulemi, které znásobují samočisticí schopnost membrány.



Obr. 1-10 Clip-Clean [3]

### Pryžová síta

Pryžová síta se vyrábějí z vulkanické pryže. Jedná se o modulový systém vyvinutý pro československý kamenoprůmysl. Jednotlivé moduly mají velikost 500x500mm. Používají se pro mokré třídění a je možno je použít v rozmezí teplot od -40 do 100°C [2]. Vyznačují se podobnými mechanickými vlastnostmi jako polyuretanová síta.

## 1.5 Základní prvky konstrukce semimobilního třídače

1.5

---

Konstrukce se zpravidla skládá z rámu, třídače, skluzů, pracovní plošiny, a v některých aplikacích se využívá i horní kryt třídače. Ten slouží pro zatěsnění skříně třídače u procesu suchého třídění, aby se omezila prašnost stroje.

### 1.5.1 Geometrie konstrukce

1.5.1

---

Jedním z určujících a také hlavních faktorů je výška stroje respektive výška potřebná k zavážení násypky třídače pomocí pásového dopravníku. Výška násypky proto určuje délku dopravníku. Dopravník by měl zpravidla svírat se základnou 20°, proto je jeho přibližná délka rovna podílu výšky násypky a sinu 20°. Další z určujících faktorů jsou výšky skluzů, pod kterými jsou umístěny pásové dopravníky. Výška těchto skluzů je dána délkou a šířkou skříně třídače. Skluz by neměl mít menší sklon než 45°, aby nedocházelo k ulpívání materiálu na jeho stěnách.

### 1.5.2 Rám

1.5.2

---

Konstrukce rámu se řídí velikostí třídače. Existuje nepřeborné množství konstrukčních variant, avšak všechny vycházejí ze dvou základních uspořádání nosných profilů.

První variantou konstrukce je rám se šesti podpěrami, který zajišťuje stabilitu v podélném směru. Zejména menší stroje s délkou třídače do 3m mají těžiště velice blízko prostřední noze, proto u nich při absenci přední podpěry hrozí nestabilita a snaha naklánět se v podélném směru dopředu. Tyto rámy využívá zejména Jihlavská firma Kool Trading.



Obr. 1-11 Semimobilní třídač firmy KOOL Trading [4]

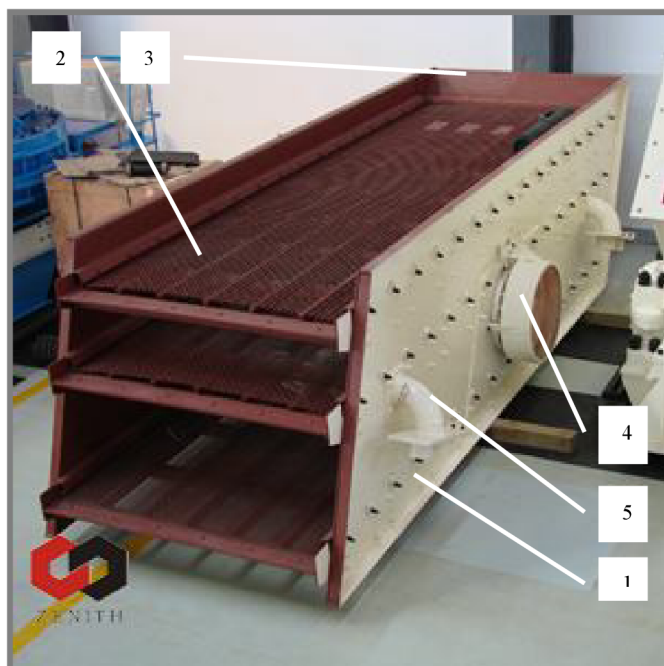
Druhou variantou je konstrukce rámu pouze se čtyřmi podpěrami. To má za následek nestabilitu u menších strojů, avšak její nespornou výhodou je více prostoru pro dopravníky pod předními skluzy. Z toho vyplývá možnost lepšího uspořádání úkladišť přetříděného materiálu a tím i minimalizovat rozlohu linky. Tuto konstrukci využívá např. firma DSP Přerov.



Obr. 1-12 Semimobilní třídíč firmy DSP Přerov [5]

### 1.5.3 Třídíč

Třídíč se skládá ze skříně třídíče (obr. 1-13, 1), roštů (obr. 1-13, 2), násypky (obr. 1-13, 3), budiče vibrací (obr. 1-13, 4) a konzol pro pružiny (obr. 1-13, 5). Všechny jmenované části jsou mezi sebou spojeny pomocí šroubů, proto se celá sestava dá jednoduše rozebrat na jednotlivé části (např. při repasi).



Obr. 1-13 Třídíč firmy Zenith (Čína) [6]

**Skříň třídíče** se skládá ze dvou zrcadlově identických bočnic. U třídíčů pro mokré třídění jsou pak v bočnicích otvory pro zavádění potrubí pro zkrápění. Tvary bočnic se u jednotlivých využívaných variant příliš neliší, zpravidla se využívají rovné stěny, které navazují na skluz pod třídíčem. V případech, kdy je zapotřebí nižší výška konstrukce semimobilního třídíče je skluz nahrazen pásovým dopravníkem a spodní část stěny třídíče je zkosená směrem dovnitř. To sebou nese značnou úsporu materiálu a menší výšku stroje, ale hrozí zde nebezpečí ulpívání tříděného materiálu na zkosené stěně a následné zahlcení třídíče, které je způsobeno nedostatečným odvodem přetříděného materiálu. V důsledku špatného přístupu mezi pás a třídíč se tyto následky též velice špatně odstraňují. Pokud je šířka třídíče nad 1500mm, byl by ohyb ve spodní části příliš velký, proto se používá jen část skluzu, která svede materiál na dopravník.

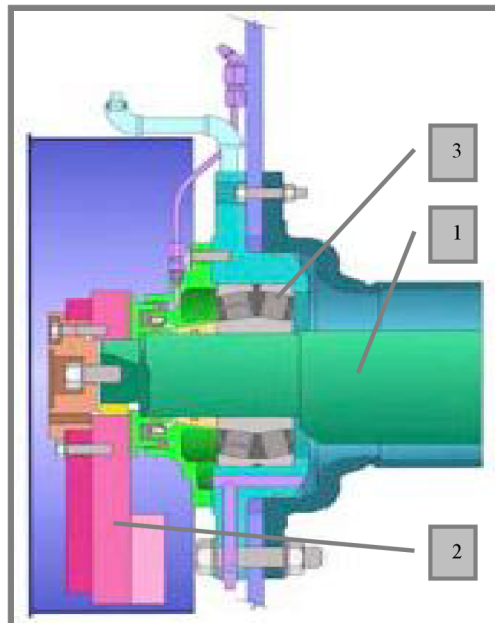


Obr. 1-14 Třídíč firmy Tema machineri [7]

**Budič vibrací** je označení pro sestavu excentrické hřídele (obr. 1-15, 1) a nevyvážků (obr. 1-15, 2). Velikost hřídele, jeho excentricita a velikost nevyvážků se dimenzuje podle velikosti třídíče a počtu třídících ploch. Pro tyto aplikace se používají dvouřadá soudečková ložiska (obr. 1-15, 3), která jsou mazána externě pomocí mazničky a kanálků vedoucích mazivo k ložisku.

Hřídele se vyskytují ve dvou variantách. První z nich je soustružená hřídel, která je jednodušší na výrobu, ale je náročnější na zástavbové rozměry. Druhou variantou je kovaná hřídel, která je sice technologicky náročnější, ale zástavbové rozměry jsou menší než u soustružené. Další výhodou kované hřídele je to, že s menší a lehčí hřídelí dosáhneme stejnou budící sílu jako u soustružené hřídele. To je způsobeno omezením tzv. mrtvé hmotnosti, která se nachází na protější straně excentru. Tato hmotnost je nežádoucí, protože snižuje velikost budící síly vyvozené excentricitou. Odstranění nepotřebného materiálu obráběním je obtížné a narušuje pevnost a tuhost hřídele, proto je výhodnější přesunout tento materiál vykováním.



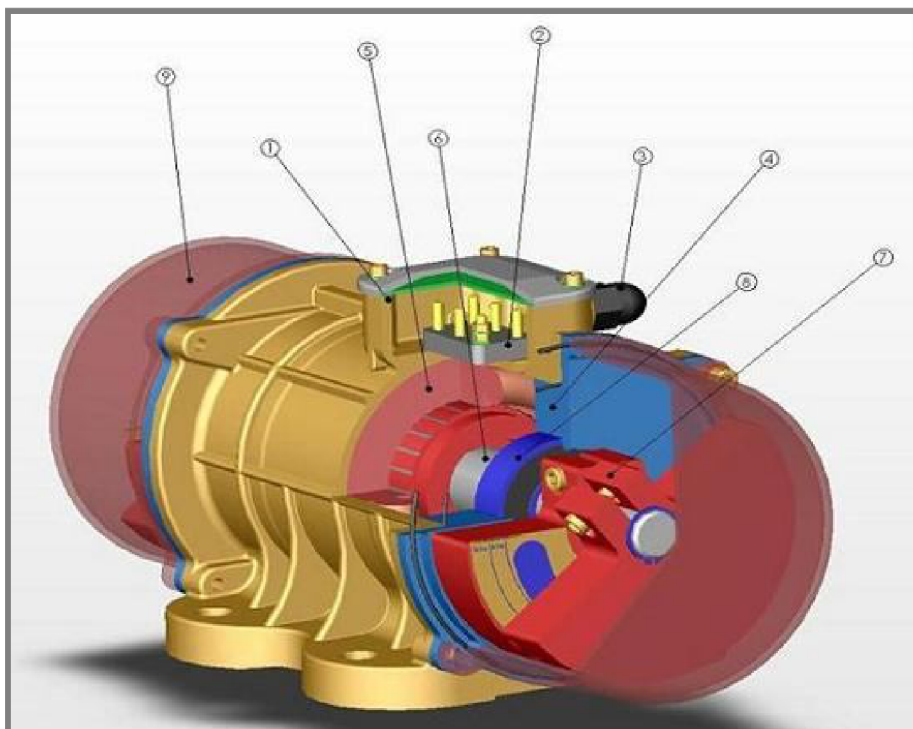


Obr. 1-15 Budič vibrační firmy Metso [8]

Skříně třídíče lze z hlediska umístění budiče rozdělit na dvě základní varianty, tj. umístění budiče v těžišti třídíče a umístění mimo něj.

Varianty, kdy je budič umístěn v těžišti třídíče, se využívá zejména u větších a výkonnějších třídíčů. V tomto případě se k buzení využívá excentrická hřídel uložené v ložiscích.

Varianty, kdy budič není umístěn v těžišti třídíče ale nad ním, se využívá zejména u menších třídíčů. Jedná se zpravidla o jedno nebo dvousítná provedení s délkou třídící plochy do 4m. Toto umožňuje minimalizovat mezeru mezi jednotlivými sítý a tím snížit výšku třídíče a uspořít tak výšku stroje a materiál potřebný na výrobu. U této varianty se také objevuje zcela jiný přístup pro vybudění potřebného kmitu, konstrukční řešení jsou zde dvě. První konstrukční řešení používá excentrickou hřídel uloženou v ložiscích jako u první varianty. Zpravidla ještě bývají na konci hřídele umístěny nevyvážky pro znásobení budicího efektu. Pro tohle uspořádání je zapotřebí zajistit externí pohon, tím může být elektromotor nebo hydromotor, to závisí na použité technologii na ostatních částech stroje. Druhým konstrukčním řešením je využití vibračních jednotek (obr. 1-16). Jedná se o kompaktní řešení, které se skládá z elektromotoru ve střední části zařízení a nevyvážků na koncích rotoru. Nevyvážky jsou rozděleny na dvě části, které lze nastavit vzájemným natočením a tím řídit velikost budicí síly [10].



Obr. 1-16 Vibrační jednotka [9]

Tyto jednotky se využívají pouze pro ty nejmenší dvousítné třídiče o délce do 3m. Při posunutí budiče z těžiště třídiče se výrazně mění charakteristika buzení a výkonnost třídiče klesá, proto se tento systém využívá zejména u kontejnerových třídičů nebo tam kde jsou zapotřebí menší zástavbové rozměry třídiče.

**Násypka** slouží jako dopadová plocha pro dodávaný materiál. Pokud by materiál dopadával přímo na plochu síť, brzy by došlo k jejich nadměrnému opotřebení a nedocházelo by k třídění ale jen k propadu materiálu skrze porušené síto. V důsledku abrade musí být i násypka resp. její dopadová plocha pokryta otěruvzdorným materiálem. Pro tuto aplikaci se využívají buďto plastové nebo ocelové otěruvzdorné materiály.

#### 1.5.4 Skluzy

1.5.4

Skluzy slouží k odvodu přetříděného materiálu z jednotlivých síťových ploch třídiče do pásových dopravníků nebo přímo na úložiště. Jejich konstrukce se liší podle zástavby stroje v lince. Konstrukce jednotlivých dílů se liší podle umístění na stroji. Zpravidla se skluzy dělí na skluzy výstupních frakcí a skluz podsítný. Podsítný skluz je umístěn pod třídičem a vstupují do něj ty nejjemnější podíly tříděného materiálu. Jeho konstrukce se liší podle toho, jedná-li se o třídění mokré či suché. Při suchém procesu třídění nesmí úhel stěny být menší než  $42^\circ$ , aby nedocházelo k ulpívání materiálu, tato hodnota však záleží na druhu materiálu a jeho vlhkosti. Při zkrápěném třídění se tento úhel pohybuje od  $30^\circ$ - $45^\circ$ . Třídění s vodou má také za následek nadměrné opotřebování skluzu, a proto je nutné stěny skluzu

pokryt materiálem, který dobře odolává abrazi. V současné době se na tyto aplikace používá speciální směs pryže, která se lepí pomocí vulkanického lepidla. Skluzy výstupních frakcí se řídí podobnými pravidly jako skluzy podsítné a to s tím rozdílem, že se musejí pokrývat materiálem, který odolává rychlému opotřebení i při suchém třídění. To je dáno větším množstvím odváděného materiálu a tím i výraznějším opotřebením.

## 2 FORMULACE PROBLÉMU A JEHO TECHNICKÁ A VÝVOJOVÁ ANALÝZA

2

---

### 2.1. Formulace řešeného problému

2.1

---

V zemích východní Evropy a Asie se teprve dnes začínají zakládat recyklační a těžební závody. To je způsobeno přílivem finančních prostředků do těchto zemí a potřebou budovat novou infrastrukturu, aby tak vzniklo zázemí příchozím zahraničním firmám.

Firma RESTA se v minulosti zaměřovala zejména na mobilní stroje, ale s otevřením nových trhů vznikla poptávka po stabilních a semimobilních strojích, se kterými by bylo možno sestavit celý těžební či recyklační závod.

Řešený problém proto spočívá ve vytvoření konstrukčního návrhu semimobilní třídící jednotky se kterou by firma mohla rozšířit své portfolio a expandovat na východní trhy.

Stroje by byly určeny pro linky umístěné v pískovnách, recyklačních závodech a lomech.

### 2.2. Požadavky výrobce

2.2

---

Firma ve svém finálním zadání specifikovala své požadavky na parametry konstrukce, výsledný třídící výkon, odhad předpokládaných výrobních nákladů, termín vydání výkresové dokumentace do výroby a termín expedice.

Požadavky výrobce:

- Činná šířka třídíče: 1600mm
- Činná délka třídíče: 4000mm
- Počet třídících ploch: 2
- Výsledný výkon: 40-200 tun / hod
- Vodní skrápění síťových ploch
- Pohon: elektromotor
- Šířka schodiště a plošiny pro obsluhu: 600mm
- Jednotlivé části třídící jednotky musí být rozebíratelné pro přepravu
- Veškeré rozebíratelné části nesmí přesáhnout transportní šířku 2,5m
- Hřídel třídíče a jeho uložení budou převzaty a modifikovány již z vyrobeného a odzkoušeného stroje.
- Provozní teplota prostředí (0 až 40) °C.
- Hmotnost stroje do 1 tun.

### 2.3. Technická analýza problému

2.3

---

Protože se stroj této velikosti na firmě ještě nikdy nevyroběl, bylo nutné promyslet různé technologické možnosti výroby a jejich ekonomické aspekty. Jednotlivé díly sestav jsou převážně složeny z plechových dílů, které mají velké množství otvorů, proto je ekonomicky výhodnější většinu otvorů a děr vypálit na plazmovém CNC řezacím stroji. Výroba těchto děr klasickým vrtáním by byla neekonomická a vzrůstal by i čas k výrobě jednotlivých dílů, čímž by se prodražovala i výroba stroje. Vrtány proto budou jen obráběné díry nebo díry, u kterých musí být zaručena maximální přesnost jednotlivých spojů. Dalším potenciálním problémem by se mohly stát ty plechové díly, ve kterých budou vypáleny díry pro šrouby a v dalším kroku se pak budou ohýbat na ohraňovacím lisu. Proto se při návrhu takového dílu

musela zvolit vhodná tolerance klíčových rozměrů a dbát na přesnost výroby. Také bylo nutné vyřešit polotovar pro uložení ložisek hřídele třídiče. Na výběr bylo ze dvou variant buďto zvolit odlitek, který by se musel nechat vyrobit externě, nebo polotovar vypálit ze silnostěnného plechu. Po porovnání cenových návrhů, byl zvolen výpalek, který se následně obrobí na CNC soustruhu.

## **2.4. Vývojová analýza**

V prvním kroku bude vytvořen koncepční model ze zdrojového modelu třídiče, který bude splňovat zadané rozměrové předpoklady třídiče. Následně bude vytvořen koncepční model rámu splňující zástavbové rozměry třídiče. Dalším krokem bude navrhnout jednotlivé skluzy, pracovní plošinu pro obsluhu a potřebné bezpečnostní prvky jako jsou např. zábradlí, okopy a schodnice. Po dokončení těchto operací bude zkontrolována návaznost všech vytvořených dílů, tak aby z nich bylo možno vytvořit výrobitelný prototyp. Následně bude proveden pevnostní a deformační výpočet, klíčových prvků konstrukce pomocí metody konečných prvků. V konečném kroku pak bude vytvořena výkresová dokumentace a vizualizace sestav.

### 3 VYMEZENÍ CÍLŮ PRÁCE

Primárním cílem diplomové práce je vytvořit konstrukční návrh semimobilního třidiče na štěrkopísek. Návrh zařízení musí respektovat požadavky výrobce a zohlednit technologické možnosti výroby zařízení ve firmě zadavatele.

Dílčí cíle diplomové práce:

- vytvoření 3D model semimobilního třidiče v modeláři SolidWorks
- návržení třidiče
- návržení budící jednotky
- návržení konstrukce rámu
- návržení skluzů
- návržení pracovní plošiny
- provedení kontrolních výpočtů vybraných funkčních dílů
- kontrola kolizí mezi pohyblivými díly sestavy
- vytvoření výkresové dokumentace pro výrobu prototypu stroje
- ověřovací měření správné funkce stroje

## 4 NÁVRH METODICKÉHO PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ

Výchozí koncepční návrh bude vycházet z požadavků od výrobce a jeho dlouholetých zkušeností v dané problematice. Protože se stroj tohoto typu ve firmě nevyráběl, bude nutné se rozhodnout pro nejlepší variantu běžně používaných konstrukcí semimobilních třidičů.

Postup řešení diplomové práce bude následující:

- a) Shromáždit a prostudovat současné konstrukce semimobilních a stabilních třidičů
- b) Nastudovat současné konstrukce třidičů a technologické postupy, které firma Resta používá
- c) Vytvořit model třidiče, jehož konstrukce vychází z již vyráběných třidičů včetně budiče vibrací
- d) Upravit velikost a excentricitu hřídele budiče vibrací a nevyvážků v závislosti na výpočtech provedených pomocí firemního softwaru
- e) Navrhnout pružiny pro uložení třidiče
- f) Vytvořit model rámu
- g) Nastudovat normu pro konstrukce pracovních plošin
- h) Navrhnou model pracovní plošiny
- i) Vytvořit modely jednotlivých skluzů
- j) Zkontrolovat a upravit návaznost jednotlivých dílů a sestav
- k) Vytvořit přípravu pro rozvody vody a elektrické rozvody
- l) Vytvořit výkresovou dokumentaci

## 5 NÁVRH ŘEŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

5

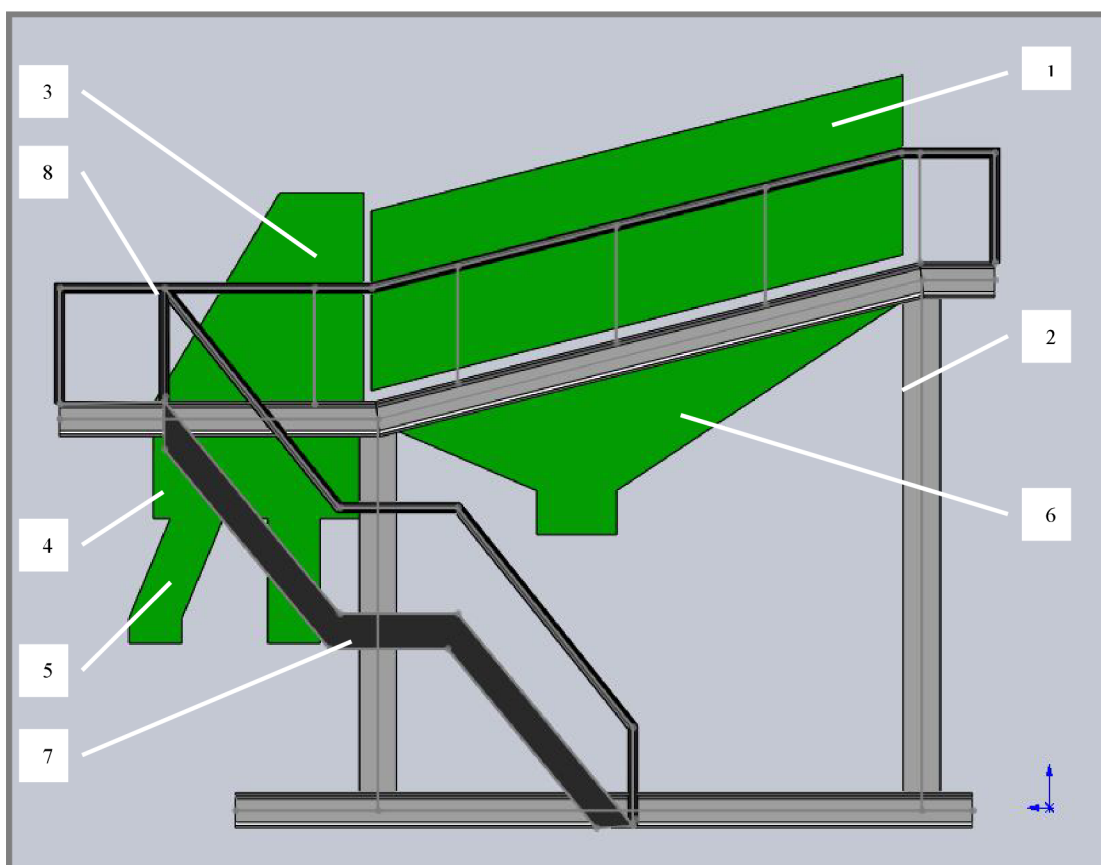
Jak již bylo zmíněno dříve, hlavní prvky konstrukce semimobilního třídíče, jako jsou budič vibrací nebo skříň třídíče, budou vycházet z již vyrobených a odzkoušených strojů. Tyto díly prošly několikaletým vývojem a byly k nim v minulosti vytvořeny firemní výpočtové programy, které zahrnují jak matematické modely soustav, tak zkušenosti z provozu.

Další díly jako jsou skluzy, rám a pracovní plošina budou vytvořeny na základě studií již vyrobených a funkčních strojů s ohledem na jejich snadnou montáž a transport.

### 5.1 Koncept semimobilního třídíče

5.1

Pro celkovou představu, jak bude stroj vypadat a jak budou na sebe jednotlivé díly navazovat, byl vytvořen koncepční návrh třídíče (obr 5-1). Pozice 1 na obr. 5-1 reprezentuje skříň třídíče, která je umístěna na rámu (poz.2). Posuvný skluz (poz.3) bude usazen na kolejnicích přivařených na rámu, po kterých se bude tento skluz posouvat. Na posuvný skluz pak bude navazovat spodní pevný skluz (poz.4), na kterém budou pomocí příruby připevněny otočné skluzy (poz.5). Podsítný skluz (poz.6) pak bude umístěn pod třídíčem v prostoru rámu. Schody budou umístěny podél rámu, aby jejich konstrukce neomezovala pohyb obsluhy kolem stroje.

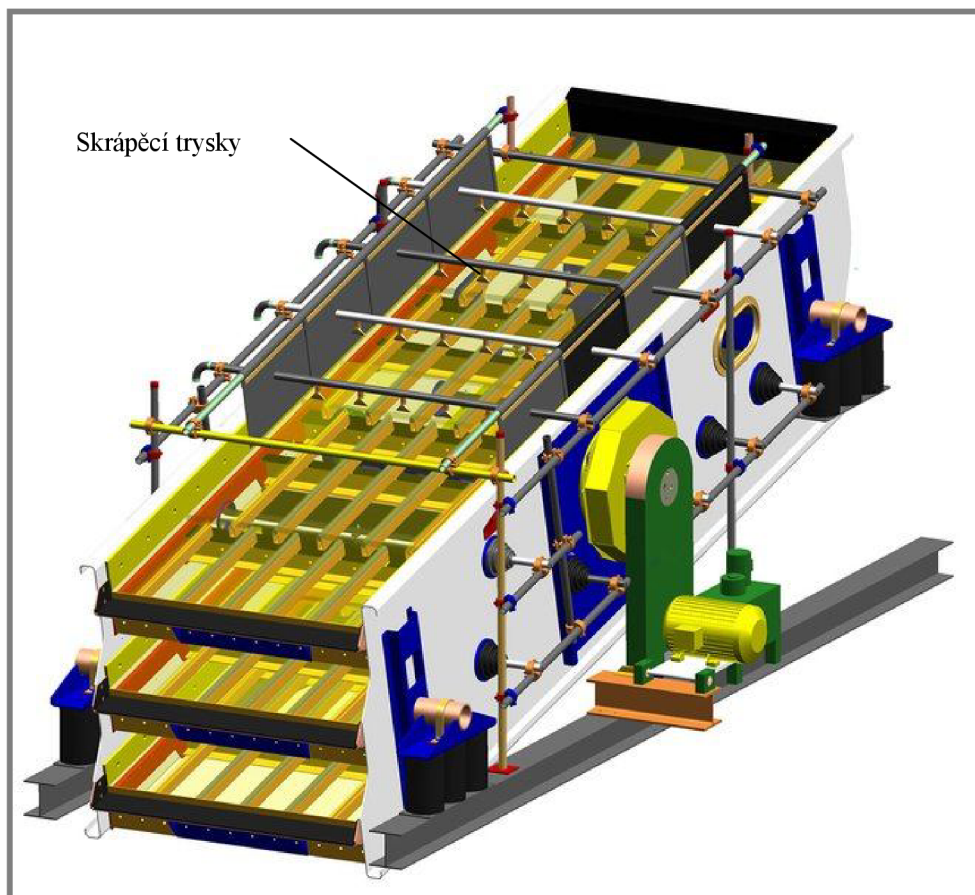


Obr. 5-1 Koncept semimobilního třídíče



## 5.2 Třídící jednotka

Skráň třídíče, stejně jako budič vibrací je odvozen z podobného třídíče, který se používá na mobilním třídíči. Rozměry třídíče však musí být větší, aby jej bylo možno osadit rozměrnější sítovou plochou, která bude zajišťovat dostatečný výkon třídíče. Stejně tak bude upravena i jeho výška, protože na rozdíl od předchozích třídíčů bude tento osazen skrápěcími tryskami, které budou vyplavovat jílovité složky z tříděného materiálu. Tyto trysky mají stanovené rozmezí vzdálenosti, ve kterém musejí být umístěny nad sítovou plochou.



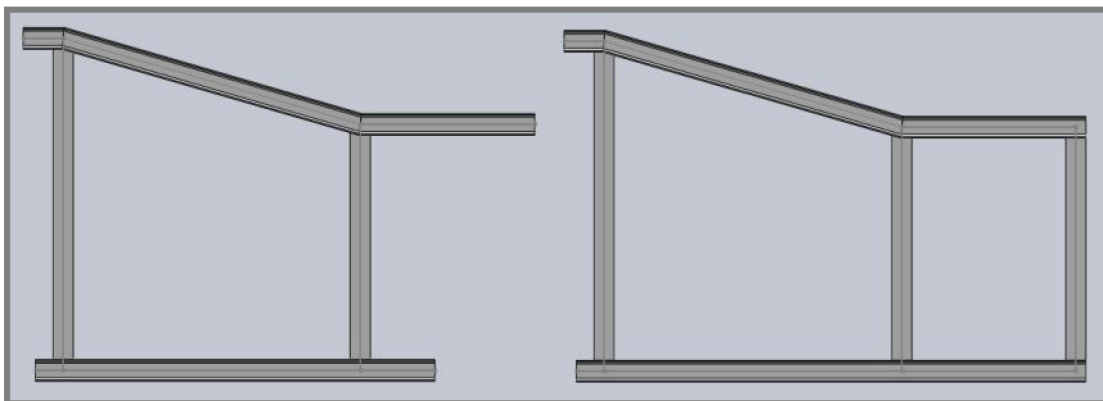
Obr. 5-2 Třídíč se skrápěním firmy Haver & Boecker [11]

Na budiči vibrací se nebudou provádět žádné konstrukční změny. Bude se měnit jen jeho geometrie, tak aby vybuzená síla byla dostatečně velká a třídíč dosahoval správné provozní amplitudy.

## 5.3 Rám

Při vytváření prvotních návrhů rámu se vycházelo ze dvou dnes nejvíce využívaných variant. První konstrukce rámu je se čtyřmi nosnými podpěrami (obr. 2-12), která se vyznačuje menší podélnou stabilitou, ale umožňuje větší prostor pro usazování pásových dopravníků pod přední skluzy. Druhou z variant je rám s šesti podpěrami (obr. 2-11), který má velice dobrou stabilitu, ale přední vzpěry zásadně omezují rozmístění a výsledný směr dopravníků.

V prvním kroku je zvolena první varianta rámu, aby se dosáhlo maximální variability stroje. Dalším významným krokem je návrh profilů nosné konstrukce. Klasické řešení využívání trubkové konstrukce nebo konstrukce tvořené I a U profily nebo novější konstrukce HEA či HEB profily. Pro tento konstrukční návrh je zvolen profil HEB. Tento profil má v porovnání s jinými profily největší modul průřezu v ohybu a největší vzpěrnou stabilitu.



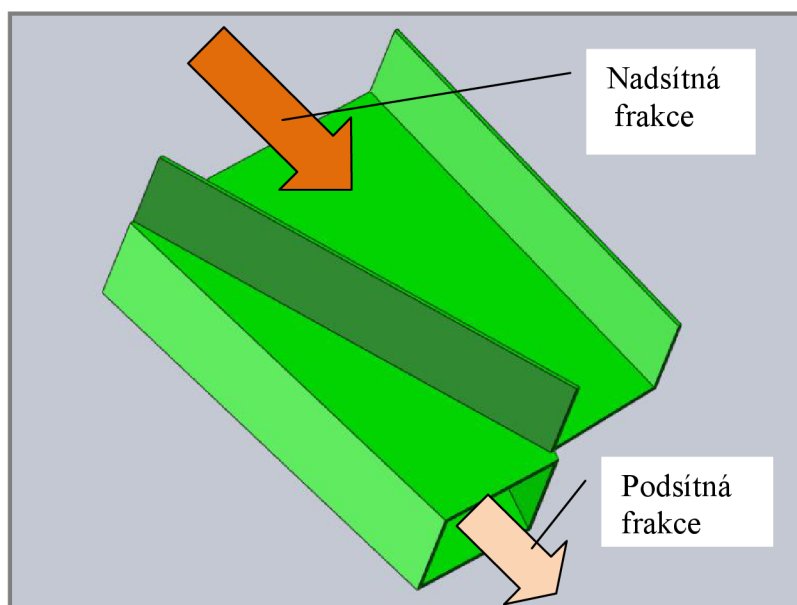
Obr. 5-3 Koncept rámu

## 5.4 Skluzy

5.4

Návrhy skluzů zprvu vycházely z některých již vyrobených strojů. Tyto konstrukce však neodpovídaly požadavkům a potřebám tohoto zařízení proto se musely tyto skluzy vytvořit zcela nové.

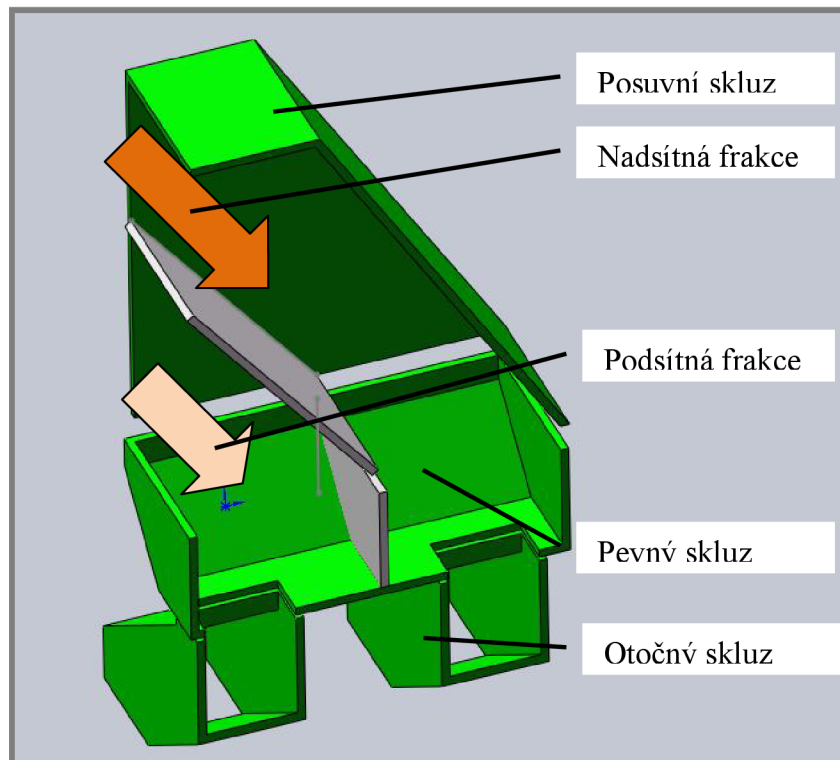
Výstup z třídiče resp. nadsítný a mezisítný sluz měly být vyrobeny jako dva oddělené otevřené skluzy. Tato konstrukce by však znemožňovala snadný přístup na skluz mezisítné frakce a to by komplikovalo jeho čištění a opravy. Také by hrozilo vypadávání materiálu přes neuzavřený horní skluz. Proto se použije uzavřený posuvný skluz, který je sice náročnější na výrobu, ale je samonosný a lépe navazuje na další skluzy.



Obr. 5-4 Pevné skluzy

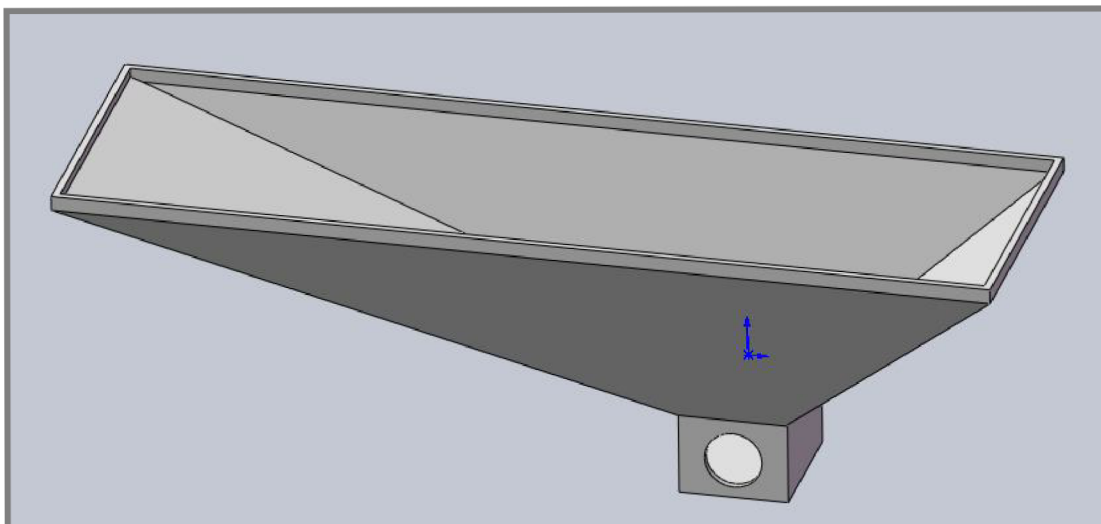
Pokud je použit posuvný skluz další navazující skluz se odvíjí od jeho geometrie. Většinou se jedná o pevný skluz upevněný k rámu, na který navazují otočné skluzy, které odklání tok materiálů podle umístění pasových dopravníků. Stejný princip konstrukce bude použit i u tohoto stroje.

Při suchém třídění by se skluzy z vnitřní strany tzv. „opancěřovaly“ tzn., že by se na stěny skluzu připevnilly pláty otěru vzdorného plechu. Protože jde ale o mokrý proces třídění, všechny použité díly by značně podléhaly korozi. Proto budou všechny skluzy z vnitřní strany potaženy vrstvou gumy.



Obr. 5-5 Posuvný skluz

Největší podsítný skluz bude navržen jako svarek, protože tímto skluzem bude odcházet většina vody použitá na zkrápění sít. Proto tento skluz musí obsahovat, co nejméně spojů, kterými by mohla voda unikat. V horní části bude skluz uchycen k rámu. Stejně jako předcházející skluzy i tento bude z vnitřní strany pogumován.



Obr. 5-6 Podsítný skluz

## 5.5 Pracovní plošina

Konstrukce pracovní plošiny pro obsluhu stroje bude vytvořena podle příslušné normy ČSN. Samotné konstrukční provedení se bude řídit geometrií rámu a navazujících dílů. Pro snadný přístup k třídíči a jednoduchou manipulaci při výměně sít na síťových plochách, bude třídíč vybaven schodištěm a pracovní plošina bude kolem celého třídíče.

5.5

---

[STRANY 36-73 NEZVEŘEJNĚNY]

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit model semimobilní třídící jednotky, provést kontrolní výpočty vybraných součástí a vytvořit výkresovou dokumentaci pro výrobu prototypu. Dle mého názoru bylo všech zadaných cílů dosaženo. Podařilo se mi shromáždit potřebné informace z již vyráběných strojů a ty pak aplikovat na koncepční model. Z tohoto modelu jsem vytvořil vyrobitelný a funkční 3D virtuální model semimobilní třídící jednotky TS16x40\_2. Následně jsem vytvořil z tohoto modelu výkresovou dokumentaci, podle které byl prototyp stroje vyroben a odzkoušen. Dále jsem dohlížel na výrobu celého stroje a realizoval jsem nutné konstrukční změny. Bylo nutné provést drobné úpravy skluzů, tak aby byly respektovány požadavky výrobce a provést kontrolní měření třídíče.

Při prvním testovacím spuštění prototypu stroje se vyskytl problém s uložení třídíče, které mělo velkou tuhost a třídíč nepracoval zcela správně. Již při návrhu jsem upozorňoval, že dle mých výpočtů mají pružiny velkou tuhost, což se tedy potvrdilo. Proto jsem provedl nový výpočet, kterým bylo zjištěno, že použité pružiny jsou tužší než pružiny potřebné pro klidný a správný chod třídíče. Tuhé pružiny byly nahrazeny měkčími pružinami, které vykazovaly klidnější chod třídíče při stejné velikosti amplitudy kmitání, která v tomto případě byla 4,5 mm.

Stroj se podařilo úspěšně vyrobit, odzkoušet a odladit tak, že ho dnes firma nabízí v mnoha variantách ve svém portfoliu. Na samotném vývoji těchto strojů jsem pracoval od listopadu 2008, kdy jsem začal spolupracovat s konstrukční kanceláří této firmy. Na samotném stroji jsem pracoval více jak 8 měsíců a odpracoval jsem více jak 800hodin. Pro konstrukci tohoto stroje jsem využíval svých předchozích zkušeností v této firmě, kde jsem brigádně pracoval 6 let jako zámečnický dělník a podílel se na výrobě předchozích strojů.

Při vyvíjení toho stroje jsem získal spoustu cenných znalostí a zkušeností, které mi pomohou při mé další práci.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

---

- [1] POLICKÝ, Zdeněk . *Úpravárenské stroje*. vyd. 1. Brno : Ediční středisko VUT Brno, 1987. 242 s.
- [2] POLUS, Emil. *Úpravárenské stroje I : Drtiče a mechanické třídiče pro průmysl, výrobu maltovin a lehčených stavebních hmot*. vid. 1. Praha : SNTL, 1970. 260 s.
- [3] *Eurositex.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-05-10]. Průmyslová síta. Dostupné z WWW: <<http://www.eurositex.cz/cz/produkty/prumyslova-sita.php>>.
- [4] *Kool.cz* [online]. 2007 [cit. 2010-05-10]. Kool Trading, spol. s.r.o. Dostupné z WWW: <<http://www.kool.cz/cz/reference.html>>.
- [5] *Dsprrerov.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-05-10]. Stroje a zařízení pro zpracování nerostných surovin. Dostupné z WWW: <<http://www.dsprrerov.cz/nase-vyrobky/tridice/vibracni-tridice-vtk.html>>.
- [6] *Crushercn.wordpress.com* [online]. December 4, 2008 [cit. 2010-05-10]. The best stone processing solution. Dostupné z WWW: <<http://crushercn.wordpress.com/tag/working-principle/>>.
- [7] *Tema.co.uk* [online]. 2008 [cit. 2010-05-10]. TEMA Machinery Limited. Dostupné z WWW: <<http://www.tema.co.uk/products/cat3/screening-machines>>.
- [8] *Metso.com* [online]. 2010 [cit. 2010-05-10]. Solutions to screening. Dostupné z WWW: <[http://www.metso.com/miningandconstruction/mm\\_scre.nsf/WebWID/WTB-041129-2256F-825BD?OpenDocument](http://www.metso.com/miningandconstruction/mm_scre.nsf/WebWID/WTB-041129-2256F-825BD?OpenDocument)>.
- [9] *Pujcovna-ostrava.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-05-10]. Půjčovna pásových dopravníků. Dostupné z WWW: <<http://www.pujcovna-ostrava.cz/obrazky/vibrator.jpg>>.
- [10] *Webac-vibro.com* [online]. 2010 [cit. 2010-05-10]. Průmyslové vibromotory. Dostupné z WWW: <<http://www.webac-vibro.com/index.php?menu=elektricke-vibromotory-vv>>.
- [11] *Haverboecker.de* [online]. 2009 [cit. 2010-05-10]. Haver and Boecker. Dostupné z WWW: <<http://www.haverboecker.de/typo3temp/pics/0b600ced0c.jpg>>. <<http://crushercn.wordpress.com/tag/working-principle/>>

- [12] KRATOCHVÍL, Ctirad; SLAVÍK, Jaromír. *Mechanika těles : Dynamika*. vyd.2. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno, 2002. 227 s. ISBN 80-214-2260-2.
- [13] *Resta.cz* [online]. 2000 [cit. 2010-05-19]. O nás. Dostupné z WWW: <<http://www.resta.cz/cs/about.html>>.
- [14] ČSN 41 1523. *Materiálové listy : ocel 11523*. Praha : Český normalizační institut, 1.4.1994. 20 s
- [15] *Vingu.cz* [online]. 2005 [cit. 2010-05-24]. Návod na ocelová lana. Dostupné z WWW: <[http://www.vingu.cz/documents/navod\\_na\\_ocel\\_lana.pdf](http://www.vingu.cz/documents/navod_na_ocel_lana.pdf)>.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$Mk$ [N.m]	- krouticí moment elektromotoru
$P$ [W]	- výkon elektromotoru
$\omega$ [rad.s <sup>-1</sup> ]	- úhlová rychlost
$f$ [Hz]	- frekvence
$F$ [N]	- síla vyvozená krouticím momentem
$p$ [Pa]	- tlak na plochu pera
$p_p$ [Pa]	- dovolené napětí pro otláčení pera
$S$ [m <sup>2</sup> ]	- činná plocha pera
$l_c$ [m]	- činná délka pera
$l_l$ [m]	- činná tloušťka pera
$F_p$ [N]	- síla pružiny
$r_p$ [N]	- stlačení pružiny
$m$ [kg]	- celková hmotnost třídiče
$v$ [m.s <sup>-1</sup> ]	- obvodová rychlost
$r$ [m]	- poloměr
$n_v$ [s <sup>-1</sup> ]	- otáčky v rezonanci
$T_v$ [s]	- perioda v rezonanci
$K$ [N.m <sup>-1</sup> ]	- celková tuhost soustavy
$n$ [s <sup>-1</sup> ]	- otáčky
$T$ [s]	- perioda
$y_{st}$ [m]	- statické stlačení pružiny
$y_{max}$ [m]	- maximální stlačení pružiny
$y_g$ [m]	- maximální přípustné stlačení pružiny
$F_{st}$ [N]	- statická síla deformující pružinu
$g$ [m.s <sup>-2</sup> ]	- gravitační zrychlení
$z$	- počet pružin
$F_g$ [N]	- maximální vyvození síla
$\tau_{max}$ [MPa]	- maximální napětí v krutu
$\sigma_{max}$ [MPa]	- maximální napětí
$\sigma_{red}$ [MPa]	- redukované napětí
$R_e$ [MPa]	- mez kluzu
$K_s$	- smykový korekční faktor
$D$ [m]	- střední průměr pružiny
$d$ [m]	- průměr drátu pružiny
$F_d$ [N]	- deformační síla
$u_0$ [m]	- amplituda vynucených kmitů
$u_{st}$ [m]	- amplituda ustálených vynucených kmitů
$\eta$ [rad]	- součinitel naladění
$b$ [N.m <sup>-1</sup> .s]	- tlumení soustavy
$\delta$ [s <sup>-1</sup> ]	- součinitel doznívání
$\Omega_0$ [Hz]	- vlastní úhlová frekvence netlumených kmitů
$N_a$ [N]	- složka odstředivé síly
$e_x$ [m]	- excentricita těžiště nevyvážků
$m_t$ [kg]	- hmotnost třídiče
$m_n$ [kg]	- hmotnost nevyvážků

CNC -Computer Numerical Controlled

MKP - Metoda Konečných Prvků

FFEPlus -Fast 3D Finite Element solver

### 3.2 Seznam obrázků

Obr. 1-1 Princip funkce třidiče	16
Obr. 1-2 Třídění pohyblivým roštem a rotací [1]	17
Obr. 1-3 Třídění vrhem roštem a plošným pohybem [1]	17
Obr. 1-4 Tvary roštnic [1]	18
Obr. 1-5 Tvary otvorů [1]	18
Obr. 1-6 Drátěná síta [1]	19
Obr. 1-7 Drátěná síta [1]	19
Obr. 1-8 Drátěná síta [1]	20
Obr. 1-9 Clip-Tec [3]	20
Obr. 1-10 Clip-Clean [3]	20
Obr. 1-11 Semimobilní třidič firmy KOOL Trading [4]	21
Obr. 1-12 Semimobilní třidič firmy DSP Přerov [5]	22
Obr. 1-13 Třidič firmy Zenith (Čína) [6]	22
Obr. 1-14 Třidič firmy Tema machineri [7]	23
Obr. 1-15 Budič vibrací firmy Metso [8]	24
Obr. 1-16 Vibrační jednotka [9]	25
Obr. 5-1 Koncept semimobilního třidiče	31
Obr. 5-2 Třidič se skrápěním firmy Haver & Boecker [11]	32
Obr. 5-3 Koncept rámu	33
Obr. 5-4 Pevné skluzy	33
Obr. 5-5 Posuvný skluz	34
Obr. 5-6 Podsítný skluz	35
Obr. 5-6 Koncept semimobilního třidiče	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obr. 6 Semimobilní třidič	36
Obr. 6-1 Třidič 16x40	37
Obr. 6-2 Třidič 16x40-ŘEZ	38
Obr. 6-3 Příčné napínání síta [3]	38
Obr. 6-4 Síťová plocha	39
Obr. 6-5 Napínací deska	39
Obr. 6-6 Vazací konzoly	40
Obr. 6-7 Budič vibrací	41
Obr. 6-8 Modální analýza	43
Obr. 6-9 Uložení třidiče	44
Obr. 6-10 Zjednodušené schéma třidiče [1]	45
Obr. 6-11 Deformace pružiny [1]	47
Obr. 6-12 Stlačení pružiny	48
Obr. 6-13 Napětí v pružině	49
Obr. 6-14 Sestava rámu	50
Obr. 6-15 Spodní díl rámu	51
Obr. 6-16 Horní díl rámu	52
Obr. 6-17 Podpěra skluzu	53
Obr. 6-18 Vlastnosti materiálu a sítě	54
Obr. 6-19 Konečnoprvková síť použitá pro pevnostní analýzu	55
Obr. 6-20 Rozložení napětí v rámu	56
Obr. 6-21 Rozložení napětí v přední vzpěře	57
Obr. 6-22 Skluzy	58

<b>Obr. 6-23</b> Posuvný skluz	59
<b>Obr. 6-24</b> posuvný skluz - pojezd	59
<b>Obr. 6-25</b> Pevný skluz	60
<b>Obr. 6-26</b> Otočný skluz	60
<b>Obr. 6-27</b> Upevnění otočného skluzu	61
<b>Obr. 6-28</b> Podsítný skluz	62
<b>Obr. 6-29</b> Sestava pracovní plošiny	62
Obr. 6-30 Pracovní plošina	63
<b>Obr. 6-31</b> Levá strana plošiny	64
<b>Obr. 6-31</b> Pravá strana plošiny	64
<b>Obr. 6-32</b> Výztuha plošiny	65
<b>Obr. 6-34</b> Výkres sestavy	66
<b>Obr. 6-35</b> Výroba semimobilního třídiče	67
<b>Obr. 6-36</b> Návaznosti dílů	68
<b>Obr. 6-37</b> Výsledný pohyb soustavy	72

---

### 3.3 Seznam tabulek a grafů

<b>Tab. 1</b> Druhy frakcí	14
<b>Tab. 2</b> Vlastních frekvencí	43
<b>Graf. 1</b> Velikost amplitudy soustavy pro pružinu s tuhostí 78N/mm	70
<b>Graf. 2</b> Velikost amplitudy soustavy pro pružinu s tuhostí 98N/mm	71
<b>Graf. 3</b> Závislost velikosti amplitudy na celkové hmotnosti soustavy	72
<b>Graf. 4</b> Velikost provozní amplitudy v závislosti na použitých pružinách	73

---

## SEZNAM PŘÍLOH

---

- Příloha 1- Ocelová vázací lana
- Příloha 2- Modální analýza 9,4 Hz
- Příloha 3- Modální analýza 10,9 Hz
- Příloha 4- Výroba skříně třídiče
- Příloha 5- Sestavení semimobilního třídiče
- Příloha 6- Zástavba do linky

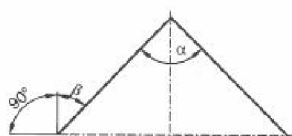


## Příloha 1. Ocelová vázací lana [15]

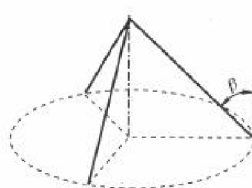


### OCELOVÁ VÁZACÍ LANA

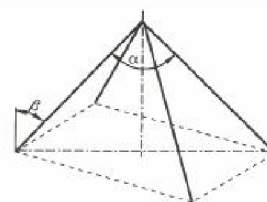
- Vazák se zhotovuje z ocelových lan nemazaných s nemazanou nekovovou nebo kovovou duší, holých nebo pozinkovaných. Přednostně se k výrobě vazáků používají lana podle ČSN 02 4322 a ČSN 02 4324 s vnutím protisměrným pravým vyrobená z drátů s jmenovitou pevností v tahu 1570 a 1770 MPa.
- Vazák s nalisovanými objímkami musí odpovídat ČSN 02 4481. Minimální vzdálenost mezi vnitřními okraji objímek musí být desetinásobkem jmenovitého průměru lana. Vazací lana s nalisovanými objímkami nesmějí být používána v prostředí, kde jsou bezprostředně vystavena sálavému teplu nebo dotyku s předměty s povrchovou teplotou větší než 60° C.
- Vazák se zapletenými oky musí odpovídat ČSN 02 4468. Minimální vzdálenost mezi konci zápletů musí být desetinásobkem jmenovitého průměru lana. Vazací lana se zapletenými oky nesmějí být používána v prostředí, kde jsou bezprostředně vystavena sálavému teplu nebo dotyku s předměty s povrchovou teplotou větší než 200° C.
- Jednoprarmenný vazák musí být jedním z typů znázorněných na obrázku. Je-li použito koncového příslušenství, doporučuje se, aby oko bylo vybaveno očníci.
- Víceprarmenné vazáky se skládají ze dvou, tři nebo čtyř jednoprarmenných vazáků, které jsou na svých horních koncích spojeny závěsným okem. U čtyřprarmenných vazáků musí být každý ze dvou párů pramenů připojen k hlavnímu závěsnému oku přechodným článkem.
- Jmenovitá délka jednoprarmenného vazáku /je délka mezi závěsnými body koncovek, ať jsou to měkká oka, očnice, závěsná oka, háky, třmeny či články. Délka se měří bez zátěže. Tolerance délky nesmí přesáhnout větší z hodnot danou / 0,5% požadované délky. U víceprarmenných vazáků nesmí rozdíl v délce jednotlivých pramenů přesáhnout větší z hodnot / dvojnásobek průměru lana nebo / 0,5% požadované délky.
- Vazák je možno použít tehdy, pokud břemeno svým tvarem a tuhostí, jakož i teplota pracovního prostředí umožňuje bezpečné uvázání. Vazáky jsou vhodné pro vázání těžších břemen zaobleného tvaru. Nemají se ohýbat přes hrany s poloměrem zaoblání menším než je 2,5 – násobek průměru lana; v žádném případě však poloměr zaoblání nesmí být menší než je průměr lana. Oka mohou být namáhána pouze tahem. Břemeno se doporučuje zavěšovat nejméně na dvou nosných průřezech lana, aby se zabránilo rozkrucování lana. Vazák má být ve všech svých částech rovnoměrně zatížen; těžiště má být před uvázáním pod osou závěsu.
- Nosnost vazáku WLL (working load limit) je definována jako maximální hmotnost břemena, kterou je vazák schopen zvednout, spustit nebo udržet zavěšenou; vypočítává se z jmenovité nosnosti lana a součinitele bezpečnosti:  
$$WLL = (F_0 \cdot K_e) / (K_m \cdot K_n)$$
- Běžně používané způsoby vázání, nosnosti WLL a nosnosti v závislosti na způsobu vázání a úhlu jejich rozevření jsou uvedeny v tabulkách.
- Vázání vazáků na smyčku se nedoporučuje z důvodů možnosti rázů při zatahování smyčky a zvýšeného namáhání na otačení a ohyb; i přesto je přípustné. Je-li vázací lano vybaveno očníci nebo je takové vázání jednorázové, snižuje se nosnost na 80% hodnoty WLL. V ostatních případech se snižuje nosnost na 50% hodnoty WLL.
- Při vázání víceprarmenných vazáků je nutné přihlídnout k úhlu sklonu (alfa) případně k úhlu odklonu (beta) pramenů. Úhel beta k vertikále nesmí v žádném případě přesáhnout 60°. Úhel alfa mezi protějšími prameny nesmí přesáhnout v žádném případě 120°. Hodnoty koeficientů a WLL tří- a víceprarmenných vazáků uvedených dále v tabulkách, jsou správné jen za předpokladu, že zátěž je rovnoměrně rozložena mezi všechny prameny. Pokud není spolehlivě zajištěno rovnoměrné zatížení všech pramenů tří- a víceprarmenného vazáku, je nutno považovat pouze dva za nosné.



dvouprarmenný



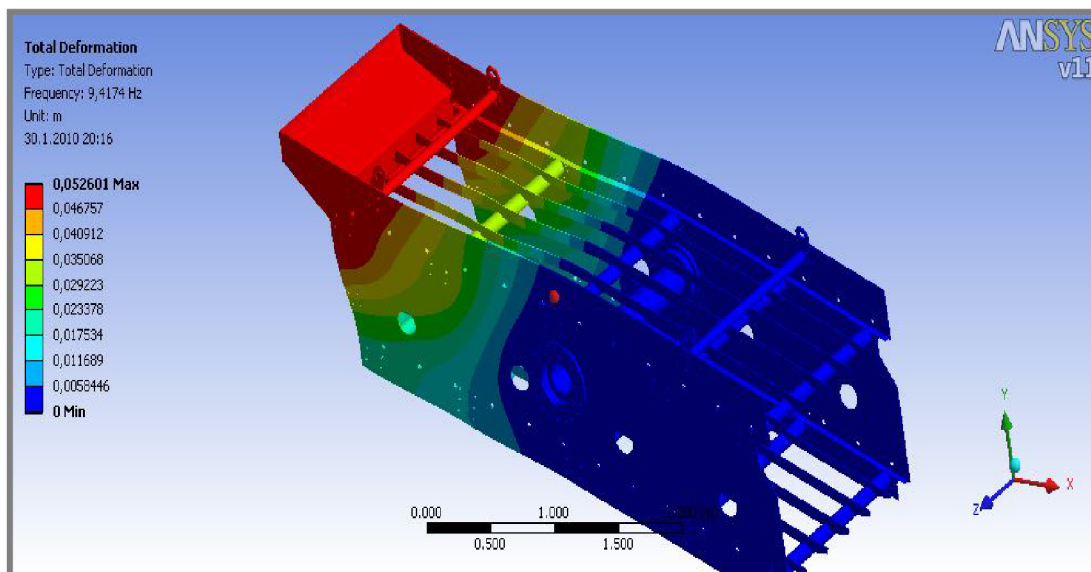
tříprarmenný



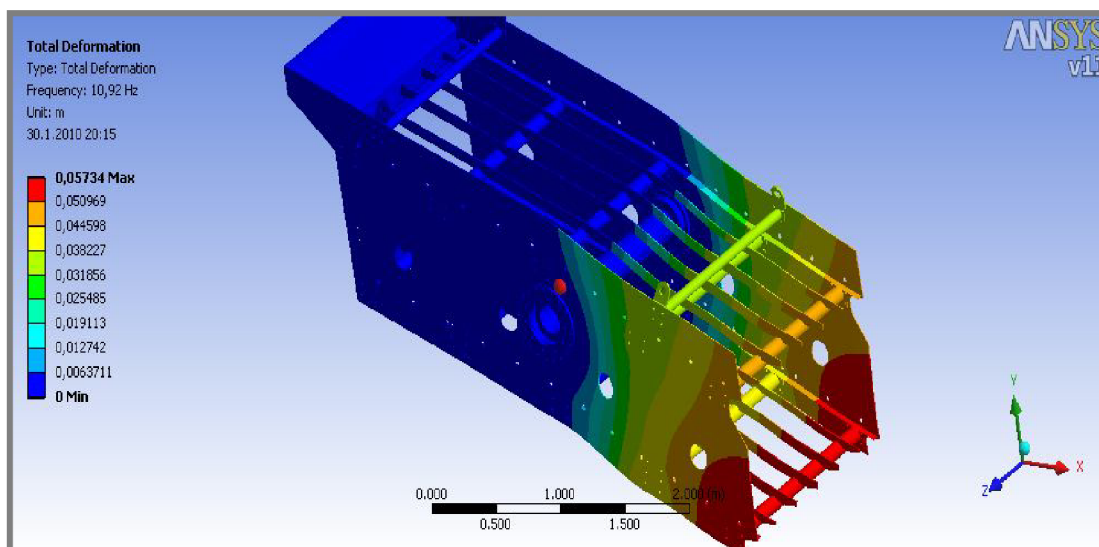
čtyřprarmenný

**Příslušenství pro vázání břemenem dodáváme v rozsahu uvedeného přehledu. Podrobné technické údaje a cenové nabídky zašleme na vyžádání obratem. Příslušenství dodáváme jako součást vázacích prostředků nebo samostatně.**

## Příloha 2. Modální analýza 9,4Hz



## Příloha 3. Modální analýza 10,9 Hz





---

**Příloha 4.** Výroba skříně třídiče



**Příloha 5.** Sestavení semimobilního třídiče



---

## Příloha 6. Zástavba do linky

