



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

VIBRAČNÍ VÁLCE A DESKY JAKO PŘÍDAVNÉ ZAŘÍZENÍ SMYKEM ŘÍZENÉHO NAKLADAČE

VIBRATORY ROLLER AND PLATE FOR SKID STEER LOADERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Milan Rádsetoulal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: Milan Rádeštolal
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
Akademický rok: 2018/19

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 bakalářské práce:

Vibrační válce a desky jako přídavné zařízení smykem řízeného nakladače

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Kritická rešerše vybraných existujících vibračních válců a desek jako přídavných zařízení pro kolové a pásové nakladače.

Cíle bakalářské práce:

Kritický rozbor jak s ohledem na konstrukční uspořádání jednotlivých konstrukčních řešení, tak i na provozní a technické parametry.

Hodnocení jednotlivých koncepcí.

Předpokládané směry vývoje v oblasti konstrukčních řešení.

Návrh vlastní koncepce.

Seznam doporučené literatury:

VANĚK, Antonín. Moderní strojní technika a technologie zemních prací. Praha: Academia, 2003. Česká matice technická (Academia). ISBN 80-200-1045-9.

JERÁBEK, Karel, František HELEBRANT, Josef JURMAN, Věra VOŠTOVÁ. Stroje pro zemní práce: Silniční stroje. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. ISBN 8070783893.

SHIGLEY, Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

ŠKOPÁN, Miroslav. Hydraulické pohony strojů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. [cit. 1. 10. 2018]. Dostupné z <https://www.vutbr.cz/studis/student.phtml>

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 26. 10. 2018



prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Práce pojednává o zhutňovací technice ve formě vibračních válců a vibračních desek, jakožto přídatných zařízení pro smykem řízené nakladače. Cílem práce je porovnání současných komerčně dostupných řešení z technologického a rozměrového hlediska. Navrhnutá vlastní koncepce přídatné vibrační desky cílí na odstranění hlavních nevýhod komerčních řešení. Porovnání je provedeno i v rámci poměrných parametrů, což umožňuje snadné a rychlé srovnání jednotlivých zařízení. Trh s těmito přídatnými zařízeními je málo rozsáhlý, u přídatných vibračních desek se mnohdy jedná jen o upravená zařízení pro rypadla, kdy je pomocí upínacího zařízení zajištěna kompatibilita se smykem řízeným nakladačem. Tato zařízení způsobují velké opotřebení výložníku nakladače a z tohoto důvodu se nejedná o příliš rozšířená zařízení a jejich další vývoj se nedá příliš předpokládat.

KLÍČOVÁ SLOVA

smykem řízený nakladač, vibrační válec, vibrační deska, přídatné zařízení, hutnicí technika, stavební stroje, zemní práce

ABSTRACT

This bachelor's thesis is focused on compaction machines like vibratory rollers and vibratory plates as auxiliary devices for skid steer loaders. This thesis is focused on a comparison of current devices in terms of technology and size. The designed solution of auxiliary vibratory plate focuses on solving main problems. There are also created coefficients that allow easy and fast comparison of each auxiliary devices. There are only a few companies that focus on creating this sort of devices. Auxiliary vibratory plates are often just slightly modified auxiliary devices for excavators, with slightly modified mount system. Vibratory rollers and plates cause high wear of skid steer loader and for this reason they are not widely spread. There will probably not be any future development in these kinds of devices due the fact, that there are better solutions for soil compaction.

KEYWORDS

skid steer loader, vibratory rollers, vibratory plates, auxiliary devices, compaction machines, construction machines, civil engineering

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RÁDSETOULAL, M. *Vibrační válce a desky jako přídavné zařízení smykem řízeného nakladače*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 53 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslava Škopána, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2019

.....

Milan Rádsetoulal

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc., za poskytnutí důležitých informací, cenných rad a připomínek při tvorbě této bakalářské práce.

OBSAH

Úvod	10
1 Smykem řízený nakladač.....	11
1.1 Konstrukční provedení smykem řízených nakladačů	11
1.2 Kategorizace smykem řízených nakladačů	13
1.3 Pracovní zařízení smykem řízených nakladačů	13
2 Zhutňování půdy.....	15
2.1 Změny v zeminách vyvolané zhutňováním	15
2.2 Způsoby zhutňování	16
2.3 Stroje pro zhutňování půdy statickým působením.....	16
2.4 Stroje pro zhutňování zeminy dynamickým působením.....	18
3 Vibrační válce jako přídavná zařízení	23
3.1 Konstrukce přídavných vibračních válců	23
3.2 Porovnávací parametry přídavných vibračních válců.....	23
3.3 Přídavné vibrační válce firmy Bobcat.....	24
3.4 Přídavné vibrační válce firmy Spartan Equipment	26
3.5 Přídavné vibrační válce firmy Caterpillar	28
3.6 Přídavné vibrační válce firmy Weyang machinery.....	29
4 Vibrační desky jako přídavná zařízení	31
4.1 Konstrukce přídavných vibračních desek	31
4.2 Porovnávací parametry přídavných vibračních desek	31
4.3 Přídavné vibrační desky firmy Eterra	32
4.4 Přídavné vibrační desky firmy Stanley	33
4.5 Přídavné vibrační desky firmy Coneqtec-Universal	35
4.6 Přídavné vibrační desky firmy Spartan Equipment	36
5 Návrh vlastní koncepce	38
5.1 Nosný rám	39
5.2 Silentbloky	39
5.3 Hutnicí deska	40
5.4 Budiče vibrace	41
6 Porovnání přídavných hutnicích zařízení	42
6.1 Porovnání vibračních válců.....	42
6.2 Porovnání vibračních desek	43
7 Předpokládané směry vývoje.....	47
Závěr.....	48
Seznam použitých zkratk a symbolů	52
Seznam příloh.....	53

ÚVOD

Stroje pro hutnění zeminy dnes patří mezi široce rozšířené, uplatnění nacházejí na většině staveb. Nejčastěji využívaným způsobem hutnění je pomocí pravidelně se měnící dynamické síly, která je způsobena rotací nevyvážku uvnitř budiče vibrace. Tohoto principu využívají vibrační desky a válce. Tyto stroje jsou dnes především využívány jako jednoúčelová zařízení. Smykem řízené nakladače jsou díky široké paletě příslušenství velmi univerzální pracovní stroje. V této práci je proveden průzkum trhu s přídatnými hutnicími zařízeními právě pro tyto nakladače. Práce je rozdělena na přídatné vibrační válce a přídatné vibrační desky. U obou kategorií jsou zavedeny porovnávací parametry jak z hlediska rozměrů, tak i z hlediska technologických parametrů. Dále jsou vytvořeny porovnávací poměrné parametry, které umožní snazší volbu vhodného přídatného vibračního zařízení pro požadované účely.

Ve druhé části práce je proveden návrh vlastní koncepce vibrační desky pro smykem řízený nakladač, s ohledem na její rozměrové a technologické vlastnosti. Volba rozměrů je provedena tak, aby délka hutnicí desky pokryla celkovou šířku nakladače a umožnila hutnění zeminy i v blízkosti překážek.

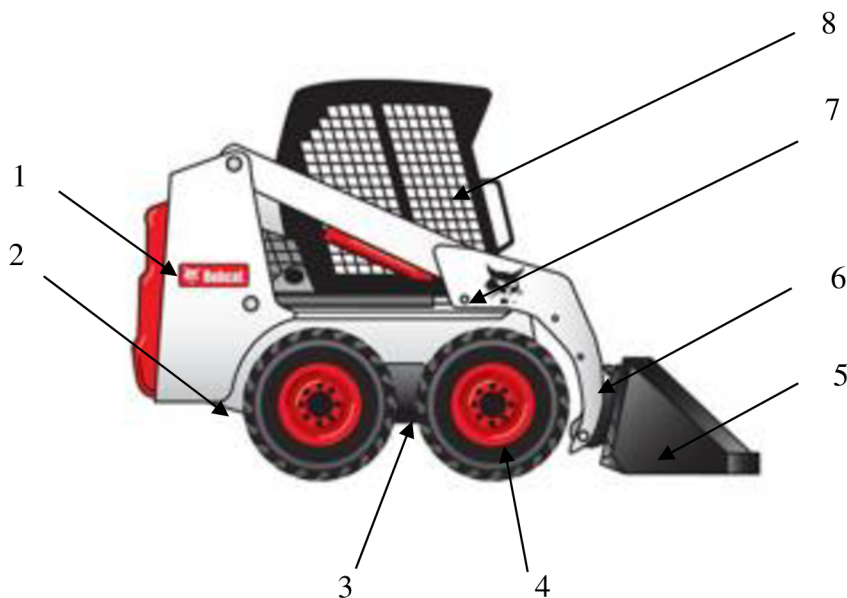
V závěru práce je proveden průzkum v oblasti hutnicí techniky a zhodnocení celé koncepce přídatných vibračních zařízení.

1 SMYKEM ŘÍZENÝ NAKLADAČ

Smykem řízené nakladače jsou univerzální čelní lopatové stroje určené mimo jiné pro stavebnictví, lesnictví, či zemědělství. Mají čtyři kola, která se nemohou otáčet kolem svislé osy a zatáčení probíhá jejich prokluzem, smýkáním. Díky nezávislému ovládní dvojice kol na každé straně je umožněno jejich vysoké manévrovatelnosti, kdy se může stroj otočit prakticky na místě o 360°. Na trhu se nachází široká škála těchto strojů od mnoha velkých výrobců stavební techniky, jako například Caterpillar, CASE, Bobcat, JCB a další. Tyto stroje jsou rozlišovány dle svých hmotností a nosností. Nosnost těchto strojů je dána především celkovou hmotností stroje, rozvorem kol a umístěním těžiště nakladače vůči výložníku. Malé stroje mají nosnost – maximální nosnost, kterou je stroj schopen bezpečně uzvednout bez převážení se [1] okolo 400 kg (například Bobcat S 70 s nosností 343 kg) [2]. Naopak největší stroje mohou dosahovat nosností přes 1500 kg, například největší smykový nakladač Gehl V420 s nosností 1905 kg [3].

1.1 KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ SMYKEM ŘÍZENÝCH NAKLADAČŮ

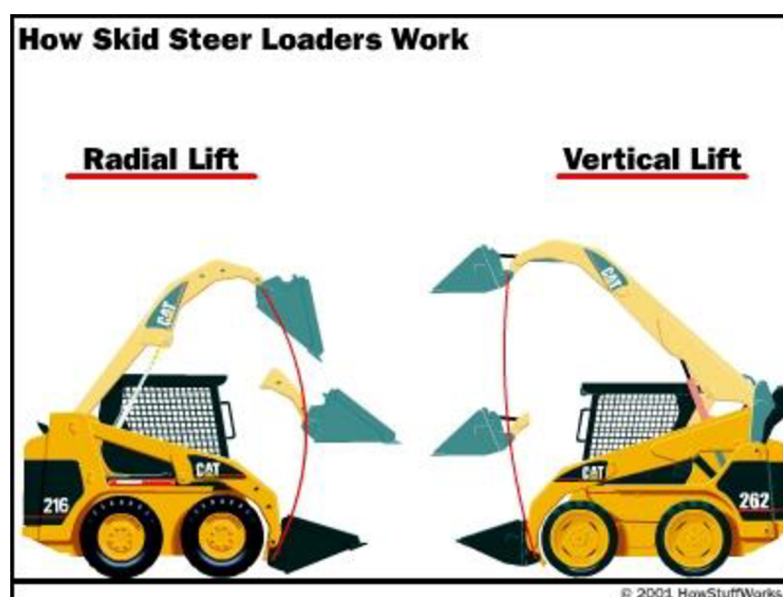
Základním prvkem konstrukce je tuhý rám, na kterém je v zadní části stroje (z důvodu posunutí těžiště co nejvíce do zadní části a z důvodu kompaktnosti) umístěn spalovací motor. Točivý moment spalovacího motoru je přes spojku přenášen do převodové skříně a následně na hydrogenerátory. Každá strana kol má samostatný hydrogenerátor. Regulací tlakové hydraulické kapaliny v rozdělovači, dochází ke změně množství protékající kapaliny do hydromotorů a snížení otáček kol jedné strany, přičemž druhá strana si zachovává konstantní rychlost otáčení. To způsobí smýkavý pohyb stroje a následné zatočení. Tlak hydraulického oleje v pojezdovém hydraulickém obvodu se pohybuje okolo 30 MPa [5]. Nad koly nakladače je umístěna prosklená kabina obsluhy, před kterou se nachází výložník s upnutým pracovním zařízením.



Obr. 1 Smykem řízený nakladač BobCat S70 [2]; 1- spalovací motor, 2-pevný rám, 3-hydromotory, 4-pojezdová kola, 5-pracovní zařízení, 6-výložník, 7-rameno nakladače, 8-kabina řidiče

1.1.1 KINEMATIKA POHYBU VÝLOŽNÍKU

Výložník nakladače se může pohybovat radiálním nebo vertikálním způsobem. Při radiálním zdvihu je rameno uloženo po obou stranách stroje na čepech, které jsou pevně uloženy v rámu. To způsobuje pohyb ramene, výložníku a tím i pracovního zařízení po kružnici. Tento způsob pohybu výložníku je vhodný pro nakládku materiálu a jeho přepravu na krátké vzdálenosti. Vertikální zdvih umožňuje pohyb výložníku a pracovního zařízení po přímce. Toho je dosaženo uložení ramene na nůžkovém mechanismu, kdy v určité výšce zdvihu dojde k vysunutí ramene. Výhodou vertikální kinematiky ramene je větší dosah ve výšce a tím usnadnění nakládky břemen, například do nákladních vozidel. Nevýhodou nakladačů s vertikálním zdvihem je větší množství pohyblivých částí (rameno, pístnice, čepy) a tím i větší opotřebení a nároky na údržbu. To zároveň způsobuje menší tuhost celého kinematického řetězce, a proto se doporučuje pro výkopové práce používat nakladače s radiálním zdvihem.



Obr. 2 Schéma radiálního zdvihu a vertikálního zdvihu ramene [4]

Moderní stroje mohou být vybaveny systémem Ride Control. Jedná se o hydraulický systém s dusíkovým akumulátorem napojený na hydraulické válce výložníku. Jeho cílem je zabránit, aby výložník kopíroval příčné nerovnosti terénu. Tím je docíleno toho, že pracovní zařízení se přestane při jízdě terénem kývat a nedochází k vysypání nákladu a zároveň zklidnění celé jízdy [6].

1.2 KATEGORIZACE SMYKEM ŘÍZENÝCH NAKLADAČŮ

Pro účely této práce je použito srovnání a kategorizace převzaté z bakalářské práce z roku 2009 [18].

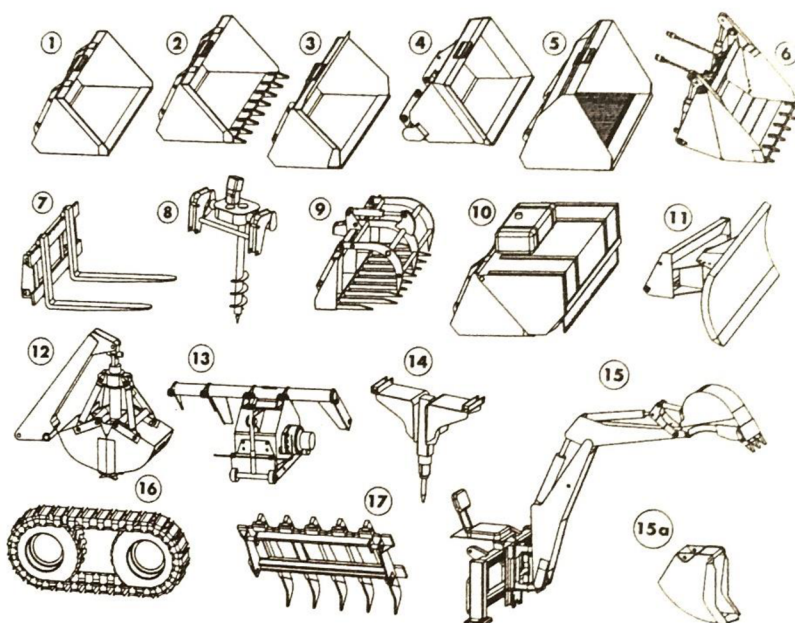
Tab. 1 Rozdělení nakladačů dle jmenovité provozní nosnosti [18]

Kategorie	MIKRO	MINI	MALÉ	STŘEDNÍ	VELKÉ	XL
Nosnost nakladače [kg]	300 - 500	500 - 700	700 - 850	850 - 1000	1000 - 1300	1300 - 1900
Výkon motoru [kW]	11 - 26	28 - 46	34 - 51	34 - 63	52 - 71	58 - 74
Průtokové množství oleje [l/min]	30 - 55	45 - 69	57 - 100	58 - 113	76 - 90	78 - 110
Vyklápěcí výška lopaty [mm]	1830 - 2150	1950 - 2330	2190 - 2620	2220 - 2660	2210 - 3330	2480 - 2720
Vyložení lopaty při vykládce [mm]	370 - 580	500 - 650	460 - 910	400 - 890	400 - 1000	860 - 1000

1.3 PRACOVNÍ ZAŘÍZENÍ SMYKEM ŘÍZENÝCH NAKLADAČŮ

Smykem řízené nakladače jsou díky širokému spektru přídavných zařízení velmi všestrannými pomocníky ve stavebnictví, zemědělství, zahradnictví, lesnictví a při komunálních pracích. Tato přídavná zařízení lze díky rychloupínacímu systému snadno a jednoduše připevnit na výložník. Některá specializovaná příslušenství, jako třeba rypadlové zařízení, může být upevněno přímo na rám stroje. Zdvih výložníku a naklání připevněného pracovního zařízení je realizován pomocí lineárních hydromotorů. Tlakový olej dostávají od pomocného, obvykle zubového hydrogenerátoru. Hydraulické tlaky v hydraulickém obvodu se pohybují okolo 15 MPa [5]. Základním pracovním zařízením je lopata, která může být univerzální, zubová, roštová a jiná. Hydraulický přípoj na výložníku také umožňuje připojení ručního hydraulického nářadí na hydraulický okruh stroje. Mezi speciální zařízení můžeme řadit zametací zařízení,

paletizační vidle, rypadlové zařízení, hutníci zařízení, kypřiče a srovnávače půdy, a mnoho dalších. Přehled vybraných pracovních zařízení je na Obr. 3.



Obr. 3 Pracovní zařízení k nakladači UNC 080 PPSS Detva: 1 - univerzální lopata $0,52 \text{ m}^3$, 2 - zubová lopata $0,42 \text{ m}^3$, 3 - lopata na lehké hmoty $0,5 \text{ m}^3$, 4 - lopata s bočním vyklápěním $0,46 \text{ m}^3$, 5 - roštová lopata $0,63 \text{ m}^3$, 6 - lopata čelistová (Drott) $0,465 \text{ m}^3$, 7 - paletizační vidle, 8 - šnekový vrták průměr 200, 300, 400 mm, 9 - zemědělské vidle, 10 - zametací zařízení, 11 - shrnovací radlice, 12 - čelistový drapák, 13 - fréza na asfaltový kryt, 14 - hydraulické kladivo, 15 - rypadlové zařízení, 15a - drenážní lopaty šířek 230 a 300 mm, 16 - pojezdové pásy, 17 - kypřič půdy [5]

2 ZHUTŇOVÁNÍ PŮDY

Zhutňování je technologický proces, při němž dochází ke zvyšování objemové hmotnosti zeminy vlivem působení statického nebo dynamického zatížení [5]. Cílem zhutňování je:

- zabránit dalšímu přirozenému sesedání zeminy
- zvýšit těsnost a nepropustnost zhutněné vrstvy
- zlepšit mechanické vlastnosti zeminy

2.1 ZMĚNY V ZEMINÁCH VYVOLANÉ ZHUTŇOVÁNÍM

Každá zemina se skládá z kostry pevných částic (zrna písků a hornin), mezi kterými jsou dutiny vyplněné plyny a vodou. Během zatížení zeminy vznikají elastické a plastické deformace [5].

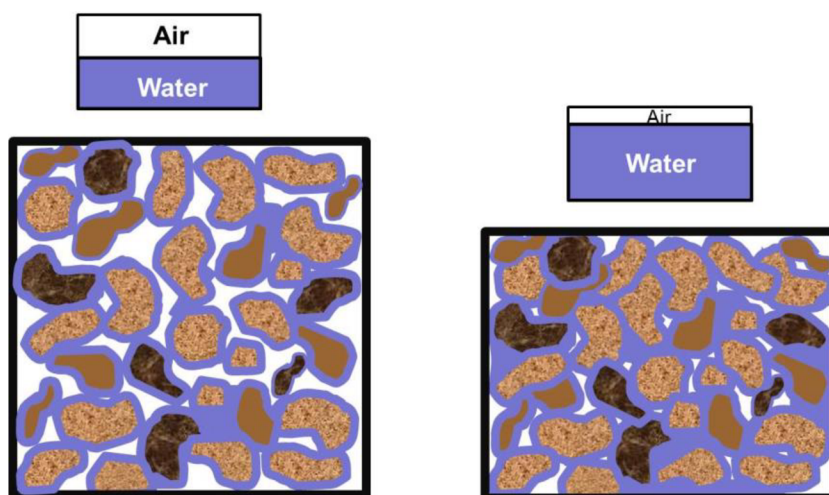
- a) *Elastické deformace* jsou způsobeny vnějším zatížením, kdy dochází ke zmenšení prostorů dutin naplněných plyny a kapalinou. Tato kapalina se přesouvá do míst, kde je menší napětí, což způsobuje zvětšení dutin v místech bez zatížení. To lze pozorovat vytlačení zeminy při zhutňovacích procesech v blízkosti zatěžování. Jakmile přestane působit vnější síla, dochází k přesunu kapaliny zpět do původních dutin a vyrovnání tlaků v obou místech, čímž dojde k odstranění pružné deformace. Aby došlo k trvalé deformaci, musí síla působit dostatečnou dobu, aby se tlaky v obou dutinách vyrovnaly.
- b) *Plastické deformace* nastávají tehdy, když částice zeminy přiléhají těsněji k sobě a vytlačují plyny z dutin do okolí. Nikdy však nedojde k úplnému odstranění těchto plynů z dutin. Množství zbytkového vzduchu závisí na propustnosti a soudržnosti zeminy. Například v jílech a hlínách zůstává 5 – 6 % vzduchu. [5]

Při zhutňování je třeba překonávat:

- a) kohezi a vnitřní tření v zemině
- b) vliv nepropustnosti, která brání vytlačování vody a plynů z dutin
- c) tlak stlačeného plynu v dutinách

Míra zhutnění je poměr objemové hmotnosti vzorku odebraného z hotového technického díla k objemové hmotnosti zjištěné v laboratoři pomocí Proctorovy zkoušky. Vzorky mohou být z technického díla odebírány ve formě vývrtů či výseků. Míra zhutnění se vyjadřuje v %. Přibližnou hodnotu lze zjistit i nedestruktivní radiometrickou metodou. U různých technický děl je vyžadována rozličná míra zhutnění. Nejvyšší požadované míry zhutnění se vyžadují u přehradních hrází, kde jemnozrnné zeminy musí dosahovat minimálně 95 % maximální objemové hmotnosti sušiny (ČSN 75 2410). Při hutnění asfaltových směsí probíhá předhutnění již při pokládce finišerem a to v rozmezí 80 – 85 %.

Překonávání koheze, tj. vnitřní soudržnosti částic zeminy a zvýšení vnitřního tření způsobuje trvalé zlepšení mechanických vlastností zhutněné zeminy. [7]



Obr. 4 Skladba zeminy před zhutněním a po zhutnění [8]

Zhutnitelnost závisí především na soudržnosti zeminy a její vlhkosti.

Tab. 2 Příklad objemové zhutnitelnosti [5]

Materiál	Kámen	Písek a štěrk	Naplavenina	Hlína - jíł
Objem v přirozeném stavu [m ³]	1	1	1	1
Objem nakypřené zeminy po vytěžení [m ³]	1,75	1,2	1,3	1,5
Objem po zhutnění [m ³]	1,4	0,9	0,85	0,85

2.2 ZPŮSOBY ZHUTŇOVÁNÍ

Zhutňování se provádí působením vnějšího zatížení a to buď:

- statickým působením, kdy je zatížení vyvoláno vlastní statickou tíhou stroje
- dynamickým působením, kdy je na zeminu působeno nárazem nebo vibrací, případně jejich kombinací

2.3 STROJE PRO ZHUTŇOVÁNÍ PŮDY STATICKÝM PŮSOBENÍM

Statickým působením rozumíme zatěžování zeminy pomocí vlastní váhy stroje, nebo kombinací tíhy stroje s hnětením. Tyto stroje jsou zpravidla jednodušší konstrukce. Jejich účinnost hutnění je dána vlastní konstrukcí (hmotnost, šířka běhounu) a vlastnostmi zeminy.

2.3.1 STROJE S TLAKOVÝM STATICKÝM PŮSOBENÍM

Statické válce působí při pojezdu na zeminu pouze svojí vlastní tíhou, která způsobuje v zemině tlaková napětí. Tato napětí jsou dána tíhou stroje, šířkou běhounu a šířkou stopy, která závisí na hloubce zaboření běhounu. Statické válce s hladkými běhouny nejsou vhodné pro zhutňování soudržných zemin jako je jíla, či mokrá zemina, jelikož jejich hutnicí účinek je malý, přibližně do hloubky 150 až 200 mm [9]. U těchto podloží je výhodné použít stroje s hnětacími účinky.

Statické hladké válce se vyrábějí v provozních hmotnostech 6 - 15 tun. U těchto strojů lze zvyšovat váhu stroje přidáváním dodatečných závaží ve formě písku nebo vody do válců, nebo přidání vnějších ocelových závaží. Pro dokonalé zhutnění je nutný větší počet přejezdů po tenkých vrstvách rozprostřené zeminy.

2.3.2 STROJE S HNĚTACÍMI ÚČINKY

Tyto stroje způsobují zhutňování půdy nejen tíhovou silou stroje, ale i horizontální silou, která vzniká při pojezdu stroje. Složením těchto sil při zaboření profilovaného válce, segmentů nebo pneumatik probíhá hnětení, které napomáhá zhutňování soudržných zemin. Zároveň je styková plocha menší, což způsobuje větší kontaktní tlak. Mezi jednotlivými profily vzniká smykové napětí, které umožní lepší unikání vzduchu z dutin.

V dnešní době se jedná především o pneumatikové válce. Vyrábějí se dnes výhradně jako samopojízdné. Tlakem hladkých pneumatik dochází k zhutňování zeminy. Zároveň mezi boky pneumatiky vzniká smykové napětí, které hněte zeminu. Díky pryžovým pneumatikám nedochází k drcení kameniva. Jejich velkou výhodou je rychlá změna zátěže (přidáním závaží) a kontaktního tlaku (změnou tlaku pneumatik) a velikostí pneumatik. Díky tomu jsou velmi všestranné. Kola jsou upevněna výkyvně, což zajišťuje lepší kontakt s povrchem. Vyrábí se o hmotnostem 12 až 30 tun, jejich pracovní hmotnost se dá zvýšit až trojnásobně pomocí přidavných zátěží [9]. Hnětací účinek je až do hloubky 600 mm. Jejich charakteristickým znakem bývá i vyšší pojezdová rychlost, a to až 15 km/h.



Obr. 5 Pneumatikový válec BOMAG BW [12]

2.4 STROJE PRO ZHUTŇOVÁNÍ ZEMINY DYNAMICKÝM PŮSOBENÍM

Vlivem dynamických účinků rázů, vibrací, úderů či pádu závaží dochází k podstatně většímu zhutňování zeminy než u strojů se statickými účinky.

Rozdělení dle počtu běhounů

- a) s jedním běhounem – válce tahačové – stroj je v přední části osazen běhounem s budičem vibrace a v zadní části nápravou s dvěma pneumatikami. Jejich velkou výhodou je možnost využití i v náročnějším terénu.
- b) s dvěma běhouny – tandemové válce – obě nápravy jsou tvořeny běhouny s budiči vibrace. Jejich hlavní využití je pro živé povrchy, ale i pro běžné zeminy.

Rozdělení dle způsobu obsluhy

- a) válce vlečené – jsou připojeny k tažnému vozidlu, nejčastěji traktoru. Mohou mít buď samotnou pohonnou jednotku ve formě spalovacího motoru, nebo mohou využívat hydraulický okruh stroje pro pohon budiče vibrace.
- b) válce ručně vedené – obsluha stroj vede pomocí oje, na kterém je umístěno ovládání budiče vibrace, které bývají nejčastěji s usměrněnou vibrací. Natočením výstředníku se mění výsledná odstředivá síla, která způsobuje pohyb válce vpřed.
- c) válce samopojízdne – obsluha je v kabině stroje a řídí jeho pohyb z místa řidiče.

2.4.1 VIBRAČNÍ VÁLCE

Zhutňování zeminy probíhá dvěma způsoby a to kombinací statického působení tíhy stroje a dynamickým působením rázů běhounu. Tyto rázy s malou amplitudou a velkou frekvencí opakovaní způsobují rozkmitání částic zeminy pod běhounem, což má za následek zhutnění zeminy a to až do hloubky 1000 mm. Rázy běhounu jsou způsobeny budičem vibrace, což je rotující výstředník umístěný uvnitř běhounu. Vibrace jsou přenášeny na běhoun, který je upevněn k rámu stroje na silentblocích, což zamezuje přenosu vibrací na zbytek stroje. Značnou nevýhodou vibračních válců je nekonstantní kontakt s povrchem, kdy válec vlivem vibrací odskakuje od povrchu a tyto rázy se šíří do relativně velké vzdálenosti od stroje. Proto tyto stroje nemohou být používány v blízkosti křehkých a zranitelných staveb. Tyto nevýhody jsou eliminovány použitím oscilačních válců.

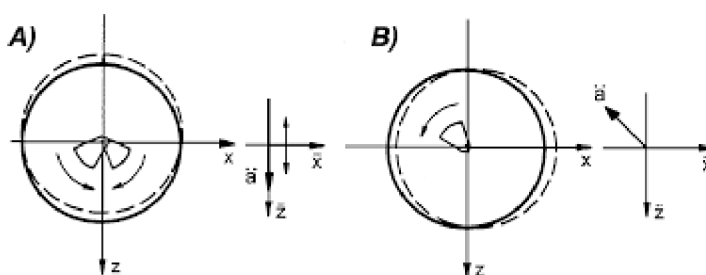
Ježkové válce mají profilovaný běhoun, na jehož povrchu jsou výstupky ve tvaru komolých čtyřhranných jehlanů. Tyto botky jsou tíhou stroje vtlačovány do povrchu zeminy, čímž dochází ke koncentraci tlaku na malou plochu a vzniku smykových napětí. Díky tomu jsou vhodné pro zhutňování mokrých a jílovitých zemin. Tyto válce bývají často vyráběny i jako vibrační příkopové ježkové válce.



Obr. 6 Vibrační ježkový válec příkopový BOMAG BMP 851[13]

Dle způsobu vibrací můžeme rozlišit válce:

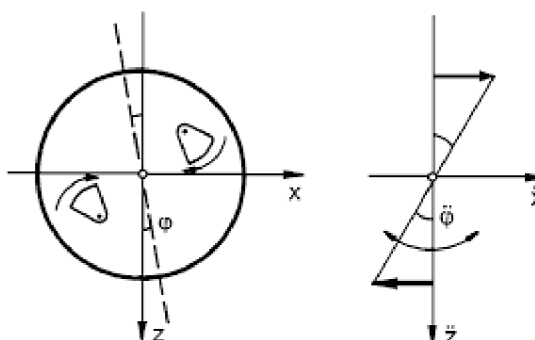
- s kruhovou neusměrněnou vibrací – výslednice odstředivé síly se otáčí na všechny směry. Výslednice se skládá z horizontálních a vertikálních sil. Vibrace jsou způsobeny rotací výstředníkové hřídele, nebo montáží nevyvážek na průběžné hřídeli.
- s usměrněnou vibrací – horizontální síla je oproti vertikální síle výrazně menší. Toto řešení je konstrukčně složitější, dovoluje však změnou otáček vibračního budiče dosáhnouti vysoké frekvence, a to až 25–50 Hz. Nevýhodou je, že jsou ložiska jednostranně namáhána. [5]



Obr. 7 Vibrační budič s: A) usměrněnou vibrací; B) kruhovou neusměrněnou vibrací [14]

2.4.2 OSCILAČNÍ VÁLCE

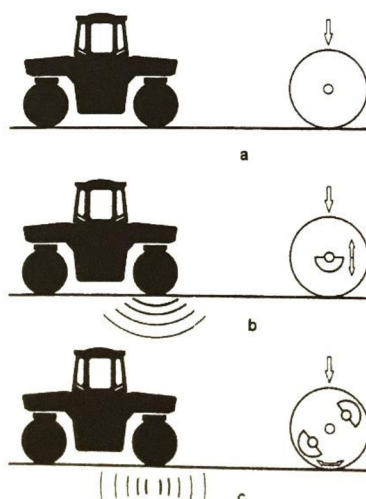
Na rozdíl od vibračních válců u hutnicích válců s oscilační technologií nedochází k odskakování běhounu od zeminy, čímž se výrazně eliminují vibrace šířící se do okolí stroje. To umožňuje použití hutnicí techniky i v blízkosti zranitelných staveb. Oscilační běhoun má dva výstředníkové hřídele, umístěné co nejdále od hlavní osy běhounu. Smysl otáčení obou hřídelů s nevyvážkem je shodný, což vytváří rotační vibraci, tzv. oscilaci. Výslednice dynamických odstředivých sil má dominantní horizontální složku, což vytváří kmitavý pohyb vpřed a vzad. To způsobuje vlnění v podélném směru válce, kdy v příčném směru jsou vibrace minimální. Podélné vlnění hněte zeminu podobně jako pneumatikové válce, a proto dochází k vysokému zhutnění.



Obr. 8 Oscilační budič [14]

Další výhodou oscilačního zhutňování je, že nedochází k drčení podkladu vlivem vibrací, proto můžeme hutnit asfaltové povrchy i za nižších teplot.

Zároveň hluk produkovaný oscilačními válci je nižší než u srovnatelně těžkých vibračních válců. Tato technologie je vhodná i pro spojování čerstvě položených asfaltových povrchů s již zchladlými povrchy [15].



Obr. 9 Porovnání působení zhutňovacího efektu: a) statický, b) vibrační s kruhovou vibrací, c) oscilační [5]

Oscilační válce byly patentovány v roce 1983 společností HAMM, která byla dlouhou dobu jedinou společností zabývající se touto technologií [15][16]. Od té doby většina firem zabývající se hutnicí technikou využívá obdobný systém. Oscilační válce jsou často osazovány v tandemovém uspořádání s jedním vibračním válcem. Oba běhouny jsou na sobě nezávislé, což se týče amplitudy a frekvence, což umožňuje širokou škálu využití. Pro hutnění do větších hloubek je zvýšena amplituda vibračního válce, při hutnění na mostech, nebo v blízkosti zranitelných struktur, je naopak využíván především běhoun s oscilační technologií. Hmotnosti těchto tandemových strojů jsou v široké škále od 2,5 až do 15 t. Vyšší hmotnosti by způsobovaly velkou emisi hluku z vibrací.



Obr. 10 Oscilační válec HAMM 3414 HT VIO s provozní hmotností 14010 kg

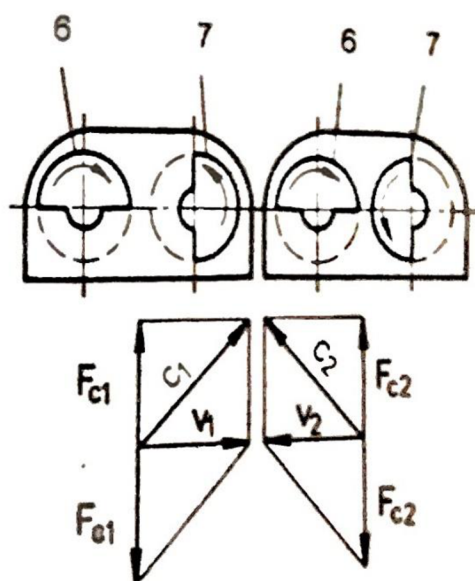
2.4.3 VIBRAČNÍ DESKY

Vibrační desky využívají rázy vznikající rotací nevyvážky kromě hutnění zeminy i pro svůj vlastní pohyb. Budič vibrací vyvolává odstředivou sílu, která musí být několikanásobně větší, než je tíhová síla stroje. Tím dochází k nadskokování desky o 1 – 5 mm, při dopadu vlivem tíhové síly a odstředivé síly, dojde k zhutnění povrchu. Zároveň je výslednice odstředivé síly orientována tak, aby docházelo k pohybu desky vpřed, respektive vzad. Aby se mohla deska pohybovat, je potřeba určité velikosti amplitudy. V měkké zemině nebo v příliš velké nezpevněné vrstvě může dojít k pohlcení vibrací, kdy amplituda je minimální a pohyb desky není umožněn.

Vibrační desky mohou být dle pohybu:

- a) s jednosměrným pohybem – budičem vibrace je pouze jeden hřídel s nevyvážkem, který je uložen v ložiscích napevno spojených s ocelovou, nebo litinovou deskou v přední části stroje. Vibrace jsou kruhové neusměrněné, výslednice sil působí všemi směry. V první fázi dojde k nadskokování přední strany desky, následně se nositelka odstředivé síly pootočí a celá deska je takto tažena kupředu.
- b) s dvousměrným pohybem – budič vibrace je osazen dvěma hřídeli s nevyvážky, z nichž jeden je umístěn v ložiscích napevno, zatímco druhý je stavitelný. Pootočením druhého hřídele se mění rozložení hmoty nevyvážky a odstředivé síly obou hřídelů se sčítají. To dovoluje změnu směru výslednice sil, která působí buď po směru pohybu, nebo proti

směru pohybu. Při natočení druhého výstředníku o shodný úhel, deska zůstává stát při zhutňování na místě a amplituda je maximální.



Obr. 11 Funkční silové působení obousměrné vibrační desky [5]

3 VIBRAČNÍ VÁLCE JAKO PŘÍDAVNÁ ZAŘÍZENÍ

Na evropském trhu je nabídka vibračních válců jakožto přídatných zařízení na smykem řízené nakladače (dále jen přídatné vibrační válce) málo rozšířená. Proto bude následovat porovnání nejen zařízení z evropských trhů, ale i z trhů amerických a asijských.

3.1 KONSTRUKCE PŘÍDAVNÝCH VIBRAČNÍCH VÁLCŮ

V zásadě se jedná o zjednodušený tahačový vibrační válec, kdy běhoun je upevněn na rámu, který je připevněn na výložník nakladače. Pohon vibračního budiče je realizován pomocí hydromotoru, kdy tlakový olej je dodáván nakladačem z okruhu určeného pro pohon přídatných zařízení. Běhoun se může v příčném směru naklánět o úhel α , který je jedním ze srovnávacích parametrů.

3.2 POROVNÁVACÍ PARAMETRY PŘÍDAVNÝCH VIBRAČNÍCH VÁLCŮ

Pro volbu vhodného zařízení pro danou potřebu jsou dále sestaveny tabulky, které přehledně zhodnotí jednotlivá porovnávací kritéria.

Porovnávací parametry:

- šířka běhounu L_v [mm]
- průměr běhounu D [mm]
- hmotnost vibračního válce m [kg]
- frekvence vibrace f [min^{-1}]
- dynamická hutnicí síla F [N]
- průtok oleje pro dané parametry Q_s [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$]
- minimální průtok hydraulického oleje Q [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$]
- náklon běhounu v příčném směru α [$^\circ$]
- pracovní tlak hydraulického okruhu p [MPa]
- doporučený výkon nakladače P [kW]

Tyto parametry budou kategorizovány do dvou kategorií a to rozměrové (L_v , D , m , α) a technologické (f , F , Q_s , Q , p , P).

3.3 PŘÍDAVNÉ VIBRAČNÍ VÁLCE FIRMY BOBCAT

Tato firma je celosvětově uznávanou a v Evropě široce rozšířenou společností zabývající se stavební technikou. Přídavné vibrační válce firmy Bobcat se vyznačují plovoucím uložením běhounu v rámu stroje, díky čemuž neztrácejí kontakt s povrchem i na nerovných površích. Používají usměrněnou vibraci, pro řízení směru vibrace. Běhoun je upevněn v rámu pomocí silentbloků, což značně snižuje přenos vibrací na rám nakladače a tím i na obsluhu. Firma Bobcat vyrábí jak hladké běhouny, tak i profilované běhouny s botkami, pro zvýšení hnětacích účinků [17].

Tab. 3 Rozměrové srovnání přídavných vibračních válců firmy Bobcat [17]

	Šířka běhounu L_v [mm]	Průměr běhounu D [mm]	Hmotnost m [kg]	Úhel příčného náklonu α [°]
122 cm profilovaný běhoun	1219	643	807	12
185 cm profilovaný běhoun	1854	643	993	7,5
122 cm hladký běhoun	1219	660	811	12
185 cm hladký běhoun	1854	660	1002	7,5
203 cm hladký běhoun	2032	660	1052	7,5

Z Tab. 3 vyplývá, že firma Bobcat se zabývá výrobou jak hladkých, tak i profilovaných vibračních válců, přičemž profilované válce jsou v šířkách běhounu 122 cm a 185 cm. Hladké vibrační válce jsou doplněny o 203 cm široký běhoun. Vzhledem k hmotnostem válců doporučuji stroje z kategorie STŘEDNÍ, dle Tab. 1.

Tab. 4 Srovnání přídatných vibračních válců firmy Bobcat z technologického hlediska

	Frekvence vibrace f [min ⁻¹]	Hutnící síla F [N]	Průtok oleje pro dané parametry Q_s [l·min ⁻¹]	Minimální průtok hydraulického oleje Q [l·min ⁻¹]*	Pracovní tlak hydraulického okruhu p [MPa]*	Doporučený výkon nakladače P [kW]*
122 cm profilovaný běhoun	2879	6461	75	64	24	36
185 cm profilovaný běhoun	2882	6470	90	87	24	56
122 cm hladký běhoun	2879	6461	75	64	24	36
185 cm hladký běhoun	2882	6470	90	87	24	56
203 cm hladký běhoun	2882	6470	90	87	24	68

* parametry byly určeny z nejnižších hodnot kompatibilních nakladačů firmy Bobcat

I z technologického hlediska je patrné, že přídatná zařízení firmy Bobcat jsou vhodná pro střední smykem řízené nakladače. Kompatibilita je zaručena přímo s nakladači od výrobce Bobcat.

Vzhledem k rozšířené síti prodejen a širokému zastoupení firmy Bobcat v Evropě se jedná o snadno dosažitelná přídatná zařízení.



Obr. 12 Přídatný vibrační válec s hladkým běhounem firmy Bobcat [19]

3.4 PŘÍDAVNÉ VIBRAČNÍ VÁLCE FIRMY SPARTAN EQUIPMENT

Spartan Equipment je firma se sídlem v americkém Marylandu. Jelikož se jedná o americkou firmu, všechny hodnoty udávané imperiálních jednotkách jsou přepočítány na metrické. Z tohoto důvodu může dojít k jistým technickým nepřesnostem při zaokrouhlování a samotném převodu.

Tab. 5 Rozměrové srovnání přídatných vibračních válců firmy Spartan Equipment [20]

	Šířka běhounu L_v [mm]	Průměr běhounu D [mm]	Hmotnost m [kg]	Úhel příčného náklonu α [°]
122 cm hladký běhoun	1219	610	762	15
185 cm hladký běhoun	1854	610	1043	15
213 cm hladký běhoun	2134	610	1147	15
168 cm profilovaný běhoun	1676	508	945	15
185 cm profilovaný běhoun	1854	508	1012	15

Z tabulky je zřejmé, že americké řešení se moc neliší od řešení firmy Bobcat. Pro evropského uživatele nastávají problémy s koncovkami rychlospojek, užíváním palcového závitu, namísto metrického a dalších provozně technických problémů. Přesto je zajímavé srovnání nejširších hladkých válců, kdy Bobcat disponuje šířkou běhounu 203 cm, zatímco Spartan Equipment má o 10 cm válec širší. Z důvodu větších hmotností je třeba volit nakladače z kategorie VELKÉ.

U technologických parametrů výrobce neuvádí pracovní tlaky hydraulického okruhu, ale běžný tlak v hydraulickém okruhu se pohybuje v rozmezí 20 – 24 MPa, přičemž v případě potřeby se může dočasně navýšit až na 28 MPa. Maximální průtoky hydraulického oleje udává výrobce u všech svých produktů $95 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$.

Tab. 6 Srovnání přídatných vibračních válců Spartan Equipment z technologického hlediska [20]

	Frekvence vibrace f [min ⁻¹]	Hutnicí síla F [N]	Průtok oleje pro dané parametry Q_s [l·min ⁻¹]	Minimální průtok hydraulického oleje Q [l/min]	Pracovní tlak hydraulického okruhu p [MPa]	Doporučený výkon nakladače P [kW]
122 cm hladký běhoun	2600	25570	75,7	N/A	N/A	N/A
185 cm hladký běhoun	2600	38032	75,7	N/A	N/A	N/A
213 cm hladký běhoun	2600	41680	75,7	N/A	N/A	N/A
168 cm profilovaný běhoun	2600	34696	75,7	N/A	N/A	N/A
185 cm profilovaný běhoun	2600	38032	75,7	N/A	N/A	N/A

Hutnicí síla je mnohem větší než u výrobků firmy Bobcat, což sice zvyšuje účinnost hutnění, ale značně zkracuje životnost celého zařízení, včetně nakladače.

Zajímavostí je, že výrobce přímo uvádí cenu svých produktů. Nejlevnější hladký vibrační válec o šířce 122 cm stojí 8395 dolarů (cca 200 tis. Kč), nejdražší 213 cm profilovaný vibrační válec stojí 10810 dolarů (cca 250 tis. Kč), ceny jsou uvedeny ke dni 8.4.2019.



Obr. 13 Přídatný vibrační válec firmy Spartan Equipment [20]

3.5 PŘÍDAVNÉ VIBRAČNÍ VÁLCE FIRMY CATERPILLAR

Tato americká společnost se sídlem ve městě Peoria ve státě Illinois byla založena roku 1925. Za svoji dlouhou historii představila firma Caterpillar celou řadu stavební techniky od nakladačů, rypadel až po jedny z největších damperů na světě CAT 797F [21]. Firma Caterpillar má po Evropě širokou škálu servisních a prodejních středisek, což zajišťuje snadnou dostupnost jejich vibračních válců a případné údržby těchto zařízení. Na trhu mají pouze dvě řešení, která jsou dále porovnávána.

Tab. 7 Rozměrové srovnání přídatných vibračních válců firmy Caterpillar [22]

	Šířka běhounu L_v [mm]	Průměr běhounu D [mm]	Hmotnost m [kg]	Úhel příčného náklonu α [°]
CV16B (168cm hladký běhoun)	1676	634	936	15
CV18B (185cm hladký běhoun)	1854	634	970	15

Z Tab. 7 vidíme, že firma CAT vyrábí svá zařízení ve stejné šířce 185 cm, jako předešlé dvě firmy. Přibývá pak 168 cm široké zařízení, naopak chybí nejužší 122cm běhoun. Tato firma vyrábí pouze válce s hladkým běhounem. Zajímavostí je vyšší úhel příčného náklonu (15°) než u řešení firmy Bobcat (12° , resp. $7,5^\circ$).

Tab. 8 Srovnání přídatných vibračních válců firmy Caterpillar z technologického hlediska [22]

	Frekvence vibrace f [min ⁻¹]	Hutnicí síla F [N]	Průtok oleje pro dané parametry Q_s [l·min ⁻¹]	Minimální průtok hydraulického oleje Q [l·min ⁻¹]	Pracovní tlak hydraulického okruhu p [MPa]	Doporučený výkon nakladače P [kW]
CV16B (168cm hladký běhoun)	2946	52964	86	42	14,5 - 23,5	N/A
CV18B (185cm hladký běhoun)	2946	52964	86	42	14,5 - 23,5	N/A

Firma Caterpillar uvádí na svých stránkách ([22]) širokou škálu technických údajů o svých vibračních válcích. Zajímavostí je i zmíněná amplituda vibrace, která je u CV16B 1,16 mm a u CV18B 1,09 mm. Tyto válce mají vysokou dynamickou hutnicí sílu, což způsobuje vyšší míru

zhutnění při menším počtu přejezdů stroje. Zároveň však dochází k rychlejšímu opotřebování celého zařízení i smykem řízeného nakladače. Firma CAT na svých stránkách uvádí i ceny obou svých výrobků, k 8.4.2019 je to 283 tis. Kč za menší z obou válců a 303 tis. Kč za širší válec. Tyto ceny jsou pouze orientační, firma nabízí individuální cenové nabídky pro jednotlivé kupce.



Obr. 14 Smykový nakladač firmy Caterpillar s přídatným vibračním válcem CV18B [22]

3.6 PŘÍDAVNÉ VIBRAČNÍ VÁLCE FIRMY WEYANG MACHINERY

Čínský trh se stavebními stroji je velmi rozsáhlý, působí na něm mnoho výrobců a dodavatelů. Jeho nevýhodou je, že u mnoha strojů chybí důležité technické parametry. Z těchto důvodů jsem vybral pouze jednoho zástupce z této obrovské skupiny a to firmu Weyang machinery. Velkou výhodou těchto strojů je nízká cena, do které je ale třeba připočítat náklady spojené s dopravou. Nevýhodou je, že většina čínských prodejců nemá autorizované servisní sítě a záruka, případně autorizovaný servis je proto mnohdy pro evropský trh nedostupný.

Tab. 9 Rozměrové srovnání přídatných vibračních válců firmy Weyang machinery [23]

	Šířka běhounu L_v [mm]	Průměr běhounu D [mm]	Hmotnost m [kg]	Úhel příčného náklonu α [°]
020560	981	592	865	15
020572	981	609	930	15
020572II	968	560	760	15

Tato zařízení se velice podobají svým evropským, respektive americkým protějškům. Z tohoto důvodu tvoří zajímavou alternativou pro značkové vibrační válce.

Tab. 10 Srovnání přídatných vibračních válců Weyang machinery z technologického hlediska [23]

	Frekvence vibrace f [min ⁻¹]	Hutnící síla F [N]	Průtok oleje pro dané parametry Q_s [l·min ⁻¹]	Minimální průtok hydraulického oleje Q [l·min ⁻¹]	Pracovní tlak hydraulického okruhu p [MPa]	Doporučený výkon nakladače P [kW]
20560	2300	31000	N/A	N/A	N/A	N/A
20572	2300	37000	N/A	N/A	N/A	N/A
020572II	2300	37000	N/A	N/A	N/A	N/A

Zde se již naplno projevuje vysoká absence uváděných parametrů u těchto strojů.



Obr. 15 Vibrační válec firmy Weyang machinery [23]

4 VIBRAČNÍ DESKY JAKO PŘÍDAVNÁ ZAŘÍZENÍ

Vibrační desky jsou častým přídatným zařízením pro rypadla, kdy se kombinuje hutnicí účinek desky s velkým dosahem výložníku rypadla pro hutnění zemin ve výkopech a jiných těžko dosažitelných místech. Tato přídatná zařízení jsou široce rozšířena, konstrukčně se velice podobají ručně vedeným vibračním deskám. Vibrační desky pro smykem řízené nakladače jsou pouze ojedinělou technologií, a to zejména z důvodů velkých rozměrů celého stroje a velkého opotřebení nakladače. Následuje porovnání dle technologických a rozměrových hledisek.

4.1 KONSTRUKCE PŘÍDAVNÝCH VIBRAČNÍCH DESEK

Vibrační desky používané jako přídatná zařízení konstrukčně vycházejí z běžných ručně vedených vibračních desek. Základem je ocelová nebo litinová deska, na které je napevno připevněn budič vibrace, který je poháněn tlakovým olejem od smykem řízeného nakladače. Upnutí celé konstrukce je pomocí výkyvného mechanismu na výložník. Často je využíváno více vibračních desek umístěných nezávisle vedle sebe na výložník, čímž je docíleno lepšího kopírování terénu. Vibrační desky mohou být osazeny jak budičem s usměrněnou vibrací, tak častěji budičem s kruhovou neusměrněnou vibrací. V současné době je na trhu mnoho modelů, které jsou pouze upravenou verzí vibračních desek pro rypadla. V zásadě se jedná o běžné příslušenství na rypadla, které je pouze doplněno o rychloupínací desku na výložník smykem řízeného nakladače.

4.2 POROVNÁVACÍ PARAMETRY PŘÍDAVNÝCH VIBRAČNÍCH DESEK

Z důvodu snazšího výběru vhodné vibrační desky pro požadovanou aplikaci jsou dále zavedena porovnávací kritéria. Tato kritéria jsou zhodnocena v tabulkách, což usnadňuje orientaci trhem s vibračními deskami.

Porovnávací parametry:

- délka činné části desky L [mm]
- šířka činné části desky B [mm]
- hmotnost vibrační desky m [kg]
- frekvence vibrace f [min^{-1}]
- dynamická hutnicí síla F [N]
- průtok oleje pro dané parametry Q_s [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$]
- minimální průtok hydraulického oleje Q [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$]
- pracovní tlak hydraulického okruhu p [MPa]
- doporučený výkon nakladače P [kW]

Tyto parametry budou kategorizovány do dvou kategorií a to rozměrové (L , B , m) a technologické (f , F , Q_s , Q , p , P).

4.3 PŘÍDAVNÉ VIBRAČNÍ DESKY FIRMY ETERRA

Americká firma Eterra sídlící v Bellinghamu ve státě Washington se zabývá výrobou nezvyklých přídatných zařízení na stavební stroje, především smykem řízené nakladače a rypadla. Mezi jejich sortiment se řadí lištové a bubnové sekačky, osivací zařízení na písky, nebo třeba i plamenomet na smykové nakladače. Jejich výroba je především kusová, jedná se o malou rodinnou firmu a z důvodu malé výrobní kapacity mohou být čekací doby i v řádů měsíců. Nabízí však pouze jeden produkt pro hutnění zeminy a to vibrační desku HS-3000.

Tab. 11 Rozměrové parametry přídatné vibrační desky HS-3000 firmy Eterra [24]

	Délka činné části desky L [mm]	Šířka činné části desky B [mm]	Hmotnost m [kg]
HS-3000	508	442	238

Tato vibrační deska je umístěna uprostřed výložníku, bez možnosti jejího vyosení na rychloupínací desce. Při své malé šířce se hodí především pro zhutňování mělkých výkopů, nebo úzkých chodníků.

Tab. 12 Technologické parametry přídatných vibračních desek firmy Eterra [24]

	Frekvence vibrace f [min ⁻¹]	Hutnící síla F [N]	Průtok oleje pro dané parametry Q _s [l · min ⁻¹]	Minimální průtok hydraulického oleje Q [l · min ⁻¹]	Pracovní tlak hydraulického okruhu p [MPa]	Doporučený výkon nakladače P [kW]
HS-3000	2000	15129	95	45	24	N/A

Zde výrobce uvádí i doporučenou nosnost nakladače a to 590 kg, což jsou stroje zařazené do kategorie MINI, dle výše uvedeného rozdělení. Z důvodu vyššího požadovaného průtokového množství oleje je ale potřeba volit stroje z kategorie MALÉ, které splňují nejen nosnost, ale i průtok hydraulického oleje.

Webové stránky společnosti Skid Steer Solutions uvádějí prodejní cenu v přepočtu zhruba 160 tis. Kč (k 15.4.2019) [24], je však potřeba přičíst náklady spojené s dopravou.

Velkou nevýhodou může být malá hutněná plocha, nemožnost vyosení zařízení mimo osu nakladače a z důvodu kusové výroby i dlouhá čekací doba.

Mezi výhody naopak patří vysoká hutnicí síla při nízké hmotnosti, pro některé aplikace i kompaktnost celého řešení a relativně nízká pořizovací cena.

Právě z důvodu nedostatečného vyosení mimo osu nakladače je toto řešení nepoužitelné pro hutnění v blízkosti překážek, zdí domů, nebo malých prostor.



Obr. 16 Vibrační deska Eterra HS-3000 na smykem řízeném nakladači Bobcat S330 [24]

4.4 PŘÍDAVNÉ VIBRAČNÍ DESKY FIRMY STANLEY

Firma Stanley se zabývá výrobou a prodejem nejrůznějšího sortimentu, od ručního nářadí, přes hydraulické nástroje až po hutnicí techniku. Společnost vyrábí vibrační desky jako příslušenství pro rypadla a nabízí i možnost úpravy těchto zařízení pro dodatečnou montáž na smykem řízený nakladač. Firma Stanley má široké zastoupení v Evropě i v České republice. Se svojí širokou servisní sítí se jeví toto řešení jako velice dostupné, například proti vibračním deskám firmy Eterra.

Tab. 13 Rozměrové srovnání přídatných vibračních desek firmy Stanley [25]

	Délka činné části desky L [mm]	Šířka činné části desky B [mm]	Hmotnost m [kg]
HSX3	650	445	168
HSX6	860	600	386

Tato zařízení jsou primárně určena pro rypadla a proto jsou omezena svojí maximální hmotností.

Tab. 14 Srovnání přídavných vibračních desek firmy Stanley z technologického hlediska [25]

	Frekvence vibrace f [min ⁻¹]	Hutnicí síla F [N]	Průtok oleje pro dané parametry Q_s [l·min ⁻¹]	Minimální průtok hydraulického oleje Q [l·min ⁻¹]	Pracovní tlak hydraulického okruhu p [MPa]	Doporučený výkon nakladače P [kW]
HSX3	2100	15127	49	45	14	N/A
HSX6	2000	28469	49	45	14	N/A

I přes svoji nízkou hmotnost mají tato zařízení vysokou hutnicí sílu. Budič vibrace je umístěn uprostřed vibrační desky, což má za následek rovnoměrné rozložení hutnicí síly po celé ploše desky. Se svojí cenou v přepočtu 150 tis. Kč a 180 tis. Kč (ke dni 15.4.2019) se jedná o zajímavé a snadno dostupné zařízení, které díky své vysoké hutnicí síle dokáže nahradit ručně vedené vibrační desky [26]. Nevýhodou je opět nulové posunutí desky vůči nosnému rychloupínacímu zařízení, což omezuje použití v blízkosti budov, nebo jiných překážek. Jelikož jsou tato zařízení velice rozšířena u rypadel, jejich servis a náhradní díly jsou v České republice snadno dostupné a tvoří tak velice výhodné řešení.



Obr. 17 Přídavná vibrační deska Stanley HSX6 [26]

4.5 PŘÍDAVNÉ VIBRAČNÍ DESKY FIRMY CONEQTEC-UNIVERSAL

Americká firma Coneqtec corporation, Inc. je na trhu již od roku 1990. Mezi jejich výrobky patří přídatná hydraulická zařízení pro těžké stavební, lesnické a komunální práce, jako například frézy na asfalt, frézy na pařezy, zametací zařízení, vrtací zařízení a hutní vibrační desky. Tato firma nemá v Evropě žádné zastoupení, což by mohlo vést k problematickému záručnímu a pozáručnímu servisu. V nabídce je k dispozici pouze vibrační deska model DC8000, která se vyrábí v šesti šířkách. Jelikož jsou všechny technologické parametry shodné pro rozdílné šířky, porovnání těchto modelů je provedeno pouze z rozměrového hlediska a vypsání technologické parametry jsou sdílené mezi všemi variantami.

Tab. 15 Rozměrové srovnání přídatných vibračních desek firmy Coneqtec-Universal [27]

	Délka činné části desky L [mm]	Šířka činné části desky B [mm]	Hmotnost m [kg]
DC8000	1753	457	628
DC8000	1854	457	633
DC8000	1956	457	639
DC8000	2057	457	644
DC8000	2134	457	649
DC8000	2286	457	658

Velikou výhodou těchto koncepčních řešení je velká šířka pracovní části vibrační desky, která umožňuje ztuhnout velkou plochu na malý počet přejezdů. Díky relativně vysoké hmotnosti vyžadují tato zařízení smykové nakladače z kategorie MINI.

Tab. 16 Srovnání přídatných vibračních desek Coneqtec-Universal z technologického hlediska [27]

	Frekvence vibrace f [min ⁻¹]	Hutnicí síla F [N]	Průtok oleje pro dané parametry Q _s [l · min ⁻¹]	Minimální průtok hydraulického oleje Q [l · min ⁻¹]	Pracovní tlak hydraulického okruhu p [MPa]	Doporučený výkon nakladače P [kW]
DC8000	2300	35598	60	60	10,3	N/A
DC8000	2300	35598	60	60	10,3	N/A
DC8000	2300	35598	60	60	10,3	N/A
DC8000	2300	35598	60	60	10,3	N/A
DC8000	2300	35598	60	60	10,3	N/A
DC8000	2300	35598	60	60	10,3	N/A

Díky své vysoké hmotnosti dosahují tyto desky velkých dynamických hutnicích sil. Výrobce udává relativně nízký pracovní tlak hydraulického okruhu., což snižuje nároky na výkon stroje.



Obr. 18 Vibrační deska DC8000 firmy Coneqtec-Universal [28]

Největší výhodou je, že oproti konkurenčním řešením je jejich délka prakticky shodná s šířkou nakladače a v kombinaci s vysokou hutnicí silou dochází k vysokým hutnicím výkonům. Proto se toto řešení hodí nejvíce pro zhutňování velkých ploch. Jelikož okraje desky jsou v zákrytu s rámem stroje, lze hutnit i v blízkosti překážek. Nevýhodou je, že výrobce nemá v Evropě žádné zastoupení. Výrobce neuvádí ani cenu zařízení.

4.6 PŘÍDAVNÉ VIBRAČNÍ DESKY FIRMY SPARTAN EQUIPMENT

Firma Spartan Equipment nabízí kromě vibračních válců také dvě vibrační desky v šířkách 72 a 84 palců. Tato zařízení lze snadno modifikovat pro montáž na rypadlo.

Tab. 17 Rozměrové srovnání přídatných vibračních desek firmy Spartan Equipment [29]

	Délka činné části desky L [mm]	Šířka činné části desky B [mm]	Hmotnost m [kg]
Model 1000 - 72"	1830	460	544
Model 1000 - 84"	2134	460	635

Výrobce doporučuje použití desek s nakladači o provozních hmotnostech 1,8 t až 6,4 t [29]. Velké délky desek umožňují větší záběr hutněné plochy, což snižuje hutnicí časy.

Tab. 18 Srovnání přídatných vibračních desek Spartan Equipment z technologického hlediska [29]

	Frekvence vibrace f [min ⁻¹]	Hutnicí síla F [N]	Průtok oleje pro dané parametry Q_s [l·min ⁻¹]	Minimální průtok hydraulického oleje Q [l·min ⁻¹]	Pracovní tlak hydraulického okruhu p [MPa]	Doporučený výkon nakladače P [kW]
Model 1000 72"	2000	35586	80	45	13-19	N/A
Model 1000 84"	2000	35586	80	45	13-19	N/A

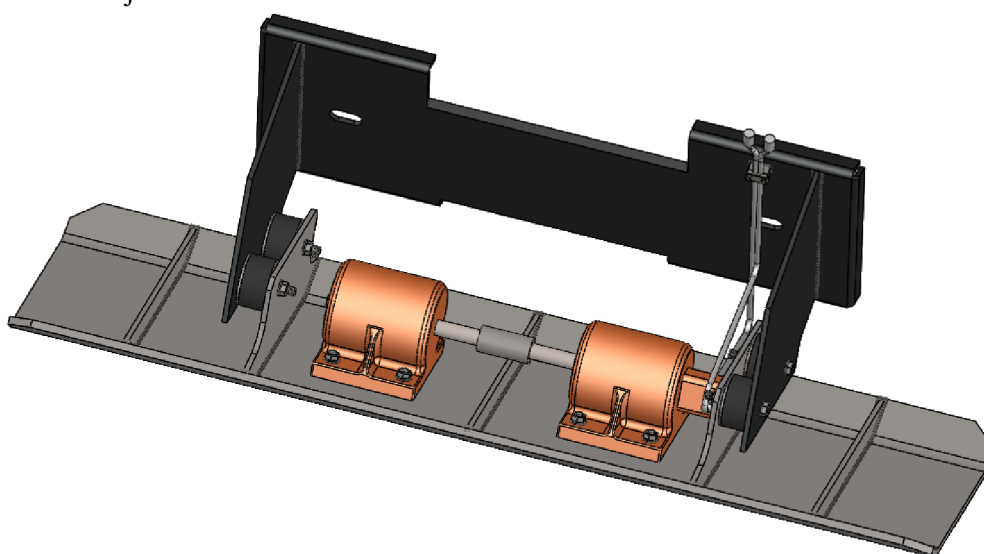
Díky své vysoké hmotnosti dosahují zařízení firmy Spartan Equipment vysokých dynamických hutnicích sil. Výrobce udává rozsah pracovního tlaku hydraulické kapaliny, který závisí na hydrogenerátoru stroje. Díky jednoduché a rychlé výměně upínacího zařízení se jedná o univerzální přídatné zařízení, které lze provozovat s různými pracovními stroji, jako smykem řízenými nakladači, rypadly a rypadlonakladači. Cena kratší z desek se pohybuje v přepočtu 192 tis. Kč, cena větší z desek odpovídá 202 tis. Kč (ke dni 21.4.2019). Je potřeba zohlednit i náklady spojené s přepravou.



Obr. 19 Vibrační deska firmy Spartan Equipment [29]

5 NÁVRH VLASTNÍ KONCEPCE

Z důvodu velkého pokrytí trhu s vibračními válci, návrh vlastní koncepce se soustředí na vibrační desky jako příslušenství na smykem řízené nakladače. Je proveden průzkum trhu s jednotlivými řešeními. S ohledem na technologické a provozní parametry je voleno nejlepší řešení jednotlivých celků, aby bylo dosaženo co nejvyšší míry zhutnění na co nejmenší počet přejezdů. Dále je brán ohled na maximální trvanlivost celého celku a snahu co nejvíce omezit opotřebení stroje.



Mnou navržená koncepce má parametry srovnatelné s konkurenčními a běžně dostupnými produkty.

Tab. 19 Rozměrové parametry koncepce přidavné vibrační desky

	Délka činné části desky L [mm]	Šířka činné části desky B [mm]	Hmotnost m [kg]
Koncepce	1800	380	317

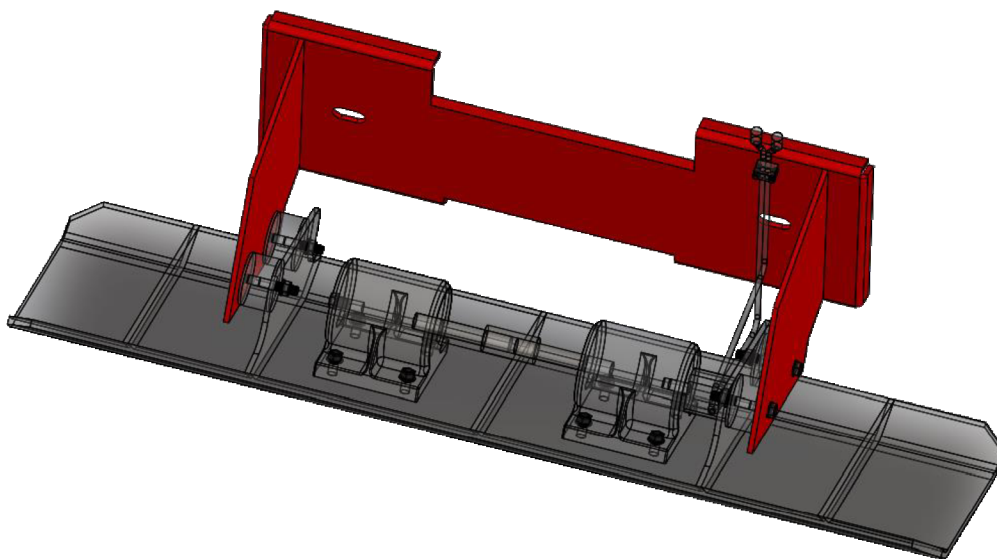
Díky délce činné části desky 1800 mm je zajištěno hutnění v celé šíři nakladače, což umožňuje zkrácení hutnicích časů a možnost hutnění i v blízkosti překážek. Celé zařízení je osazeno dvěma budiči vibrací a proto je dynamická hutnicí síla lépe rozložena po délce desky, než u jednoho budiče vibrací umístěného uprostřed hutnicí desky.

Tab. 20 Technologické parametry koncepce vibrační desky [30]

	Frekvence vibrace f [min ⁻¹]	Hutnicí síla F [N]	Průtok oleje pro dané parametry Q _s [l·min ⁻¹]	Minimální průtok hydraulického oleje Q [l·min ⁻¹]	Pracovní tlak hydraulického okruhu p [MPa]	Doporučený výkon nakladače P [kW]
Koncepce	3500	19600	22	20	max 20	N/A

5.1 NOSNÝ RÁM

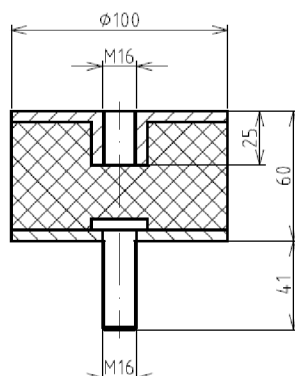
Nosný rám přídatné vibrační desky tvoří rychloupínací deska, na které jsou přivařeny dvě ocelové boční desky s otvory pro silentbloky. Upínací deska je opatřena rychloupínacím mechanismem pro připevnění zařízení k výložníku nakladače. Konstrukce tohoto mechanismu je u většiny strojů stejná, liší se u jednotlivých výrobců zejména rozměry. Do roku 1994 vlastnila patent na rychloupínací mechanismus Bobcat Quick Tach firma Bobcat. Z tohoto důvodu dříve nebyla přídatná zařízení mezi stroji kompatibilní. Poté většina firem začala tento systém rychloupínání volně využívat. Bobcat Quick Tach se skládá z nosné desky, na jejíž horní hraně jsou dva zámky pro klínovité výstupky, které jsou umístěny na výložníku nakladače. Zajištění přídatného zařízení je provedeno pomocí dvou čepů, které mohou být ovládnuty buď ručně, nebo pomocí hydraulického okruhu. Toto řešení umožňuje rychlou výměnu přídatných zařízení z místa obsluhy bez nutnosti dodatečných náradí.



Obr. 20 Nosný rám navržené koncepce (červeně)

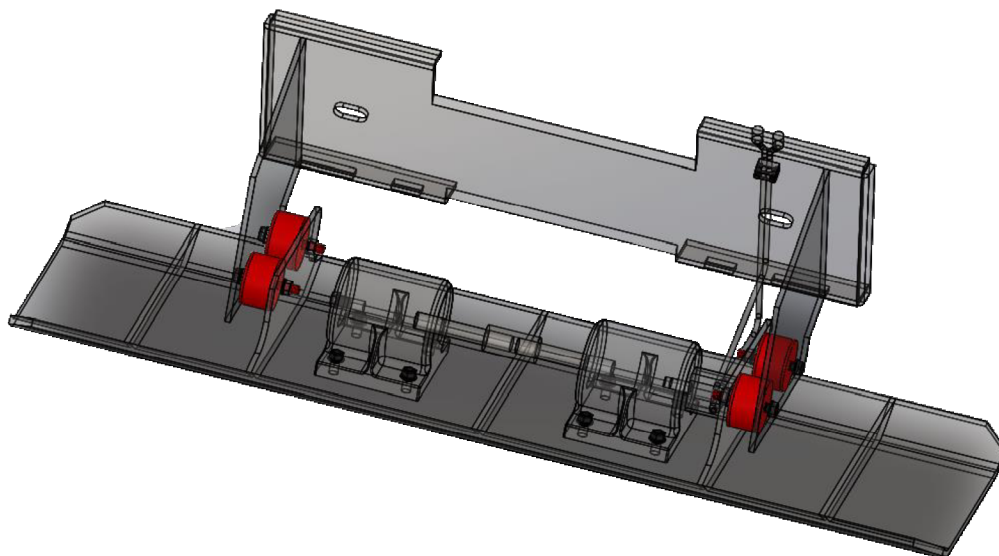
5.2 SILENTBLOKY

Pro utlumení přenosu vibrací z budičů vibrací a hutnicí desky do nosného rámu je využito čtyřech silentbloků. S ohledem na zatížení byla volena tvrdost silentbloků 55 ShA (tvrdost dle Shore A), což zhruba odpovídá 42 HRC. Rozměry jsou voleny dle ekvivalentních vibračních desek konkurence pro zajištěnou životnost.



Obr. 21 Silentblok typ 2

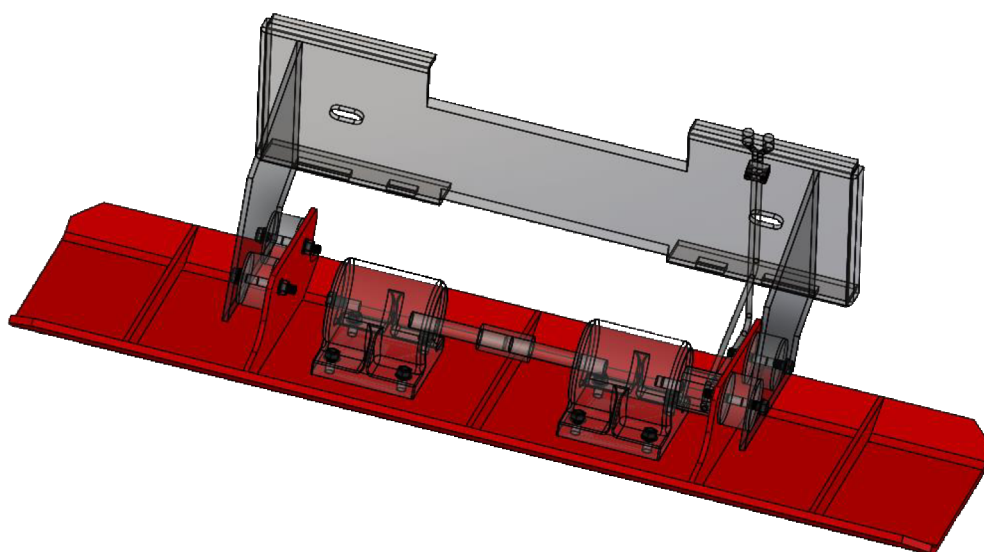
Pro zajištění snadné montáže a demontáže jsou voleny silentbloky typu 2. Připevnění je realizováno pomocí šroubů s šestihrannou hlavou M16 a šestihranných matic M16. Šroubové spoje jsou zajištěny kruhovou podložkou a celý šroubový spoj je zajištěn lepením. Parametry silentbloků jsou převzaty z e-shopu firmy Rubena ([31]).



Obr. 22 Umístění silentbloků (červeně)

5.3 HUTNÍČÍ DESKA

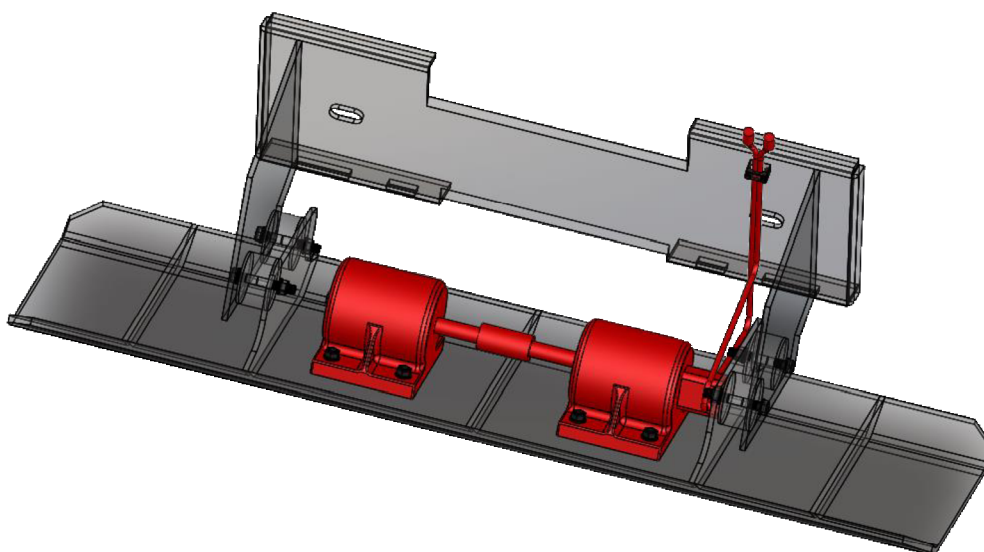
Hutníčká deska je v přímém kontaktu s hutněným povrchem a proto je její nejvíce požadovanou vlastností otěruvzdornost. Je volen materiál FORA 400 s tvrdostí 42,5 HRC. Tento materiál kombinuje vysokou otěruvzdornost se zaručenou svařitelností [32]. Deska je vyrobena z plechu tloušťky 10 mm tvářením za studena, kdy jsou dvě delší hrany ohnuty o 30° směrem nahoru, aby se vytvořila nájezdná hrana a nedocházelo k hrnutí zeminy před deskou a jejímu přesunu nad desku. Rozměry činné části desky jsou 1800 x 380 mm. Na desce jsou přivařeny 3 vzpěry pro zvýšení tuhosti. Deska je připevněna na nosný rám pomocí silentbloků. K hutníčké desce jsou napevno přišroubovány dva budiče vibrace.



Obr. 23 Hutníčká deska (červeně)

5.4 BUDIČE VIBRACE

Z důvodu lepší distribuce dynamické síly po šířce hutní desky jsou zvoleny dva identické budiče vibrace, které jsou propojeny společnou hřídelí. Pro zajištění demontáže je hřídel ze dvou částí, spojených hřídelovou spojkou. Budiče vibrace jsou s neusměrněnou kruhovou vibrací. Pro přenos vibrací do zeminy je potřeba pevného spojení s hutnicí deskou, které je realizováno pomocí čtyřech šroubů M16, zajištěných lepidlem. Je volen vibrační budič NGH 3000 L od firmy NetterVibration (viz Příloha 1). Při běžných provozních podmínkách dosahuje frekvence vibrací 3500 min^{-1} a dynamická síla 19600 N . Výrobce zaručuje i krátké přetížení budiče, kdy při průtoku oleje $22 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, dosahuje frekvence vibrací 4000 min^{-1} s hutnicí silou 25600 N [30].



Obr. 24 Umístění vibračních budičů (červeně)

Celková vlastní koncepce dokáže konkurovat komerčně běžně dostupným řešením, přičemž hlavní výhodou je použití dvou budičů vibrace. To zajistí lepší distribuci hutnicí dynamické síly po ploše hutnicí desky.

6 POROVNÁNÍ PŘÍDAVNÝCH HUTNÍCÍCH ZAŘÍZENÍ

Pro porovnání dříve zmíněných přídatných hutnicích zařízení pro smykem řízené nakladače je potřeba sestavit porovnávací poměrné parametry. Vibrační válce a desky jsou porovnány zvlášť, přičemž je zohledněn i návrh vlastní koncepce.

Porovnávací poměrné parametry k_i :

- Dynamická hutnicí síla vztažená na jednotku hmotnosti vibrační desky $k_1 = \frac{F}{m} = \left[\frac{N}{kg} \right]$
- Hutnicí síla vztažená na požadovaný hydraulický výkon stroje $k_2 = \frac{F}{Q \cdot p} = \left[\frac{N}{W} \right]$
- Hutnicí síla vztažená na velikost plochy vibrační desky $k_3 = \frac{F}{L \cdot B} = \left[\frac{N}{mm^2} = MPa \right]$

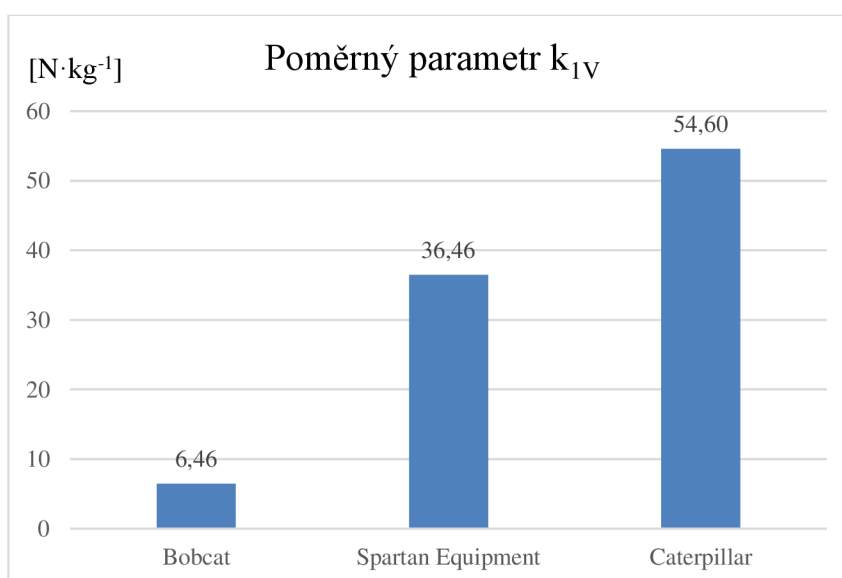
6.1 POROVNÁNÍ VIBRAČNÍCH VÁLCŮ

Jelikož je nejčastěji využívaný hladký běhoun šířky 185 cm, porovnání bude provedeno právě pro tyto vibrační válce. Z důvodu mnoha neudaných parametrů a nedostatečné délky běhounu, zařízení firmy Weyang Machinery jsou z následujících porovnání vyřazena.

6.1.1 POROVNÁNÍ POMĚRNÉHO PARAMETRU k_{1V}

Tento parametr je charakteristikou hutnicí síly vzhledem k hmotnosti přídatného zařízení. Vzhledem k tomu, že statická složka hutnicí síly je u vibračních desek a válců zanedbatelná, snahou je maximalizace tohoto parametru, to je minimální hmotnost při maximální hutnicí síle. V případě potřeby lze zvýšit statickou sílu přitlačením zařízení výložníkem na povrch.

$$k_{1V} = \frac{\text{dynamická hutnicí síla}}{\text{hmotnost}} = \frac{F}{m} = \left[\frac{N}{kg} \right]$$



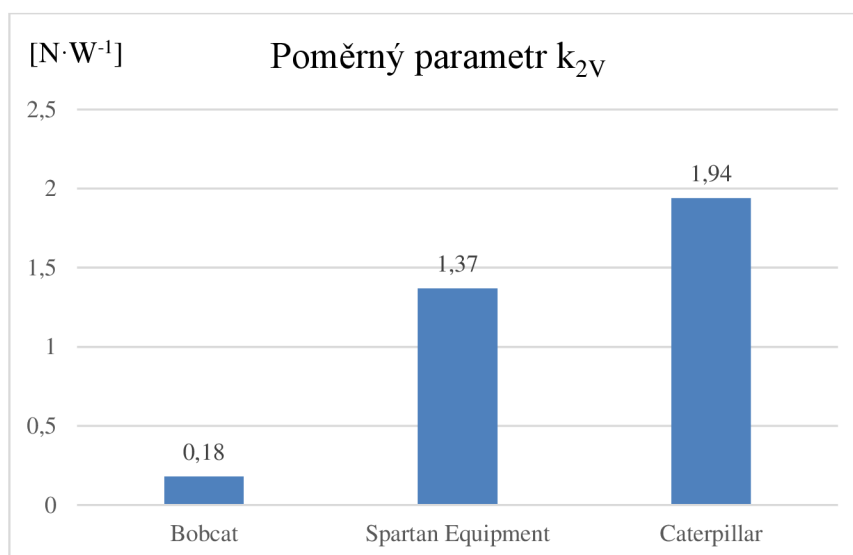
Obr. 25 Porovnávací parametr k_{1V}

Z Obr. 25 je zřejmé, že si vede nejlépe vibrační válec firmy Caterpillar díky své vysoké hutnící síle. Bobcat má díky své velmi malé hutnící síle velmi špatné hodnocení.

6.1.2 POROVNÁNÍ POMĚRNÉHO PARAMETRU k_{2V}

Tento poměrný parametr udává hutnící sílu vztaženou na požadovaný hydraulický výkon stroje. Hydraulický výkon stroje je dán součinem průtoku a tlaku hydraulického obvodu. Výrobci udávají minimální a doporučený průtok, přičemž tento koeficient je vztažen na doporučené hodnoty. V případě zařízení Spartan Equipment výrobce neudává tlak hydraulického okruhu, proto je uvažován průměrný tlak 22 MPa, který je obecným standardem pro pohon přídatných zařízení. U válců firmy Caterpillar je uveden rozsah provozních tlaků, proto je uvažována střední hodnota těchto tlaků. Snahou je opět maximalizovat tento parametr, což v praxi znamená maximalizovat hutnící sílu s minimálními požadavky na hydraulický výkon stroje.

$$k_{2V} = \frac{\text{dynamická hutnící síla}}{\text{průtok} \cdot \text{tlak}} = \frac{F}{Q \cdot p} = \left[\frac{N}{\frac{m^3}{s} \cdot Pa} = \frac{N}{W} \right]$$



Obr. 26 Porovnávací parametr k_{2V}

Opět je na tom nejlépe vibrační válec firmy Caterpillar, a to díky své vysoké hutnící síle. Bobcat má velmi nízký koeficient k_2 , právě díky nízké hutnící síle.

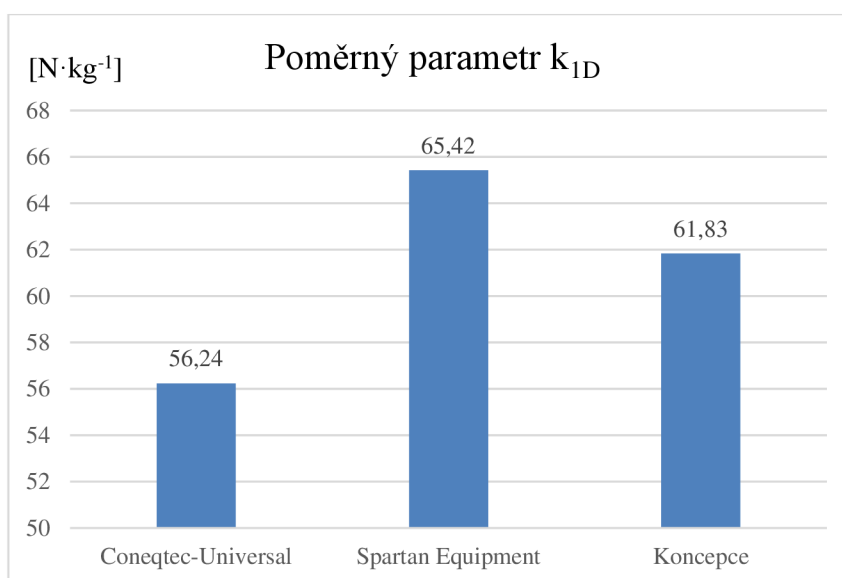
6.2 POROVNÁNÍ VIBRAČNÍCH DESEK

Z důvodu návrhu vlastní koncepce na délku hutnící desky 1800 mm, jsou porovnány právě desky s obdobnými rozměry. Z tohoto důvodu jsou vyřazeny desky firmy Eterra a Stanley.

6.2.1 POROVNÁNÍ POMĚRNÉHO PARAMETRU k_{1D}

Poměrný porovnávací parametr k_{1D} je u vibračních desek stejně jako u vibračních válců ukazatelem využití hmotnosti zařízení vzhledem k dynamické síle. Opět lze zvýšit statickou složku silového působení přitlačením výložníku s vibrační deskou k hutnému povrchu.

$$k_{1D} = \frac{\text{dynamická hutnicí síla}}{\text{hmotnost}} = \frac{F}{m} = \left[\frac{N}{kg} \right]$$



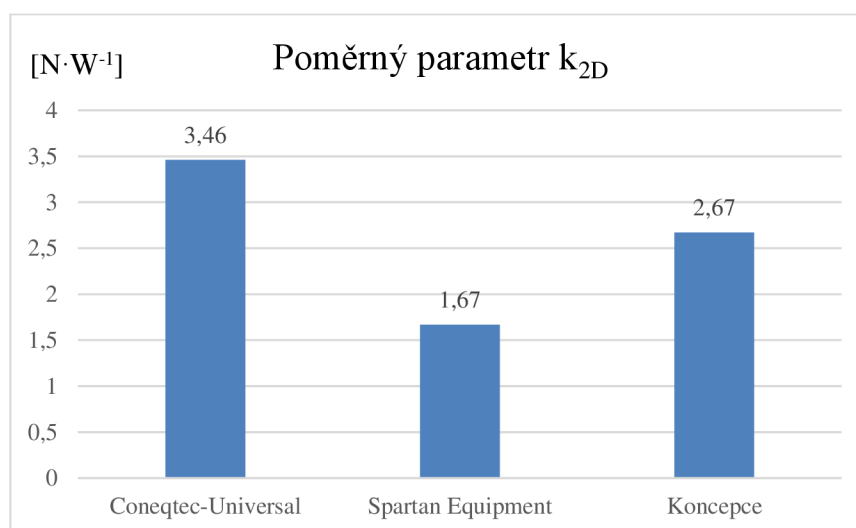
Obr. 27 Porovnávací parametr k_{1D}

Díky nízkým hmotnostem vibračních desek dosahuje tento parametr vyšších hodnot než u válců. Navržená koncepce dosahuje mírně nadprůměrných hodnot, což je dáno použitím vibračních budičů s menší dynamickou silou. Tato volba zaručuje větší životnost celého zařízení i smykem řízeného nakladače.

6.2.2 POROVNÁNÍ POMĚRNÉHO PARAMETRU k_{2D}

U desek je tento parametr stejně důležitý jako u válců. Vzhledem k udávanému rozsahu pracovních tlaků hydraulického okruhu u desek firmy Spartan Equipment, je brána střední hodnota z tohoto rozsahu. U budičů vibrace u koncepčního návrhu udává výrobce pouze maximální tlak hydraulického okruhu, se kterým bude počítán hydraulický výkon. V praxi je pracovní tlak nižší, proto skutečná hodnota koeficientu k_{2D} je vyšší.

$$k_{2D} = \frac{\text{dynamická hutnicí síla}}{\text{průtok} \cdot \text{tlak}} = \frac{F}{Q \cdot p} = \left[\frac{N}{\frac{m^3}{s} \cdot Pa} = \frac{N}{W} \right]$$



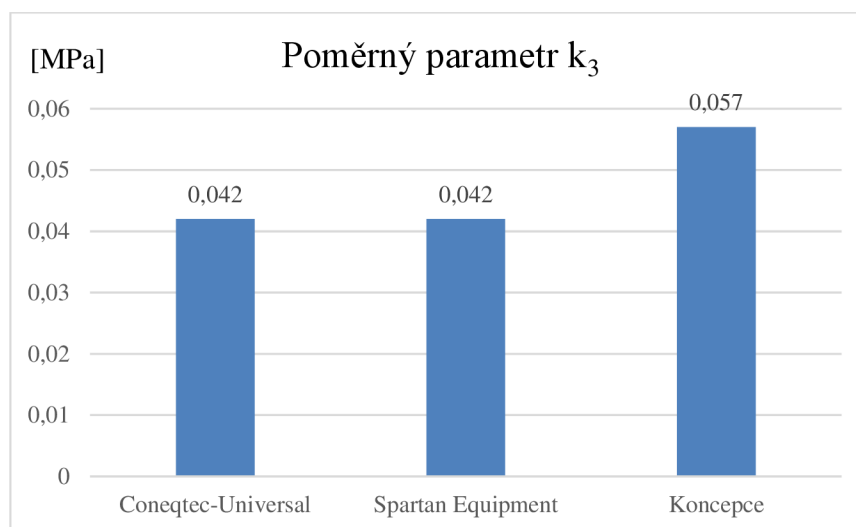
Obr. 28 Porovnávací parametr k_{2D}

Navržená koncepce opět dosahuje mírně nadprůměrných hodnot, a to díky velmi nízkému potřebnému průtokovému množství oleje. Zároveň je potřeba uvažovat rovnoměrnější rozložení hutnicí síly, díky dvěma budičům vibrace. Je uvažován maximální pracovní tlak, který je vyšší než tlak pracovní, a proto je provozní hodnota parametru k_{2D} vyšší. Výrobce budičů vibrace NetterVibration zaručuje i možnost krátkodobého přetížení, kdy se hutnicí síla zvýší na 25600 N při $22 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ [30]. V tomto případě je hodnota parametru $k_{2D} = 3,49$, což je více než u nejvýkonnější vibrační desky od Coneqtec-Universal. Jelikož ale tato hodnota není provozní hodnotou, poměrný parametr je určen pro hodnoty určené pro běžný provoz.

6.2.3 POROVNÁNÍ POMĚRNÉHO PARAMETRU k_3

Tento parametr je vlastní pouze deskám. Je charakterizován dynamickou silou působící na jednotku plochy. Jeho fyzikální rozměr je ve formě tlaku. Díky svým malým rozměrům hutnicí desky mají vibrační desky firem Eterra a Stanley tento koeficient vyšší (0,067, resp. 0,055), ale díky nesplnění základního požadavku na délku hutnicí desky nejsou tyto hodnoty porovnávány. Rozměr tohoto parametru je v MPa a čím je tato hodnota větší, tím je větší napětí vyvolané v zemině vlivem působení dynamické síly vibračního budiče.

$$k_3 = \frac{\text{dynamická hutnicí síla}}{\text{délka} \cdot \text{šířka}} = \frac{F}{L \cdot B} = \left[\frac{N}{\text{mm} \cdot \text{mm}} = \text{MPa} \right]$$



Z důvodu použití dvou budičů vibrace u navržené koncepce, které jsou symetricky umístěné vůči středové ose a ose nakladače, je brána poloviční délka činné části hutnicí desky. Z tohoto důvodu má navržená koncepce nejvyšší hodnotu poměrného parametru k_3 . Tento parametr je velice důležitý, udává tlak vyvozený na zeminu vlivem působení dynamické hutnicí síly a tím i míru zhutnění a potřebný počet přejezdů stroje.

7 PŘEDPOKLÁDANÉ SMĚRY VÝVOJE

Vývoj v oblasti přídavných hutnicích zařízení nelze ve velké míře předpokládat. Již v dnešní době jsou tato zařízení velmi málo rozšířená. Hlavním důvodem je vysoké opotřebení nakladače, kdy vlivem vibrací, které jsou přenášeny z budičů přes nosný rám až na výložník, dochází k rychlému opotřebení čepů a vodících ploch nakladače. To omezuje využití smykem řízených nakladačů pro jiné než hutnicí účely, kdy je potřeba přesného vedení výložníku s upnutým přídavným zařízením. Zároveň je eliminována hlavní výhoda vibračních desek, a to jejich kompaktnost. U přídavných vibračních válců existují alternativy ve formě ručně vedených válců, nebo v případě potřeby hutnění větších ploch, válců tahačových. U těchto strojů lze předpokládat vývoj ve větším využívání usměrněné vibrace, s možností plynule měnit amplitudu a frekvenci vibrace pro dokonalé zhutnění různorodých povrchů. Díky online metodě měření míry zhutnění, kdy již během vlastního procesu hutnění probíhá měření, lze měnit provozní parametry pro dosažení požadované míry zhutnění. Zároveň je velice zajímavou alternativou použití oscilačních budičů vibrace, zvláště v blízkosti zranitelných a křehkých staveb. Hlavní výhodu vibračních desek, a to jejich kompaktnost, lze v budoucnu ještě více zvýraznit použitím dálkových ovládaní. Zajímavou alternativu představila firma Ammann, která v roce 2016 představila první autonomní vibrační desku, která využívá pro své zatáčení elektro-hydraulické ovládaní [33].

ZÁVĚR

V práci je proveden průzkum trhu s přídatnými vibračními válci a deskami pro smykem řízené nakladače. U vibračních válců se jedná o koncept velice podobný tahačovým vibračním válcům, kdy tahačová část stroje je nahrazena nakladačem. Na trhu nepůsobí mnoho firem, které se danou problematikou zabývají, proto jsou vybrány čtyři referenční firmy, přičemž je brán ohled na jejich prestiž a dostupnost jejich služeb pro evropského zákazníka. Mezi nimi je i pro porovnání produkt z asijské produkce, u kterého však chybí většina technických parametrů. Hlavními srovnávacími parametry jsou hmotnost, velikost hutnicí síly a nároky na hydraulický výkon stroje. Ve všech porovnávaných parametrech je na tom nejlépe vibrační válec firmy Caterpillar. Na druhém konci se nachází vibrační válec firmy Bobcat, s velmi nízkou hutnicí silou. To sice způsobuje menší zhutnění a tím i větší potřebný počet přejezdů stroje, ale zároveň snižuje rychlost opotřebení celého zařízení i smykem řízeného nakladače.

Vibrační desky jsou častým přídatným zařízením pro rypadla a rypadlonakladače. Toto řešení umožňuje využít velkého dosahu rypadel pro hutnění na těžko dostupných místech. Na trhu existuje mnoho adaptérů, které umožňují použití těchto zařízení na smykem řízených nakladačích. V tomto případě je ale délka hutnicí desky výrazně menší než šířka nakladače, což zabraňuje efektivnímu hutnění v blízkosti překážek. Tato řešení se mohou uplatnit při hutnění tenkých pruhů zeminy, například po pokládce potrubí, či vodičů do země. Americké firmy Coneqtec-Universal a Spartan Equipment vyrábějí vibrační desky i ve větších délkách, což umožňuje hutnění větší plochy a tím i většího hutnicího výkonu. Jejich zařízení jsou ale osazena pouze jedním budičem vibrace, což způsobuje, že dynamická hutnicí síla je soustředěna uprostřed desky. Tím dochází k maximální míře zhutnění přímo pod budičem vibrace a s rostoucí vzdáleností od osy stroje míra zhutnění klesá. Tento problém je odstraněn použitím dvou budičů vibrace symetricky umístěných vůči ose nakladače u navržené koncepce. Zavedením porovnávacích parametrů s ohledem na hmotnost, dynamickou hutnicí sílu, požadovaný hydraulický výkon a plochu desky, jsou porovnány dvě desky s délkami okolo 1800 mm s vlastní koncepcí.

Navrhnutá koncepce odstraňuje nedostatky spojené s malou šířkou hutnicí desky použitím desky o délce 1800 mm. Další problém spojený s nerovnoměrnou distribucí dynamické síly při umístění budiče uprostřed, je odstraněn použitím dvou budičů vibrace na společné hřídeli. Budiče vibrace jsou použity s neusměrněnou kruhovou vibrací a díky svým malým nárokům na průtokové množství oleje nevyžadují velký hydraulický výkon stroje. Navržená koncepce dosahuje průměrných porovnávacích parametrů, kdy je volena nižší dynamická síla pro zvýšení životnosti celého zařízení. Díky využití dvou budičů vibrací, dosahuje koncepční deska nejvyšší hodnoty koeficientu k_3 , který udává dynamický hutnicí tlak.

Přestože jsou pracovní části vibračních válců a desek umístěny na pružných elementech, vždy dochází k přenosu vibrací na nakladač. To způsobuje velké opotřebení všech činných částí a zvýšení vůlí a tím i snížení přesnosti ovládání výložníku. To negativně ovlivňuje využití jinak univerzálního nakladače na jiné než jen hutnicí práce. Z tohoto důvodu nelze očekávat široké rozšíření těchto přídatných zařízení. S pořizovacími cenami v jednotkách sta tisíců korun, lze pořídit ručně vedené vibrační válce a vibrační desky s usměrněnou kruhovou vibrací s obdobnými, mnohdy i lepšími parametry. Očekávaný vývoj je v oblasti samočinných vibračních desek a širší aplikaci kombinace usměrněné vibrace s oscilací u tandemových vibračních válců.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Operating capacity. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Operating_capacity
- [2] *S 70|BOBCAT.CZ* [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://www.bobcat.cz/smykem-rizene-nakladace/s-70>
- [3] *Gehl introduces "world's largest skid-steer loader"* [online]. [cit. 2019-01-29]. Dostupné z: <https://www.heavyequipmentguide.ca/article/27249/gehl-introduces-worlds-largest-skid-steer-loader>
- [4] Radial vs. Vertical Loader Design. *Www.constructionequipmentguide.com* [online]. [cit. 2019-02-06]. Dostupné z: <https://www.constructionequipmentguide.com/radial-vs-vertical-loader-design/33786>
- [5] VANĚK, Antonín. *Moderní strojní technika a technologie zemních prací*. Praha: Academia, 2003. Česká matice technická (Academia). ISBN 80-200-1045-9.
- [6] Smykem řízené nakladače Case 435 a 445 zaujmou odpruženým výložníkem. *Bagry.cz* [online]. [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: http://bagry.cz/cze/clanky/recenze/smykem_rizene_nakladace_case_435_a_445_zaujmu_odpruzenym_vyloznikem
- [7] BŘOUŠEK, Miloš. *Mechanizace a provádění inženýrských staveb*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1984. Učební texty vysokých škol.
- [8] *Soil compaction | UMN Extension* [online]. In: . [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://extension.umn.edu/soil-management-and-health/soil-compaction>
- [9] MARŠÁL, Petr. *Stavební stroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2774-4.
- [10] *Different types of Soil Compaction Equipments - Types of Rollers* [online]. [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://theconstructor.org/geotechnical/soil-compaction-equipments-roller-types/9389/>
- [11] *Statické válce DYNAPAC | KOLEX* [online]. In: . [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: http://www.kolex.sk/svk/dynapac/valce/staticke_valce_dynapac/
- [12] *BOMAG Pneumatikové válce | AWP* [online]. In: . [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://www.awpsro.cz/produkt/9>
- [13] *Ježkový vibrační válec BOMAG BMP 851 a BMP 8500 SIGNUM stavební stroje s.r.o. - Plzeň* [online]. In: . [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <http://www.signum-plzen.cz/katalog/vibracni-technika/jezkovy-vibracni-valec-bomag-bmp-851-a-bmp-8500>
- [14] BRANDL, H.; ADAM, D.: *Flächendeckende Dynamische Verdichtungskontrolle mit Vibrationswalzen. Grundlagenforschung und praktische Anwendung*. Ed.

- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Straßenforschung Heft 506, Wien, 275 p., c 2000. ISSN 0379-1491.
- [15] *All Eyes on Oscillation* [online]. [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.forconstructionpros.com/asphalt/article/21013583/all-eyes-on-oscillation>
- [16] *BOMAG BW 135 AD-5 - Tandem Vibratory Rollers – Asphalt Products* [online]. In: . [cit. 2019-03-03]. Dostupné z: <https://www.bomag.com/us/en/products/asphalt-products/Tandem-Vibratory-Rollers/BW+135+AD-5.html>
- [17] *Specs-options* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.bobcat.com/eu/attachments/vibratory-roller/specs-options>
- [18] BLAŽEK, J. Možnosti využití smykem řízených nakladačů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 39 s. Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
- [19] *Roller Implements Bobcat 73 in Vibratory Roller Padded Drum 2017 Fond Du Lac WI* [online]. In: . [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://promotorsportsinc.com/Roller-Implements-Bobcat-73-in-Vibratory-Roller-Padded-Drum-2017-Fond-Du-Lac-WI-25e65451-16f7-4450-ab3a-a6ec00fc0b7f>
- [20] *Skid Steer Roller Attachment With Smooth Drum 48" Wide* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.spartanequipment.com/products/skid-steer-vibratory-roller-attachment-with-smooth-drum-48-wide.html>
- [21] *Největší dampry na světě | Stavební technika* [online]. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/nejvetsi-dampry-na-svete>
- [22] *Cat | CV18B Vibratory Compactor | Caterpillar* [online]. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: https://www.cat.com/en_US/products/new/attachments/compactors/vibratory-drum-compactors/17763836.html
- [23] *China Skid Steer Loader Attachments Vibratory Roller - China Vibratory Roller, Loader Attachment* [online]. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://wenyangmachinery.en.made-in-china.com/product/WjcxzZkyAmhu/China-China-Skid-Steer-Loader-Attachment-Vibratory-Roller.html>
- [24] *Eterra HS-3000 Vibratory Plate Compactor Attachment | Skid Steer Solutions* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.skidsteersolutions.com/hs-3000-vibratory-plate-compact-terra/>
- [25] *HSX User Manual 2-2015 V2RS_0* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: https://www.stanleyhydraulic.com/sites/stanleyhydraulic.com/files/pdf/HSX%20User%20Manual%202-2015%20V2RS_0.pdf
- [26] *Stanley Skid Steer Mounted Vibratory Plate Compactor | Skid Steer Solutions* [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.skidsteersolutions.com/skid-steer-mounted-vibratory-plate-compact-stanley/>

- [27] *DC8000 SS-FRONT* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: http://www.coneqtecuniversal.com/pdfa/Coneqtec_DC8000_Compaction_Plate.pdf
- [28] *DC Compaction Plate | Coneqtec-Universal* [online]. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://coneqtecuniversal.com/dc-compaction-plate/>
- [29] *72" Skid Steer Vibratory Plate Compactor* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.spartanequipment.com/products/skid-steer-vibratory-plate-compactor-attachment-72-wide.html>
- [30] *Seiten aus PR-Industrie-E* [online]. [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.nettervibration.com/wp-content/uploads/2015/09/PR-NHG-32EN.pdf>
- [31] *Válc.pružina 100/60 -Typ2 / M16x41 | eshop.rubena.cz* [online]. [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://eshop.rubena.cz/valcpruzina-100-60-typ2-m16x41/d-163277-c-2226/>
- [32] *Fora 400 Plates* [online]. [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <http://www.alloysteelplates.com/fora-400-plates.html>
- [33] *AMMANN UNVEILS FIRST-EVER AUTONOMOUS VIBRATORY PLATE | Ammann* [online]. [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <http://www.ammann.com/cn-en/news-media/news/ammann-unveils-first-ever-autonomous-vibratory-plate>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

D	[mm]	Průměr běhounu vibračního válce
f	[min ⁻¹]	Frekvence vibrace
F	[N]	Dynamická hutnicí síla
k_{1D}	[N·kg ⁻¹]	Porovnávací parametr k_1 pro vibrační desky
k_{1V}	[N·kg ⁻¹]	Porovnávací parametr k_1 pro vibrační válce
k_{2D}	[N·W ⁻¹]	Porovnávací parametr k_2 pro vibrační desky
k_{2v}	[N·W ⁻¹]	Porovnávací parametr k_2 pro vibrační válce
k_3	[N·mm ⁻²]	Porovnávací parametr k_3 pro vibrační desky
L_v	[mm]	Šířka běhounu vibračního válce
m	[kg]	Hmotnost přídavného zařízení
p	[MPa]	Pracovní tlak v hydraulickém okruhu
P	[kW]	Doporučený výkon nakladače
Q	[l·min ⁻¹]	Minimální průtok hydraulického oleje
Q_s	[l·min ⁻¹]	Průtok hydraulického oleje pro dané parametry
α	[°]	Náklon běhounu v příčném směru

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Prospekt vibračních budičů firmy NetterVibration.....I, II

Příloha 1: Prospekt firmy NetterVibration [30]

NetterVibration 



32

Netter Hydraulic External Vibrators Series NHG L



- Rotary vibration
- Nominal frequency from 3.000 min⁻¹ to 7.000 min⁻¹
- Centrifugal force from 4.070 N to 61.206 N
- Frequency continuously variable via volume flow rate



NHG 500 L



NHG 3000 L



NHG 6000 L

Serving industry with vibration

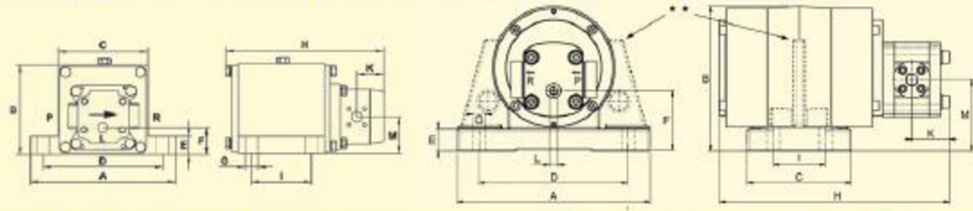


Netter Hydraulic External Vibrators Series NHG L

Type	Unbalance [cmkg]	Frequency [U/min]	Normal Operation 100%		Short operation ≤ 60%			Weight [kg]
			Centrifugal Force [N]	Oil requirement [l/min]	Frequency [U/min]	Centrifugal Force [N]	Oil Requirement [l/min]	
NHG 500 L	2,06	6.000	4.070	12	7.000	5.550	14	6,4
NHG 600 R L	0 to 3	6.000	5.922	12	7.000	5.723*	14	8,2
NHG 900 L	6,64	4.000	5.870	8	5.000	9.100	10	7,7
NHG 3000 L	29,18	3.500	19.600	20	4.000	25.800	22	29,0
NHG 6000 L	124,00	3.000	61.206	40	—	—	—	78,0

*) The unbalance must be reset to 2,19 cmkg.

Type	A [mm]	B [mm]	C [mm]	D [mm]	E [mm]	F [mm]	OG [mm]	H [mm]	I [mm]	K [mm]	OL [mm]	M [mm]	OP [mm]	OR [mm]
NHG 500 L	194	120	120	160	25	36,5	17	213,5	80	36,5	G1/4	49	G1/4	G3/8
NHG 600 R L														
NHG 900 L														
NHG 3000 L	260	195	140	200	30	80	17	310	70	50	M12x1,5	96	G3/8	G3/8
NHG 6000 L	345	260	213	300	58	128,5	22	400	2 x 60	59	M12x1,5	113	G3/8	G3/8



NHG 500 L, NHG 600 R L and NHG 900 L

NHG 3000 L and NHG 6000 L **) Side strut at NHG 3000 L



NHG 3000 L



Emptying silo vehicles



NHG 900 L

Applications

Series NHG L hydraulic external vibrators are particularly suitable for emptying containers and bulk material hoppers containing adherent bulk materials, for preventing bridging and tubing and for compacting various materials. A special characteristic is its use for unloading transport vehicles, e.g. trucks, silo buses and ships. The vibrators are driven via the hydraulic system belonging to the carrier vehicle, and are therefore independent of any external energy supply.

Design and functioning principle

The rotary vibration is created by an unbalance. High rotational speeds result in large centrifugal forces. The rotational speed, and hence the centrifugal force, can be regulated continuously via the volume flow rate. NHG 500 L, NHG 900 L and NHG 3000 L and NHG 6000 L have fixed working moments. The unbalance of the NHG600 RL can be adjusted in steps, from the outside.

Series NHG L hydraulic external vibrators are also available without an overflow oil line connection. The pressure in the return line must not exceed 2 bar.

Permissible operating conditions:
Drive Medium:
 Clean, filtered hydraulic oil DIN 51524/25 or engine oil DIN 51511

Operating pressure:
 Pressure side 200 bar max.
 Overflow oil line back pressure 2 bar max.

Ambient temperature:
 -20°C to 80°C NHG 500 L to NHG 900 L
 -20°C to 60°C NHG 3000 L
 -20°C to 40°C NHG 6000 L

NetterVibration offers the accessories required for the mounting, installation, control and monitoring of vibrators and impactors.

Netter provides solutions. Consult our experienced application technicians.

Netter GmbH

Germany
 Fritz-Ullmann-Str. 9
 55252 Mainz-Kastel
 Tel. +49 6134 2901-0

Poland
 Al. W. Korfaitego 195/17
 40-153 Katowice
 Tel. +48 32 2050947

Switzerland
 Erlenweg 4
 4310 Rheinfelden
 Tel. +41 61 8316200

Spain
 Errota Kalea 8
 20150 Villabona-Gulpúzcoa
 Tel. +34 943 694 994
www.NetterVibration.com
info@NetterVibration.com

11/2015 Subject to change without notice