

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ODVODŇOVACÍ STROJ KRUHOVÝ

DRAVINAGE CIRCULAR MACHINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PAVEL DVOŘÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KAŠPÁREK, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Pavel Dvořák

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

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

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:

Odvodňovací stroj kruhový

v anglickém jazyce:

Drainage circular machine

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte odvodňovací stroj pro kontinuální odvodňování vláknitých suspenzí v papírenském a celulózarském průmyslu.

Stručná charakteristika problematiky úkolu a cíle ročníkové práce:

Technické parametry:

konzistence vstupní: $0,5 \div 2 \%$

konzistence výstupní: $5 \div 9 \%$

výkon stroje (dle zprac. látky): $60 \div 250 \text{ t/24h}$

Cíle diplomové práce:

Proveďte:

konstrukční návrh vany, síťového bubnu, snímacího válce

pevnostní výpočet čepů obou válců, ložisek

návrh pohonu stroje

další výpočty dle pokynů vedoucího diplomové práce

Nakreslete:

sestavný výkres vany, síťového bubnu, snímacího válce včetně podsestav a výrobních výkresů

sestavný výkres snímacího zařízení

sestavný výkres stroje

kusovníky budou součástí sestavných výkresů

Rozsah grafických prací: min. 40 x A4

Rozsah průvodní zprávy: 50 – 60 stran

Seznam odborné literatury:

HNĚTKOVSKÝ, V. a kol.: Papírenská příručka, SNTL Praha 1983

Voith paper holding GmbH and Co: newsmagazine Together, paper technology journal

Hannu PAULAPURO: Papermaking part 1, Stock preparation and wet end, Fapet Oy, Helsinki, Finland 2000

Další odborné informace:

-internet

-interní materiály a know-how Papcel a.s.

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 9.10.2008

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá návrhem pro odvodňovací kruhový stroj. Cílem bylo navrhnout stroj, který odpovídá požadavkům na něj kladené. Stroj je zařazen v lince pro přípravu vodolátky, která je určena k dalšímu zpracování a finální výrobě papíru.

Klíčová slova:

vana, síťový buben, snímací zařízení, vodolátka

Annotation:

This thesis deals with a design of a circular draining machine. The aim is to design a machine that complies with the respective requirements. The machine is assembled in a line for the preparation of paper stock, which is further processed for final paper production.

Key words:

bath, screen drum, scanning equipment, paper stock



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

Bibliografická citace mé práce

DVOŘÁK, P. Odvodňovací stroj kruhový. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. Jaroslava Kašpárka, Ph.D., a s použitím uvedené literatury.

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

V Brně dne

podpis



VYSOKÉ
UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Poděkování

Za účinnou podporu a obětavou pomoc, cenné připomínky a rady při zpracování diplomové práce tímto děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jaroslavu Kašpárkovi, Ph.D., a také konzultantovi z firmy PAPCEL panu Ing. Jaroslavu Manovi. Dále chci poděkovat svým rodičům za podporu při studiu na vysoké škole.

OBSAH

1	Úvod	9
1.1	Přípravná fáze	9
1.2	Výroba papíroviny	9
1.3	Papírenský stroj	10
1.4	Natírání papíru	10
1.5	Kalandrování	11
1.6	Závěrečné zpracování papíru	11
2	Technický popis	12
2.1	Použití stroje	12
2.1.1	Konstrukční přednosti stroje	12
2.1.2	Technologické přednosti stroje	12
2.1.3	Typové provedení a značení stroje	12
2.2	Blokové schéma stroje	13
2.3	Princip činnosti stroje	14
2.4	Technologické parametry stroje	15
2.5	Konstrukční parametry stroje	16
2.6	Jednotlivé části stroje	17
2.6.1	Vana stroje	17
2.6.2	Přepadové skříň	17
2.6.3	Přepad	17
2.6.4	Sítový buben	17
2.6.5	Snímací zařízení	18
2.6.6	Nízkotlaká ostřiková trubka	18
2.6.7	Pohon stroje	18
2.7	Standardní příslušenství stroje	18
2.8	Standardně používané prvky měření a regulace	19
3	Instalace	20
3.1	Doprava a manipulace	20
3.2	Prohlídka a převzetí	20
3.3	Instalace a montáž	20
3.4	Uvedení do provozu	20
3.4.1	Kontrola a seřízení stroje před uvedením do provozu	20
3.4.2	Postup uvedení stroje do provozu	22
3.4.3	Postup odstavení stroje v technologické lince	22
3.5	Provoz stroje	22
3.6	Pokyny pro bezpečnost při práci	22
4	Servis (obsluha a údržba)	24
4.1	Obsluha	24
4.2	Údržba	24
4.3	Výměna síta PESOS	24
5	Rozsah dodávky	26
5.1	Základní příslušenství	26
5.2	Kotvící a montážní materiál	26
5.3	Manipulační prostředky	26

6	Výpočet pohonu	27
6.1	Moment na překonání pasivních odporů	27
6.1.1	Moment čepového tření	27
6.1.2	Třecí moment těsnění	31
6.1.3	Moment motoru na zrychlení rotačních hmot	33
6.2	Jmenovitý moment	34
6.3	Rozběhový moment	34
6.4	Potřebný výkon motoru	35
6.5	Specifikace elektromotoru	35
6.6	Záběrový moment motoru	36
6.7	Porovnání rozběhového motoru	36
7	Pevnostní analýza	37
7.1	Snímací válec	37
7.1.1	Uvolnění	37
7.1.2	Průřezové charakteristiky průřezu A	38
7.2	Sítový buben	41
7.2.1	Uvolnění	41
7.2.2	Průřezové charakteristiky průřezu A	42
7.2.3	Průřezové charakteristiky průřezu B	45
7.3	Pevnostní kontrola pera na otlačení	48
8	Výpočet výdržnosti ložisek	50
8.1	Ložisko pro sítový buben	50
8.2	Ložisko pro snímací válec	50
9	Výpočet pružin pro teleskop	52
9.1	Spodní pružina	53
9.1.1	Uvolnění	53
9.2	Horní pružina	54
10	Pevnostní analýza vany pomocí MKP	56
10.1	Výpočet pro tloušťku stěny 6 mm	58
10.1.1	Výsledné napětí na vaně	58
10.1.2	Deformace vany	63
10.2	Výpočet pro tloušťku stěny 8 mm	65
10.2.1	Výsledné napětí na vaně	65
10.2.2	Deformace vany	70
10.3	Porovnání obou van	71
11	Závěr	72
12	Použitá literatura	73
13	Použité symboly	74
14	Dodaná výkresová dokumentace	77

1 Úvod

Výroba papíru

1.1 Přípravná fáze

Základní surovinou pro výrobu papíru je buničina, která se do papírny dostává v různých podobách. Primární formou jsou kmeny stromů, dále může být dřevo dodáváno ve formě štěpin, třetí formou může být již hotová buničina vyrobená v jiné papírně. Jako sekundárního zdroje k výrobě papíru se může použít odpadového papíru. Pro výrobu buničiny z kmenů stromů je dřevo zpracováno na štěpky. K rozvlákňování dřeva a výrobě celulózy může dojít dvěma způsoby – mechanickým nebo chemickým.

Při **mechanickém** způsobu rozvlákňování jsou rozemílány kusy očištěného dřeva při současném přidávání vody.

V průběhu **chemického** procesu výroby celulózy je lignin, což je jakési přírodní „lepidlo“ spojující vlákna dřeva dohromady, přidáním chemikálií rozpouštěn tak, aby došlo k uvolnění těchto vláken. V závislosti na tom, jaké chemikálie jsou k tomuto rozpouštění využity, vzniká sulfátová nebo sulfitová buničina. Dřevěná vlákna zůstanou po tomto rozpouštění čistá a nepoškozená. Papír, který je vyráběn z celulózy připravené chemickou cestou, je potom označován jako bezdřevý papír.

Rozvlákňováním vzniklá surová buničina, má hnědou nebo nahnědlou barvu, a proto je nutné ji před jejím využitím k výrobě bílého papíru odbarvit. K tomu je možné využít jak chlóru a jeho sloučenin, tak i kyslíku nebo peroxidu vodíku. Pro negativní vliv na životní prostředí jsou tyto sloučeniny používány stále méně a stále častěji jsou nahrazovány ekologičtějšími způsoby odbarvování papíru. Odbarvená buničina musí být ještě pročištěna, aby získala konkrétní vlastnosti požadované pro příslušný typ papíru [9].

1.2 Výroba papíroviny

Po odbarvení a pročištění je celulóza přidáváním různých přísad upravena tak, aby získala všechny vyžadované vlastnosti charakterizující příslušný druh papíru, který z ní bude vyroben. Touto operací vzniká už finální papírovina, jež je následně napouštěna do papírenského stroje, kde může začít postupně vznikat nekonečný pás papíru.

Na tomto místě je třeba zdůraznit, že nejdůležitější součástí papíroviny je voda. Na výrobu jednoho kilogramu papíru je nutné použít přibližně 100 litrů vody, takže její spotřeba v papírně je obrovská. Aby byla zajištěna ekonomičnost a ekologičnost výroby papíru, je třeba provádět recyklaci vody používané při této výrobě [9].

1.3 Papírenský stroj

Základní funkcí papírenského stroje je vyrobit rovnoměrný pás papíru. Stroj se skládá ze tří základních částí:

- **síťová sekce** – kde dochází k základnímu formování vrstvy papíroviny,
- **lisová sekce** – kde je takto vzniklý pás lisován a tím zbavován zbytků vody,
- **sušicí sekce** – kde se suší již vylisovaný pás papíru.

Ve vstupní části papírenského stroje je natékající papírovina nepřetržitě promíchávána. Odtud se papírovina dostává na kontinuální formové síto, na němž ve vysoké rychlosti dochází k základnímu formování papírového pásu. Ve chvíli, kdy opouští vstupní část papírenského stroje, obsahuje papírovina pouze 1 % vlákniny a 99 % vody. Na kontinuálním formovém sítu v průběhu jeho pohybu potom dochází k jejímu velice rychlému odvodnění. Vláknina buničiny se začínají vázat a formuje se tak nosná papírová podložka. Ta je sevřena mezi spodní a horní pás formového síta, přičemž dochází k odtékání přebytečné vody. V okamžiku, kdy opouští formovací sekci, už má přibližně 80 % vody. Z formovací sekce přechází pás nově vzniklého papíru do sekce lisovací. Zde je stlačen sérií lisovacích válců, jejichž působením je obsah vody v pásu papíru dále snížen na přibližně 50 %. Potom pás papíru pokračuje do sušicí sekce, ve které dochází k jeho oboustrannému vysušování pomocí řady párou vyhřívaných sušicích válců. Všechny uvedené operace probíhají ve vysoké rychlosti, takže provoz papírenského stroje vyžaduje vysokou přesnost a sladění celého soustrojí, aby nedocházelo k přetrhávání vznikajícího pásu papíru a tím zastavování stroje.

V závislosti na plánovaném koncovém užití prochází takto vzniklý papír následně dalším zpracováním a úpravami, jako je natírání, a teprve potom následuje finální navíjení na velké role „jumbo“ [9].

1.4 Natírání papíru

Coating (neboli natírání vyrobeného papíru) je prováděn z toho důvodu, aby byly optimalizovány jeho tiskové charakteristiky, to znamená vylepšeny vlastnosti jeho povrchu.

Natírací emulze se skládají především z pigmentů, jakými jsou například křída nebo hlínky, které pokryjí povrch papírové podložky. Aby se na tomto povrchu dobře uchytily a udržely, jsou druhou nezbytnou složkou natíracích emulzí takzvaná vázací činidla.

Po provedení coatingu, tedy nanesení natírací emulze na lícovou i rubovou stranu papírové podložky, následuje postupné sušení natřeného papíru. Nejprve na substrát působí infračervené sušáky a potom následuje sušení horkým vzduchem nebo sušení pomocí vyhřívaných válců. Počet nanesených vrstev nátěru a způsob jejich sušení v natíracím stroji závisí na druhu finálního papírového produktu [9].

1.5 Kalandrování

Poté, co je na povrch papírové podložky aplikován nátěr, je potřeba povrch už konkrétního typu natíraného papíru ještě optimalizovat pro jeho koncové použití. To se provádí kalandrováním. Při průchodu kalandrem je zlepšována hladkost a lesk povrchu natíraného papíru. Na samém konci papírenského stroje je pás už zcela dokončeného papíru navíjen do velkých rolí, přičemž je nutná kontrola napnutí tohoto pásu. Tyto velké role jsou potom připraveny ke konečnému zpracování před expedicí [9].

1.6 Závěrečné zpracování papíru

Dokončený papír navinutý ve velkých „jumbo“ rolích už má všechny potřebné charakteristiky a vlastnosti, důležité pro jeho konečné využití. Zbývá ho už jenom nařezat a převinout do menších rolí s dodávkovou šířkou [9].

2 Technický popis

2.1 Použití stroje

Odvodňovací stroj OK-4000 je určen k odvodňování všech vláknitých suspenzí v papírenském a celulozářském průmyslu, zejména ke kontinuálnímu odvodnění:

- celulózy,
- dřevoviny,
- sběrového papíru,
- hadroviny,
- ostatních papírenských vodolátek.

2.1.1 Konstrukční přednosti stroje

Konstrukčními přednostmi stroje jsou:

- jednoduchá konstrukce stroje sestávající ze čtyř základních celků (vana, pohon stroje, síťový buben, snímací zařízení),
- nízká spotřeba vody a elektrické energie,
- snadná údržba a obsluha,
- minimální zastavěná plocha.

2.1.2 Technologické přednosti stroje

Technologickými přednostmi stroje jsou:

- nepřetržitý proces čištění,
- nízká spotřeba vody a elektrické energie.

2.1.3 Typové provedení a značení stroje

Odvodňovací stroje nesou typové označení OK a jsou vyráběny ve velikostech OK-500, 1000, 1500 a OK 4000. Každá velikost stroje má samostatnou průvodní technickou dokumentaci. Velikost typového označení je dána délkou pláště síťového bubnu.

PAPCEL a.s.  	
784 10 LITOVEL	
NÁZEV	
Č. VÝKR.	TYP
m kg	ROK VÝROBY
MADE IN CZECH REPUBLIC	

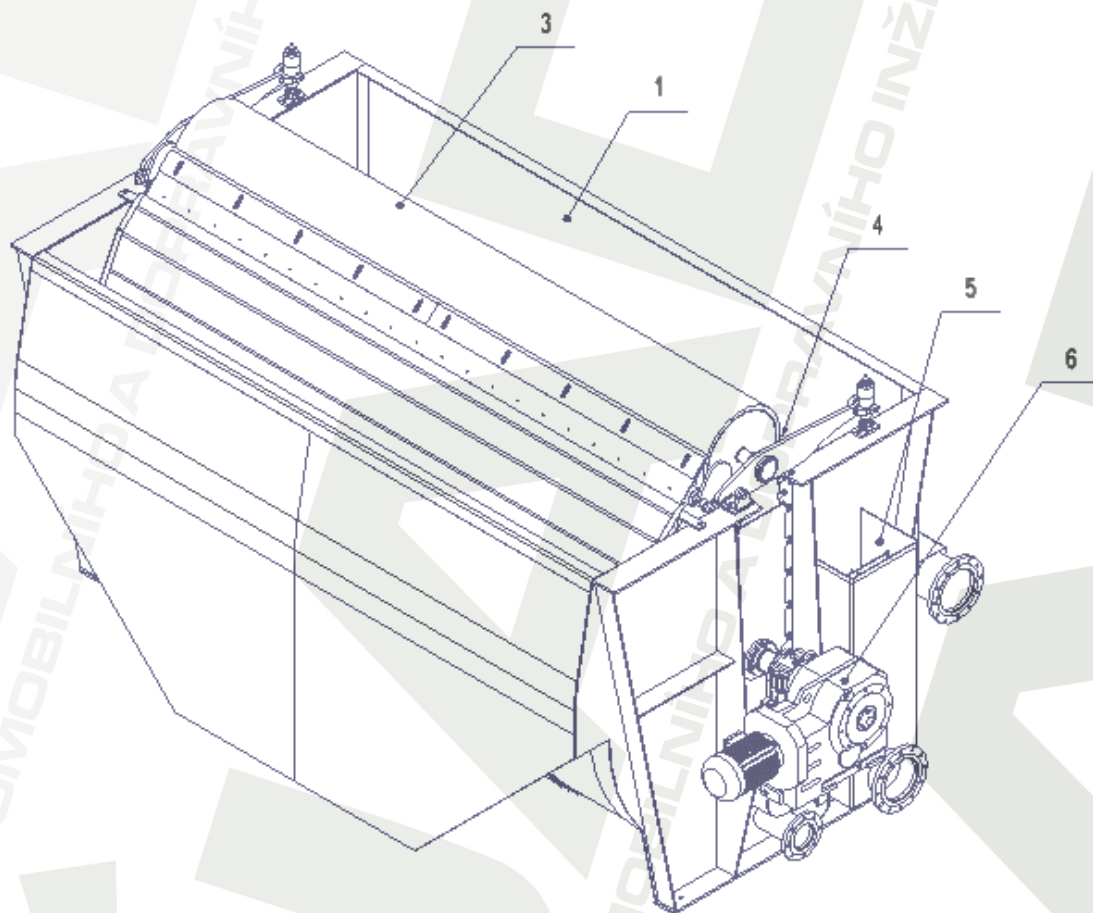
PAPCEL a.s. 	
784 10 LITOVEL	
NÁZEV	
Č. VÝKR.	TYP
m kg	ROK VÝROBY
MADE IN CZECH REPUBLIC	

Obr. 1 Štítek

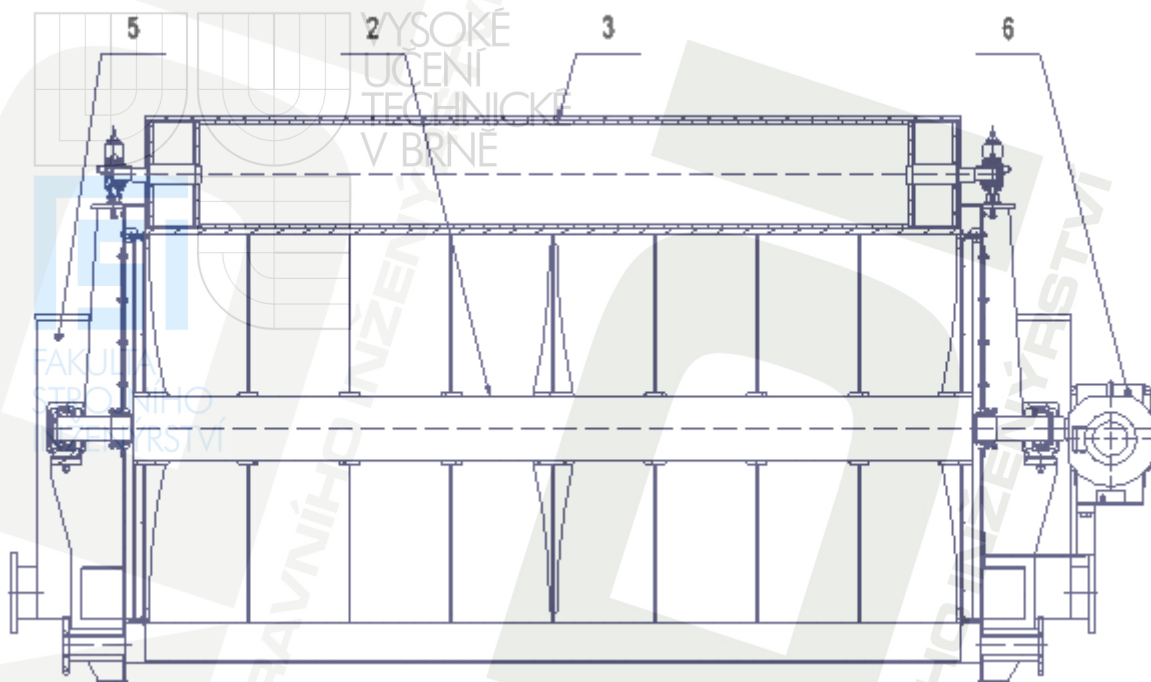
2.2 Blokové schéma stroje

Odvodňovací stroj OK-4000 sestává z těchto rozhodujících konstrukčních částí:

- 1 - vana stroje
- 2 - síťový buben
- 3 - snímací zařízení
- 4 - oscilační ostřiková trubka
- 5 - přepadové nádrže
- 6 - pohon stroje



Obr. 2 Popis stroje



Obr. 3 Řez strojem

2.3 Princip činnosti stroje

Princip činnosti stroje je založen na filtraci papírenské vodolátky přes rotující filtrační přepážku. Rotující přepážku tvoří buben, na kterém je nataženo síto o vhodné hustotě. Filtrace je umožněna rozdílem hladin vodolátky vně síťového bubnu. Čím větší je tento rozdíl, tím větší je i intenzita filtrace.

Tvořící se vrstva vláken ze síťového bubnu je snímána snímacím válcem, z toho seškrabována stěrkou na skluz a dopravována mimo stroj. Filtrát je odváděn z vnitřního prostoru bubnu přes přepadové nádrže mimo stroj. Hladinu filtrátu uvnitř bubnu lze regulovat hradítky umístěnými v přepadových nádržích.

Odpadáváním vláken z tvořící se vrstvy na síťovém bubnu se obsah vodolátky ve vaně stroje za provozu zahušťuje a negativně ovlivňuje podmínky pro tvorbu vrstvy na síťovém bubnu. Tento jev zhoršuje výkony stroje a je průvodním jevem u všech obdobných strojů. Odváděním části zahuštěné vodolátky z vany stroje přes přepad se stabilizují podmínky pro tvorbu vrstvy vláken na síťovém bubnu. Odváděná část zahuštěné vodolátky dosahuje až 5ti násobek nátokové konzistence (dle charakteru a stavu vodolátky vstupující do stroje).

2.4 Technologické parametry stroje

Výkonové parametry stroje jsou závislé zejména na odvodňovací rychlosti vodolátky, tj. stupni mletí. Se vzrůstajícím stupněm mletí klesá výkon stroje. Kromě stupně mletí ovlivňuje výkon stroje obvodová rychlost bubnu, nátoková konzistence, požadovaný konečný stupeň zahuštění, hustota síta a řada dalších faktorů. V širokém rozsahu uváděné výkony jsou upřesňovány podle konkrétních technologických podmínek provozu.

Uváděné výkony je proto nutné považovat pouze za orientační. Pro obecnější orientaci se nejvyšší výkony dosahují při nejvyšší nátokové konzistenci a obvodové rychlosti síťového bubnu, ale při nejnižším stupni mletí vodolátky.

Tab. 1 Výkonové parametry stroje

Výkon [t/24h]			Konzistence [%]	
Buničina 15° SR	Dřevovina 45° - 50° SR	Sběrový papír 30° SR	Počáteční	Konečná
125 – 250	60 – 140	80 – 170	0,5 – 2	5 – 9

Výstupní konzistence - je závislá na pracovních otáčkách stroje, snímacího přtlaku, odvodnitelnosti látky a nastavení přepadu.

Čistota filtrátu - je ovlivňována hustotou použitého síta, obvodovou rychlostí bubnu a nedokonalostí těsnícího systému.

2.5 Konstrukční parametry stroje

Tab. 2 Konstrukční parametry stroje

Parametr		OK - 4000
Hmotnost stroje bez elektropřevodovky	[kg]	7088
Hmotnost stroje s elektropřevodovkou	[kg]	7632
Celková hmotnost stroje s látkou	[kg]	20977
Délka stroje	[mm]	5626
Šířka stroje	[mm]	2883
Výška stroje	[mm]	2788
Rozměry síťového bubnu	[mm]	Ø1915x4000
Hmotnost síťového bubnu	[kg]	2526
Rozměry snímacího válce	[mm]	Ø580x4000
Hmotnost snímacího válce	[kg]	1 204
Příkon elektromotoru pohonu stroje	[kW]	7,5
Přívod vodolátky		2xDN250, PN10
Odvod síťové vody		2xDN250, PN10

2.6 Jednotlivé části stroje

Odvodňovací stroj OK-4000 se skládá z jednotlivých konstrukčních částí, které jsou uvedeny v kapitole 2.2.

2.6.1 Vana stroje

Je svařované ocelové konstrukce z nerezavějící oceli 1.4541 (AISI 321). Součástí vany je vstup vodolátky do stroje. Vana je opatřena ve spodní části dvěma čistícími víky a na spodních stranách bočnic dvěma výpustnými hrdli DN-150. Odvod zahuštěné látky je součástí vany. Bočnice vany jsou dále opatřeny dvěma otvory pro odvod filtrátu vedoucími do přepadových skříní.

2.6.2 Přepadové skříně

Jsou svařované ocelové konstrukce z materiálu 1.4541 (AISI 321) přivařené k bočnici vany. Vnitřní část skříní lze rozdělit pomocí vkládaných nerezových hradítek, kterými určujeme výšku hladiny filtrátu uvnitř síťového bubnu.

2.6.3 Přepad

Je součástí svařované vany z nerezavějící oceli 1.4541 (AISI 321) zabudován ve výstupní části vany odvodňovacího stroje. Svým geometrickým tvarem tvoří vhodnou klínovou mezeru v oblasti vynořování síťového bubnu z hladiny vodolátky. Pomocí přepadu se odvádí část předzahuštěné vodolátky, a tím se stabilizují poměry pro snímanou vrstvu vodolátky ze síťového bubnu a současně se také zvyšuje výkon stroje. Další význam přepadu spočívá v tom, že v kritickém případě, tj. při přetížení stroje, slouží jako pojistný přepad.

2.6.4 Síťový buben

Síťový buben je navržen jako celosvařované konstrukce z nerezavějící oceli 1.4541 (AISI 321). – nosný plášť a rozety. Hřídel bubnu je trubková, z materiálu tř. 11, opláštěná plechem 1.4541. Podklad pro vrchní síť tvoří děrovaný nosný plášť. Buben je opatřen vrchním nerozebíratelným sítím označení (FA 1510 - S). Pro případnou výměnu po opotřebení je nutno použít totéž síť, avšak rozebíratelné (s rozebíratelným spojem). Toto je možné instalovat bez nutnosti vytažení síťového bubnu z vany stroje. Uložení síťového bubnu je řešeno na valivých ložiskách. Těsnění mezi bubnem a vanou stroje je řešeno jako pásové z měkčeného PVC. Opásání těsnění pokrývá celých 360°.

2.6.5 Snímací zařízení

Slouží ke snímání odvodněné vrstvy vodolátky ze síťového bubnu a její dopravu mimo stroj. Sestává z výkyvných pák, snímacího válce, škrabáku, zařízení umožňující změnu lineárního tlaku snímacího válce a skluzu.

- **Snímací válec**

Snímací válec je ocelové svařované konstrukce, staticky vyvážen. Veškeré vnější plochy válce jsou z nerezavějící oceli 1.4541 (AISI 321). Povrch válce je opatřen vrstvou pryže o tvrdosti 25° - 30° Sh. Uložení válce je valivé a uchycené na výkyvných pákách.

- **Stírací mechanismus**

Stírací mechanismus je tvořen z tělesa škrabáku, který je svařované konstrukce a otočně uchycen na výkyvných pákách. Dále ze stěrky škrabáku, která je zhotovena ze Soliduru a šrouby uchycena k tělesu škrabáku. Přítlak škrabáku lze regulovat pomocí excentrických závaží uchycených k tělesu škrabáku.

- **Přítlak snímacího válce**

Přítlak snímacího válce zajišťují pružinové teleskopy uchycené na pákách a zakotveny s vanou stroje. Lineární tlak snímacího válce lze regulovat v rozmezí 0 – 0,5 MPa/cm.

2.6.6 Nízkotlaká ostříková trubka

Zajišťuje ostřík a čištění síta síťového bubnu během provozu. Konstrukčně je řešena z materiálu 1.4541 (AISI 321) a opatřena tryskami s plochým ostříkem.

2.6.7 Pohon stroje

Pohon stroje zabezpečuje kuželočelní elektropřevodovka Flender pod označením KAD168-M132M4. Regulace otáček bubnu je plynulá. Obvodová rychlost síťového bubnu se volí pomocí frekvenčního měniče. Specifikace vybrané převodovky je uvedena v kapitole 6.5.

2.7 Standardní příslušenství stroje

Stroj je dodáván smontovaný v jednotlivých sestavách, a to:

- vana stroje včetně síťového bubnu a snímacího zařízení bez snímacího válce,
- snímací válec,
- elektropřevodovka pohonu,
- skluz,
- škrabák,
- šroubové spoje náležejících k demontovaným sestavám,

- chemické kotvení stroje.

2.8 Standardně používané prvky měření a regulace

Pokud je stroj řízen vizuálně obsluhou, není nutné vybavit ho prvky měření a regulace. Stroj je vybavený frekvenčním měničem zajišťujícím plynulou regulaci otáček síťového bubnu. Otáčky síťového bubnu se volí podle zpracovávaného množství vodolátky, a to tak, aby ve stroji byl vždy zajištěn přepad zahuštěné vodolátky přes hranu přepadu. Při maximálních otáčkách síťového bubnu se docílí maximálního výkonu stroje, avšak také nižší konzistence a čistoty výstupního filtrátu.

3 Instalace

3.1 Doprava a manipulace

Doporučení na způsob přepravy

Odvodňovací kruhový stroje se nakládá a dopravuje částečně demontovaný na několik částí. Pomocí závěsných konopných lan se dopravuje zvlášť vana stroje, síťový buben, snímací válec, elektropřevodovka pohonu a další menší součásti stroje jako je např. škrabák. Celková montáž jednotlivých dílů se provádí u zákazníka.

S uvedenými přepravními celky je nutno manipulovat tak, aby nedošlo k jejich poškození. Rovněž je při přepravě třeba zajistit řádné uložení a zajištění tak, aby jednotlivé části stroje nebyly poškozeny.

3.2 Prohlídka a převzetí

Zkontrolujte pečlivě, zda dodávka odpovídá Vaší objednávce, dodacímu listu a seznamu dílů. Informujte okamžitě dodavatele zařízení o všech zjištěných vadách a poškozeních. Při uskladnění na delší dobu je nutno provést celkovou konzervaci.

3.3 Instalace a montáž

Při montáži se odvodňovací stroj usazuje na betonový základ (přesnost provedení betonového základu je řešena v projektu). Zajištění stability stroje je provedeno pomocí kotevních šroubů. Montáž a instalaci stroje mohou provádět pouze pracovníci, kteří jsou dostatečně vyškoleni pro tuto činnost. Tato činnost probíhá pod technickým dozorem (např. vedoucí montér, najížděcí skupina nebo technik, konstruktér), při dodržování stanovených zásad (obsažených v montážní dokumentaci, konstrukční dokumentaci a provozní dokumentaci). Strojní celky jsou promazány a seřizeny. Celkové seřízení stroje nastává až po jeho celkové instalaci.

3.4 Uvedení do provozu

3.4.1 Kontrola a seřízení stroje před uvedením do provozu

Nasazování síta PESOS FA 1510 – S

Srážlivost síta FA 1510 – S je dána použitím speciálního vlákna v osnově tkaniny, které působením horké vody a páry se v délce srazí. Síta jsou dodávána s přípravky na obvod bubnu. Mohou být dodána se spojem rozebíratelným nebo nerozebíratelným. Rozebíratelný spoj umožňuje nasazovat síto přímo ve stroji, ale má nevýhodu, že v místě spoje je síto značně převýšené, což se projevuje nepříznivě na klidném chodu snímacího válce.

Seřízení snímacího válce

Vzdálenost snímacího válce od síťového bubnu seřídíme na vzdálenost 0,5 – 3 mm podle zpracovávané vodolátky. Řídíme se zásadou – čím menší stupeň mletí, tím vyšší mezera. Seřízení provádíme dorazovými šrouby umístěnými na vaně. Tímto a následným seřízením přtlaku snímacího válce je snímaná vrstva ze síťového bubnu lisována, aniž by snímací válec byl v přímém kontaktu se síťovým bubnem. Při běhu stroje naprázdno není nutné, aby se snímací válec otáčel.

Seřízení přtlaku snímacího válce

Na teleskopech nejprve uvolníme horní matici. Otáčením spodní matice stlačujeme pružinu umístěnou v horní části teleskopu tak dlouho, dokud snímací válec není prokazatelně nadlehčen. Poté otáčením horní matice teleskopu stlačujeme spodní pružinu ve spodní části teleskopu, a tím vyvíjíme lisovací tlak na snímací vrstvu.

Při seřizování přtlaku snímacího válce se řídíme zásadou, že výsledná konzistence zahuštěné vodolátky, tj. zahuštěná vodolátka ze snímacího válce a z přepadu musí být v souladu s technologickými potřebami. Nadměrné zahušťování s následným nařezáváním zahuštěné látky je vždy neekonomické. Přibližně požadovanou hustotu vodolátky můžeme získat přímo ze stroje správným seřízením přtlaku snímacího válce a velikosti přepadu vodolátky přes přepadovou hranu.

Seřízení škrabáku

Seřízení stěrky škrabáku se provádí až při montáži stroje před prvním protočením stroje. Při seřizování stěrky dbáme, aby břit stěrky korespondoval po celé délce s povrchem snímacího válce.

Seřízení otáček síťového bubnu

Otáčky síťového bubnu se volí podle zpracovávaného množství, a to tak, aby ve stroji byl vždy zajištěn přepad zahuštěné vodolátky přes hranu přepadu. Při maximálních otáčkách síťového bubnu se docílí maximálního výkonu stroje, ale také nejnižšího stupně mletí vodolátky.

Seřízení těsnění síťového bubnu

Před uvedením do provozu je nutno provést utažení těsnícího pásu mezi síťovým bubnem a vanou stroje. Opásání pokrývá 360° obvodu síťového bubnu, na konci je pás uchycen k dřívku šroubu pomocí něhož nastavujeme utažení pásu.

Vlivem počátečního provozu stroje a změně teploty dochází po 2 až 3 dnech provozu k prodloužení pásu a tím k jeho uvolnění. Je nutno po této době napnutí pásu obnovit. Dále kontrolujeme a seřizujeme těsnění síťového bubnu každých 14 dní provozu.

3.4.2 Postup uvedení stroje do provozu

Po seřízení zahušťovacího stroje je možné přistoupit samotnému zprovoznění. Uvedeme do chodu pohon síťového bubnu a spustíme ostřikovou vodu pro zvlhčení stroje. Poté je nutné stroj propláchnout vodou a provést prvotní nastavení regulačních armatur. Pokud je vše v pořádku, může se do zařízení přivést vodolátka. Množství a konzistenci zahuštěné látky lze regulovat jejím přívodem do vstupní části výškou hladiny odváděné filtrační vody pomocí přepadových hradítek a také regulací otáček síťového bubnu pomocí frekvenčního měniče. Po provedeném seřízení a konstantním přívodu média pracuje zahušťovač bez problémů.

3.4.3 Postup odstavení stroje v technologické lince

Zahušťovač je možno odstavit po jeho důkladném propláchnutí, tzn., že nejdříve je nutné vypnout přívod vodolátky a za soustavného promývání vodou jak z nezávislého, tak z ostřikové trubky se nechá stroj asi 3 – 5 minut v chodu. Poté je možné zahušťovač odstavit.

3.5 Provoz stroje

Nejen před uvedením stroje do provozu, ale také během provozu je nutné správné seřízení jednotlivých částí stroje (viz Kap. 3.4.). Při odpovědném seřízení a následné údržbě během provozu docílíme plného využití stroje v daném technologickém procesu a snížíme zátěž životního prostředí na minimum.

K tomu slouží:

- Plynulá a konstantní tloušťka vrstvy zahuštěné látky na snímácím válci.
- Volba výstupu látky taktéž pomocí frekvenčního měniče.
- Plynulé přepadávání přes přepad.
- Těsnění pásu.

3.6 Pokyny pro bezpečnost při práci

Při provozu stroje je nutno dodržovat:

- Při provozu stroje a jeho údržbě je nutno obsluhu důkladně seznámit se strojem a přísně dodržovat všeobecně platné předpisy týkající se bezpečnosti při práci. Pro obsluhu a údržbu vypracuje provozovatel provozní řád.

- Všeobecně platné předpis, týkající se bezpečnosti při práci (pořádek na pracovišti apod.)
- Opravy mohou provádět pouze osoby znalé, k tomu určené a mající příslušnou kvalifikaci.
- Před opětovným spuštěním stroje je nutno se přesvědčit, zda v pracovním prostoru stroje nejsou cizí předměty.
- Je zakázáno opravovat, čistit, mazat stroj (zařízení) za chodu.
- Je zakázáno při chodu stroje odstraňovat ochranné kryty.
- Je zakázáno za chodu stroje sahat do prostoru styku snímacího válce a síťového bubnu.
- Při přerušení energie zastavit přívod vodolátky do stroje, vypnout ovladače.
- Při přerušení elektrického proudu je nutno zabezpečit stroj odkazovou tabulkou.

4 Servis (obsluha a údržba)

4.1 Obsluha

Stroj OK mohou obsluhovat pouze pracovníci, kteří jsou pro tuto práci vyškoleni a dostatečně poučeni. Pracovníci obsluhy musí dodržovat pokyny uvedené v provozní dokumentaci k danému zařízení.

4.2 Údržba

Při ošetřování a údržbě je nutno dodržovat následující pokyny:

- Udržovat zařízení v náležitě čistotě.
- Provádět mazání pohyblivých částí stroje. Stroj je navržený tak, aby nutnost zásahu obsluhy byla minimální a k udržovaným místům byl dobrý přístup.
- Při čištění vnitřní pracovní části stroje je třeba mít stroj vypnutý a musí být zabezpečeno, aby stroj nemohl být spuštěn po dobu prací uvnitř stroje.
- Všechny opravy provádět při zastaveném stroji a dodržování platných bezpečnostních předpisů.

Údržba síťového potahu

Základním předpokladem k udržení maximálních výkonů je zajištění propustnosti síťového potahu. Tlakovým ostřikem se síto sice čistí, ale v průběhu delšího provozu dochází k jeho zanášení tzv. slizem. Z těchto důvodů se síťový buben musí čas od času proprat a to i s přidáním různých přísad (louh sodný, chlorid uhličitý, benzen a další). Vysrážené síto časově ztrácí své původní napnutí, proto se doporučuje nejméně po 2 měsících obnovit původní předpětí síta. Děje se to ofouknutím síta parou nebo horkou vodou a s výhodou lze tuto operaci spojit s praním síta. Se zachovanou propustností síta, se zvyšuje přímo i jeho životnost.

4.3 Výměna síta PESOS

Příprava bubnu

Síťový buben nejprve zbavíme starého potahu a odstraníme z jeho obvodu veškeré převýšeniny. Buben i vanu řádně očistíme. Mějme na paměti, že životnost síta se může podstatně zkrátit špatným podkladovým skeletem, nečistotami nebo ostrými vruby na podložném skeletu.

Pokud požíváme síto se spojem rozebíratelným, můžeme ho nasazovat na síťový buben přímo ve stroji.

Dodané síto volně nasuneme na síťový buben (popřípadě ho spojíme podélným spojem) a působením horké vody $70^{\circ} - 90^{\circ} \text{C}$ nebo páry přikročíme k jeho vysrážení. Dbáme přitom, aby síto bylo soustředně usazeno a nedošlo v procesu srážení k jeho “uzavření” (spoj musí být vždy rovnoměrně a podélnou osou bubnu). Horkou vodu nebo páru přivádíme k jeho okrajům. Okraje síta ke skeletu bubnu kotvíme bandáží a přečnávající okraje odstříháme. Buben je připraven k provoznímu použití.

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

5 Rozsah dodávky

5.1 Základní příslušenství

Viz 2.7. Standardní příslušenství stroje.

Stroj se dodává po jednotlivých sestavách. Montáž se provádí až na místě určení. Se strojem nejsou dodávány žádné náhradní díly. Ty se dodávají pouze na přání zákazníka.

5.2 Kotvící a montážní materiál

Stroj je ukotven k betonovému základu 4 ks chemických kotev.

5.3 Manipulační prostředky

Pro manipulaci s díly OK-4000 se používají standardní manipulační prostředky (např. mostový nebo automobilový jeřáb, vysoko zdvižný vozík, paletovací vozík, zvedáky atd.).

6 Výpočet pohonu

Při rozběhu soustavy předpokládáme rovnoměrně zrychlený pohyb všech pohybujících se částí z klidu do provozní rychlosti v za dobu t .

Elektromotor musí překonat moment pro udržení stálé rychlosti M_j , tj. moment na překonání pasivních odporů a moment na zrychlení rotačních hmot M_H .

6.1 Moment na překonání pasivních odporů

6.1.1 Moment čepového tření

Výpočet síl

Síla od síťového bubnu

$$F_1 = m_1 \cdot g \quad (1)$$

$$F_1 = 2526 \cdot 9,81$$

$$\underline{\underline{F_1 = 24780 \text{ N}}}$$

Kde:

$$m_1 = 2526 \text{ kg} \quad \text{hmotnost síťového bubnu}$$

Síla od snímacího válce

$$F_2 = m_2 \cdot g \quad (2)$$

$$F_2 = 1204 \cdot 9,81$$

$$\underline{\underline{F_2 = 11811 \text{ N}}}$$

Kde:

$$m_2 = 1204 \text{ kg} \quad \text{hmotnost snímacího válce}$$

Síla od motoru

$$F_m = m_m \cdot g \quad (3)$$

$$F_m = 544 \cdot 9,81$$

$$\underline{\underline{F_m = 5337 \text{ N}}}$$

Kde:

$$m_m = 544 \text{ kg} \quad \text{hmotnost motoru}$$

Vztlaková síla

Podle Archimédova zákona: *Velikost vztlakové síly je rovna tíze kapaliny tělesem vytlačené.*

$$F_{vz} = \rho \cdot g \cdot V_1 \quad (4)$$

$$F_{vz} = 997 \cdot 9,81 \cdot 0,258$$

$$F_{vz} = 2523 \text{ N}$$

Kde:

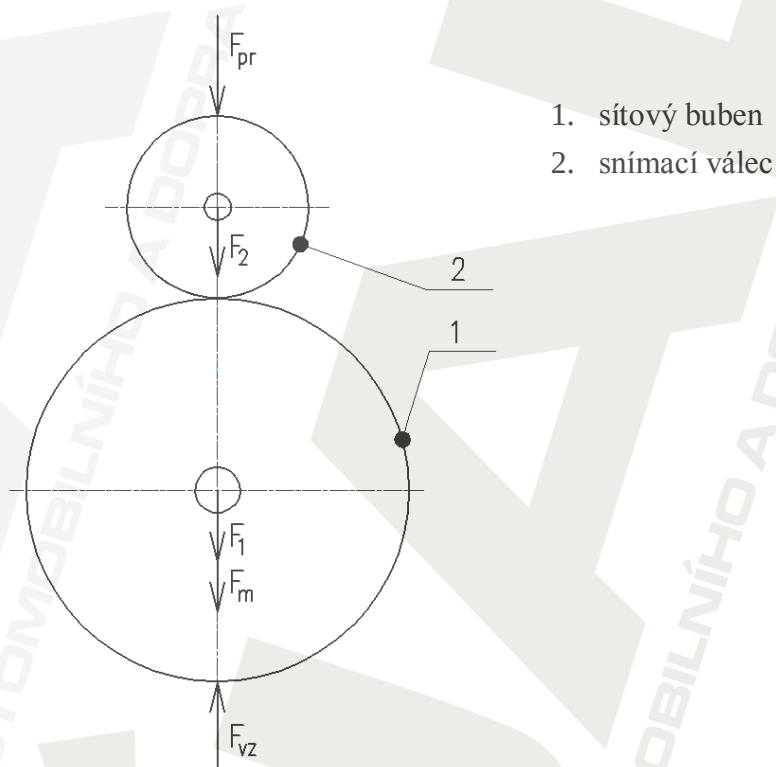
$$\rho = 997 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$V_1 = 0,258 \text{ m}^3$$

hustota vodolátky

objem vnořeného síťového bubnu ve vodolátce

(objem je vypočtený v programu Inventor)



Obr. 4 *Síly působící na síťový buben a snímací válec*

Uvolnění snímacího válce:

$$N_2 - F_2 - F_{pr} = 0$$

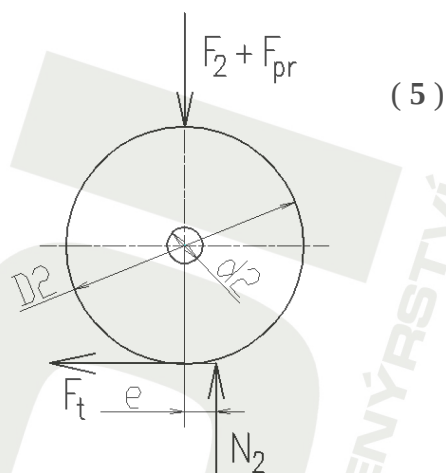
$$N_2 = F_2 + F_{pr}$$

$$N_2 = 11811 + 200$$

$$\underline{N_2 = 12011 \text{ N}}$$

FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ



Obr. 5 Uvolnění snímacího válce

Kde:

N_2

normálová síla snímacího válce

$F_2 = 11811 \text{ N}$

síla od snímacího válce

$F_{pr} = 200 \text{ N}$

přítlačná síla

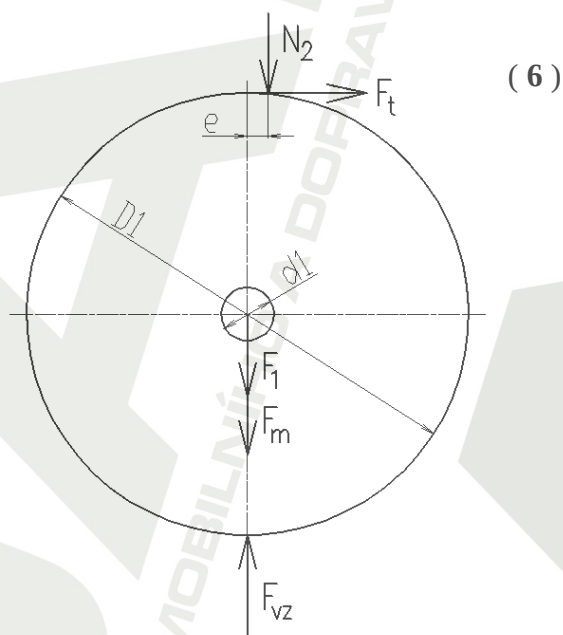
Uvolnění síťového bubnu:

$$N_1 + F_{vz} - F_1 - N_2 - F_m = 0$$

$$N_1 = -F_{vz} + F_1 + N_2 + F_m$$

$$N_1 = -2523 + 24780 + 12011 + 5337$$

$$\underline{N_1 = 39605 \text{ N}}$$



Obr. 6 Uvolnění síťového bubnu

Kde:

N_1

normálová síla síťového bubnu

$F_{vz} = 2523$

vztlaková síla

$F_1 = 24780 \text{ N}$

síla od síťového bubnu

$N_2 = 12011 \text{ N}$

normálová síla snímacího válce

$F_m = 5337 \text{ N}$

Síla od motoru

Výpočet momentu

Moment na snímacím válci

$$M_2 = N_2 \cdot \left(f \cdot \frac{d_2}{2} + e \right) \quad (7)$$

$$M_2 = 12011 \cdot \left(0,02 \cdot \frac{60}{2} + 10 \right)$$

$$M_2 = 127317 \text{ N.mm} \Rightarrow \underline{\underline{127,3 \text{ N.m}}}$$

Kde:

$$N_2 = 12011 \text{ N}$$

$$f = 0,02$$

$$d_2 = 60 \text{ mm}$$

$$e = 10 \text{ mm}$$

normálová síla snímacího válce

součinitel čepového tření (pro valivá ložiska) dle [2] str. 64

průměr čepu pod ložiskem u snímacího válce

rameno valivého odporu (tvrdá pryž na oceli) dle [8]

Moment na síťovém bubnu

$$M_1 = N_1 \cdot f \cdot \frac{d_1}{2} + N_2 \cdot e \quad (8)$$

$$M_1 = 39605 \cdot 0,02 \cdot \frac{110}{2} + 12011 \cdot 10$$

$$M_1 = 163676 \text{ N.mm} \Rightarrow \underline{\underline{163,7 \text{ N.m}}}$$

Kde:

$$N_1 = 39605 \text{ N}$$

$$f = 0,02$$

$$d_1 = 110 \text{ mm}$$

$$N_2 = 12011 \text{ N}$$

$$e = 10 \text{ mm}$$

normálová síla síťového bubnu

součinitel čepového tření (pro valivá ložiska) dle [2] str. 64

průměr čepu pod ložiskem u síťového bubnu

normálová síla snímacího válce

rameno valivého odporu (tvrdá pryž na oceli) dle [8]

Celkový moment čepového tření

$$M_C = M_1 + M_2 \quad (9)$$

$$M_C = 163,7 + 127,3$$

$$\underline{\underline{M_C = 291 \text{ N.m}}}$$

Kde:

$$M_1 = 163,7 \text{ N.m}$$

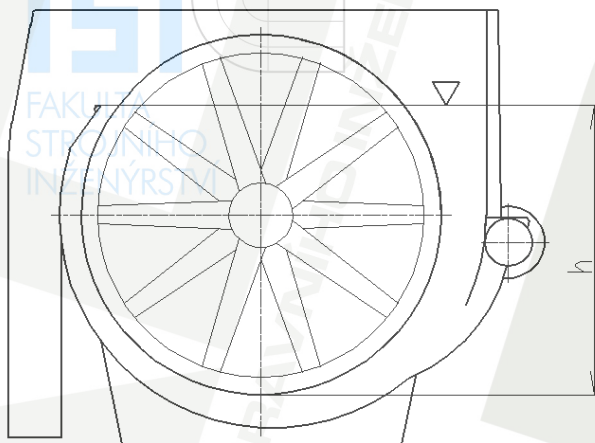
$$M_2 = 127,3 \text{ N.m}$$

moment na síťovém bubnu

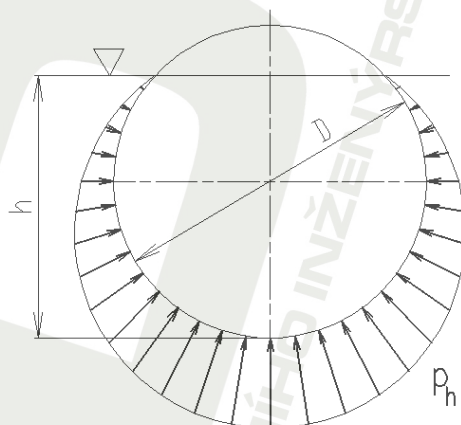
moment na snímacím válci

6.1.2 Třecí moment těsnění

Předpokládáme, že síla působící na těsnění F_{ph} se musí rovnat utahovací síle. Je to tedy minimální síla, kterou musíme utáhnout těsnění, aby nedocházelo k protékání vodolátky do válce (tedy netěsnostem).



Obr. 7 Výška vodolátky ve vaně



Obr. 8 Působící tlak

Hydrostatický tlak

$$p_h = \rho \cdot g \cdot h \quad (10)$$

$$p_h = 997 \cdot 9,81 \cdot 1,536$$

$$\underline{p_h = 15023 \text{ Pa}} \Rightarrow \underline{0,01502 \text{ MPa}}$$

Kde:

$$\rho = 997 \text{ kg.m}^{-3}$$

hustota vodolátky

$$h = 1,536 \text{ m}$$

hloubka výška hladiny vodolátky ve vaně

Plocha těsnění

$$S = \pi \cdot D \cdot \text{š} \quad (11)$$

$$S = \pi \cdot 1890 \cdot 60$$

$$\underline{S = 356257 \text{ mm}^2}$$

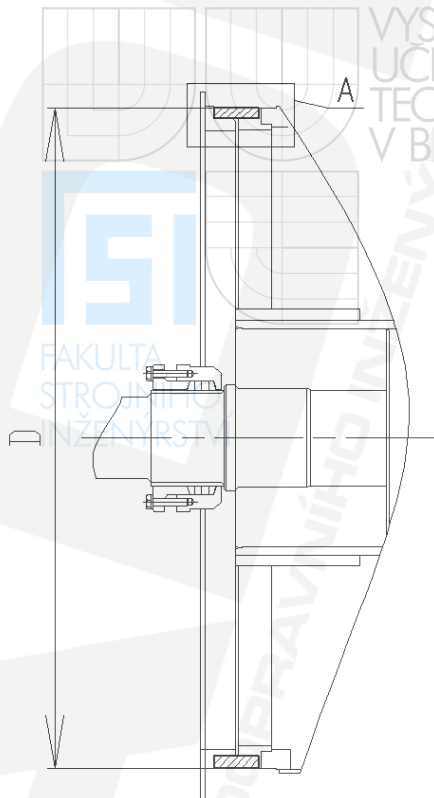
Kde:

$$D = 1890 \text{ mm}$$

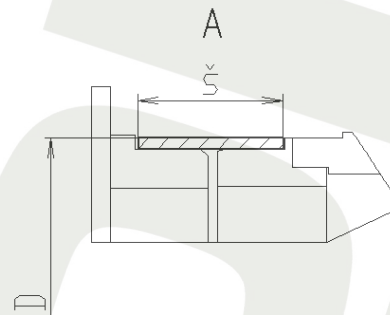
těsnící průměr

$$\text{š} = 60 \text{ mm}$$

šířka těsnění



Obr. 9 Těsnící průměr



Obr. 10 Detail těsnění

Síla působící na těsnění

$$F_{ph} = p_h \cdot S$$

(12)

$$F_{ph} = 0,01502 \cdot 356257$$

$$\underline{\underline{F_{ph} = 5351 \text{ N}}}$$

Kde:

$p_h = 0,01502 \text{ MPa}$ hydrostatický tlak
 $S = 356257 \text{ mm}^2$ plocha těsnění

Třecí síla těsnění o buben

$$F_T = F_{ph} \cdot f_2$$

(13)

$$F_T = 5351 \cdot 0,3$$

$$\underline{\underline{F_T = 1606 \text{ N}}}$$

Kde:

$F_{ph} = 5351 \text{ N}$ síla působící na těsnění
 $f_2 = 0,3$ součinitel smykového tření dle [1] str. 34

Třecí moment

$$M_T = 2 \cdot \left(F_T \cdot \frac{D}{2} \right) \quad (14)$$

$$M_T = 2 \cdot \left(1606 \cdot \frac{1890}{2} \right)$$

$$M_T = 3035340 \text{ N.mm} \Rightarrow 3035 \text{ N.m}$$

Na začátku vzorce (14) je dvojka, protože se jedná o dvě těsnící plochy.

Kde:

$F_T = 1606 \text{ N}$ třecí síla těsnění o buben
 $D = 1890 \text{ mm}$ těsnící průměr

6.1.3 Moment motoru na zrychlení rotačních hmot

Moment setrvačných hmot

$$I_C = I_1 + I_2 + m_2 \cdot a^2 \quad (15)$$

$$I_C = 1270,3 + 194,2 + 1204 \cdot 1,2475^2$$

$$I_C = 3338 \text{ kg.m}^2$$

Kde:

$I_1 = 1270,3 \text{ kg.m}^2$ kvadratický moment setrvačnosti pro síťový buben
 $I_2 = 194,2 \text{ kg.m}^2$ kvadratický moment setrvačnosti pro snímací válec
 $m_2 = 1204 \text{ kg}$ hmotnost snímacího válce
 $a = 1,2475 \text{ m}$ osová vzdálenost mezi síťovým bubnem a snímacím válcem

Hodnoty kvadratických momentů setrvačnosti I_1 , I_2 jsou vypočítané v programu Inventor.

Úhlová rychlost

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{př}}}{60} \quad (16)$$

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 14}{60}$$

$$\omega_1 = 1,466 \text{ rads}^{-1}$$

Kde:

$n_{\text{př}} = 14 \text{ min}^{-1}$ předpokládané otáčky síťového bubnu

Moment zrychlení

$$M_H = I_C \cdot \frac{\omega_1}{t} \quad (17)$$

$$M_H = 3338 \cdot \frac{1,466}{2}$$

$$M_H = 2447 \text{ N.m}$$

Kde:

$$I_C = 3338 \text{ kg.m}^2$$

moment setrvačných hmot

$$\omega_1 = 1,466 \text{ rad.s}^{-1}$$

úhlová rychlost

$$t = 2 \text{ s}$$

předpokládaný čas rozběhu

6.2 Jmenovitý moment

$$M_J = \beta \cdot (M_C + M_T) \quad (18)$$

$$M_J = 1,3 \cdot (291 + 3035)$$

$$M_J = 4324 \text{ N.m}$$

Kde:

$$\beta = 1,3$$

bezpečnosti koeficient motoru

$$M_C = 291 \text{ N.m}$$

celkový moment čepového tření

$$M_T = 3035 \text{ N.m}$$

třecí moment

6.3 Rozběhový moment

Vypočtený rozběhový moment M_R musí být stejný nebo menší, než je záběrový moment elektromotoru. Např. u asynchronních elektromotorů s kotvou nakrátko je záběrový moment 2 až 3 krát větší než jmenovitý [2].

$$M_R = M_J + M_H \quad (19)$$

$$M_R = 4324 + 2447$$

$$M_R = 6771 \text{ N.m}$$

Kde:

$$M_J = 4324 \text{ N.m}$$

jmenovitý moment

$$M_H = 2447 \text{ N.m}$$

moment zrychlení

6.4 Potřebný výkon motoru

$$P = \frac{M_J \cdot n_{pr}}{9550 \cdot \eta} \quad (20)$$

$$P = \frac{4324 \cdot 14}{9550 \cdot 0,87}$$

$$P = 7,29 \text{ kW}$$

Kde:

$$M_J = 4324 \text{ N.m}$$

jmenovitý moment

$$n_{pr} = 14 \text{ min}^{-1}$$

předpokládané otáčky síťového bubnu

$$\eta = 87\%$$

volená účinnost mechanismu

Nejbližší vyšší elektromotor, který by odpovídal požadovaným parametrům je 7,5 kW.

Dle katalogu [4]

6.5 Specifikace elektromotoru

Tab. 3 Parametry elektromotoru

Typ převodovky:	kuželočelní převodovka
Označení typu:	KAD168-M132M4
Stavební poloha:	H-01 A
Jmen. kroutící moment převodovky:	13.500 Nm
Převodový poměr:	104,18
Výstupní kroutící moment:	5146 Nm
Provozní součinitel:	2,6
Výstupní otáčky:	14 min ⁻¹
Výkon motoru:	7,5 kW
Asynchronní otáčky:	1.450 min ⁻¹
Jmen. proud motoru:	23 / 15 A
Rozběhový proud motoru:	6,5 I _A / I _N
Frekvence sítě, napětí motoru	50 Hz, 220 – 240 / 380 – 420 V
Izolační třída:	F
Poloha svorkovnice:	1A
Typ upevnění:	Momentové rameno
Výstupní hřídel:	Dutá hřídel (H100 x 410)
Krytí:	IP 55
Nátěr:	Plastový, černá, matná
Váha cca:	544 kg
Množství oleje:	22 l

Na motoru bude připevněn frekvenční měnič, kterým je možno měnit obvodovou rychlost síťového bubnu v rozmezí 42 – 117 m / min, tj. v rozmezí frekvence motoru 25 – 60 Hz. Tzn., že bude měnit otáčky motoru v rozmezí 50 – 140%. V tomto rozsahu regulace není potřeba přidávat na motor přidavné chlazení.

6.6 Záběrový moment motoru

$$M_{za} = 2,7 \cdot M_v \quad (21)$$

$$M_{za} = 2,7 \cdot 5146$$

$$M_{za} = 13894 \text{ N.m}$$

Kde:

$$M_v = 5146 \text{ N.m} \quad \text{výstupní krouticí moment převodovky}$$

Hodnota 2,7 je hodnota záběrového momentu

6.7 Porovnání rozběhového momentu

Kontrola spočívá v porovnání dvou momentů a to, momentu rozběhového M_R s momentem záběrovým M_{za} . Při porovnání těchto dvou momentů musí být rozběhový moment menší nanejvýš stejný jako moment záběrový.

$$M_R \leq M_{za}$$

$$6771 \leq 13894 \quad (22)$$

Kde:

$$M_R = 6771 \text{ N.m}$$

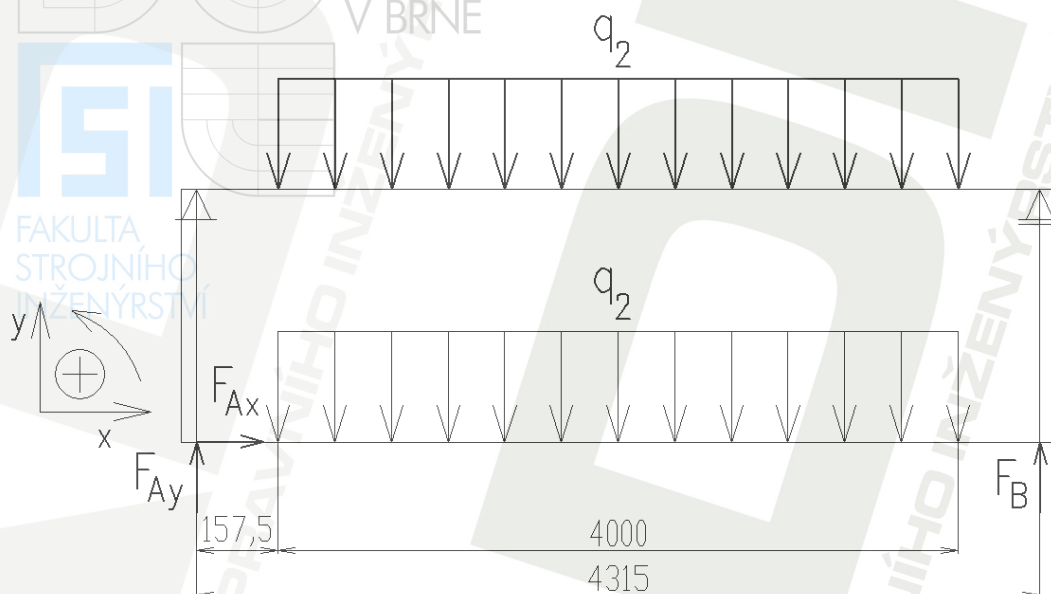
$$M_{za} = 13894 \text{ N.m}$$

$$\underline{M_R = 6771 \text{ N.m}} \Rightarrow \underline{M_K = 6771 \cdot 10^3 \text{ N.mm}} \quad (23)$$

Z porovnání je patrné, že rozběhový moment je menší než moment záběrový. Je tedy možno říci, že vybraný motor bude vyhovovat požadavkům. Pro pevnostní výpočet bude použit moment M_K , který je roven momentu rozběhovému.

7 Pevnostní analýza

7.1 Snímací válec



Obr. 11 Uvolnění síťového bubnu

7.1.1 Uvolnění snímacího válce:

$$x : F_{Ax} = 0 \quad (24)$$

$$y : F_{Ay} - q_2 + F_B = 0 \quad (25)$$

$$M_A : -q_2 \cdot 4000 \cdot \left(\frac{4000}{2} + 157,5 \right) + F_B \cdot 4315 = 0 \quad (26)$$

Po dosazení a úpravách

$$\Rightarrow F_B = \frac{3,003 \cdot 4000 \cdot 2157,5}{4315}$$

$$\underline{F_B = 6006 \text{ N}}$$

$$F_{Ay} = 3,003 \cdot 4000 - 6006$$

$$\underline{F_{Ay} = 6006 \text{ N}}$$

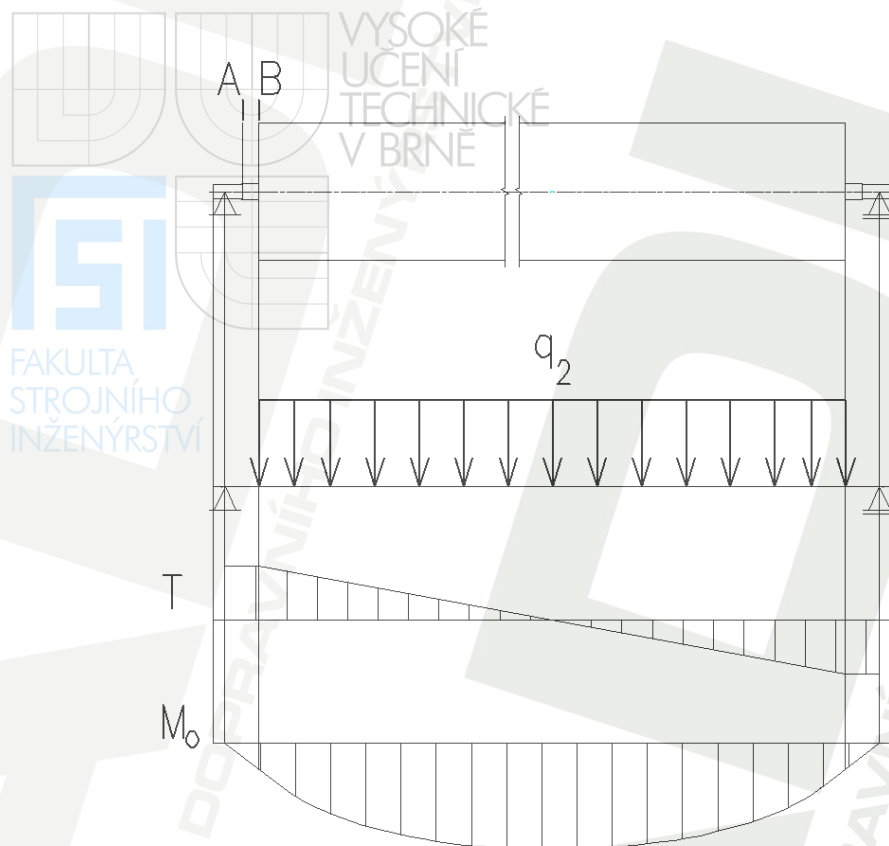
Kde:

F_{Ax} reakce v bodě A v ose x u snímacího válce

F_{Ay} reakce v bodě A v ose y u snímacího válce

F_B reakce v bodě B u snímacího válce

$q_2 = 3,003 \text{ N.mm}$ liniové zatížení snímacího válce



Obr. 12 VVU snímacího válce

Materiál čepu:

1.4541 český ekvivalent 17 246

$R_m = 500 - 700$ MPa

mez pevnosti

$R_e = 210$ MPa

mez kluzu (dovolené napětí)

Dle [5]

7.1.2 Průřezové charakteristiky průřezu A

Modul průřezu v ohybu

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_2^3}{32}$$

(27)

$$W_o = \frac{\pi \cdot 60^3}{32}$$

$$\underline{\underline{W_o = 21206 \text{ mm}^3}}$$

Kde:

$d_2 = 60$ mm

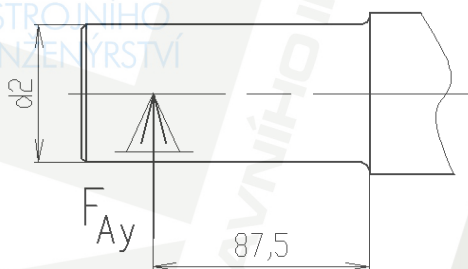
průměr čepu pod ložiskem u snímacího válce

Ohybové napětí průřezu A

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F_{Ay} \cdot 87,5}{W_o} \quad (28)$$

$$\sigma_o = \frac{6006 \cdot \text{N} \cdot 87,5}{21206}$$

$$\sigma_o = 24,8 \text{ MPa}$$



Obr. 13 Čep snímacího válce

Kde:

$F_{Ay} = 6006 \text{ N}$ reakce v bodě A v ose y u snímacího válce
 $W_o = 21206 \text{ mm}^3$ modul průřezu v ohybu

7.1.2.1 Koncentrace napětí

Náhlé změny tvaru (vruby) jako např. díry, drážky, zápichy způsobují místní změny napjatosti, které vedou ke koncentraci napětí.

Idea součinitele koncentrace napětí předpokládá, že napětí v místě vrubu se stanoví jako součin nominálního napětí σ_{nom} a součinitele koncentrace napětí α . Součinitel koncentrace napětí je bezrozměrná hodnota a stanoví z grafu na **Obr. 14**.

Nominální ohybové napětí

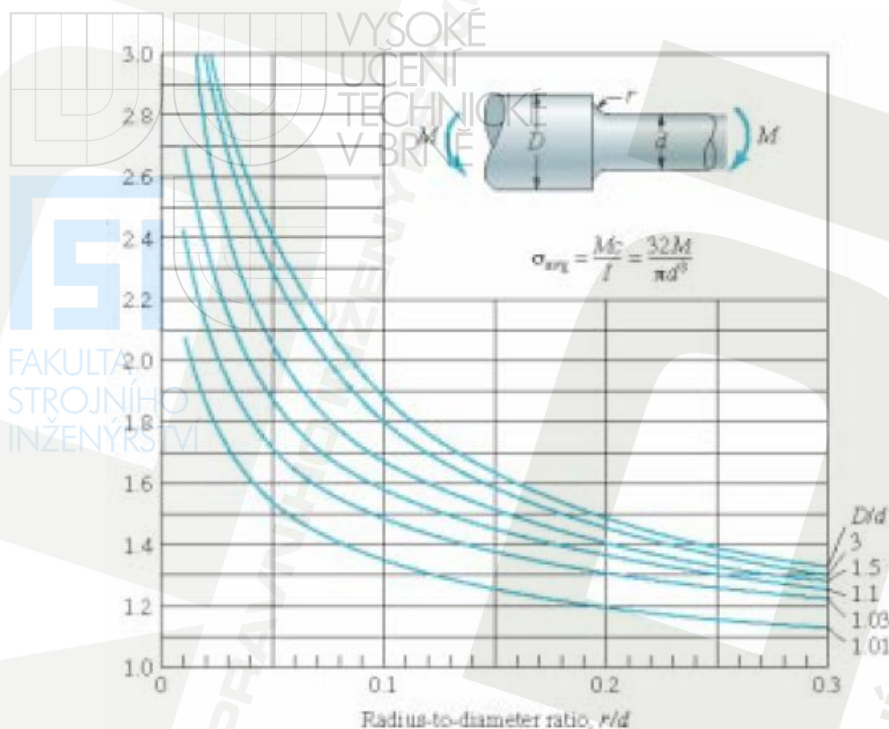
$$\sigma_{nom} = \alpha_o \cdot \sigma_o \quad (29)$$

$$\sigma_{nom} = 1,9 \cdot 24,8$$

$$\sigma_{nom} = 47,1 \text{ MPa} < R_e = 210 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde:

$\sigma_o = 24,8 \text{ MPa}$ ohybové napětí
 $\alpha_o = 1,9$ součinitel koncentrace napětí pro ohyb (odečtený z grafu)



Obr. 14 Součinitel koncentrace napětí u osazeného hřídele pro ohyb

Bezpečnost

$$k = \frac{R_e}{\sigma_o}$$

$$k = \frac{210}{47,1}$$

$$k = 4,46$$

(30)

Kde:

$\sigma_{red} = 124,8 \text{ MPa}$ redukované napětí

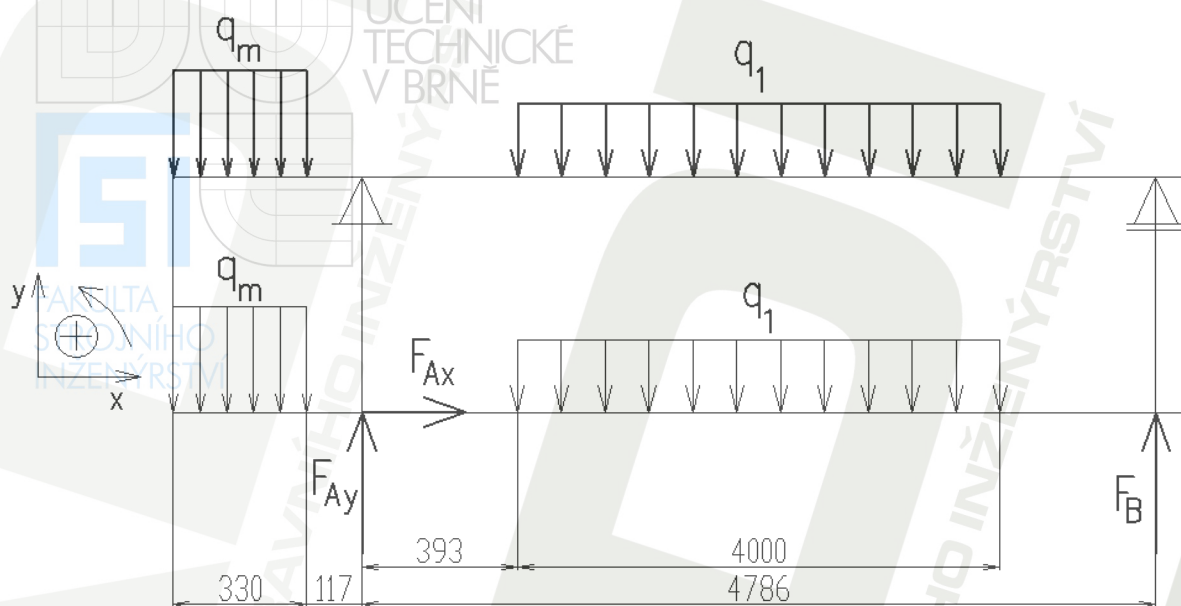
$R_e = 210 \text{ MPa}$ dovolené napětí

Tabulka napětí a bezpečnosti jednotlivých průřezů snímacího válce

Tab. 4 Napětí v jednotlivých průřezích snímacího válce

	Napětí σ_o [MPa]	Bezpečnost k [-]
Průřez A	47,1	4,46
Průřez B	55,1	3,81

7.2 Síťový buben



Obr. 15 Uvolnění síťového bubnu

7.2.1 Uvolnění síťového bubnu:

$$x : F_{Ax} = 0 \quad (31)$$

$$y : -q_m \cdot 330 + F_{Ay} - q_1 \cdot 4000 + F_B = 0 \quad (32)$$

$$M_A : q_m \cdot 330 \cdot \left(\frac{330}{2} + 117 \right) - q_1 \cdot 4000 \cdot \left(\frac{4000}{2} + 393 \right) + F_B \cdot 4786 = 0 \quad (33)$$

Po dosazení a úpravách

$$\Rightarrow F_B = \frac{-16,17 \cdot 330 \cdot 282 + 8,567 \cdot 4000 \cdot 2393}{4786}$$

$$F_B = 16820 \text{ N}$$

$$F_{Ay} = 16,17 \cdot 330 + 8,567 \cdot 4000 - 16820$$

$$F_{Ay} = 22784 \text{ N}$$

Kde:

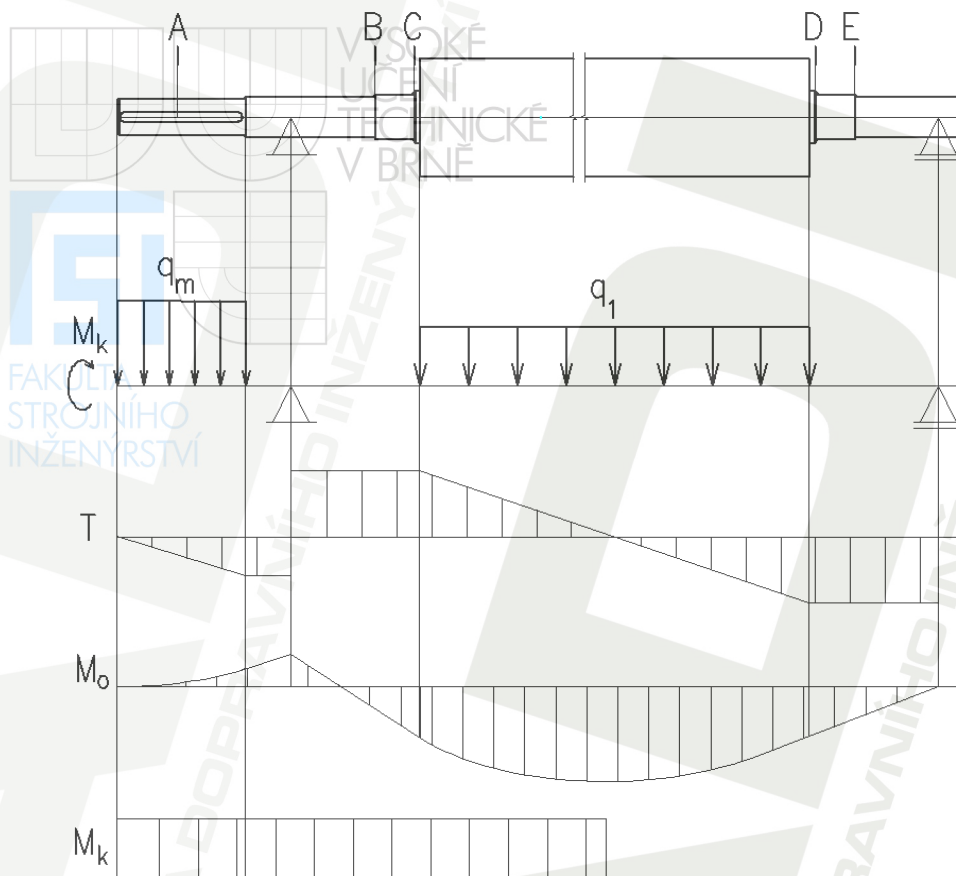
F_{Ax} reakce v bodě A v ose x u síťového bubnu

F_{Ay} reakce v bodě A v ose y u síťového bubnu

F_B reakce v bodě B u síťového bubnu

$q_1 = 8,567 \text{ N.mm}^{-1}$ liniové zatížení síťového bubnu

$q_m = 16,17 \text{ N.mm}^{-1}$ liniové zatížení od motoru



Obr. 16 VVU síťového bubnu

Materiál čepu:

1.4541 český ekvivalent 17 246

$R_m = 500 - 700 \text{ MPa}$

mez pevnosti

$R_e = 210 \text{ MPa}$

mez kluzu (dovolené napětí)

Dle [5]

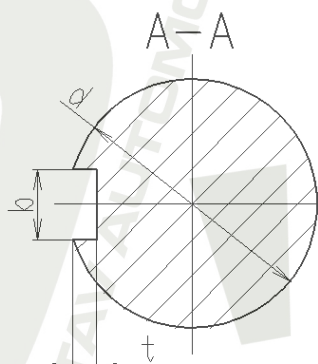
7.2.2 Průřezové charakteristiky průřezu A

Modul průřezu v ohybu

$$W_o = \frac{\pi \cdot (d - t)^3}{32}$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot (100 - 9,9)^3}{32}$$

$$W_o = 71808 \text{ mm}^3$$



(34)

Obr. 17 Průřez A

Modul průřezu v krutu

$$W_K = \frac{\pi \cdot (d - t)^3}{16} \quad (35)$$

$$W_K = \frac{\pi \cdot (100 - 9,9)^3}{16}$$

$$W_K = 143617 \text{ mm}^3$$

Kde:

$d = 100 \text{ mm}$

$t = 9,9 \text{ mm}$

průměr vstupního hřídele síťového bubnu
 hloubka drážky pro pero

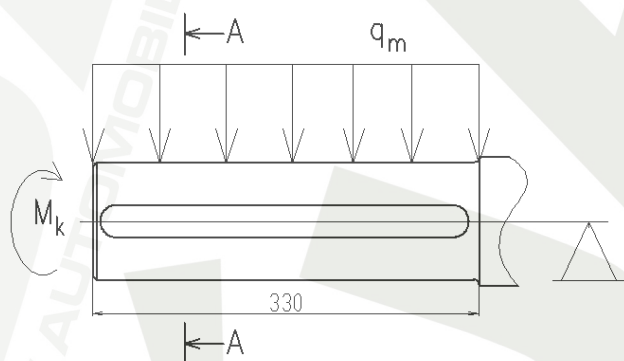
Namáhání průřezů A

Napětí v ohybu

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{q_m \cdot 330 \cdot \frac{330}{2}}{W_o} \quad (36)$$

$$\sigma_o = \frac{16,17 \cdot 330 \cdot \frac{330}{2}}{71808}$$

$$\sigma_o = 12,3 \text{ MPa}$$



Obr. 18 Vstupní hřídel síťového bubnu

Kde:

$q_m = 16,17 \text{ N.mm}^{-1}$ liniové zatížení od motoru

$W_o = 71808 \text{ mm}^3$ modul průřezu v ohybu

Napětí v krutu

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} \quad (37)$$

$$\tau_K = \frac{6771 \cdot 10^3}{143617}$$

$$\tau_K = 47,1 \text{ MPa}$$

Kde:

$$M_K = 6771 \cdot 10^3 \text{ N.mm}$$

záběrový moment

$$W_K = 143617 \text{ mm}^3$$

modul v průřezu v krutu

Napětí redukované

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_K^2} \quad (38)$$

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{12,3^2 + 3 \cdot 47,1^2}$$

$$\sigma_{\text{red}} = 82,5 \text{ MPa} < R_e = 210 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde:

$$\sigma_o = 12,3 \text{ MPa}$$

napětí v ohybu

$$\tau_K = 47,1 \text{ MPa}$$

napětí v krutu

Bezpečnost

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{\text{red}}} \quad (39)$$

$$k = \frac{210}{82,5}$$

$$k = 2,55$$

Kde:

$$\sigma_{\text{red}} = 82,5 \text{ MPa}$$

redukované napětí

$$R_e = 210 \text{ MPa}$$

dovolené napětí

7.2.3 Průřezové charakteristiky průřezu B

Modul průřezu v ohybu

$$W_o = \frac{\pi \cdot d_1^3}{32} \quad (40)$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot 110^3}{32}$$

$$W_o = 130671 \text{ mm}^3$$

Modul průřezu v krutu

$$W_k = \frac{\pi \cdot d_1^3}{16} \quad (41)$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot 110^3}{16}$$

$$W_k = 261341 \text{ mm}^3$$

Kde:

$$d_1 = 110 \text{ mm}$$

průměr čepu pod ložiskem u síťového bubnu

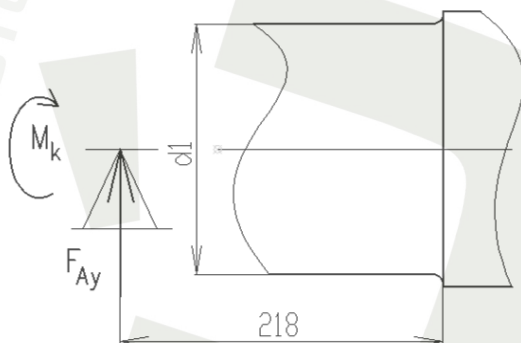
Namáhání průřezů B

Napětí v ohybu

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F_{Ay} \cdot 218}{W_o} \quad (42)$$

$$\sigma_o = \frac{22784 \cdot 218}{130671}$$

$$\sigma_o = 38 \text{ MPa}$$



Obr. 19 Čep

Kde:

$$F_{Ay} = 22784 \text{ N}$$

reakce v bodě A v ose y u síťového bubnu

$$W_o = 130671 \text{ mm}^3$$

modul průřezu v ohybu

Napětí v krutu

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} \quad (43)$$

$$\tau_K = \frac{6771 \cdot 10^3}{261341}$$

$$\tau_K = 25,9 \text{ MPa}$$

Kde:

$$M_K = 6771 \cdot 10^3 \text{ N.mm}$$

záběrový moment

$$W_K = 261341 \text{ mm}^3$$

modul v průřezu v krutu

7.2.3.1 Koncentrace napětí

Náhlé změny tvaru (vruby) jako např. díry, drážky, zápichy způsobují místní změny napjatosti, které vedou ke koncentraci napětí.

Idea součinitele koncentrace napětí předpokládá, že napětí v místě vrubu se stanoví jako součin nominálního napětí σ_{nom} nebo τ_{nom} a součinitele koncentrace napětí α . Součinitel koncentrace napětí je bezrozměrná hodnota a stanoví z grafu na **Obr. 20** a z **Obr. 21**.

Nominální ohybové napětí

$$\sigma_{nom} = \alpha_o \cdot \sigma_o \quad (44)$$

$$\sigma_{nom} = 1,95 \cdot 38$$

$$\sigma_{nom} = 74,1 \text{ MPa}$$

Nominální krutové napětí

$$\tau_{nom} = \alpha_k \cdot \tau_K \quad (45)$$

$$\tau_{nom} = 1,5 \cdot 25,9$$

$$\tau_{nom} = 38,9 \text{ MPa}$$

Kde:

$$\sigma_o = 38 \text{ MPa}$$

ohybové napětí

$$\alpha_o = 1,95$$

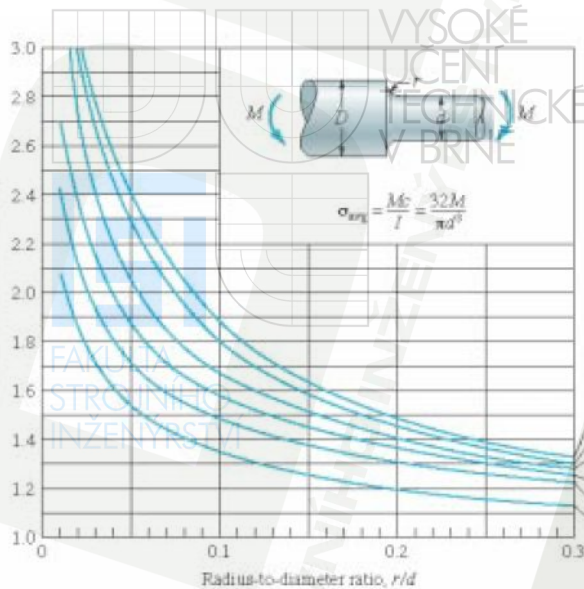
součinitel koncentrace napětí pro ohyb (odečteno z grafu)

$$\tau_K = 25,9 \text{ MPa}$$

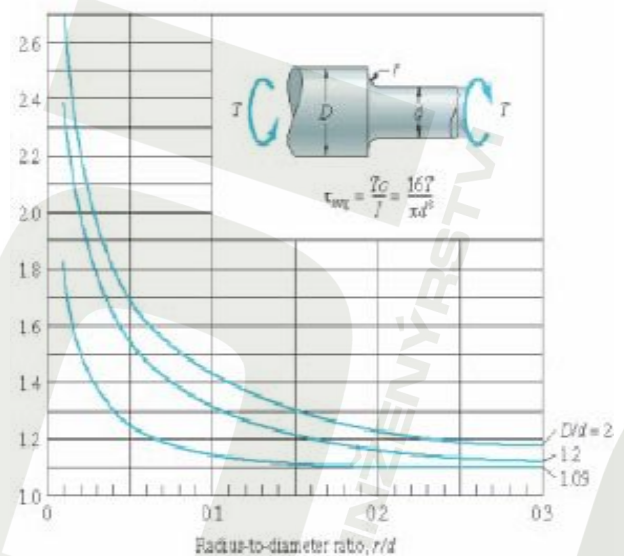
napětí v krutu

$$\alpha_k = 1,5$$

součinitel koncentrace napětí pro krut (odečteno z grafu)



Obr. 20 Součinitel koncentrace napětí u osazeného hřídele pro ohyb



Obr. 21 Součinitel koncentrace napětí u osazeného hřídele pro krut

Napětí redukované

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma_{\text{nom}}^2 + 3 \cdot \tau_{\text{nom}}^2} \quad (46)$$

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{74,1^2 + 3 \cdot 38,9^2}$$

$$\sigma_{\text{red}} = 100,2 \text{ MPa} < R_e = 210 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde:

$\sigma_{\text{nom}} = 74,1 \text{ MPa}$ nominální napětí v ohybu

$\tau_{\text{nom}} = 38,9 \text{ MPa}$ nominální napětí v krutu

Bezpečnost

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{\text{red}}} \quad (47)$$

$$k = \frac{210}{100,2}$$

$$k = 2,1$$

Kde:

$\sigma_{\text{red}} = 100,2 \text{ MPa}$ redukované napětí

$R_e = 210 \text{ MPa}$ dovolené napětí

Tab. 5 Redukované napětí v jednotlivých průřezích síťového bubnu

	Napětí σ_{red} [MPa]	Bezpečnost k [-]
Průřez A	82,5	2,55
Průřez B	100,2	2,1
Průřez C	108,5	1,94

Tab. 6 Napětí v jednotlivých průřezích síťového bubnu

	Napětí σ_o [MPa]	Bezpečnost k [-]
Průřez D	61,6	3,41
Průřez E	54,8	3,83

V tabulce č. 5 je kombinace napětí ohybového a kroutícího, proto se zde počítá s redukovaným napětím σ_{red} . V tabulce č. 6 už se počítá pouze s napětím ohybovým.

7.3 Pevnostní kontrola pera na otláčení

Přenášený kroutící moment je omezen velikostí dovoleného tlaku pro ocelová pera [p_D].

Materiál pera:

11 600

$p_D = 120$ MPa

dovolené napětí

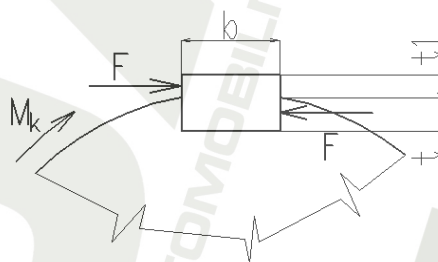
Dle [3].

Síla působící na pero

$$F = \frac{M_K}{\frac{d}{2}}$$

$$F = \frac{6771 \cdot 10^3}{\frac{100}{2}}$$

$$F = 135420 \text{ N}$$



(48)

Obr. 22 Síla působící na pero

Kde:

$M_K = 6771 \cdot 10^3$ N.mm

záběrový moment

$d = 100$ mm

průměr výstupního hřídele síťového bubnu

Otlačení

$$p = \frac{F}{t_1 \cdot l}$$

$$p = \frac{135420}{6,1 \cdot 287}$$

$$p = 77,4 \text{ MPa} < p_D = 120 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

(49)

Kde:

$$F = 135420 \text{ N}$$

$$t_1 = 6,1 \text{ mm}$$

$$l = 287 \text{ mm}$$

síla působící na pero

hloubka drážky v náboji

pracovní délka pera

8 Výpočet výdržnosti ložisek

8.1 Ložisko pro síťový buben

Typ ložiska 23222 CCK / W33

Dle [6]

Trvanlivost ložiska

Na síťovém bubnu jsou vlivem rozložení zátěže dvě různě působící síly na ložiska. Pro výpočet jsem vybral síly větší, která působí na straně pohonu F_{Ay} . Tato síla byla spočtena v předchozích vztazích (viz vzorec 32).

$$L_h = \left(\frac{C}{F_{Ay}} \right)^m \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \quad (50)$$

$$L_h = \left(\frac{600 \cdot 10^3}{22784} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 14}$$

$$L_h = 65196872 \text{ hod}$$

Kde:

$$C = 600 \cdot 10^3 \text{ N}$$

dynamická únosnost ložiska

$$C_0 = 765 \cdot 10^3 \text{ N}$$

statická únosnost ložiska

$$P_U = 76500 \text{ N}$$

mezní únavové zatížení ložiska

$$m = \frac{10}{3}$$

koeficient pro válečková ložiska

$$F_{Ay} = 22784 \text{ N}$$

reakce v bodě A v ose y u síťového bubnu

8.2 Ložisko pro snímací válec

Typ ložiska 22213 EK

Dle [6].

Otáčky snímacího válce

$$n_2 = \frac{n \cdot \frac{D_1}{2}}{\frac{D_2}{2}} \quad (51)$$

$$n_2 = \frac{14 \cdot \frac{1915}{2}}{\frac{580}{2}}$$

$$n_2 = 46,22 \text{ min}^{-1}$$

Kde:

$$n = 14 \text{ min}^{-1}$$

$$D_1 = 1915 \text{ mm}$$

$$D_2 = 580 \text{ mm}$$

otáčky síťového bubnu
 průměr síťového bubnu
 průměr snímacího válce

Trvanlivost ložiska

Na snímacím válci jsou vlivem rovnoměrného rozložení zátěže obě síly působící na ložiska stejné. Pro výpočet si vyberu jednu z nich F_{Ay} . Tato síla byla spočtena v předchozích vztazích (viz vzorec 26).

$$L_h = \left(\frac{C}{F_{Ay}} \right)^m \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_2} \quad (52)$$

$$L_h = \left(\frac{193 \cdot 10^3}{6006} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 46,22}$$

$$L_h = 38041597 \text{ hod}$$

Kde:

$$C = 193 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$C_o = 216 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$P_U = 24000 \text{ N}$$

$$m = \frac{10}{3}$$

$$F_{Ay} = 6006 \text{ N}$$

$$n_2 = 46,22 \text{ min}^{-1}$$

dynamická únosnost ložiska
 statická únosnost ložiska
 mezní únavové zatížení ložiska
 koeficient pro válečková ložiska
 reakce v bodě A v ose y u snímací válec
 otáčky snímacího válce

9 Výpočet pružin pro teleskop

Výpočet sil

Síla od škrabáku

$$F_s = m_s \cdot g \quad (53)$$

$$F_s = 135,5 \cdot 9,81$$

$$\underline{\underline{F_s = 1329 \text{ N}}}$$

Kde:

$$m_s = 135,5 \text{ kg} \quad \text{hmotnost škrabáku}$$

Síla od páky

$$F_p = m_p \cdot g \quad (54)$$

$$F_p = 33,7 \cdot 9,81$$

$$\underline{\underline{F_p = 331 \text{ N}}}$$

Kde:

$$m_p = 33,7 \text{ kg} \quad \text{hmotnost páky}$$

Síla od teleskopu

$$F_T = m_T \cdot g \quad (55)$$

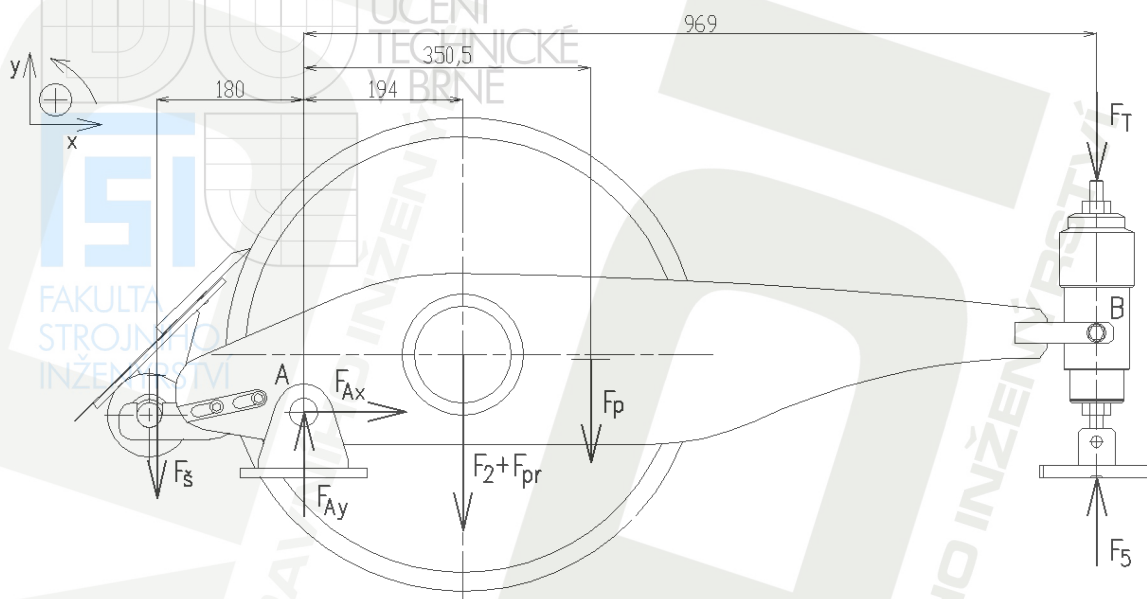
$$F_T = 5,2 \cdot 9,81$$

$$\underline{\underline{F_T = 51 \text{ N}}}$$

Kde:

$$m_T = 5,2 \text{ kg} \quad \text{hmotnost teleskopu}$$

9.1 Spodní pružina



Obr. 23 Snímací mechanismus

9.1.1 Uvolnění snímacího mechanismu:

$$x : F_{Ax} = 0 \quad (56)$$

$$y : -F_s + 2F_{Ay} - F_2 - F_{pr} - 2F_p - 2F_T + 2F_5 = 0 \quad (57)$$

$$M_A : F_s \cdot 180 - F_2 \cdot 194 - F_{pr} \cdot 194 - 2F_p \cdot 350,5 - 2F_T \cdot 969 + 2F_5 \cdot 969 = 0 \quad (58)$$

Po dosazení a úpravách

$$\Rightarrow F_5 = \frac{-1329 \cdot 180 + 11811 \cdot 194 + 200 \cdot 194 + 2 \cdot 331 \cdot 350,5 + 2 \cdot 51 \cdot 969}{2 \cdot 969}$$

$$F_5 = 1250 \text{ N}$$

$$F_{Ay} = \frac{1329 + 11811 + 200 + 2 \cdot 331 + 2 \cdot 51 - 2 \cdot 1250}{2}$$

$$F_{Ay} = 5802 \text{ N}$$

Kde:

F_{Ax}	reakce v bodě A v ose x
F_{Ay}	reakce v bodě A v ose y
F_5	síla v pružině
$F_2 = 11811 \text{ N}$	síla od snímacího válce
$F_{pr} = 200 \text{ N}$	přítlačná síla
$F_s = 1329 \text{ N}$	síla od škrabáku
$F_p = 331 \text{ N}$	síla od páky
$F_T = 51 \text{ N}$	síla od teleskopu

Dle katalogu [7] číslo zboží **84/2/2**.

Tyto pružiny budou umístěny v teleskopu a spolu s pružinami umístěnými v horní části teleskopu budou zachycovat výkmity snímacího válce. Tyto výkmity jsou zapříčiněny nečistotami ve vodolátce. Tyto nečistoty dosahují maximální velikosti do 3 mm.

9.2 Horní pružina

Za předpokladu, že největší nečistoty budou dosahovat maximálně velikosti nečistot 3 mm, si spočítám největší vychýlení snímacího válce z rovnovážné polohy po najetí na tyto nečistoty.

Úhel vychýlení snímacího válce

$$\alpha = \arctg \frac{z}{194} \quad (59)$$

$$\alpha = \arctg \frac{3}{194}$$

$$\alpha = 0^{\circ}53'10''$$

Kde:

$z = 3 \text{ mm}$ velikost nečistoty

Maximální velikost vychýlení

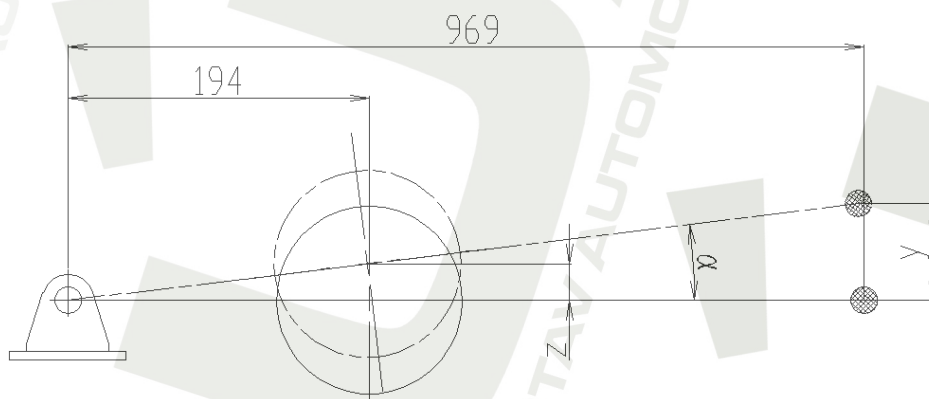
$$y = 969 \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (60)$$

$$y = 969 \cdot \operatorname{tg}(0^{\circ}53'10'')$$

$$\underline{y = 15 \text{ mm}}$$

Kde:

$\alpha = 0^{\circ}53'10''$ úhel vychýlení snímacího válce

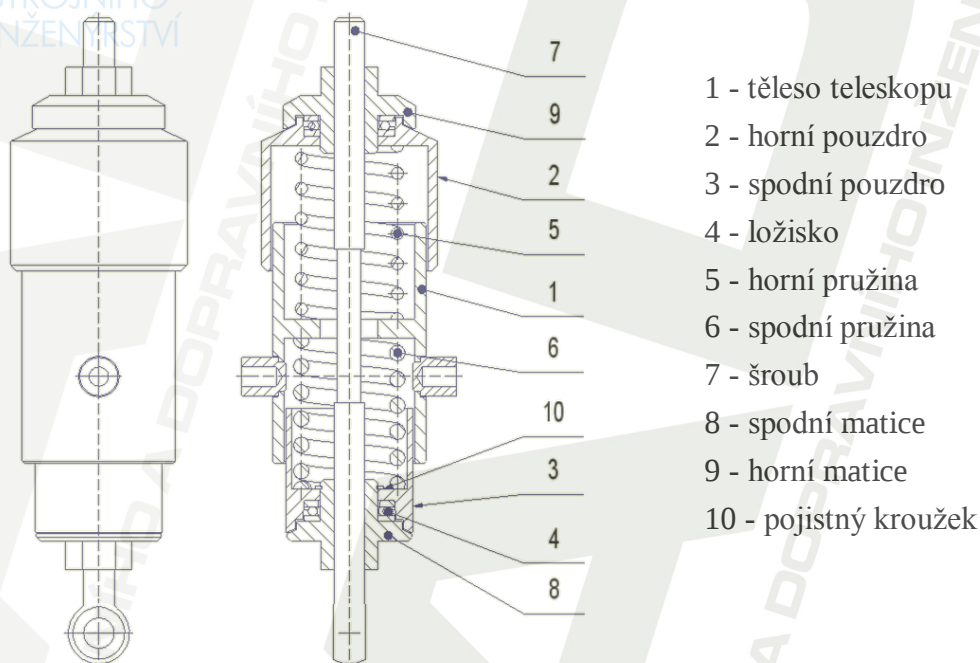


Obr. 24 Výchylka po najetí na nečistotu

Síla, kterou musí snímací válec překonat, je úměrná hmotnosti a délce ramene, na kterém je válec zvedán, proto je zapotřebí zachytit pouze výchylku vyvolanou napjetím válce na nečistotu. Tím pádem není potřeba horní pružiny nijak dimenzovat.

Pružina je zvolena dle katalogu [7] číslo zboží 82/3/2 . Pružina je volena s touto silou proto, aby se na ní mohlo vyvolávat předpětí horním šroubem a zároveň měla dostatek místa pro zachycení výchylky.

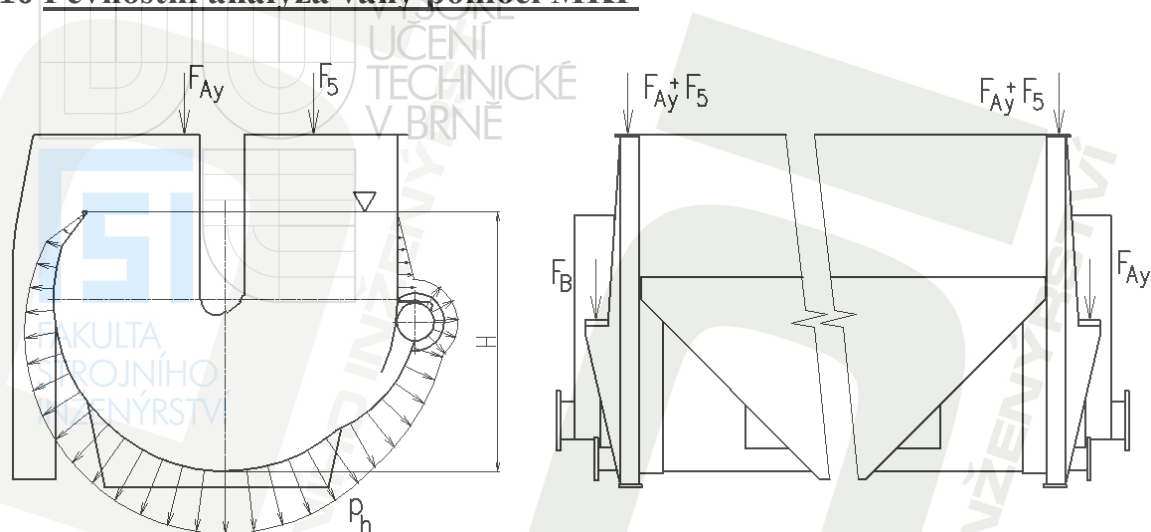
FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ



Obr. 25 Sestava teleskopu

Nastavení teleskopu je uvedeno v **kap. 3.4.1.**

10 Pevnostní analýza vany pomocí MKP



Obr. 26 Zatížení vany od reakčních sil a hydrostatického tlaku

Kde:

$H = 1730,5 \text{ mm}$

hloubka vodolátky vně vany

$F_{Ay} = 5802 \text{ N}$

reakce v bodě A v ose y (viz vzorec 57)

$F_5 = 1250 \text{ N}$

síla v pružině (viz vzorec 58)

$F_{Ay} = 22784 \text{ N}$

reakce v bodě A v ose y u síťového bubnu (viz vzorec 32)

$F_B = 16820 \text{ N}$

reakce v bodě B u síťového bubnu (viz vzorec 33)

Síla zachycená momentovým ramenem

$$F_3 = \frac{M_K}{a_1}$$

(61)

$$F_3 = \frac{6771 \cdot 10^3}{550}$$

$$F_3 = 12311 \text{ N}$$

Kde:

$M_K = 6771 \cdot 10^3 \text{ N.mm}$

záběrový moment

$a_1 = 550 \text{ mm}$

rameno

Tato síla je maximální, která může na momentové rameno působit. Této síly bude dosaženo pouze v případě, že nebude použit frekvenční měnič. V případě, že se frekvenční měnič použije, tato síla se zmenší.

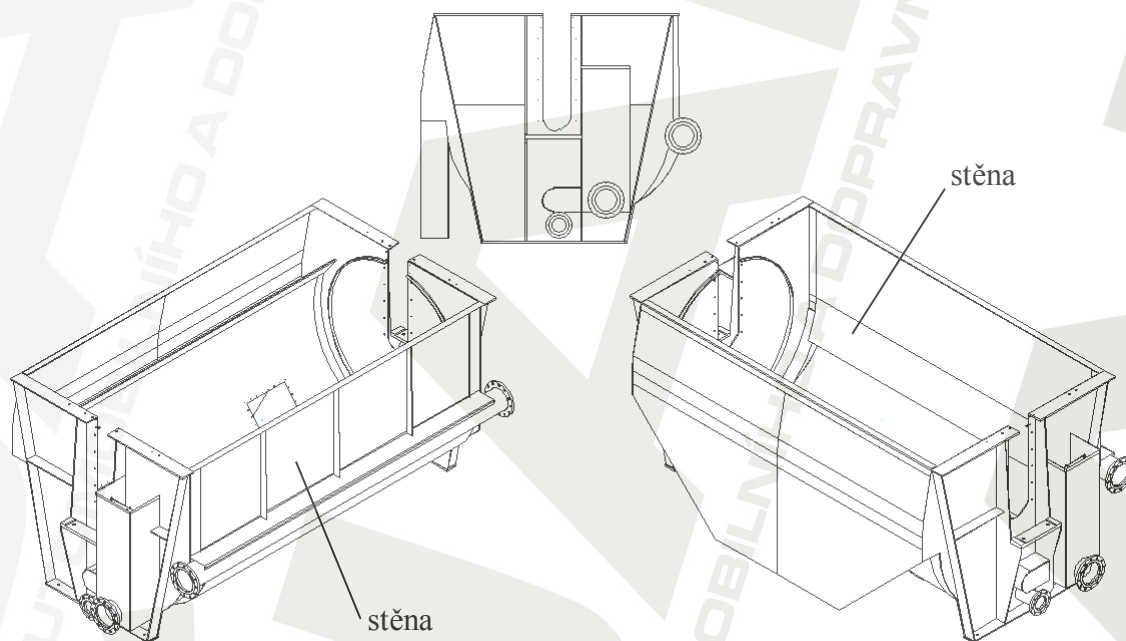
Popis zadání zatížení do výpočtového programu

Pro výpočet byly použity výsledky reakcí, které byly vypočítány (viz kap. 7.2 a kap. 9.1), (viz vzorce 32, 33, 57, 58). Tyto vypočtené hodnoty byly dosazeny do výpočtového modelu vytvořeném v programu I-DEAS. Kromě těchto reakcí na vanu působí hydrostatický tlak vodolátky. Výška vodolátky uvnitř vany dosahuje výšky H , viz **Obr. 26**. Dále byla do výpočtu zadána síla, která zachycuje reakci působícího elektromotoru na momentové rameno (viz vzorec 60).

Vana je zkonstruována z materiálu 1.4541, což odpovídá českému materiálu 17 246. Jedná se o nerezový materiál. Dovolené napětí tohoto materiálu dle [5].

$$R_e = 210 \text{ MPa}$$

Byly provedeny dva porovnávací výpočty pro dvě různé tloušťky zadní stěny vany. První výpočet byl proveden pro tloušťku stěny 6 mm, a druhý výpočet pro tloušťku stěny 8 mm.



Obr. 27 Ukázka umístění stěny

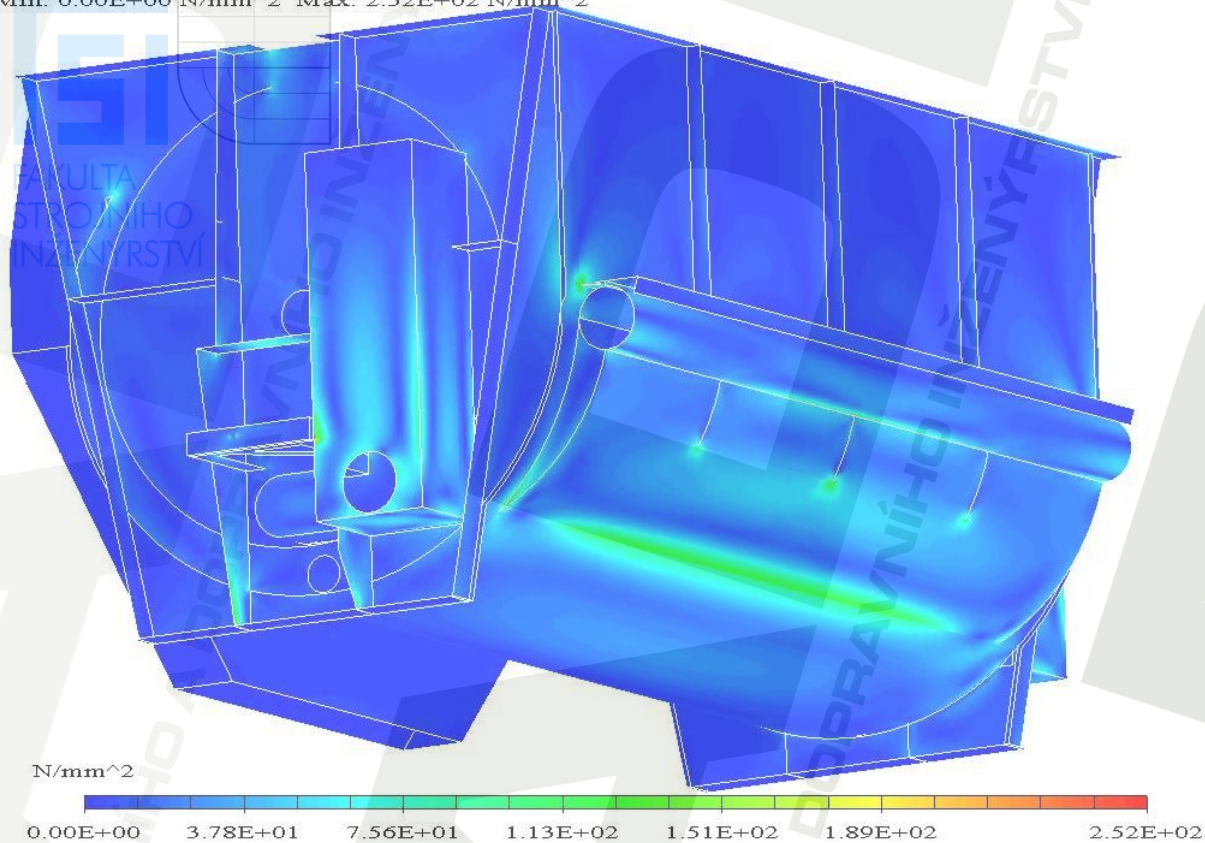


Obr. 28 Profil stěny

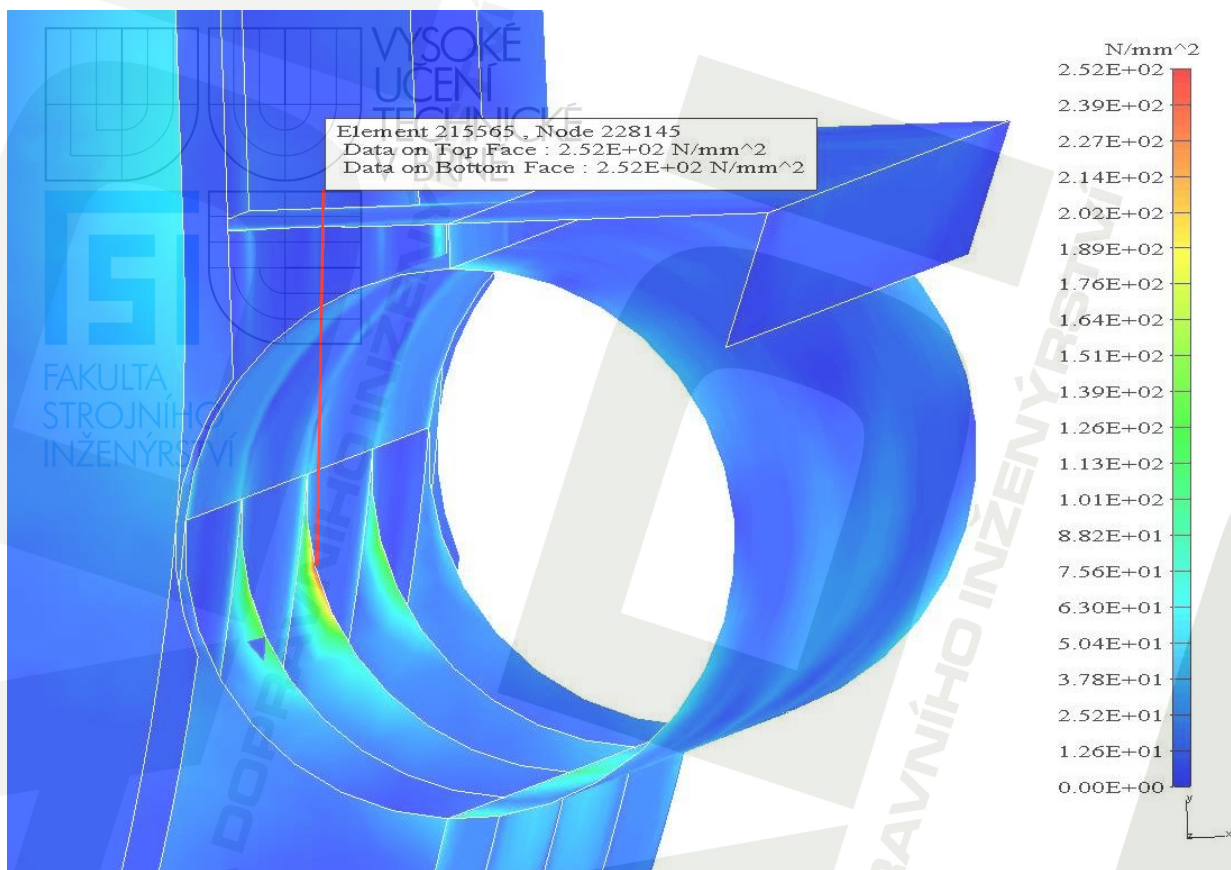
10.1 Výpočet pro tloušťku stěny 6 mm

10.1.1 Výsledné napětí na vaně

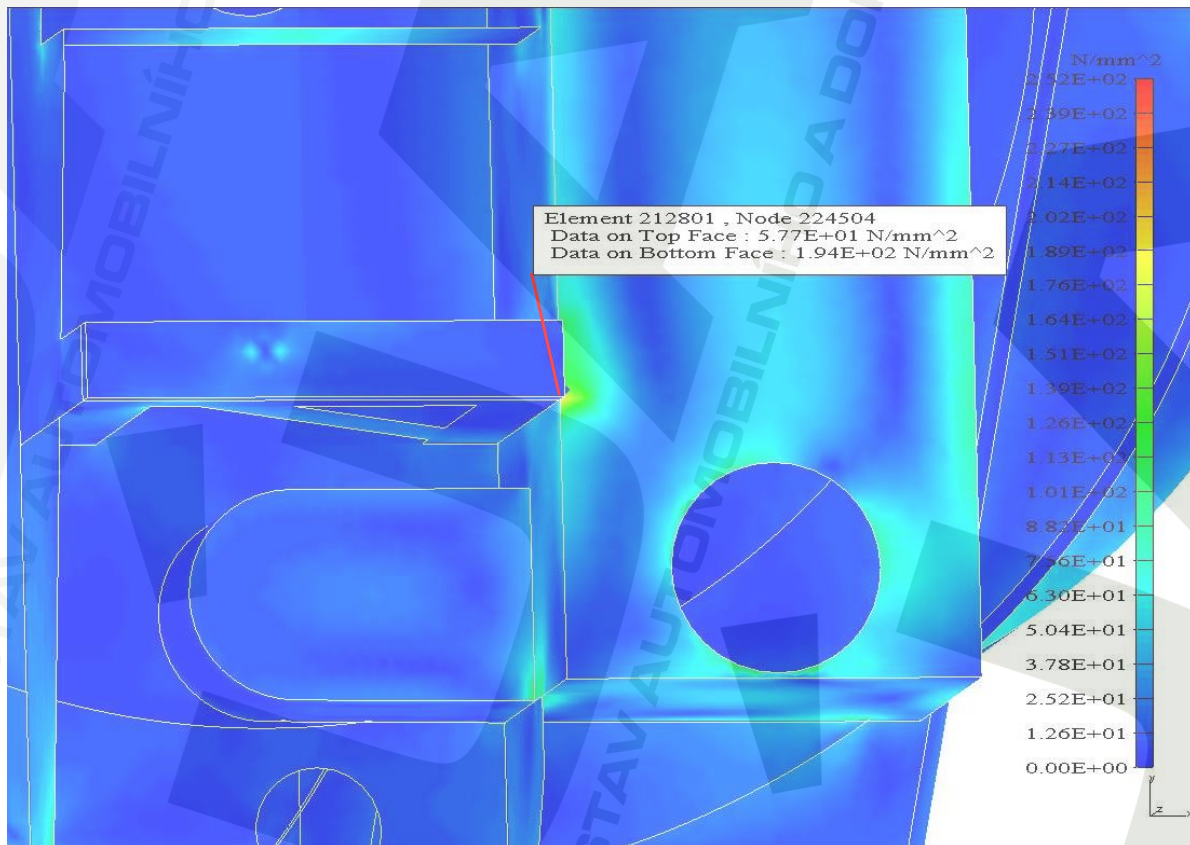
STRESS Von Mises Averaged Top and bottom shell
Min: 0.00E+00 N/mm² Max: 2.52E+02 N/mm²



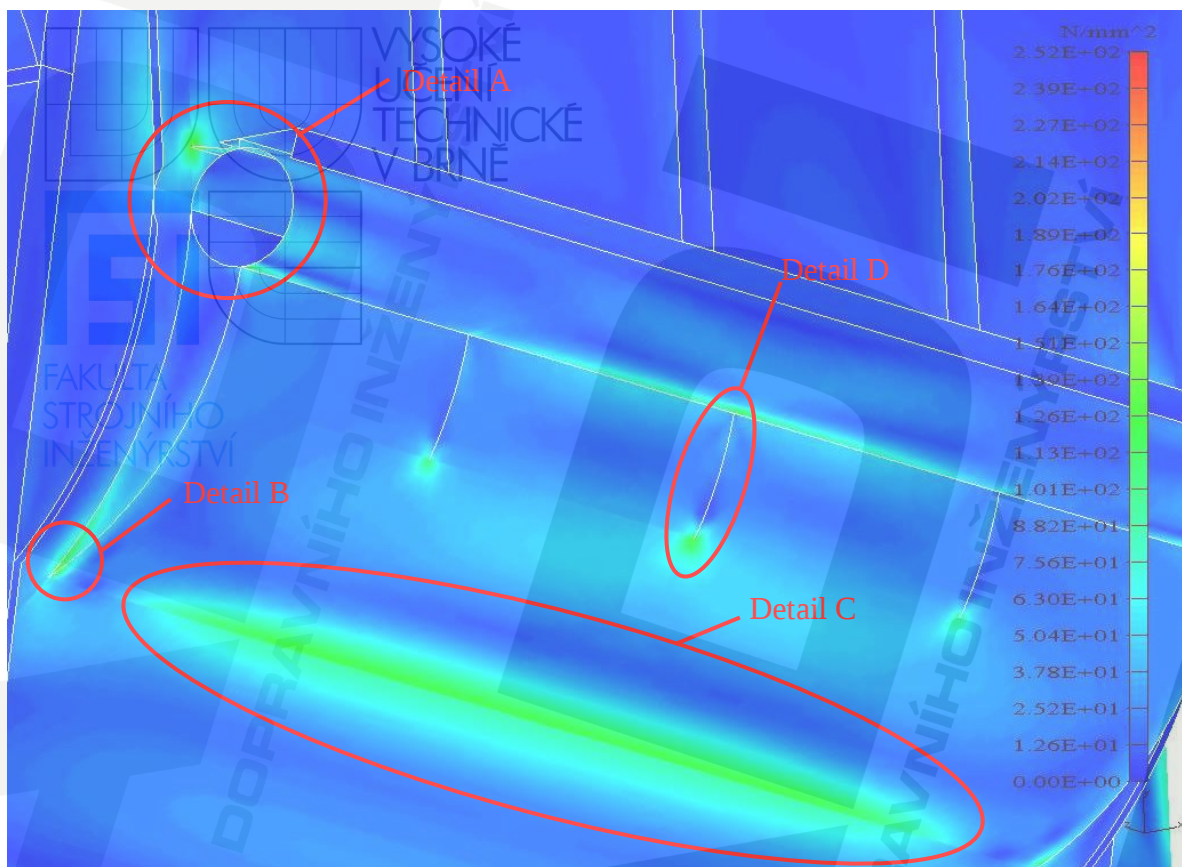
Obr. 29 Výsledné působící napětí ze strany přívodu vodolátky



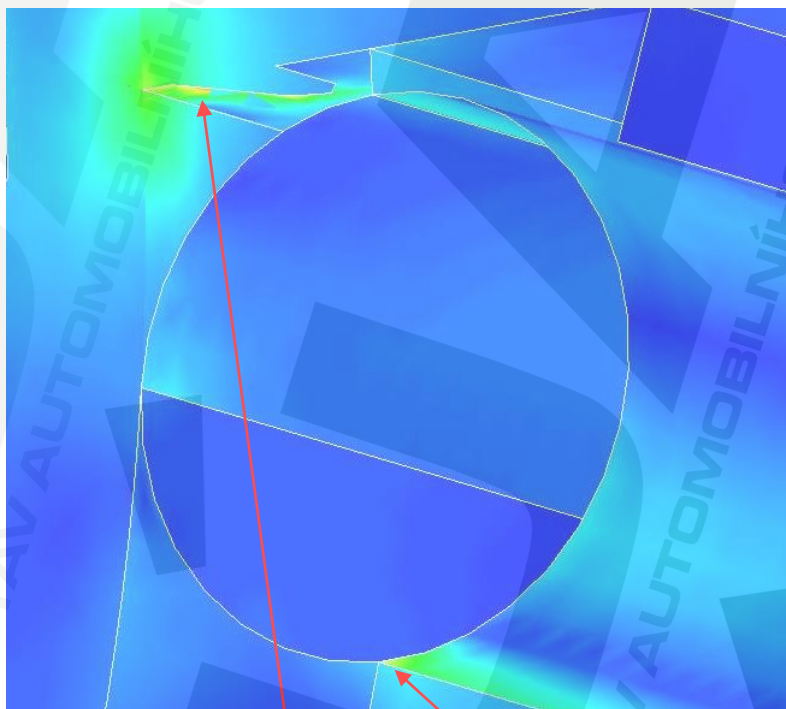
Obr. 30 Vyobrazení extrém na žebře



Obr. 31 Extrémní napětí na přepadové nádrži



Obr. 32 Extrémní napětí na straně přívodu vodolátky



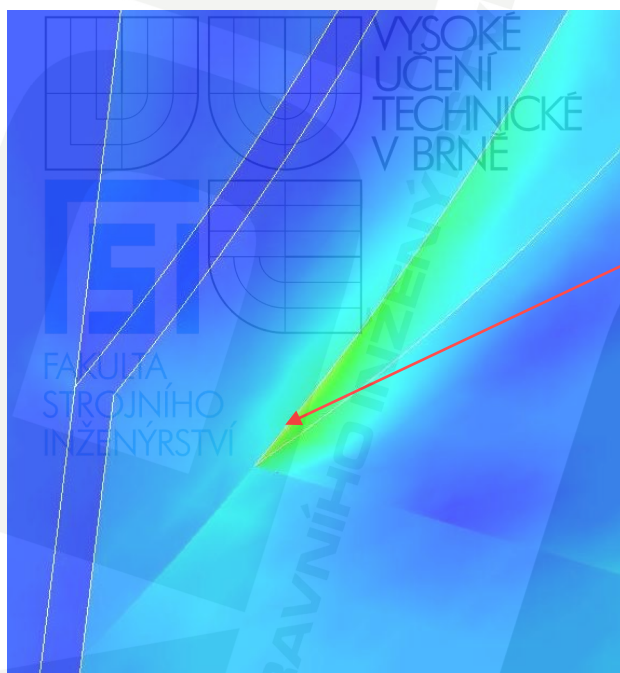
Obr. 33 Detail A

Data on Top Face: 2.25+02 N/mm²

Data on Bottom Face: 2.46E+02 N/mm²

Data on Top Face: 1.84E+02 N/mm²

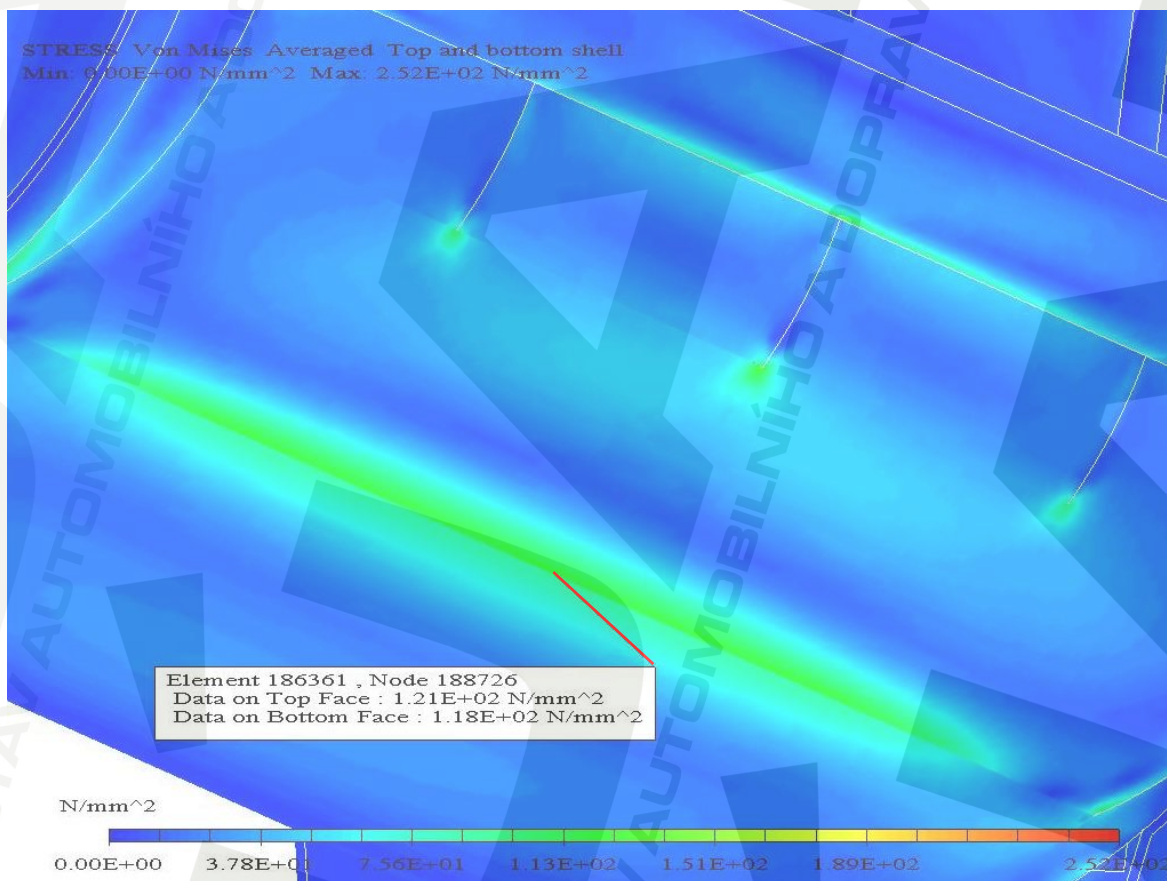
Data on Bottom Face: 1.20E+02 N/mm²



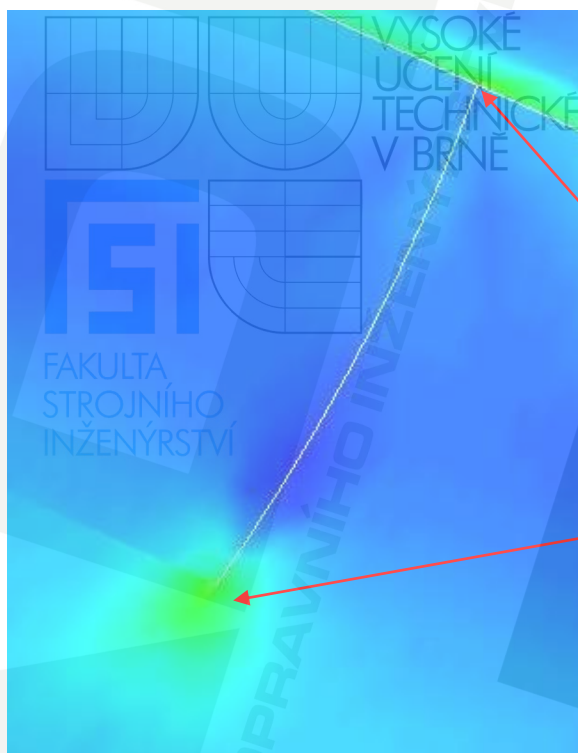
Data on Top Face: $1.60E+02 \text{ N/mm}^2$

Data on Bottom Face: $1.43E+02 \text{ N/mm}^2$

Obr. 34 Detail B



Obr. 35 Detail C



Data on Top Face: $1.48\text{E}+02 \text{ N/mm}^2$

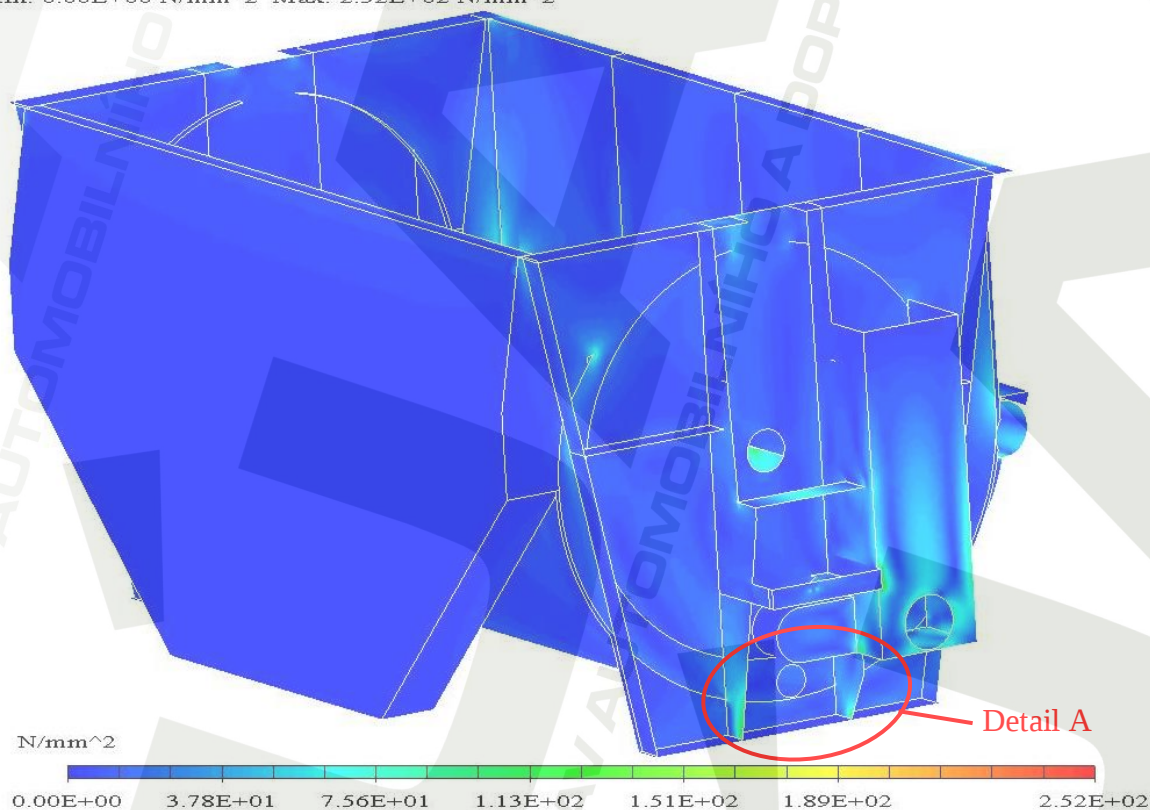
Data on Bottom Face: $1.08\text{E}+02 \text{ N/mm}^2$

Data on Top Face: $1.46\text{E}+02 \text{ N/mm}^2$

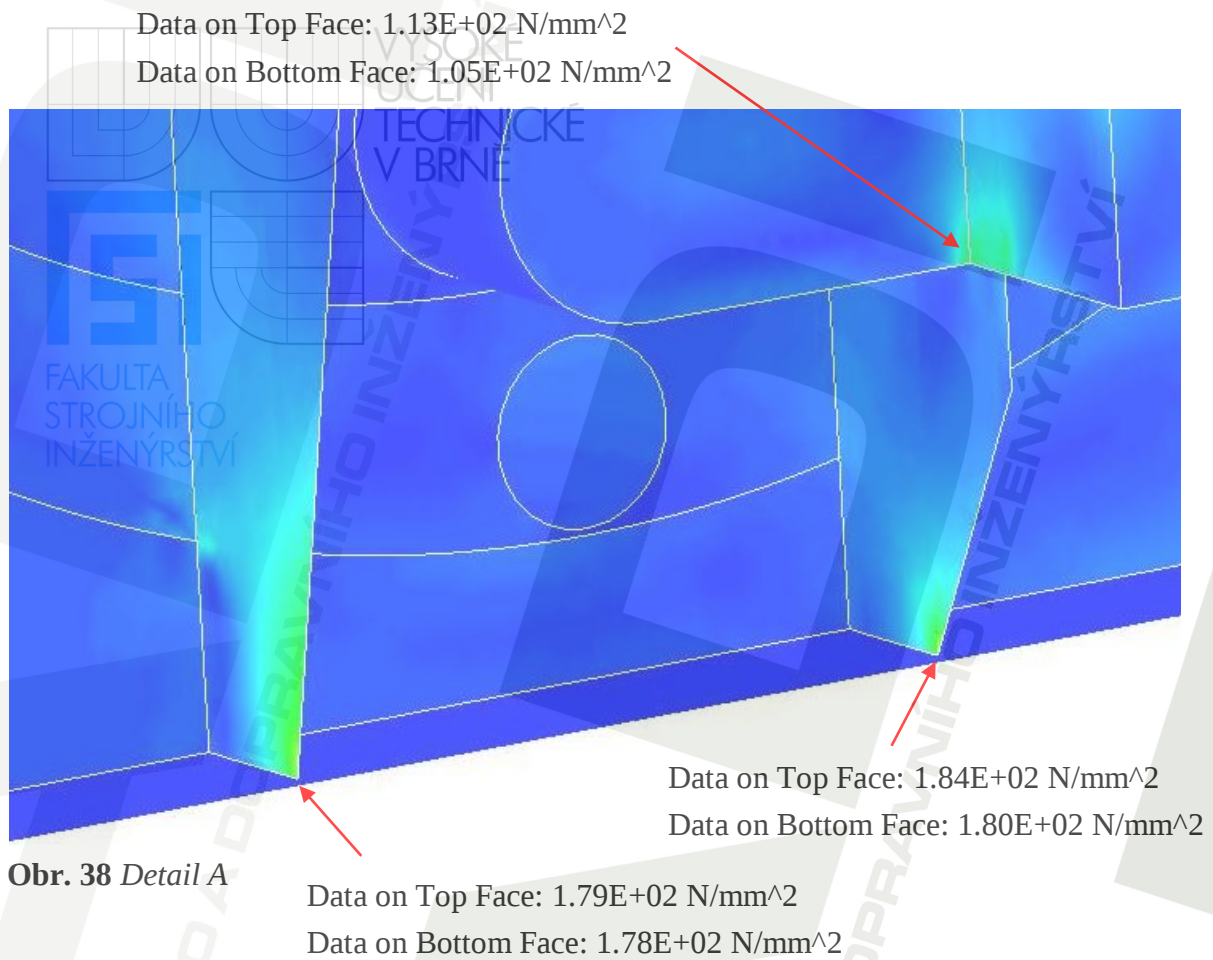
Data on Bottom Face: $1.40\text{E}+02 \text{ N/mm}^2$

Obr. 36 Detail D

STRESS Von Mises Averaged Top and bottom shell
Min: $0.00\text{E}+00 \text{ N/mm}^2$ Max: $2.52\text{E}+02 \text{ N/mm}^2$

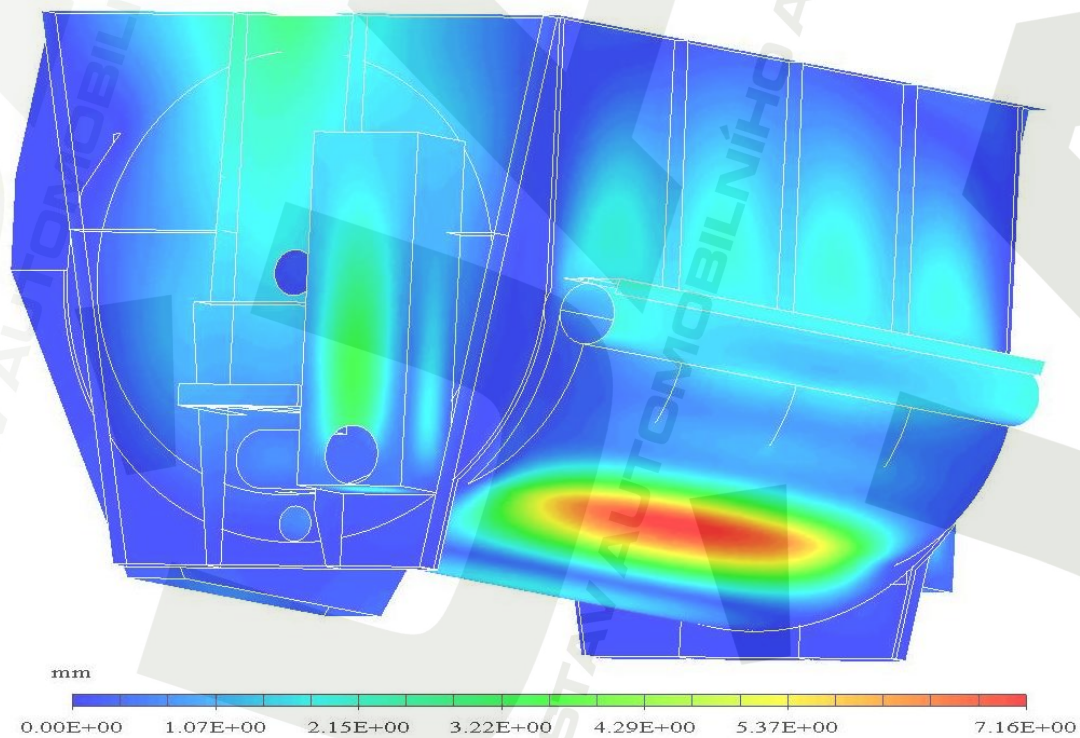


Obr. 37 Výsledné napětí na straně odvodu zahuštěné vodolátky

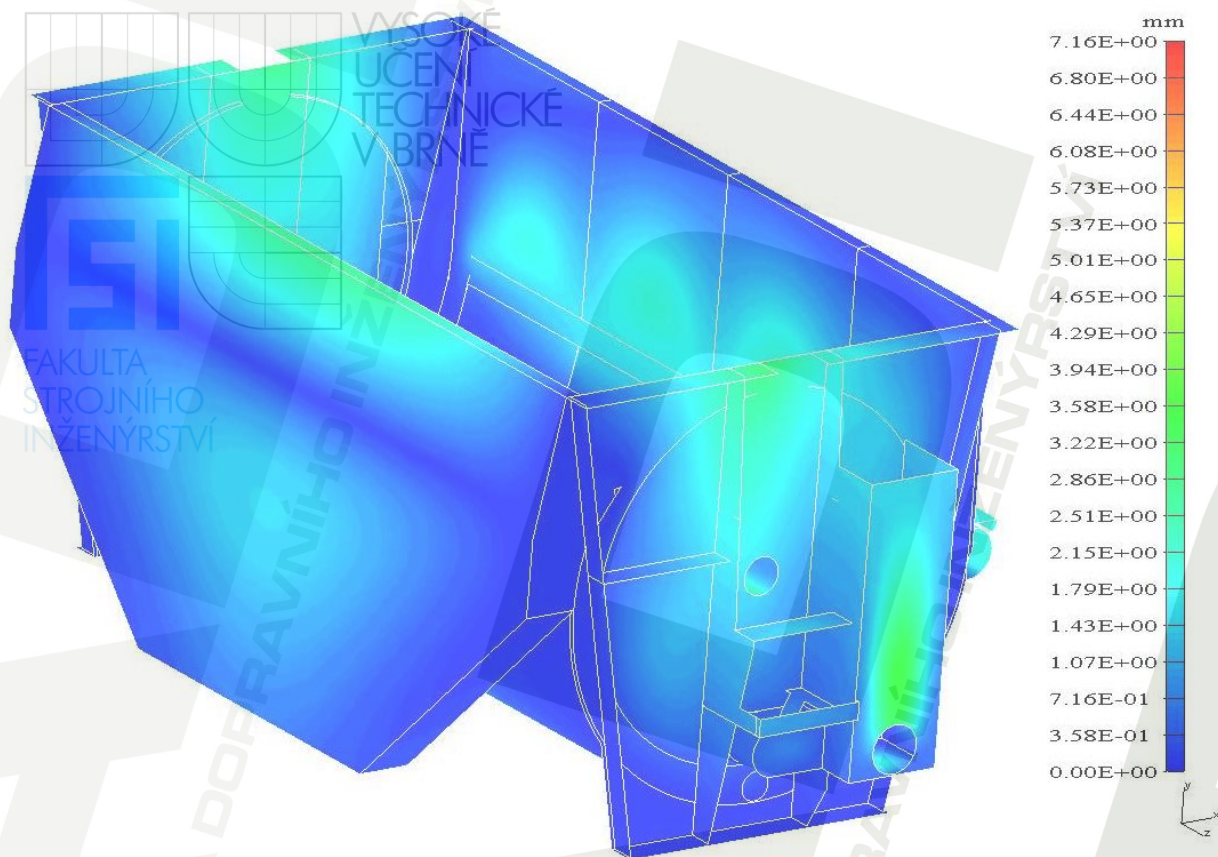


Obr. 38 Detail A

10.1.2 Deformace vany



Obr. 39 Deformace vany na straně přívodu vodolátky



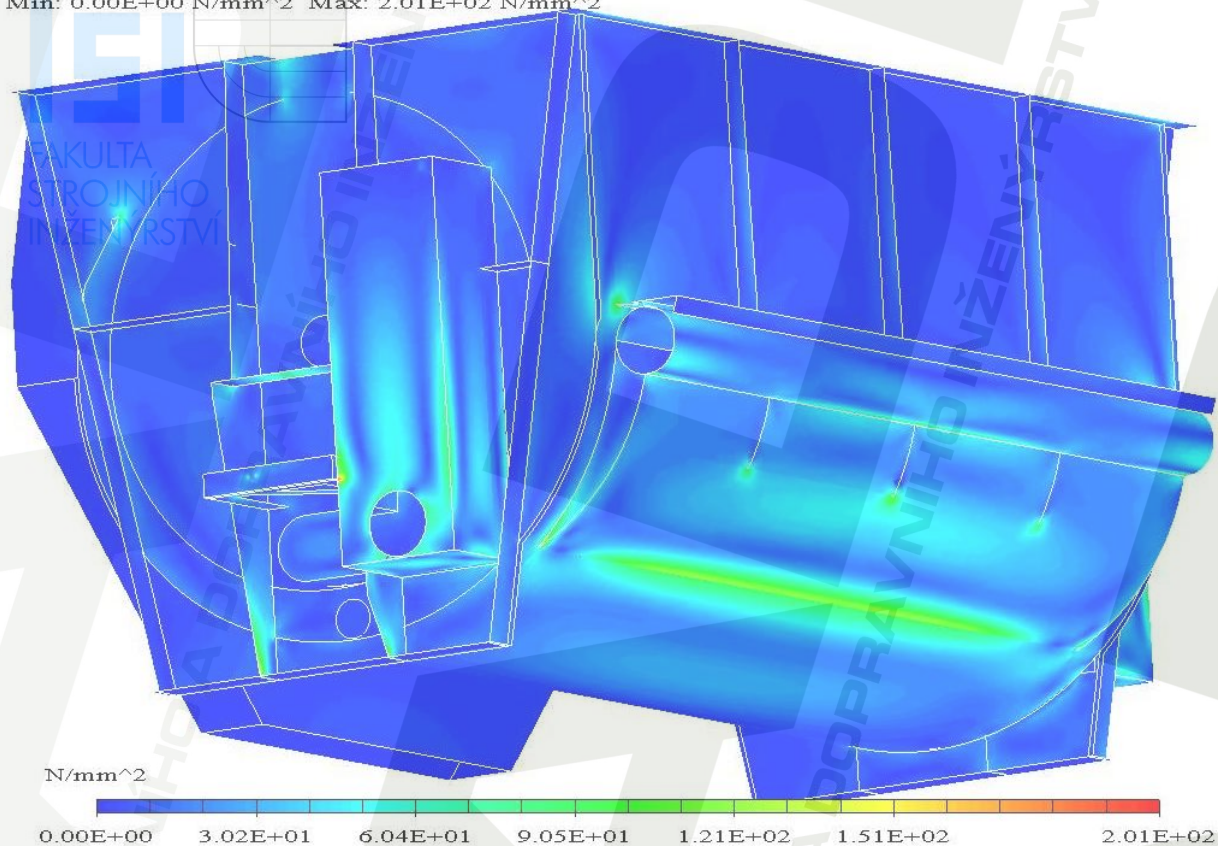
Obr. 40 Deformace vany na straně odvodu zahuštěné vodolátky

Všechna napětí vypočítané programem I-DEAS byla porovnána z již dříve uvedeným dovoleným napětím $R_e = 210$ MPa. Napěťové špičky zobrazené v detailech přesahují dovolené napětí. Závěr je tedy takový, že tato vana nevyhovuje požadavkům.

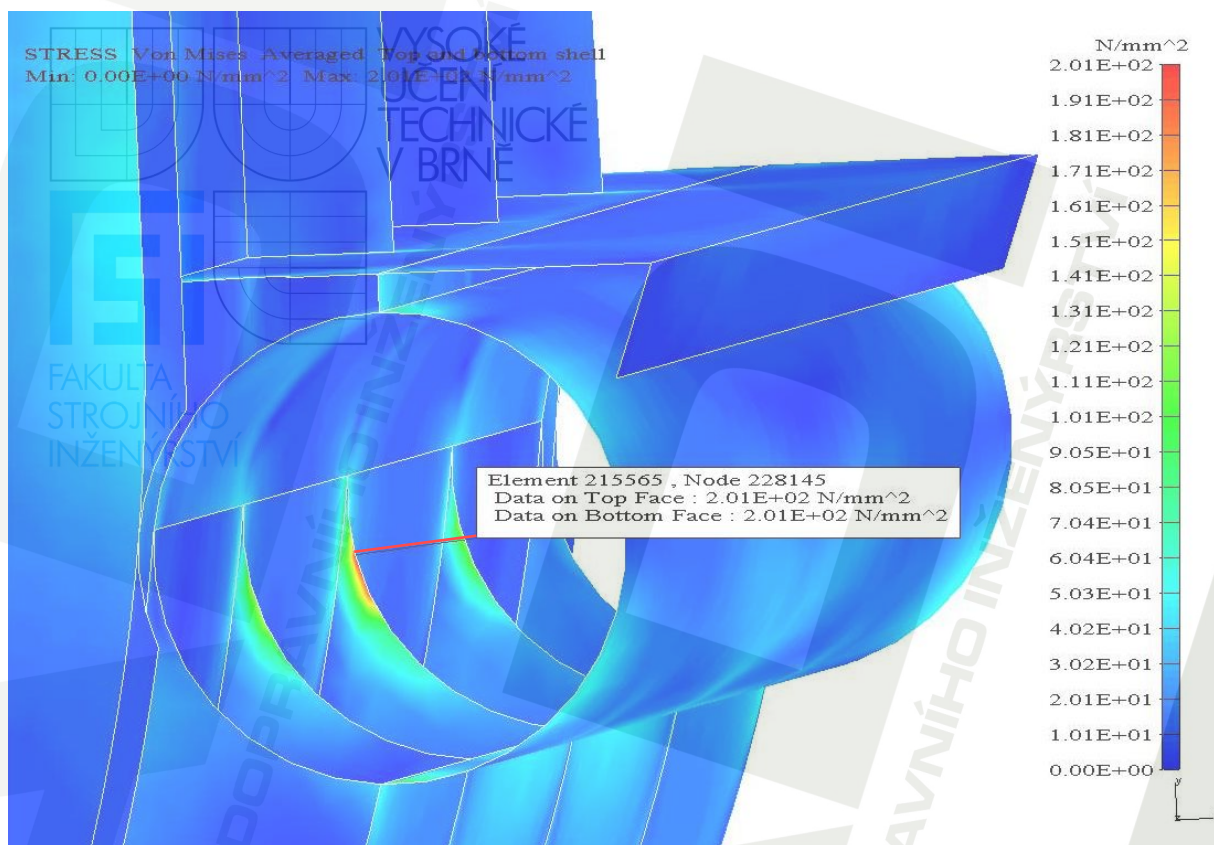
10.2 Výpočet pro tloušťku stěny 8 mm

10.2.1 Výsledné napětí na vaně

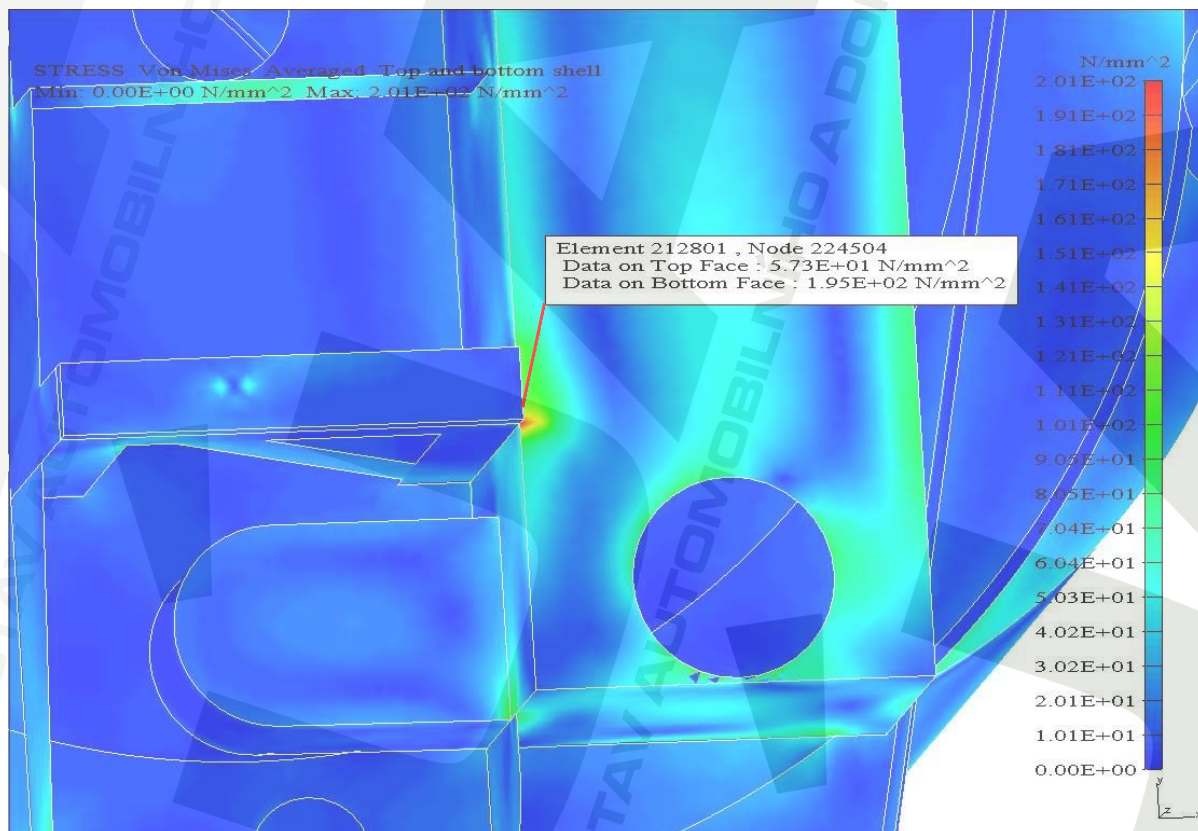
STRESS Von Mises Averaged Top and bottom shell
Min: 0.00E+00 N/mm² Max: 2.01E+02 N/mm²



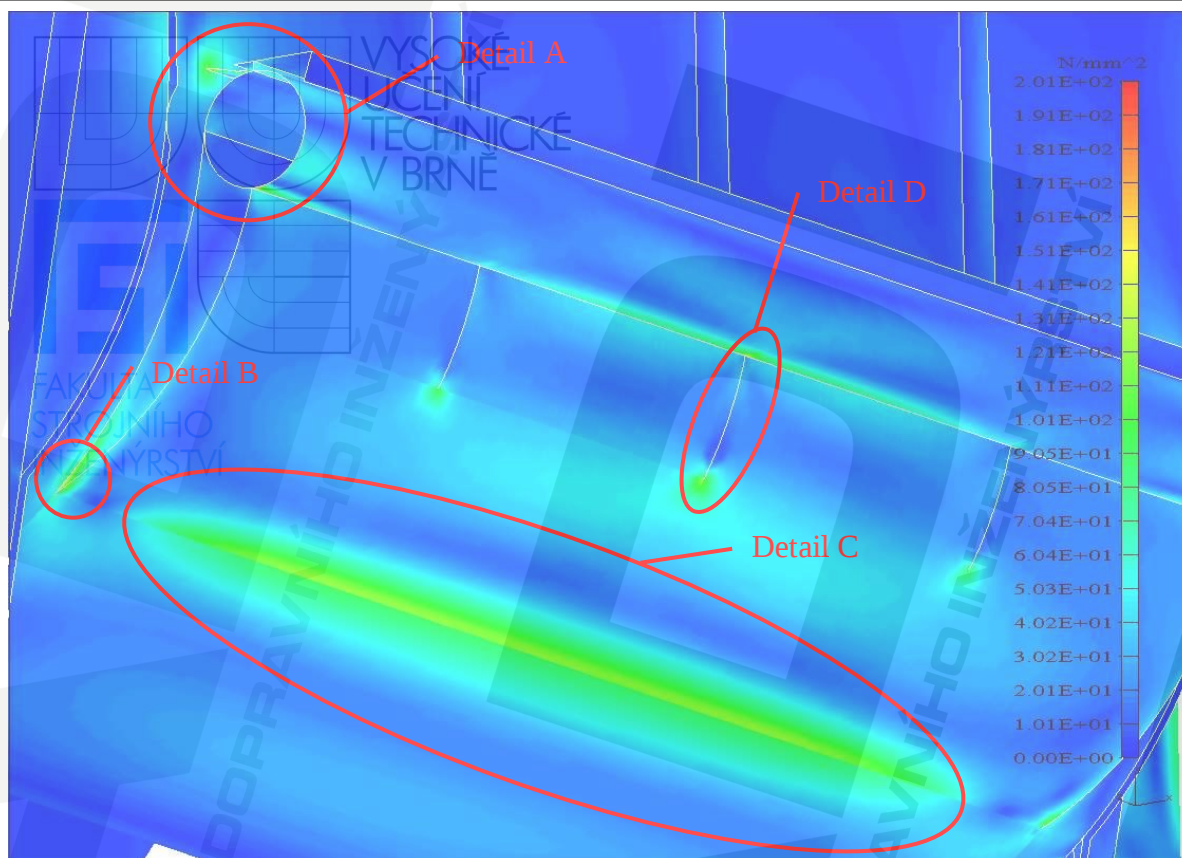
Obr. 41 Výsledné působící napětí ze strany přívodu vodolátky



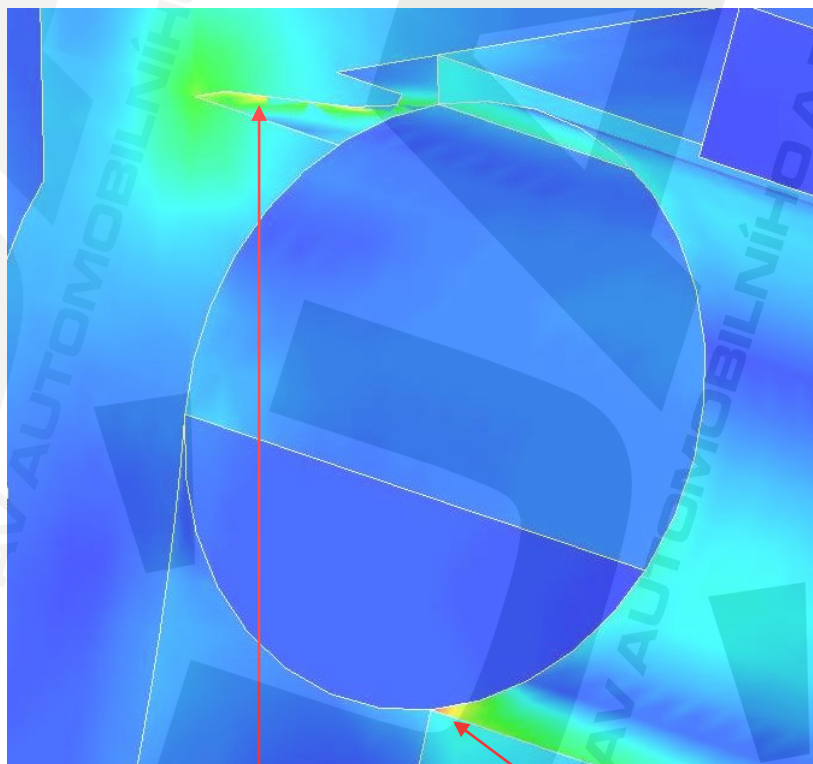
Obr. 42 Vyobrazení extrém na žebře



Obr. 43 Extrémní napětí na přepadové nádrži



Obr. 44 Extrémní napětí na straně přívodu vodolátky



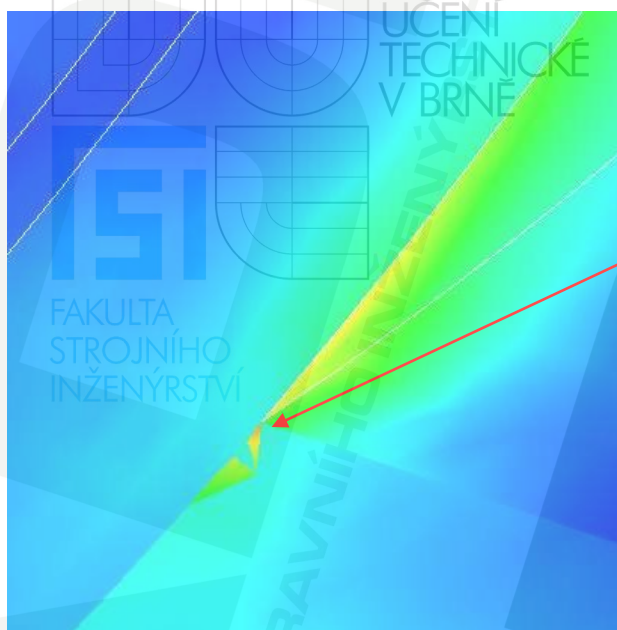
Obr. 45 Detail A

Data on Top Face: $1.34\text{E}+02 \text{ N/mm}^2$

Data on Top Face: $1.86\text{E}+02 \text{ N/mm}^2$

Data on Bottom Face: $1.60\text{E}+02 \text{ N/mm}^2$

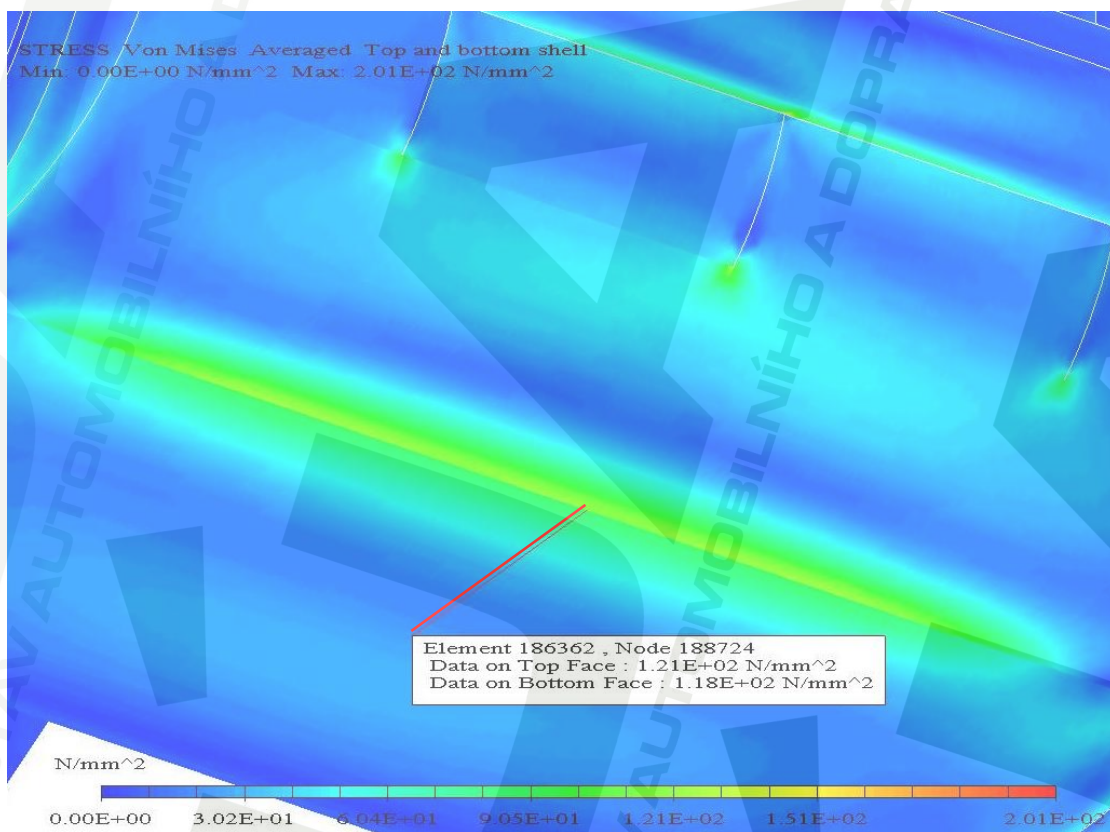
Data on Bottom Face: $1.20\text{E}+02 \text{ N/mm}^2$



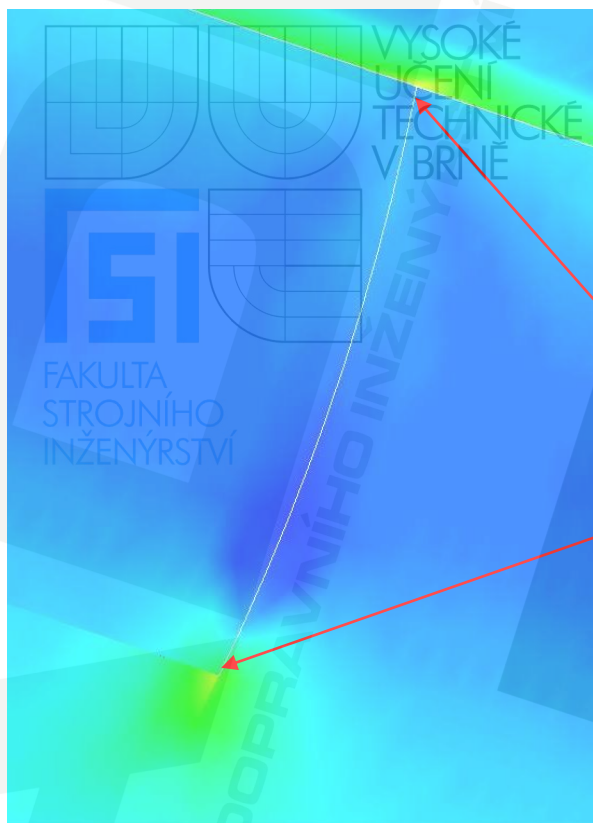
Data on Top Face: $5.86\text{E}+01 \text{ N/mm}^2$

Data on Bottom Face: $1.73\text{E}+02 \text{ N/mm}^2$

Obr. 46 Detail B



Obr. 47 Detail C

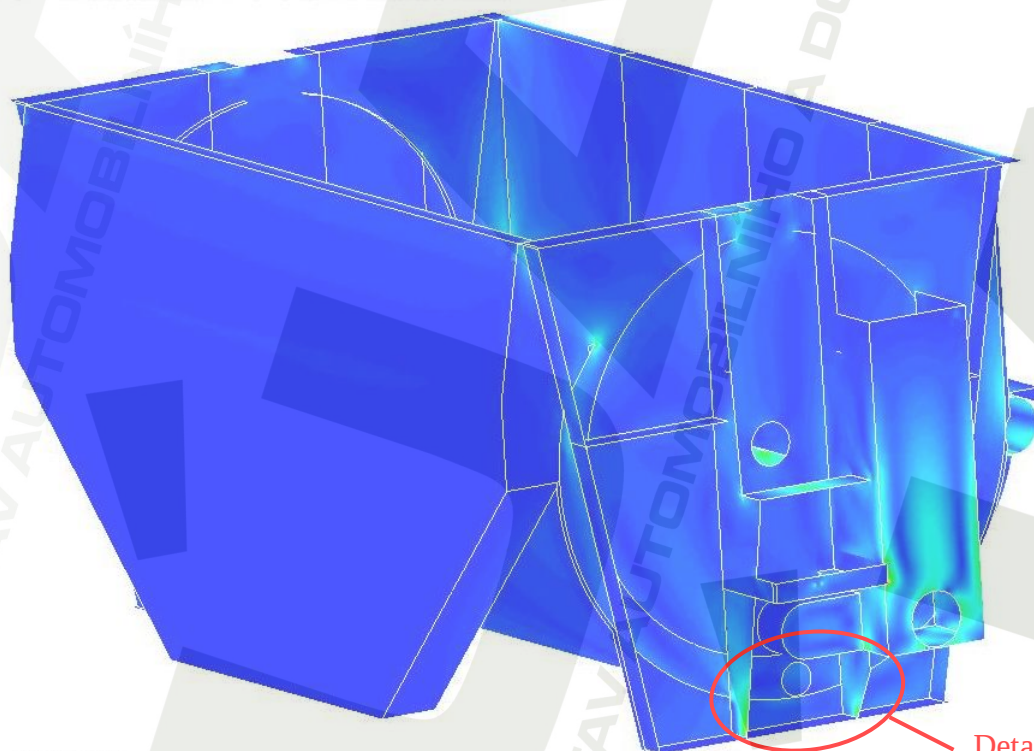


Data on Top Face: $1.45E+02 \text{ N/mm}^2$
Data on Bottom Face: $9.99E+01 \text{ N/mm}^2$

Data on Top Face: $1.31E+02 \text{ N/mm}^2$
Data on Bottom Face: $1.29E+02 \text{ N/mm}^2$

Obr. 48 Detail D

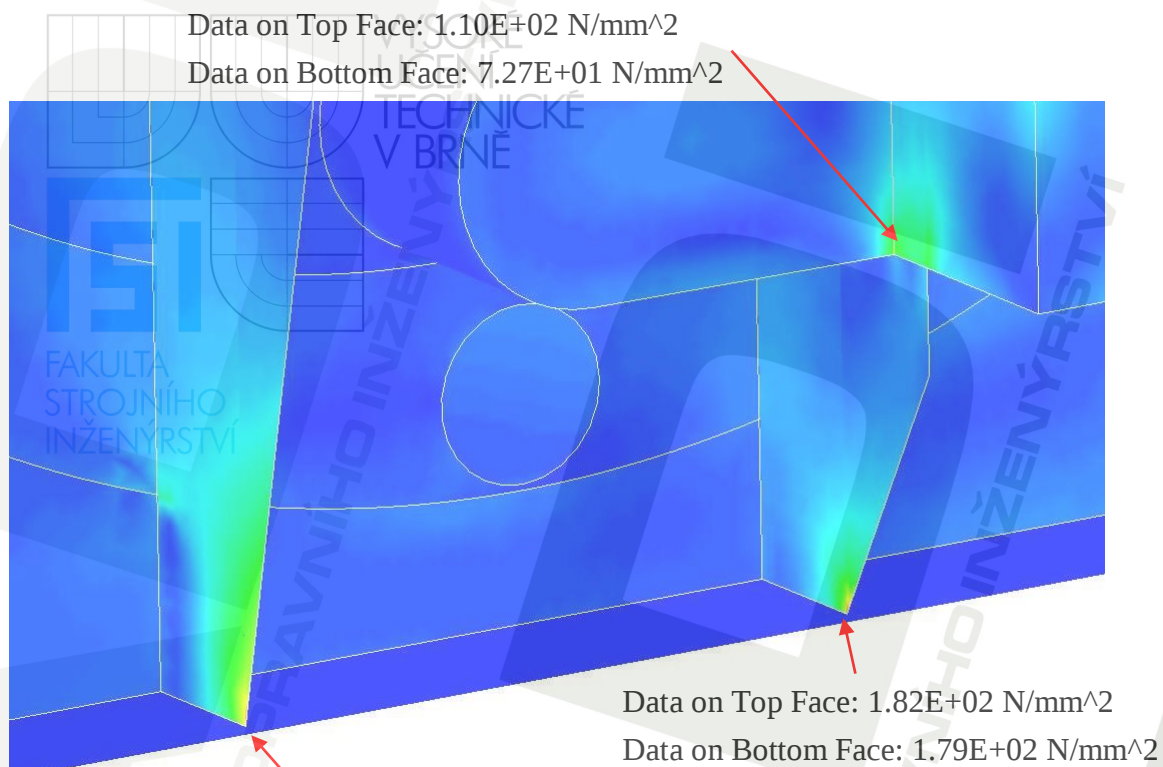
STRESS Von Mises Averaged Top and bottom shell
Min: $0.00E+00 \text{ N/mm}^2$ Max: $2.01E+02 \text{ N/mm}^2$



N/mm^2

0.00E+00 3.02E+01 6.04E+01 9.05E+01 1.21E+02 1.51E+02 2.01E+02

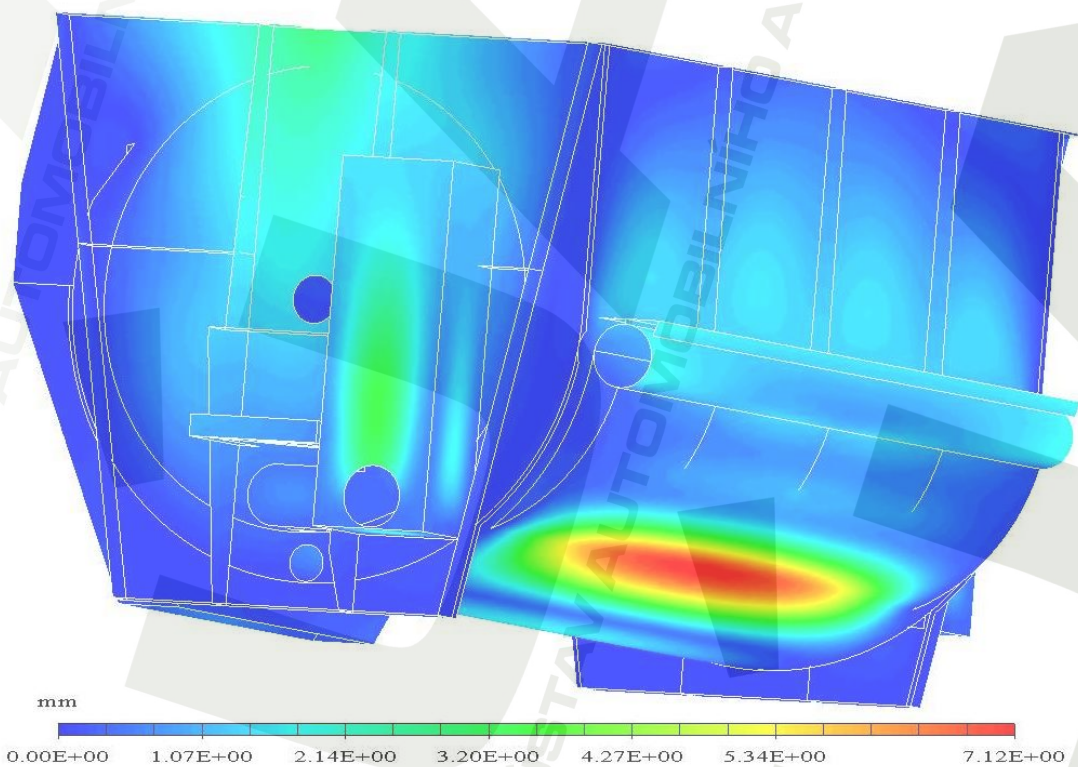
Obr. 49 Výsledné napětí na straně odvodu zahuštěné vodolátky



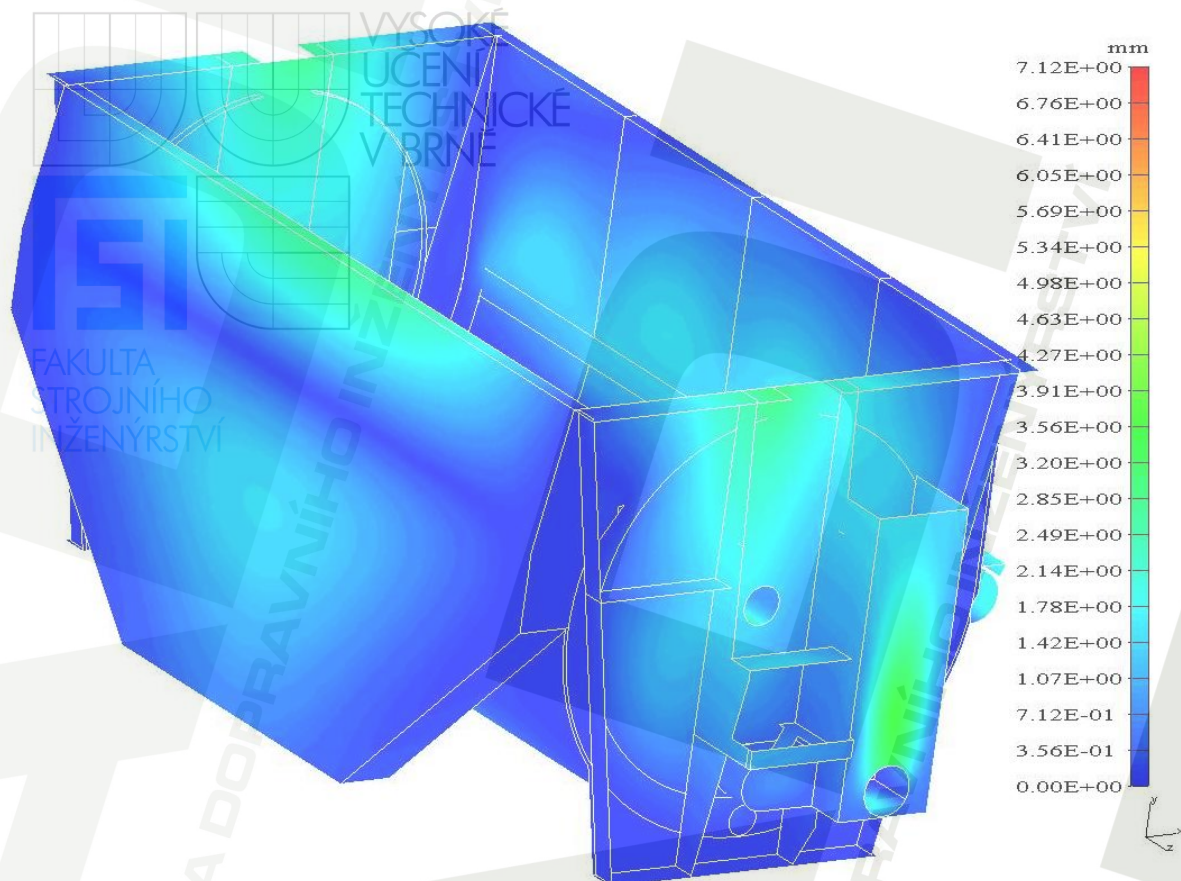
Obr. 50 Detail A

Data on Top Face: $1.52E+02 \text{ N/mm}^2$
Data on Bottom Face: $1.52E+02 \text{ N/mm}^2$

10.2.2 Deformace vany



Obr. 51 Deformace vany na straně přívodu vodolátky



Obr. 52 Deformace vany na straně odvodu zahuštěné vodolátky

Všechna napětí vypočítané programem I-DEAS byla porovnána z již dříve uvedeným dovoleným napětím $R_e = 210$ MPa. Žádné napětí nepřesáhlo dovolené napětí, je tedy možno říci, že tato vana vyhovuje.

Extrémy napětí, která jsou zobrazená v detailech, mohou být způsobena nepřesností výpočtu program. Dalším důvodem může být špatné nebo zjednodušené namodelování vůči skutečnému modelu, popř. vlivem špatného vysítování v kritických místech, kde program není schopen dosáhnout přesnějších výpočtů. Další vlivy, které způsobují extrémní napětí, jsou způsobeny přechody mezi jednotlivými plochami.

10.3 Porovnání obou van

Pevnostní kontrola byla provedena pro dvě vany s rozdílnou tloušťkou stěny. Obě vany byly namáhány stejným zatížením. Všechna potřebná zatížení se zadala do výpočetního programu I-DEAS. Výsledky byly porovnány s dovoleným napětím materiálu použitého na konstrukci vany. Vana navržená s tloušťkou stěny 6 mm nevyhovuje pevnostní kontrole, protože napětí překračuje dovolené napětí. Vana s tloušťkou stěny 8 mm pevnostní kontrole vyhovuje.

Z výpočtu vyplívá, že vanu je nutno vyrobit s tloušťkou stěny 8 mm.

11 Závěr

Cílem mé práce bylo navrhnout a pevnostně zkontrolovat důležité komponenty odvodňovacího stroje pro provoz za jakého bude stroj pracovat.

Jedná se o pevnostní výpočet čepů obou válců, únosnost a trvanlivost ložisek a pohonu síťového bubnu.

V první části práce byl řešen výpočet pohonu pro síťový buben. Výpočet motoru byl proveden z pasívních odporů, které musí motor při rozběhu překonat. Z výpočtů, které byly provedeny, byl navržen motor o výkonu 7,5 kW od firmy FLENDER.

Další kroky, které byly provedeny, byly pevnostní výpočty. Tyto výpočty se odvíjely od hmotnosti navržené konstrukce a kroutícího momentu navrženého motoru. Počítané čepy se kontrolovaly na napětí v ohybu a v krutu. Z těchto napětí se vypočítalo napětí redukované, které se porovnávalo s dovoleným napětím použitého materiálu na výrobu čepů. Všechny tyto výpočty vyhověly provedeným kontrolám. Navržená ložiska vyhověla kontrole. Dále bylo nutno navrhnout pružiny, do snímacího zařízení teleskopu. Pružiny jsou od firmy Hennlich.

V posledním kroku byly provedeny celkové pevnostní výpočty celé navržené vany. Pevnostní kontrola byla provedena pro dvě varianty vany s rozdílnou tloušťkou stěny. Obě vany byly zatíženy působícími reakcemi, vyvolanými od jednotlivých částí upevněných ke konstrukci vany. Dále na vany působil hydrostatický tlak vyvolaný vodolátkou ve vaně. Všechny tyto parametry se zadaly do výpočetního programu I-DEAS. Výsledky byly porovnány s dovoleným napětím materiálu použitého na konstrukci vany. Z výpočtu vyplývá, že vana s tloušťkou stěny 6 mm nevyhovuje, a vana s tloušťkou stěny 8 mm vyhovuje. Proto pro výrobu byla doporučena vana s tloušťka stěny 8mm.

Všechny použité vzorce, pomocí nichž se provedly výpočty v diplomové práci, byly udělány podle dostupné literatury.

12 Použitá literatura

- [1] LEINBVEBER, Jan , VÁVRA, Pavel. Strojnické tabulky. 2. dopl. vyd. Úvaly : Albra, 2005. 980 s. ISBN 80-7361-011-6.
- [2] J. Stehlík: Zdvihací stroje, Technická univerzita v Liberci, Liberec, 2007
- [3] M. Němček: Řešené příklady z části a mechanismů strojů, VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Ostrava, 2008, 2. Vydání
- [4] Www.flender.com [online]. Austria : MOTOX-N, 2005 , 2006 [cit. 2009-04-15].
Dostupný z WWW: <<http://www.automation.siemens.com/sd-static/getriebe/ftp/gkfsn06-0406-de-en.pdf>>.
- [5] Software: Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty
- [6] Www.skf.com [online]. Göteborg, Sweden : SKF Group Headquarters, 2005 , 2009 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.skf.com/files/515077.pdf>>.
- [7] Www.hennlich.cz [online]. Litoměřice : Hennlich Industrietechnik spol. s r.o., 2005, 2008 [cit.2009-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.hennlich.cz/index.php?f=1521>>.
- [8] Www.converter.cz [online]. Brno : Jíří Bureš, 2002 , 2008 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.converter.cz/mapa.htm>>. ISSN 1214-7591.
- [9] Www.svettisku.cz [online]. Svět tisku: Ivan Doležal, Martin Jamrich, 2006 [cit. 2009-04-15]. Dostupný z WWW:
http://www.svettisku.cz/buxus/generate_page.php?page_id=2415&>.

13 Použité symboly

symbol	jednotka	popis
a	[mm]	osová vzdálenost mezi síťovým bubnem a snímacím válcem
a_1	[mm]	rameno
C	[N]	dynamická únosnost ložiska
C_o	[N]	statická únosnost ložiska
D	[mm]	těsnicí průměr
d	[mm]	průměr vstupního hřídele síťového bubnu
d_1	[mm]	průměr čepu pod ložiskem u síťového bubnu
D_1	[mm]	průměr síťového bubnu
d_2	[mm]	průměr čepu pod ložiskem u snímacího válce
D_2	[mm]	průměr snímacího válce
e	[mm]	rameno valivého odporu
f	[-]	součinitel čepového tření
F	[N]	síla působící na pero
F_1	[N]	síla od síťového bubnu
F_2	[N]	síla od snímacího válce
F_3	[N]	síla zachycená momentovým ramenem
f_2	[-]	součinitel smykového tření
F_5	[N]	síla v pružině
F_{Ax}	[N]	reakce v bodě A v ose x
F_{Ay}	[N]	reakce v bodě A v ose y
F_B	[N]	reakce v bodě B
F_m	[N]	síla od motoru
F_p	[N]	síla od páky
F_{ph}	[N]	síla působící na těsnění
F_{pr}	[N]	přítlačná síla
$F_{\S}$	[N]	síla od škrabáku
F_T	[N]	síla od teleskopu
F_{vz}	[N]	vztlaková síla

symbol	jednotka	popis
g	$[m \cdot s^{-2}]$	tíhová zrychlení
h	$[mm]$	hloubka výška hladiny vodolátky ve vaně
I_1	$[kg \cdot m^2]$	kvadratický moment setrvačnosti pro síťový buben
I_2	$[kg \cdot m^2]$	kvadratický moment setrvačnosti pro snímací válec
I_C	$[kg \cdot m^2]$	moment setrvačných hmot
k	$[-]$	koeficient bezpečnosti
l	$[mm]$	pracovní délka pera
L_h	$[hod]$	trvanlivost ložiska
m	$[-]$	koeficient pro válečková ložiska
m_1	$[kg]$	hmotnost síťového bubnu
M_1	$[N \cdot m]$	moment na síťovém bubnu
m_2	$[kg]$	hmotnost snímacího válce
M_2	$[N \cdot m]$	moment na snímacím válci
M_C	$[N \cdot m]$	celkový moment čepového tření
M_H	$[N \cdot m]$	moment zrychlení
M_J	$[N \cdot m]$	jmenovitý moment
M_K	$[N \cdot m]$	záběrový moment
m_m	$[kg]$	hmotnost motoru
m_p	$[kg]$	hmotnost páky
M_R	$[N \cdot m]$	rozběhový moment
m_s	$[kg]$	hmotnost škrabáku
M_T	$[N \cdot m]$	třecí moment
m_T	$[kg]$	hmotnost teleskopu
n	$[min^{-1}]$	otáčky síťového bubnu
N_1	$[N]$	normálová síla síťového bubnu
n_2	$[min^{-1}]$	otáčky snímacího válce
N_2	$[N]$	normálová síla snímacího válce
n_m	$[min^{-1}]$	jmenovité otáčky motoru
$n_{př}$	$[min^{-1}]$	předpokládané otáčky síťového bubnu
P	$[kW]$	výkon motoru

symbol	jednotka	popis
p	[MPa]	otlačení pera
p_h	[MPa]	hydrostatický tlak
P_U	[N]	mezní únavové zatížení ložiska
q_1	[N.mm ⁻¹]	liniové zatížení síťového bubnu
q_2	[N.mm ⁻¹]	liniové zatížení snímacího válce
q_m	[N.mm ⁻¹]	liniové zatížení od motoru
R_e	[MPa]	mez kluzu (dovolené napětí)
R_m	[MPa]	mez pevnosti
S	[mm ²]	plocha těsnění
$\bar{s}$	[mm]	šířka těsnění
t	[s]	předpokládaný čas rozběhu
t	[mm]	hloubka drážky pro pera
t_1	[mm]	hloubka drážky v náboji
V_1	[mm ³]	objem vnořeného síťového bubnu ve vodolátce
W_K	[mm ³]	modul v průřezu v krutu
W_O	[mm ³]	modul průřezu v ohybu
y	[mm]	velikost vychýlení
z	[mm]	velikost nečistoty
α	[-]	úhel vychýlení snímacího válce
α_k	[-]	součinitel koncentrace napětí pro krut
α_o	[-]	součinitel koncentrace napětí pro ohyb
β	[-]	bezpečnosti koeficient motoru
η	[%]	volená účinnost mechanismu
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota vodolátky
σ_{nom}	[MPa]	nominální napětí v ohybu
σ_o	[MPa]	ohybové napětí
σ_{red}	[MPa]	redukované napětí
τ_K	[MPa]	napětí v krutu
τ_{nom}	[MPa]	nominální napětí v krutu
ω_1	[rad.s ⁻¹]	úhlová rychlost

14 Dodaná výkresová dokumentace

Tab. 7 *Dodané výkresy*

Název	Číslo
Sítový buben	5654. 356. 000 S0
Snímací válec	5044. 014. 000 S1
Vana	6500. 704. 000 S0 1/2
Vana	6500. 704. 000 S0 2/2
OK-4000	4265. 139. 000 S0 1/3
OK-4000	4265. 139. 000 S0 2/3
OK-4000	4265. 139. 000 S0 3/3