



# 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

## HYDRAULICKÝ MECHANISMUS VYKLÁPĚNÍ LODNÍHO MOTORU DO HMOTNOSTI 300 KG

HYDRAULIC ENGINE TILT MECHANISM UP TO 300 KG

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dušan Macháň

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

BRNO 2025



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Dušan Macháň**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.**  
Akademický rok: 2024/25

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:

## Hydraulický mechanismus vyklápění lodního motoru do hmotnosti 300 kg

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Konstrukční návrh hydraulického zvedáku umístěného v zadní části lodi, který slouží k vyklopení hnacího spalovacího motoru tak, aby se propeler dostal nad hladinu (tzv. "power tilt"). Provoz zvedáku bude možný jen za situace, kdy je hnací motor lodi v klidu.

### Cíle bakalářské práce:

Kritická rešerše možných konstrukčních uspořádání.  
Vlastní zdůvodněný návrh konstrukčního řešení.  
Návrh hydraulického obvodu.  
Nazbytné pevnostní a kapacitní výpočty.  
Výkres sestavy.

### Seznam doporučené literatury:

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. 2024]. Dostupné z <https://www.vutbr.cz/studis/student.phtml>.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem hydraulického mechanismu pro vyklápění závěsného lodního motoru do hmotnosti 300 kg. Cílem je umožnit zvednutí pohonné jednotky nad hladinu v situacích, kdy není motor v chodu. V první části je provedena kritická rešerše existujících variant provedení. Dále tato práce obsahuje vlastní koncepční návrh, kde je kladen důraz na jednoduchost, kompaktnost a snadnou montáž do záďové části plavidla. Součástí je i návrh hydraulického obvodu s nezbytnými pevnostními a kapacitními výpočty. Výsledkem je výkres sestavení navrženého mechanismu, který slouží jako prototyp k další optimalizaci. Navržený mechanismus splňuje požadavky pro bezpečný provoz.

## KLÍČOVÁ SLOVA

vyklápěcí mechanismus, lodní motor, hydraulický mechanismus, powertilt

## ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the design of a hydraulic mechanism for tilting an outboard marine engine up to 300 kg. The aim is to enable the lifting of the propulsion unit above the surface in situations when the engine is not running. In the first part, a critical search of existing design variants is carried out. Furthermore, this work includes the actual conceptual design, where the emphasis is on simplicity, compactness and ease of installation in the stern of the vessel. It also includes the design of the hydraulic circuit with the necessary strength and capacity calculations. The result is an assembly drawing of the designed mechanism, which serves as a prototype for further optimization. The designed mechanism meets the requirements for safe operation.

## KEYWORDS

tilting mechanism, marine engine, hydraulic mechanism, powertilt

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MACHÁŇ, Dušan. *Hydraulický mechanismus vyklápění lodního motoru do hmotnosti 300 kg*. Online, bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství, 2025. Vedoucí práce Miroslav Škopán. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165597>. [cit. 2025-05-16].



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 23. května 2025

.....

Dušan Macháň

## PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat především panu doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc. za pomoc, trpělivost, ochotu a poskytnuté rady při vedení této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za podporu a trpělivost během vypracovávání této práce i zbytku studia.

# OBSAH

<b>Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>1 Manipulace s lodními motory</b> .....	<b>11</b>
1.1 Manipulace během instalace a montáže .....	11
1.2 Manipulace při provozu .....	11
1.2.1 Trim & tilt systém .....	11
1.2.2 Funkce trim systému .....	12
1.2.3 Funkce tilt systému .....	13
1.2.4 Shrnutí .....	13
<b>2 Mechanismus vyklápění lodního motoru</b> .....	<b>14</b>
2.1 Rešerše možných konstrukčních provedení .....	14
2.1.1 Pro malé výkony .....	14
2.1.2 Pro střední výkony .....	15
2.1.3 Pro vysoké výkony .....	16
2.2 Kritická rešerše možných konstrukčních uspořádání – Hydraulický mechanismus .....	17
2.2.1 Powertilt .....	17
2.2.2 Power trim & tilt .....	18
<b>3 Koncepční návrh</b> .....	<b>19</b>
3.1 Parametry zadání .....	20
3.2 Vlastní koncepční návrh .....	20
3.2.1 Návrh hydraulického obvodu .....	22
3.2.2 Volba lineárního hydromotoru .....	24
3.2.3 Volba hydrogenerátoru .....	27
3.2.4 Volba elektromotoru .....	30
3.2.5 Ostatní komponenty .....	31
<b>Závěr</b> .....	<b>49</b>
<b>Použité informační zdroje</b> .....	<b>50</b>
<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b> .....	<b>52</b>
<b>Seznam příloh</b> .....	<b>55</b>

## ÚVOD

Lodní doprava je způsob přepravy zboží a osob po vodních tocích (řekách, kanálech) nebo vodních plochách (jezerech, mořích, oceánech). Patří mezi nejstarší a dodnes klíčové druhy dopravy, především pro přepravu velkých objemů nákladu na dlouhé vzdálenosti. Je základním pilířem světové logistiky, zajišťující přibližně 80 % objemu mezinárodního obchodu. Tento druh dopravy se postupně vyvíjel a přizpůsoboval potřebám jednotlivých období, což z ní učinilo klíčový prvek globálního obchodu a kulturní výměny.

S vývojem lodní dopravy se vyvíjely i samotné pohony lodí. Na začátku se využívalo lidské a zvířecí síly, poté větru využitím plachetnic, následoval parní pohon a po roce 1836, kdy Josef Ressel vynalezl lodní šroub – *propeler*, byly zavedeny spalovací (vznětové a zážehové) motory, které se v převážné většině využívají dodnes. Pro malé rekreační lodě se využívají přenosné závěsné motory s nízkým výkonem a nízkou hmotností, naopak pro velké nákladní lodě se využívají velkorozměrné motory o vysokém výkonu.

Malé a střední lodě je v dnešní době možné uskladňovat i mimo vodní plochy, dělá se tak z důvodu ochrany trupu před poškozením vlivem nárůstu vodních řas a organismů, ochrany před korozi, mrazem, vystavení nepříznivým podmínkám (bouře, vlny, povodně), vandalismu nebo při nutnosti údržby či servisu.

Při každé z těchto činností je nutná speciální manipulace s lodí, při kterém je závěsný motor vystaven zvýšenému riziku poškození. Aby se poškození předešlo, je závěsný motor opatřen vyklápěcím mechanismem, který slouží k vyklopení ponořené části motoru, včetně propeleru, nad hladinu.

Cílem této práce je provést kritickou rešerši možných konstrukčních uspořádání a vytvoření přehledu konstrukčních řešení vyklápěcích mechanismů lodních motorů do 300 kg.

Dále zvolení a zdůvodnění vlastního konstrukčního řešení, vysvětlení funkce celého mechanismu a jednotlivých součástí. Návrh hydraulického obvodu, podložen nezbytnými pevnostními a kapacitními výpočty.

Součástí této práce je výkresová dokumentace sestavy navrženého konstrukčního řešení.

# 1 MANIPULACE S LODNÍMI MOTORY

Jedním z důležitých aspektů týkajících se lodních motorů u malých a středních rekreačních lodí a jachet je manipulovatelnost motoru, a to jak během provozu, tak mimo něj.

## 1.1 MANIPULACE BĚHEM INSTALACE A MONTÁŽE

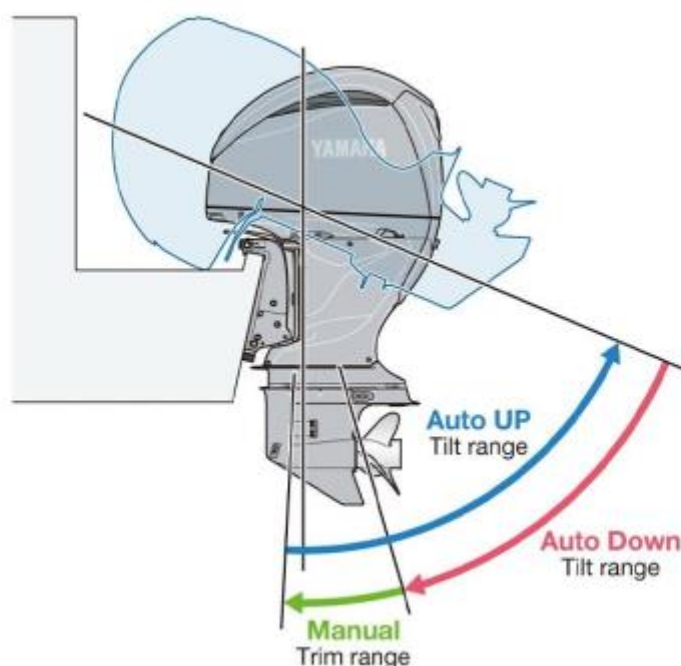
U menších lodí jsou motory připevněny přímo na záďové stěně lodi pomocí šroubů nebo upínacích svorek – závěsné motory. Instalace pohonných systémů zahrnuje připojení palivových, elektrických a hydraulických vedení [1].

## 1.2 MANIPULACE PŘI PROVOZU

Naklápění motoru za chodu se nazývá trimování, slouží k optimalizaci úhlu motoru vůči vodní hladině pro zvýšení výkonu a efektivity nebo zvednutí motoru při pohybu na mělké vodě [2]. Elektrické a hydraulické trimování se využívá u závěsných motorů, jejichž hmotnost je příliš vysoká pro manuální manipulaci. U malých motorů lze trimování provádět manuálně.

### 1.2.1 TRIM & TILT SYSTÉM

Trim & Tilt systém slouží k ovládání sklonu závěsného motoru nebo pohonné jednotky ve vztahu k vodní hladině (Obr. 1). Jeho hlavní funkcí je optimalizace výkonu, ovladatelnosti, spotřeby paliva a ochrana motoru. Tento systém je běžný u rekreačních jachet se závěsnými či záďovými motory [2].



Obr. 1 – Trim & Tilt systém [7]

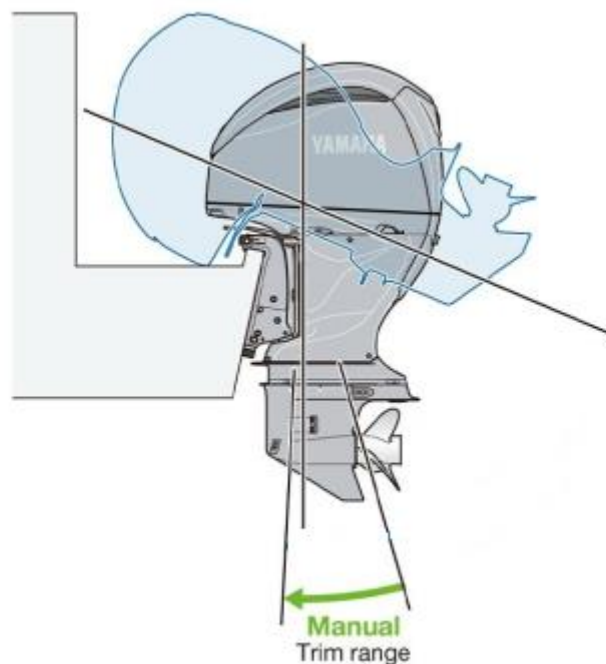
### 1.2.2 FUNKCE TRIM SYSTÉMU

Trimování se provádí za účelem jemného nastavení úhlu motoru vůči zádi lodi během plavby (Obr. 2).

Trim dolů: Naklonění motoru směrem k lodi (ke kýlu). Zlepšuje stabilitu a umožňuje rychlejší dosažení skluzu (vhodné pro start a nižší rychlosti). Snižuje odpor větru a pomáhá při plavbě v drsnějších podmínkách.

Trim nahoru: Naklonění motoru od lodi (od kýlu). Zmenšuje ponor motoru a snižuje odpor vody, což zvyšuje rychlost a snižuje spotřebu paliva při vyšších rychlostech. Pomáhá při plavbě na mělké vodě [3].

Některé moderní lodě jsou vybaveny senzory a automatickým systémem, který upravuje trim podle podmínek plavby – automatický trim.



Obr. 2 – Funkce trim systému [7]

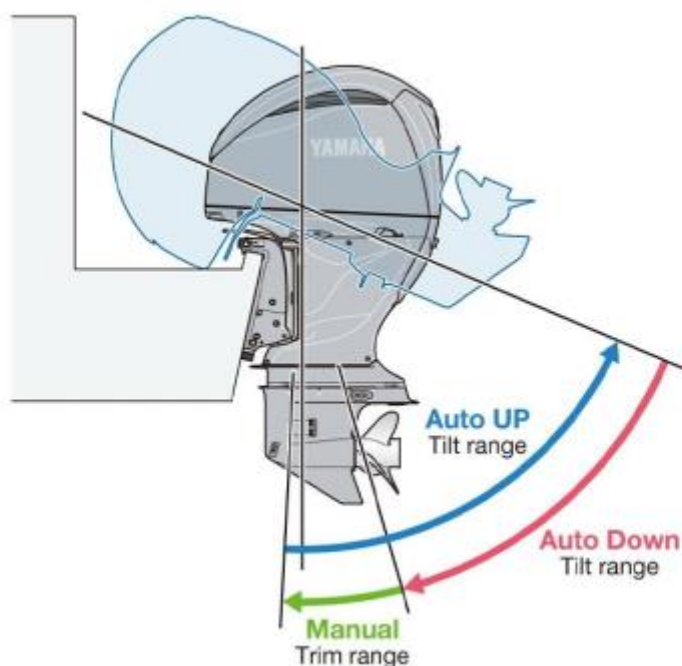
### 1.2.3 FUNKCE TILT SYSTÉMU

Tilt znamená vyklápění motoru, umožňující úplné vyklopení motoru z vody, což se využívá zejména při kotvení nebo uskladnění – zabrání se tak korozi a zanášení motoru mořskou vodou, řasami nebo bahnem (Obr. 3).

Při plavbě v mělké vodě vyklopení motoru snižuje riziko poškození propeleru a spodních částí motoru (např. nárazem na dno nebo překážku).

Při přepravě lodí: Zajišťuje, že motor nepřekáží a není vystaven nadměrným otřesům během převozu [3].

Při údržbě je možné tilt systém využít, vyžaduje-li to servisní nebo jiná operace.



Obr. 3 – Funkce tilt systému [7]

### 1.2.4 SHRUTÍ

Trim & Tilt systém je klíčovým prvkem pro bezpečný a efektivní provoz menších a středních rekreačních i pracovních lodí. Pomáhá optimalizovat výkon motoru, zlepšuje jízdní vlastnosti lodí a chrání motor před poškozením. Jeho využití je obzvláště důležité při měnících se podmínkách plavby, jako je mělká voda, větší vlny nebo potřeba vysoké rychlosti.

## 2 MECHANISMUS VYKLÁPĚNÍ LODNÍHO MOTORU

Pro vyklopení ponořené části lodního motoru z vody se využívá speciálních mechanismů, jejichž konstrukce se liší zejména na základě velikost, ceny a typu použití.

### 2.1 REŠERŠE MOŽNÝCH KONSTRUKČNÍCH PROVEDENÍ

#### 2.1.1 PRO MALÉ VÝKONY

U malých přenosných lodních motorů s rozsahem hmotnosti 15–45 kg a výkonu 2–8 kW (2,5–10 koní) se využívá manuálního ovládání jak při provozu, tak mimo chod motoru při vyklápění (Obr. 4) [4].

Vyklápění motoru je realizováno lidskou silou, motor je uchopen za madlo a kolem kloubového čepu je ponořená část (outboard) včetně propeleru vyklopena nad hladinu. Zajišťovací kolík zamezuje zpětnému vyklopení do vody a zajišťuje stabilní polohu, pro opětovné spuštění se motor lehce nadzvedne, zajišťovací kolík se povolí a motor lze spustit.



*Obr. 4 – Přenosný lodní motor Yamaha F2.5BMHS [4]*

### 2.1.2 PRO STŘEDNÍ VÝKONY

U malých univerzálních a středních lodních motorů s hmotností od 50 do 120 kg a výkonem 11–40 kW (15–50 koní) je vyklápění realizováno plně elektricky, elektricko-hydraulicky (elektricky poháněné čerpadlo tlakuje lineární hydromotor, který vyklápí lodní motor) nebo manuálně s hydraulickou podporou (vyklápění je realizováno lidskou silou a lineární hydromotor usnadňuje průběh procesu) [5].

Elektrická varianta (Obr. 5) se skládá z elektrického motoru a vodícího šroubu, který přenáší rotační pohyb elektromotoru na přímočarý pohyb, kterým je vyklopení realizováno. V obvodu se nachází pojistky a relé, které chrání obvod proti přetížení. Tato varianta má výrazně nižší hmotnost, pořizovací náklady i náklady na údržbu než varianta s použitím hydrauliky.



Obr. 5 – Elektrický lineární aktuátor [8]

Princip elektrické varianty s využitím hydrauliky spočívá v tom, že elektromotor přímo pohání čerpadlo, stlačená kapalina z čerpadla následně vytlačuje lineární hydromotor, který vyklápí závěsný lodní motor. Oproti plně elektrické variantě je tento systém dražší, náročnější na údržbu, má vyšší pořizovací náklady a pomalejší odezvu, má však vyšší únosnost a je tak vhodnější pro větší a těžší motory.

Varianta použití lidské síly s hydraulickou podporou (Obr. 6) spočívá v tom, že hydraulický píst napomáhá při zdvihu i sklápění. Je konstrukčně jednodušší než předešlé dvě varianty, ovšem nabízí nejmenší formu komfortu, který může být například u rekreačních lodí klíčový.



Obr. 6 – Yamaha Hydro tilt [6]

### 2.1.3 PRO VYSOKÉ VÝKONY

U vysoce výkonných lodních motorů dosahujících hmotnosti od 120 do 300 kg a rozsahem výkonu 45–260 kW (60–350 koní) se využívá plně automatizovaný elektrický (elektricko-hydraulický) vyklápečí systém (electric trim and tilt) [6].

Tento systém stejně jako v předešlé variantě využívá čerpadla, poháněného elektrickým motorem, a zdvih je realizován lineárním hydromotorem. Kvůli vysoké hmotnosti vyklápečího motoru je toto jediná používaná varianta.



*Obr. 7 – Vysokovýkonné motory Yamaha [6]*

## 2.2 KRITICKÁ REŠERŠE MOŽNÝCH KONSTRUKČNÍCH USPOŘÁDÁNÍ – HYDRAULICKÝ MECHANISMUS

Plně hydraulická varianta vyklápěcího mechanismu se dělí do dvou hlavních skupin.

### 2.2.1 POWERTILT

Powertilt (Obr. 8) slouží pouze k úplnému vyklopení a sklopení motoru z vody nebo do vody, neumožňuje jemné nastavování úhlu motoru za chodu [3]. Vyklopení je realizováno lineárním hydromotorem. Hydraulické čerpadlo je poháněno malým elektromotorem a stlačený olej dopravuje pouze jedním směrem (podle vyklápění/sklápění).



*Obr. 8 – Powertilt mechanismus [9]*

### 2.2.2 POWER TRIM & TILT

Power trim & tilt (Obr. 9 a 10) dokáže oproti jednoduchému powertiltu jemně nastavovat úhel motoru za chodu [3]. Pracuje na stejném principu, ovšem jeho konstrukce je složitější, používá se především pro motory s vyššími výkony, zřídka pro motory se středním výkonem.



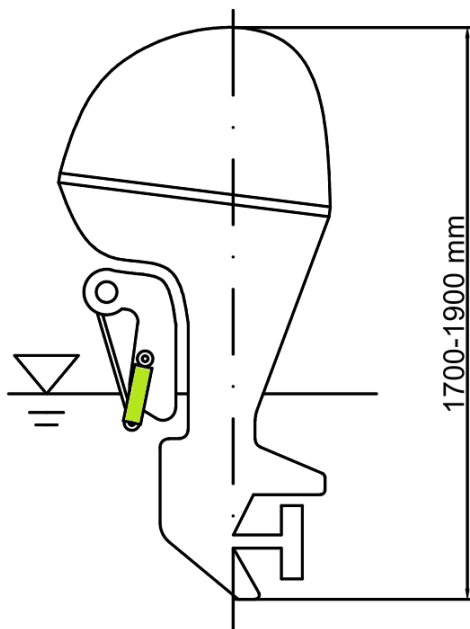
*Obr. 9 – Power trim & tilt systém pro značku Honda [9]*



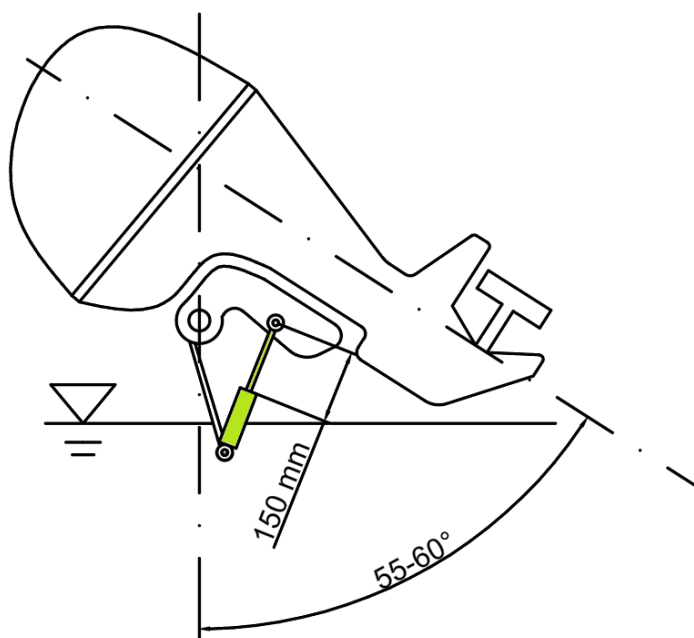
*Obr. 10 – Power trim & tilt systém pro značku Mercury [9]*

### 3 KONCEPČNÍ NÁVRH

Účelem návrhu hydraulického vyklápěcího mechanismu bude vyklopit závěsný lodní motor do takové polohy, aby se propeler nacházel nad vodní hladinou (Obr. 12).



Obr. 11 – Schématické vyobrazení lodního motoru ve sklopené poloze



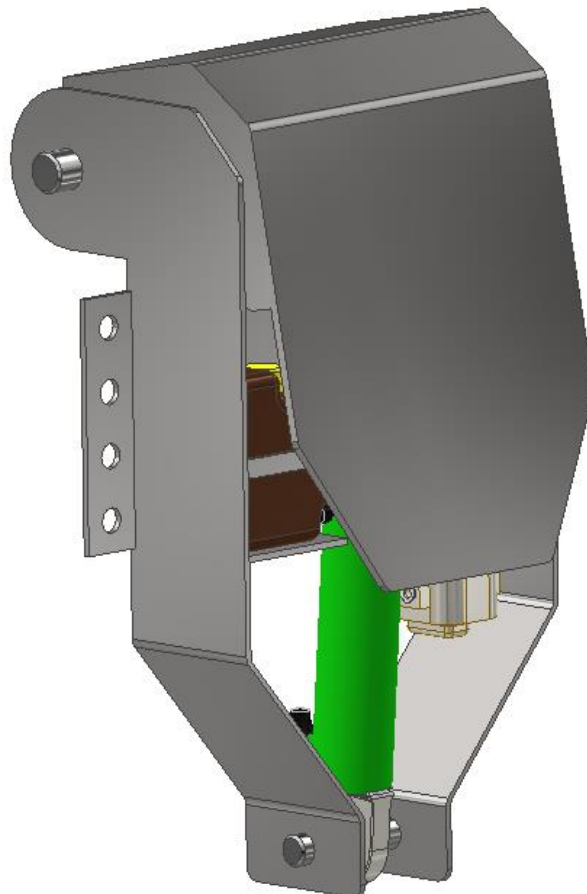
Obr. 12 – Schématické vyobrazení lodního motoru ve vyklopené poloze

### 3.1 PARAMETRY ZADÁNÍ

Dle zadání bude koncepční návrh mechanismu schopen vyklopit závěsný lodní motor do hmotnosti 300 kg. Za předpokladu, že motor bude mimo provoz – bude se tedy jednat pouze o plnění funkce tilt, nikoliv trim & tilt. V této variantě bude uvažován motor typu Yamaha F300 (Honda McLaren M300, Mercury Verado 300), jakožto zástupci vysokovýkonných závěsných lodních motorů, s hmotností do 300 kg a předpokladem, že pro jakýkoliv motor o nižší hmotnosti bude tento mechanismus parametry splňovat. Takovéto motory nejčastěji dosahují výšky mezi 1700–1900 mm.

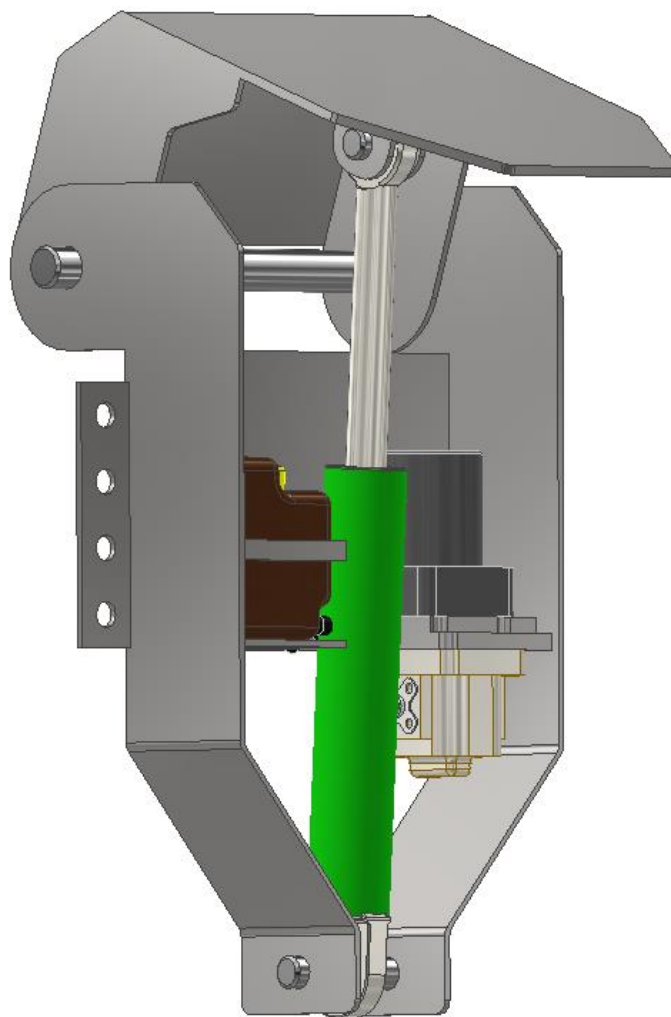
### 3.2 VLASTNÍ KONCEPČNÍ NÁVRH

Rám navrženého konstrukčního řešení je pomocí šroubových spojů připevněn k záďové stěně lodi a plní nosnou funkci celého mechanismu.



*Obr. 13 – Model koncepčního návrhu*

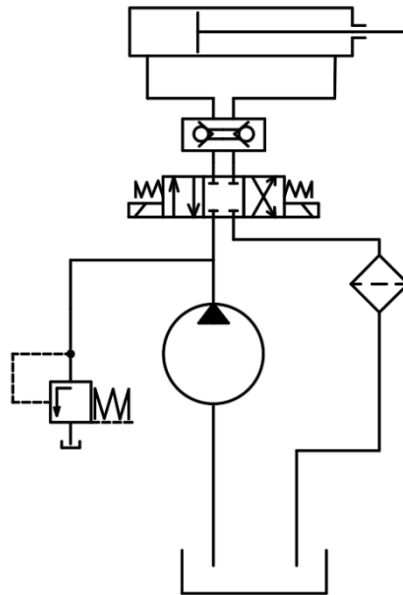
V nosném rámu jsou umístěny dva čepy, horní čep slouží jako pól otáčení – vyklápění závěsného lodního motoru (Obr. 14). Spodní čep slouží k upevnění lineárního hydromotoru, který se kolem čepu naklápí. Oba čepy jsou osově zajištěné a skrze mazací kanálky umožňují promazávání rotačních spojení součástí. V rámu je dále umístěn elektromotor, který slouží jako pohonná jednotka mechanismu a je napájen přímo z elektrického systému lodi. K jeho sepnutí dochází signálem z externí řídicí jednotky, či přímo z manuálního ovládání, dle konstrukce lodi. Elektromotor přímo pohání hřídel zubového hydrogenerátoru, na který je napojený. Zubový hydrogenerátor je umístěn pod elektromotorem, stlačuje přiváděný hydraulický olej a následně jej dodává do lineárního hydromotoru. Jakmile je hydromotor v chodu, vysouvá píst, který je na konci připevněn k unášecímu čepu a tím vytlačí vyklápěcí část rámu. To je součást mechanismu, ke které je lodní motor připevněn, částečně slouží jako kryt celého mechanismu a k nosnému rámu je vyklápěcí rám připevněn rotačním spojením přes horní čep a dále je připevněn k lineárnímu hydromotoru pomocí unášecího čepu.



*Obr. 14 – Model koncepčního návrhu ve vyklopené poloze*

### 3.2.1 NÁVRH HYDRAULICKÉHO OBVODU

Jedná se o jednoduchý otevřený hydraulický obvod (Obr. 15) se směrovým rozvaděčem a pojistným ventilem, pracovní kapalinou je hydraulický olej HEES ISO VG 32, dle ISO 3448, biologicky odbouratelný hydraulický olej, který se běžně používá pro lodní hydrauliku.



Obr. 15 – Schéma hydraulického obvodu

Obvod je opatřen hydraulickým zámkem značky Hydroma, spol. s.r.o. značení: **FPD -5bar, max.12 l/min., max. 350 bar** (Obr. 16) který udržuje tlak v hydromotoru i v případě, že je čerpadlo mimo chod – zabraňuje se tak zasunutí hydromotoru vlivem tíhy motoru a tudíž poklesu lodního motoru do původní polohy.



Obr. 16 – Hydraulický zámek FPD, Hydroma, spol. s.r.o. [10]

Další součástí obvodu je elektricky řízený rozvaděč, který směrově řídí tok oleje (vysunutí/zasunutí), pokud se nachází v neutrální poloze, olej neproudí do hydromotoru.

Pojistný ventil v obvodu zajišťuje, že při vysokém nárůstu tlaku propustí olej zpět do nádrže. Takový nárůst tlaku může vzniknout například mechanickým blokováním pohybu hydromotoru, či vyklápeného lodního motoru.

Pracovní tlak v celém obvodu je 8 MPa, z důvodu bezpečnosti před rázy a mechanickým poškozením ostatních součástí.

Obvod je propojen zvolenými hadicemi **DN8 M16x1,5 2SN ZZ** dle EN 853 (Obr. 17), jedná se o běžně používané, dostupné hydraulické hadice s vnitřním průměrem 8 mm, oba konce hadic jsou opatřeny závitem M16x1,5. Vnitřní vrstva hadic je z olejovzdorné pryže NBR, vyztužení dvěma ocelovými oplety a vnější vrstva je z polyurethanového obalu a je odolná proti UV záření, slané vodě a mechanickému poškození. Jelikož je celý mechanismus kompaktní a délka hadic je poměrově velmi malá, nepřekračují tlakové ztráty vlivem délky hadic 5%, jsou v tomto případě zanedbatelné. V místech, kde budou hadice ohnuté lze použít kovové nebo pryžové vyztuhy hadic (pružina), aby se minimalizovalo otírání hadic o jiné komponenty a prodloužila se tak jejich životnost. Maximální tlak v hadicích je dle výrobce 36 MPa.



Obr. 17 – Hydraulická hadice DN8 M16x1,5 2SN ZZ [11]

Výpočet rychlosti kapaliny v hadicích:

nejprve je nutné vypočítat vnitřní plochu hadice:

$$S_h = \frac{\pi d_h^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,008^2}{4} = 5,027 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \quad (1)$$

vyjádřená rychlost z rovnice pro průtok se potom bude rovnat:

$$v_h = \frac{Q}{S_h} = \frac{6,28 \cdot 10^{-5}}{5,027 \cdot 10^{-5}} = 1,25 \text{ m/s} \quad (2)$$

$S_h$  ... plocha uvnitř hadice [ $\text{mm}^2$ ]

$d_h$  ... vnitřní průměr hadice [ $\text{mm}$ ]

$v_h$  ... rychlost v hadici [ $\text{m/s}$ ]

$Q$  ... průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] – vypočten v rovnici (9)

### 3.2.2 VOLBA LINEÁRNÍHO HYDROMOTORU

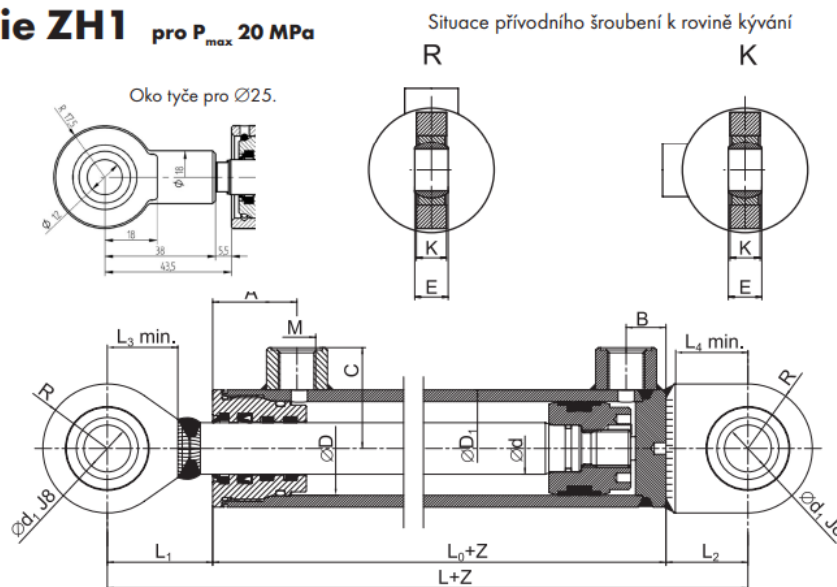
Lineární hydromotor (Obr. 18) je zvolen z katalogu výrobce HYDRAULICS s.r.o., vstupním parametrem je požadovaná výška zdvihu  $h=150\text{ mm}$ , který výrobce dodává dle přání zákazníka, a minimální průměr pístu  $D_{min}=21,6\text{ mm}$  (stanoveno výpočtem).

Značení: HYDRAULICS SLOPNÉ ZH1 40/25 x 180 27,5/14



Obr. 18 – Lineární hydromotor ZH1 40/25 x 180 27,5/14 [12]

### Série ZH1 pro $P_{max}$ 20 MPa



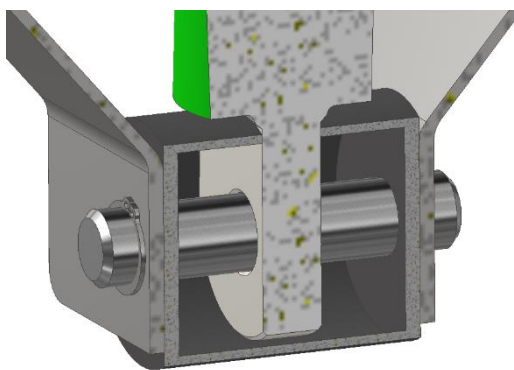
$\varnothing D$	$\varnothing d$	$\varnothing D_1$	$\varnothing d_1$	L	$L_0$	$L_1$	$L_2$	$L_3$ $\pm 1$	$L_4$ $\pm 1$	M	A	B	C	E	K	R	Maximální doporučené zdvihy dle zvol. $\varnothing d$	Hmotnost při zdvihu Z (kg)
40	25	50	20	170	90	45	35	32	31	16x1,5	36	17	43	16	14	27,5	360	2,00 + Z x 0,00940

Obr. 19 – Výňatek z katalogu Hydraulics, s.r.o. [12]

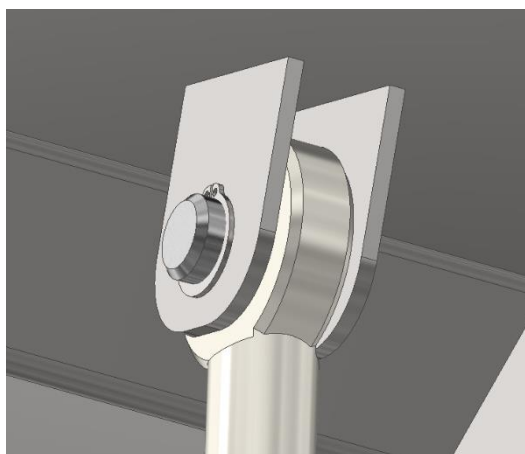
Tabulka 1. – Parametry lineárního hydromotoru

Pracovní zdvih	150 mm
Maximální zdvih	180 mm
Pracovní rychlost zdvihu	0,03 – 0,05 m/s
Maximální rychlost zdvihu	0,5 m/s
Pracovní tlak	16 MPa
Maximální tlak	20 MPa

Jedná se o jednoduchý lineární hydromotor, který je na obou koncích uložen otočnými čepi. Pevný (spodní) konec (Obr. 20) je uložen rotační vazbou se zamezením posuvu, mazání je uskutečněno středem čepu a po promazání je spoj zakrytován a optimálně utěsněn, docílí se tak minimální ztráty maziva vlivem kontaktu s vodou a prodlouží se doba korozivzdornosti.



Obr. 20 – Uložení spodního konce lineárního hydromotoru



Obr. 21 – Uložení horního konce lineárního hydromotoru

Výsuvný (horní) konec (Obr. 21) je uložen rotační posuvnou vazbou, mazání je uskutečněno opět středem čepu, nicméně těsnění a krytování v tomto případě není tak komplikované, jelikož horní čep bude v kontaktu s vodou výrazně méně a je k němu snadnější přístup pro případné domazání.

Výpočet minimálního průměru pístu hydromotoru:

Vyvozeno z rovnice pro výpočet tlaku:

$$p = \frac{F}{S} \quad (3)$$

kdy  $p$  je pracovní tlak v hydraulickém obvodu, tj.  $p=8 \text{ MPa}$  a

$$F = mg = 300 \cdot 9,81 = 2943 \text{ N} \quad (4)$$

po úpravě:

$$S = \frac{F}{p} \quad (5)$$

ze vztahu  $S = \frac{\pi \cdot D_{min}^2}{4}$  je vyjádřeno  $D_{min}$ , potom:

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4F}{\pi p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2943}{\pi \cdot 8000000}} = 0,0216 \text{ m} = 21,6 \text{ mm} \quad (6)$$

$p$  ... pracovní tlak hydromotoru [MPa]

$F$  ... síla od břemene [N]

$S$  ... plocha válce [ $\text{mm}^2$ ]

$m$  ... hmotnost břemene [kg]

$g$  ... gravitační zrychlení [ $\text{m/s}^2$ ]

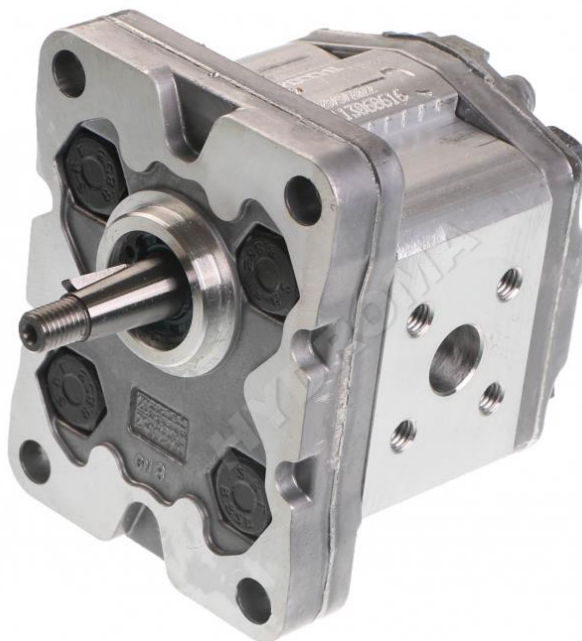
$D_{min}$  ... minimální průměr pístu hydromotoru [mm]

Kontrolu na vzpěr v tomto případě nebude nutno počítat, jelikož nebyla přesažena kritická hodnota zdvihu, stanovená výrobcem.

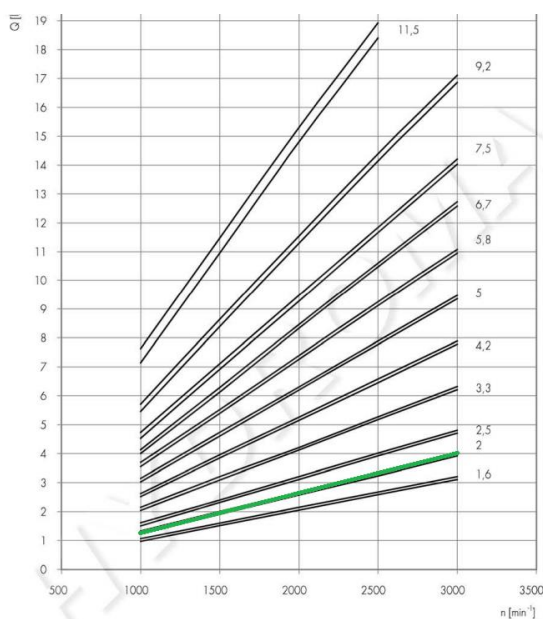
### 3.2.3 VOLBA HYDROGENERÁTORU

Vstupním parametrem je požadovaný pracovní tlak  $p=8\text{ MPa}$ , který musí hydrogenerátor být schopen dodat. Na základě výpočtů byl zvolen katalogový zubový hydrogenerátor značky Hydroma, spol. s.r.o. (Obr. 22)

Značení: **076.13019 1PD2**



Obr. 22 – Zubový hydrogenerátor 076.13019 1PD2 [13]



Graf 1. – Grafická závislost průtoku na otáčkách čerpadla [14]

Tabulka 2. – Parametry zubového hydrogenerátoru

Objemový výkon	1,3 cm <sup>3</sup> /ot
Maximální otáčky	6000 min <sup>-1</sup>
Maximální tlak	23 MPa (230 barů)
Směr otáčení	Oboustranný, řízen polaritou el. motoru
Příruba	30 mm
Hmotnost	0,871 kg

Jedná se o jednostupňový zubový hydrogenerátor, který dokáže krátkodobě dodávat vysoký tlak, což je v této variantě vyhovující. Výhodou jsou malé rozměry, vysoká dostupnost, jednoduchá konstrukce a poměrně nízká hmotnost, odolnost vůči nečistotám v pracovní kapalině. Hydrogenerátor bude poháněn elektromotorem přímo, tvarovým spojem, bez jakéhokoliv převodu.

Výpočet průtoku:

$$Q = Sv \quad (7)$$

kdy

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,04^2}{4} = 0,001256 \text{ m}^2 = 12,56 \text{ cm}^2 \quad (8)$$

$$v = 0,05 \text{ m/s} = 5 \text{ cm/s} \dots \text{ rychlost zdvihu (zvoleno)}$$

potom:

$$Q = Sv = 12,56 \cdot 5 \cdot 60 = 3768 \text{ cm}^3/\text{min} \quad (9)$$

Výpočet objemového výkonu:

$$V_g = \frac{Q}{n} = \frac{3768}{3000} = 1,256 \text{ cm}^3/\text{ot} \quad (10)$$

$$n = 3000 \text{ min}^{-1} \dots \text{ pracovní otáčky hydrogenerátoru (voleno)}$$

$$V_g \dots \text{ objemový výkon [cm}^3/\text{ot]}$$

$$Q \dots \text{ objemový průtok [cm}^3/\text{min]}$$

$$v \dots \text{ rychlost zdvihu [m/s]}$$

$$S \dots \text{ plocha válce [mm}^2]$$

V takovéto situaci, kdy rychlost zdvihu dosahuje hodnoty 0,05 m/s odpovídá celková doba vyklopení motoru  $t=3$  s. V případě, že elektromotor nebude z jakéhokoliv důvodu (porucha, přidření čepových spojů) schopen dodávat požadované otáčky, doba zdvihu se prodlouží.

Přepočítání pro sníženou otáčku  $n_s$  na hodnotu  $n_s=2000 \text{ min}^{-1}$

Výpočet sníženého průtoku:

$$V_g = \frac{Q_s}{n_s} \rightarrow Q_s = V_g \cdot n_s = 1,256 \cdot 2000 = 2512 \text{ cm}^3/\text{min} \quad (11)$$

plocha pístu z původního výpočtu se nezmění, tudíž:

$$Q_s = S v_s = 12,56 \cdot v_s \cdot 60 \quad (12)$$

vyjádřením  $v_s$  je získáno:

$$v_s = \frac{Q_s}{S \cdot 60} = \frac{2512}{12,56 \cdot 60} = 0,0333 \text{ m/s} = 3,33 \text{ cm/s} \quad (13)$$

$Q_s$  ... snížený průtok [ $\text{cm}^3/\text{min}$ ]

$n_s$  ... snížené pracovní otáčky [ $2000 \text{ min}^{-1}$ ]

$v_s$  ... snížená rychlost zdvihu [ $\text{m/s}$ ]

Při takovém poklesu otáček by se celková doba zdvihu prodloužila z 3 sekund na 4,5 sekundy.

### 3.2.4 VOLBA ELEKTROMOTORU

Elektromotor (Obr. 23) přímo pohání zubový hydrogenerátor, a proto je potřeba, aby byl schopen dodat pracovní otáčky, při kterých hydrogenerátor dosahuje požadovaného objemového výkonu, tomu, na základě výpočtů, odpovídá hodnota otáček  $n=3000 \text{ min}^{-1}$ . Takovému parametru odpovídá elektromotor **ARCO 6238** značky ARCO Marine.



Obr. 23 – Elektromotor ARCO 6238 [15]

Tabulka 3. – parametry elektromotoru

Napětí	12 V DC
Typ zapojení	dvouvodičový systém s utěsněnými konektory
Směr otáčení	Reverzibilní (změna polarity)
Otáčky	Až 6000 min (naprázdno)
Výkon	Až 250 W
Typ výstupu	Hřídel s šestihranem, povrchové kalení
Hmotnost	1,8 kg

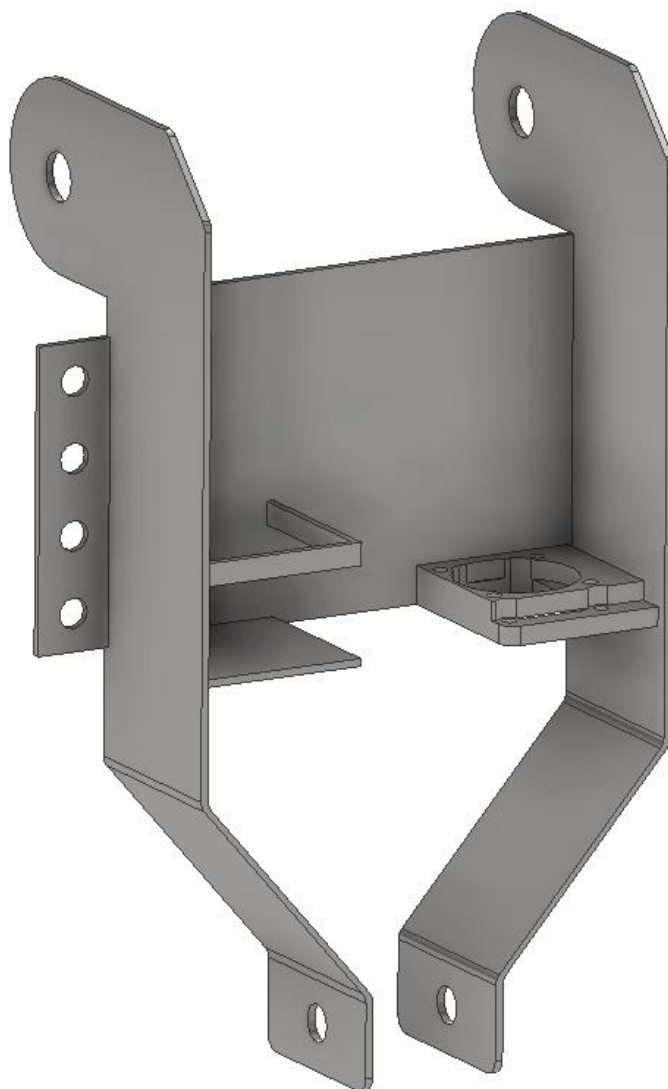
Jedná se o kompaktní, cenově dostupný a výkonově dostačující elektromotor. Výhodou jsou především malé rozměry, vysoká korozivzdornost a odolnost proti vniknutí vody. Korozivzdornosti je dosaženo nástřikem potahu z epoxidového prášku, vniknutí vody se zabraňuje pomocí O – kroužku, umístěným na přírubě a utěsněním konektorů. Montáž k hydrogenerátoru je zajištěna pomocí šroubů na přírubě. Motor je napájen z elektrického obvodu lodi.

### 3.2.5 OSTATNÍ KOMPONENTY

Zde je podrobný přehled ostatních použitých komponent, jejich popis činnosti a vlastností.

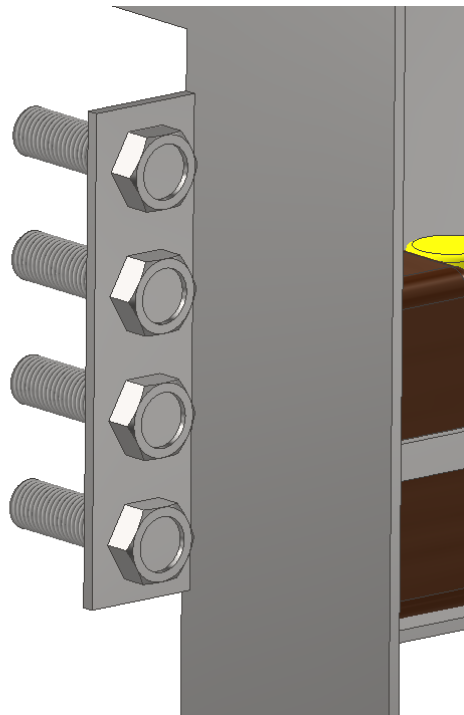
#### NOSNÝ RÁM

Jedná se o svařenec z pásového profilu o tloušťce 4 mm. Označení materiálu je **X5CrNiMo17-12-2** dle normy ČSN EN 10088-1 (17 346 dle ČSN 42 5715 – nyní již neplatná norma) nazýván je také jako „Marine Grade Stainless Steel“. Typickou vlastností tohoto materiálu je dobrá svařitelnost a vynikající korozní odolnost obzvláště v prostředí s chloridy – mořská voda. Tento materiál byl zvolen i pro další kovové součásti, sjednocení volby materiálu má za cíl předejít vzniku elektrického článku vlivem použití rozdílných, vzájemně reaktivních, materiálů a podporuje korozivzdornost. Svařování součástí ze zvoleného materiálu je doporučeno metodou TIG.



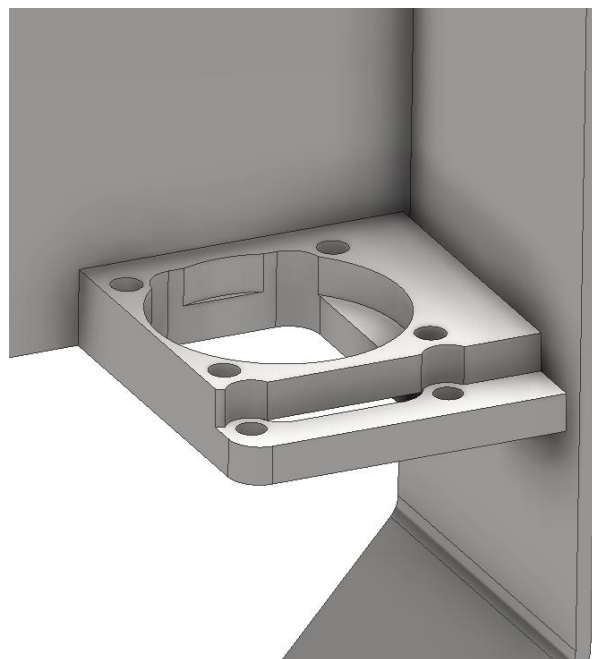
*Obr. 24 – Model nosného rámu*

Nosný rám bude připevněn pomocí šroubů k zadové stěně lodi (Obr. 25), na každé straně rámu jsou symetricky čtyři otvory pro šrouby M16.



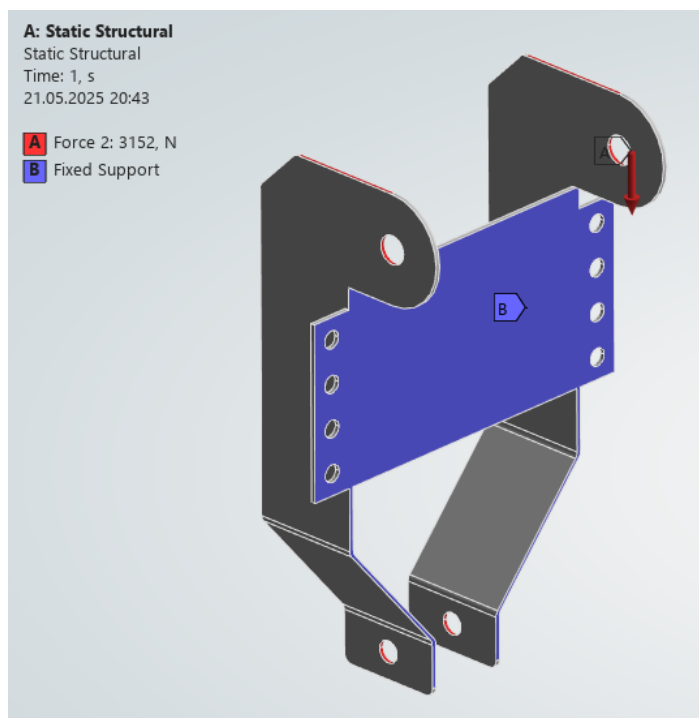
*Obr. 25 – Šroubové spojení pro uchycení rámu*

Na rámu se nachází pozice pro uložení elektromotoru a hydrogenerátoru (Obr. 26), ta obsahuje otvory pro uchycení součástí šrouby a zajišťuje, aby při činnosti nedošlo k uvolnění nebo házení kterékoliv ze součástí. Zároveň svou geometrií zajišťuje vzájemné vystředění.

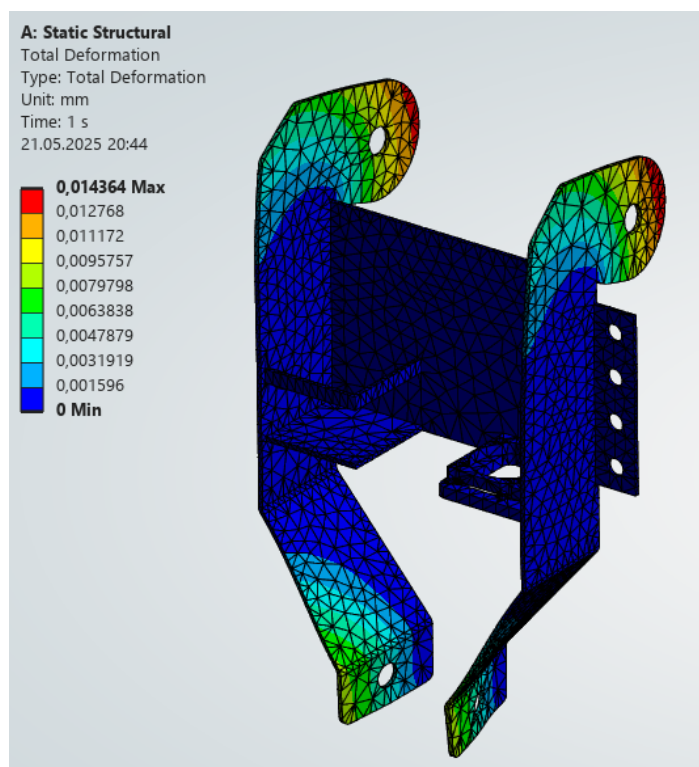


*Obr. 26 – Pozice pro uchycení elektromotoru a hydrogenerátoru*

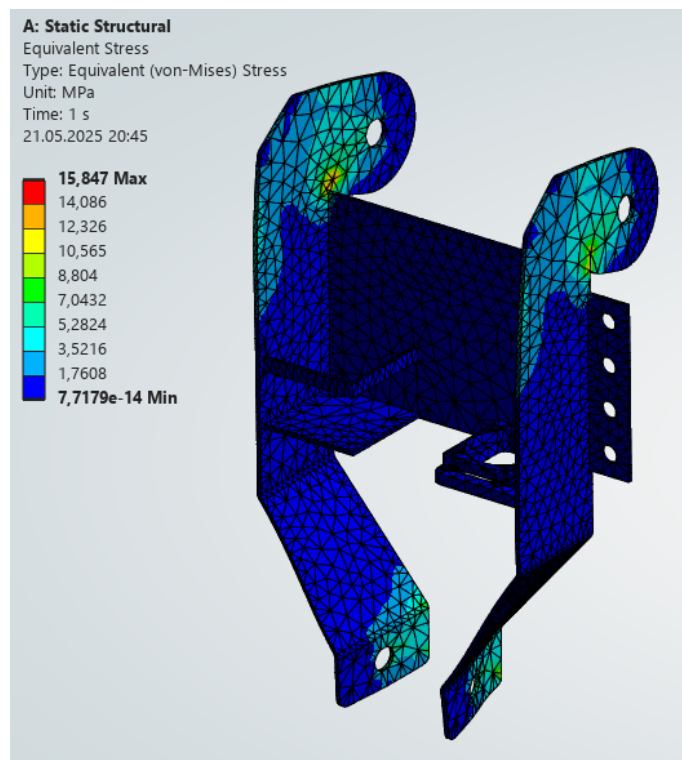
Deformační (Obr. 28) a pevnostní (Obr. 29) analýza v programu Ansys Student:



Obr. 27 – Okrajové podmínky pevnostní a deformační analýzy



Obr. 28 – Výsledek deformační analýzy

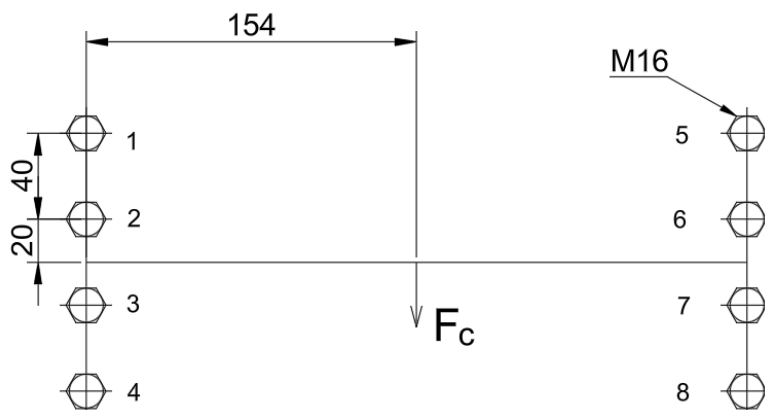


Obr. 29 – Výsledek pevnostní analýzy

Pevnostní a deformační analýza je simulována ve stavu, kdy je lodní motor mimo chod a plavidlo je v klidové poloze. Nejsou uvažovány žádné okolní vlivy a odpory. Analýzu nelze považovat jako návrhovou. V případě, kdy je lodní motor v chodu, propeler se otáčí a je uvažován odpor vody, bude napětí v rámu odlišné. Podrobnějších výsledků lze dosáhnout komplikovanějšími simulacemi, které nebyly podstatou této práce.

Výpočet průměru šroubů:

Postup výpočtu průměru šroubů vychází z řešení pro výpočet soustavy šroubů, kdy síla působí kolmo na šroub.



Obr. 30 – Schéma soustavy šroubů pro výpočet

Výpočet celkové působící síly  $F_c$  vychází ze vztahu:

$$F_c = m \cdot g \quad (14)$$

jelikož šrouby budou zatíženy tíhou lodního motoru a tíhou mechanismu samotného, hmotnost se tedy bude rovnat:

$$m = m_{mech} + m_{mot} \quad (15)$$

kdy:

$$m_{mech} = m_{nr} + m_{vr} + m_{hč} + m_{sč} + m_{uč} + m_{hm} + m_{hg} + m_{em} \quad (16)$$

Tabulka 4. – Přehled hmotností komponent mechanismu

Název komponenty (indexové označení v rovnici):	Vypočteno:	Hmotnost [kg]:
Nosný rám ( <i>nr</i> )	Vypočteno programem Autodesk Inventor Professional 2026	6,465
Výklápěcí rám ( <i>vr</i> )		6,858
Horní čep ( <i>hč</i> )		1,306
Spodní čep ( <i>sč</i> )		0,238
Unášecí čep ( <i>uč</i> )		0,107
Lineární hydromotor ( <i>hm</i> )	Vypočteno dle katalogu výrobce	3,692
Hydrogenerátor ( <i>hg</i> )	Z katalogu výrobce	0,871
Elektromotor ( <i>em</i> )		1,8

celková hmotnost mechanismu  $m_{mech}$  se potom rovná:

$$m_{mech} = 6,465 + 6,858 + 1,306 + 0,238 + 0,107 + 3,692 + 0,871 + 1,8 = 21,34 \text{ kg} \quad (17)$$

K této hmotnosti je dále nutno přičíst maximální hmotnost lodního motoru (zadáno):

$$m_{mot} = 300 \text{ kg}$$

potom:

$$m = m_{mech} + m_{mot} = 21,337 + 300 = 321,34 \text{ kg} \quad (18)$$

Síla  $F_c$  se potom rovná:

$$F_c = mg = 321,34 \cdot 9,81 = 3152 \text{ N} \quad (19)$$

$F_c$  ... síla působící kolmo na osu šroubů [N]

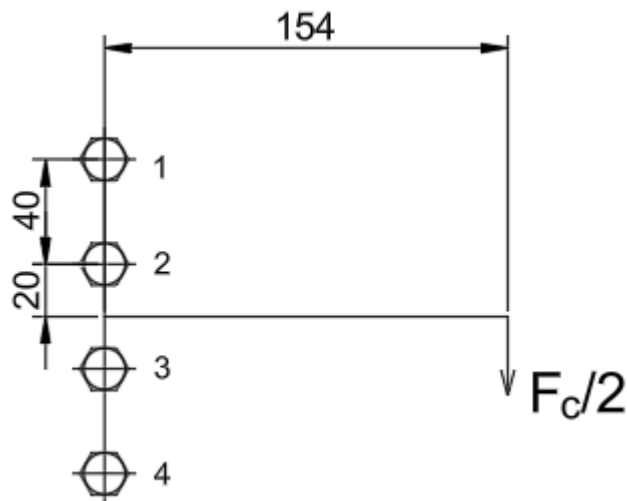
$g$  ... gravitační zrychlení [ $m/s^2$ ]

$m$  ... celková hmotnost [kg]

$m_{mot}$  ... hmotnost motoru (zadáno) [kg]

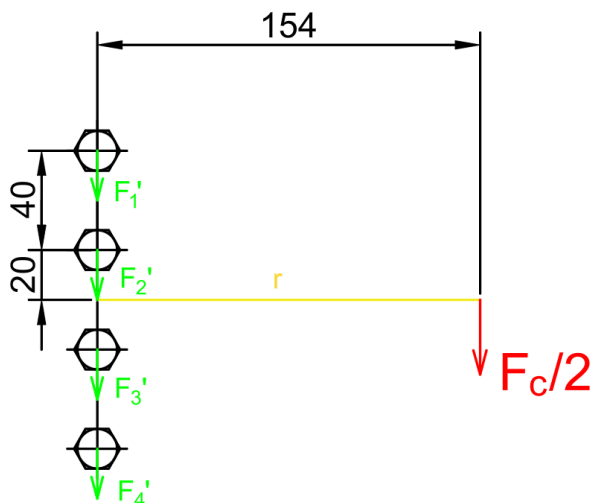
$m_{mech}$  ... hmotnost mechanismu [kg]

Protože se jedná o symetrickou soustavu šroubů, výpočet lze zjednodušit takto:



Obr. 31 – Zjednodušené schéma výpočtu soustavy šroubů

Dalším krokem je výpočet sil působících na šrouby:

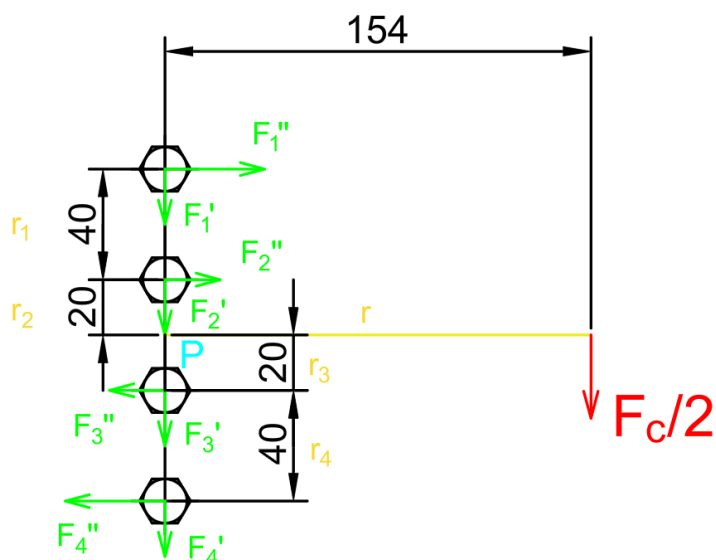


Obr. 32 – Schéma silového zatížení šroubů

$$F_1' = F_2' = F_3' = F_4' = \frac{F_c}{2} = \frac{F_c}{8} = 394 \text{ N} \quad (20)$$

$F_i'$  ... síly působící kolmo na osy šroubů [N]

a síly od momentu k bodu P, kdy bodem P se rozumí fiktivní pól otáčení:



Obr. 33 – Schéma silového zatížení šroubů

$$M = \frac{F_c}{2} r = F_1'' r_1 = F_2'' r_2 = F_3'' r_3 = F_4'' r_4 \quad (21)$$

$F_i''$  ... síly od momentu působící kolmo na osy šroubů [N]  
 $r_i$  ... ramena sil

Dle schématu je zřejmé, že šrouby 1 a 4 budou namáhány více než šrouby 2 a 3, pro jejich výpočet tedy bude platit, že:

$$\frac{F_c}{2}r = F_1''r_1 = F_4''r_4 \quad (22)$$

protože se vzdálenosti  $r_1$  a  $r_4$  rovnají, lze síly vypočítat takto:

$$F_4'' = F_1'' = \frac{F_c r}{2(r_1 + r_4)} = 4045 \text{ N} \quad (23)$$

výslednou sílu působící na šroub lze potom vypočítat vektorovým součinem takto:

$$F_1 = F_4 = \sqrt{F_1'^2 + F_1''^2} = \sqrt{394^2 + 4045^2} = 4065 \text{ N} \quad (24)$$

$F_i$  ... výsledné síly působící kolmo na osu šroubů [N]

Tuto hodnotu síly nyní lze použít pro stanovení minimálního průměru šroubu, a to z rovnice pro kontrolu na smyk a na otláčení:

$$\tau_S = \frac{F_1}{S_\xi} \leq \tau_{DS} \quad (25)$$

Pro materiál X5CrNiMo17-12-2 odpovídá dle ČSN EN 10088-1  $\tau_{DS} = 100 \text{ MPa}$

průměr dříku šroubu je pak vyjádřen takto:

$$d_\xi = \sqrt{\frac{4F_1}{\pi\tau_{DS}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4065}{\pi \cdot 300}} = 4,15 \text{ mm} \quad (26)$$

Pro zvolený šroub M16 se pak skutečná hodnota napětí rovná:

$$\tau_S = \frac{F_1}{\frac{\pi d_{M16}^2}{4}} = \frac{4065}{\frac{\pi \cdot 16^2}{4}} = 20,2 \text{ MPa} \leq \tau_{DS} \quad (27)$$

$\tau_S$  ... napětí ve smyku [Mpa]

$\tau_{DS}$  ... výpočtové napětí ve smyku [MPa]

$S_\xi$  ... plocha dříku šroubu [mm<sup>2</sup>]

$d_\xi$  ... průměr dříku šroubu [mm]

$d_{M16}$  ... průměr dříku šroubu M16 [mm]

Kontrola na otláčení:

$$P = \frac{F_1}{d_{M16}l} \leq p_D \quad (28)$$

Pro materiál X5CrNiMo17-12-2 odpovídá dle ČSN EN 10088-1  $p_D = 170 \text{ MPa}$

napětí v dřívku šroubu je pak rovno:

$$P = \frac{F_1}{d_{M16}l} = \frac{4065}{16 \cdot 4} = 63,52 \text{ MPa} \leq p_D \quad (29)$$

$P$  ... otláčení [MPa]

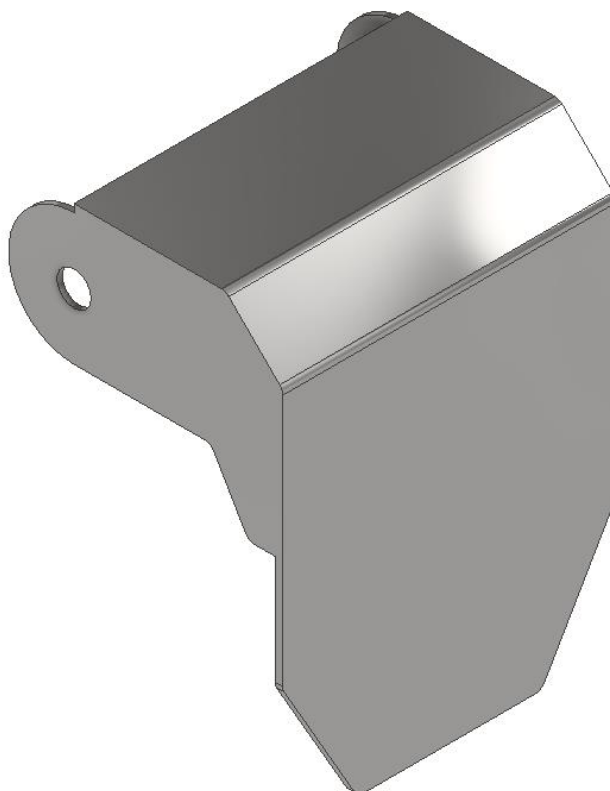
$l$  ... délka styčné plochy [mm]

$p_D$  ... dovolená hodnota otláčení [MPa]

Z výše uvedených výpočtů lze usoudit, že zvolený průměr šroubů M16 je **vyhovující**.

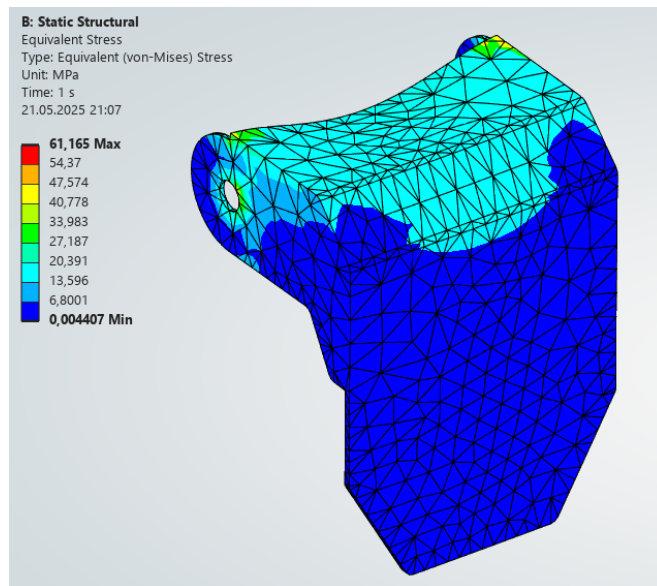
### VYKLÁPĚCÍ RÁM

Stejně jako nosný rám je zhotoven z materiálu **X5CrNiMo17-12-2** dle normy ČSN EN 10088-1, jako svařenec. Přes horní a unášecí čep je spojen s mechanismem a slouží pro uchycení lodního motoru k lodi.

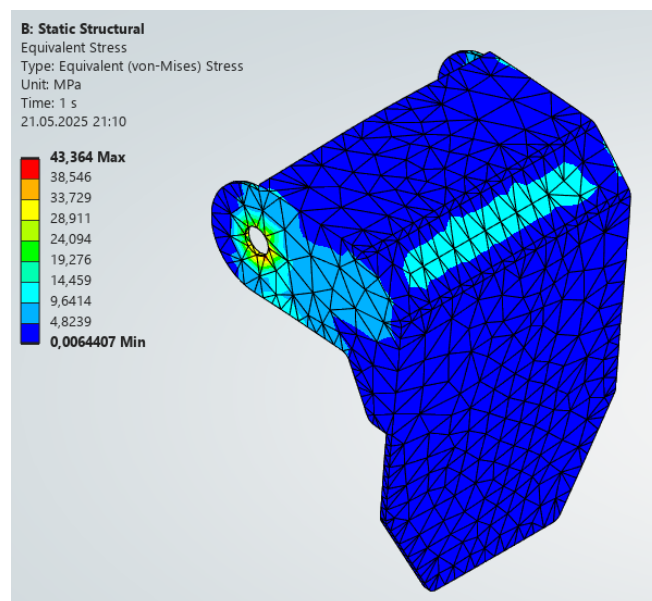


Obr. 34 – Model vyklápečího rámu

Napět'ová analýza (Obr. 35 a 36) v programu Ansys Student:



*Obr. 35 – Výsledek napět'ové analýzy vyklápěcího rámu ve sklopené poloze*

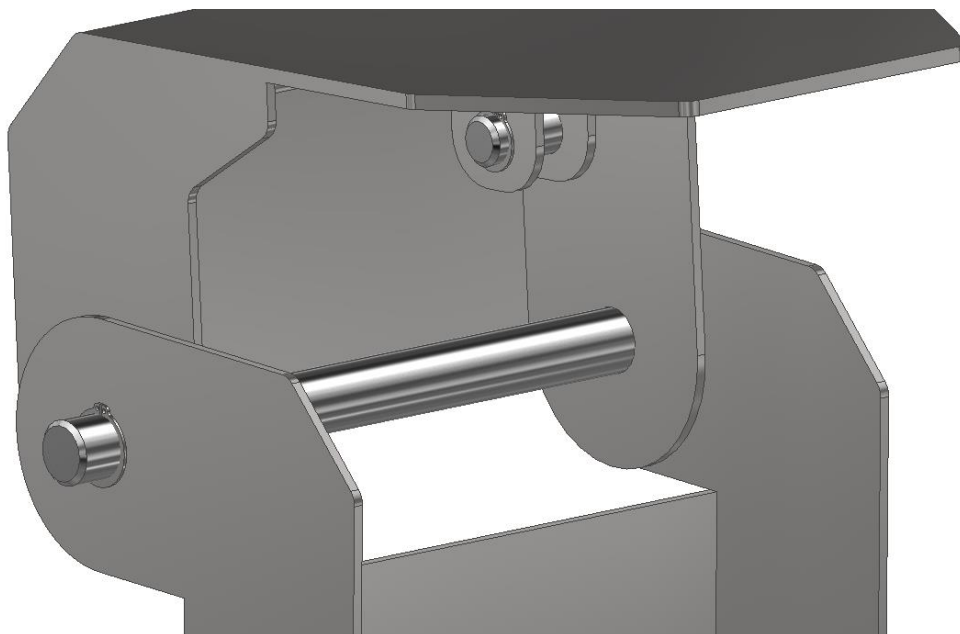


*Obr. 36 – Výsledek napět'ové analýzy vyklápěcího rámu ve vyklopené poloze*

Předpokladem pro napět'ovou analýzu (Obr. 35 a 36) je klidová poloha plavidla, motor ve stavu mimo chod a zanedbaný odpor vody. Analýza neslouží k návrhovým účelům, pouze k orientačním. Pro získání přesných výsledků je potřebná komplexnější simulace nebo reálné testování, které kvůli náročnosti není v této práci zahrnuto.

**HORNÍ ČEP**

Slouží jako osa otáčení – vyklápění (Obr. 37). Je zhotoven z materiálu **X5CrNiMo17-12-2** dle normy ČSN EN 10088–1. Nejvíce je namáhán na smyk, vlivem působení tíhy motoru a vyklápěcího rámu.



Obr. 37 – Modelové zobrazení horního čepu

Stanovení průměru z kontroly na smyk:

$$\tau_S = \frac{F_S}{S_{\check{c}}} \leq \tau_{Ds} \quad (30)$$

kdy  $F_S$  je síla pouze od lodního motoru a vyklápěcího rámu, potom:

$$F_S = mg = (300 + 6,858) \cdot 9,81 = 3010 \text{ N} \quad (31)$$

Pro materiál X5CrNiMo17-12-2 odpovídá dle ČSN EN 10088–1  $\tau_{Ds} = 100 \text{ MPa}$

minimální průměr čepu je pak roven:

$$d_{min,\check{c}} = \sqrt{\frac{4F_S}{\pi\tau_{Ds}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3010}{\pi \cdot 100}} = 3,57 \text{ mm} \quad (32)$$

Skutečné napětí působící na čep se pak rovná:

$$\tau_S = \frac{F_S}{\frac{\pi d_{\check{c}}^2}{4}} = \frac{3010}{\frac{\pi \cdot 26^2}{4}} = 5,7 \text{ MPa} \leq \tau_{Ds} \quad (33)$$

$F_S$  ... střižná síla působící na čep [N]  
 $S_\varepsilon$  ... plocha průřezu čepu [mm<sup>2</sup>]  
 $d_{\min,\varepsilon}$  ... minimální průměr čepu [mm]  
 $d_\varepsilon$  ... skutečný průměr čepu [mm]

Kontrola na otláčení:

$$P = \frac{F_S}{d_\varepsilon l} \leq p_D \quad (34)$$

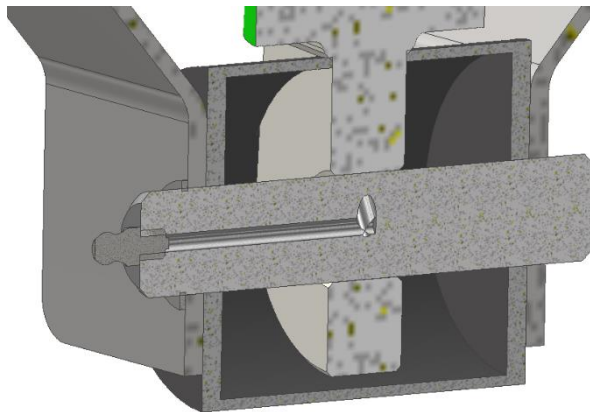
Pro materiál X5CrNiMo17-12-2 odpovídá dle ČSN EN 10088-1  $p_D = 170 \text{ MPa}$

napětí dířku šroubu je pak vyjádřeno takto:

$$P = \frac{F_S}{d_\varepsilon l} = \frac{3010}{26 \cdot 8} = 14,47 \text{ MPa} \leq p_D \quad (35)$$

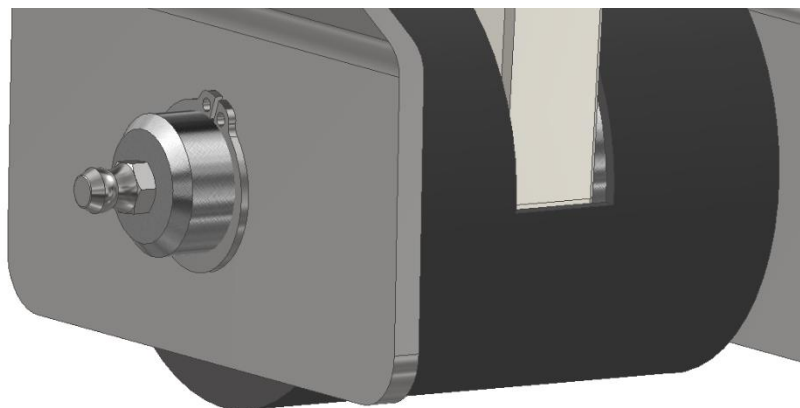
### SPODNÍ ČEP

Jelikož u spodního čepu je vysoká pravděpodobnost že dojde k přímému kontaktu s vodou, musí být zaručena vysoká korozivzdornost, proto je opět zhotoven z materiálu **X5CrNiMo17-12-2** dle normy ČSN EN 10088-1. Namáhání bude v tomto případě kombinované smykem a ohybem, vlivem součtu tíhy lodního motoru, lineárního hydromotoru a vyklápěcího rámu.



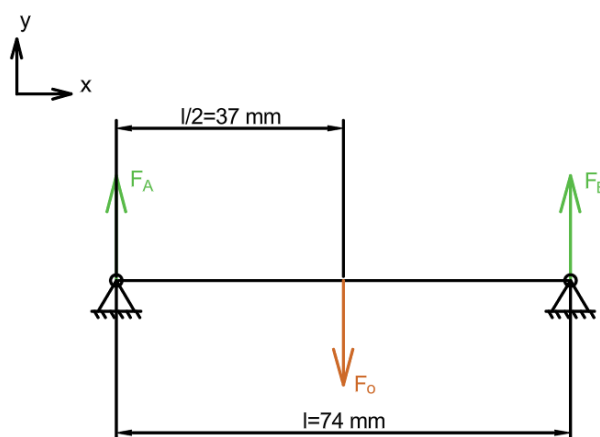
Obr. 38 – Modelové zobrazení spodního čepu s mazničkou a mazacím kanálkem

Mazání bude zajištěno mazničkou a dutinou v ose čepu (Obr. 38 a 39), přebytečné mazivo, které bude vytlačeno mimo styčnou plochu čepu a hydromotoru bude plnit těsnicí funkci. Kvůli častému přímému kontaktu s vodou bude toto jedno z nejvíce kritických míst mechanismu a bude vyžadována pravidelná kontrola a mazání k zachování plynulosti provozu a předcházení poruch.



Obr. 39 – Modelové zobrazení mazničky ve spodním čepu

Pro určení velikosti ohybového napětí je nutné udělat analýzu VVÚ:



Obr. 40 – Schéma zatížení spodního čepu

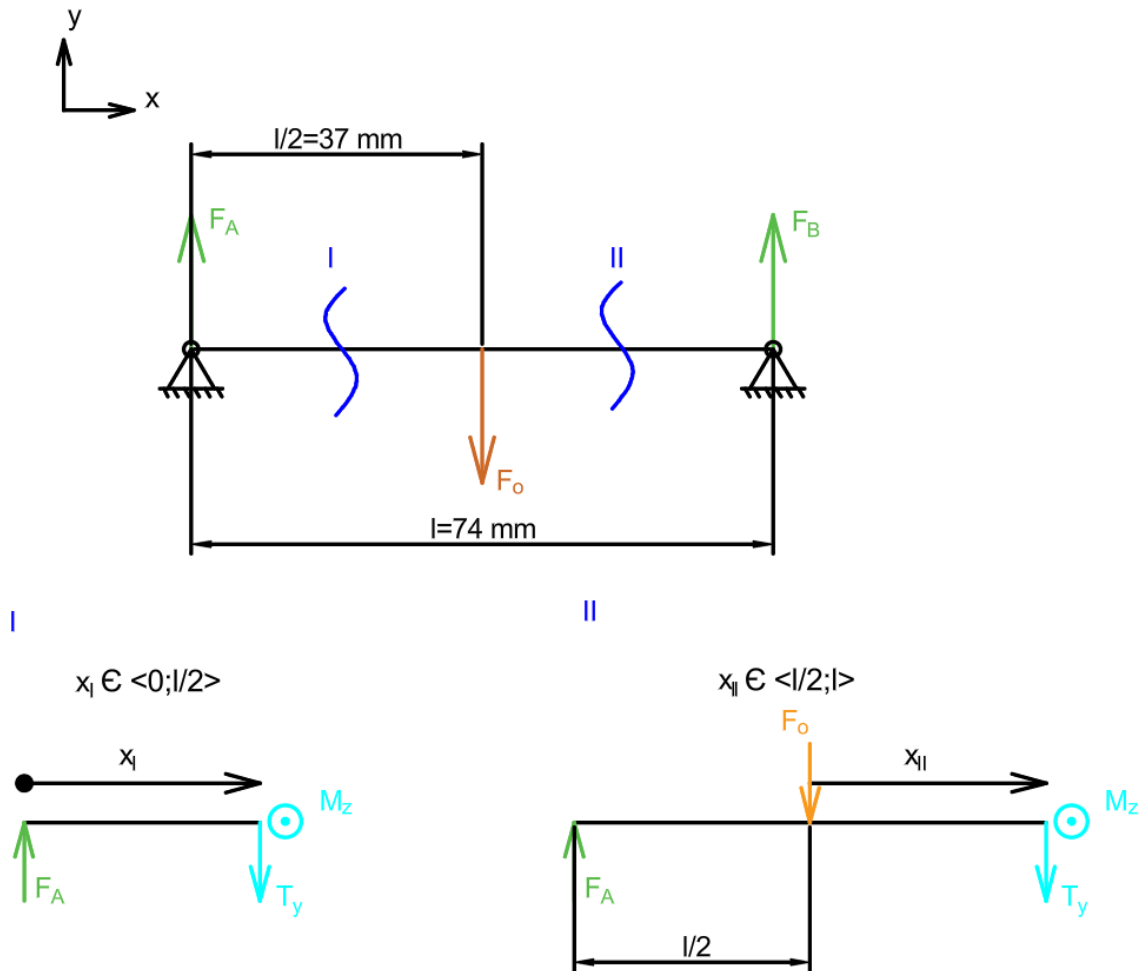
kdy ohybová síla  $F_o$  bude působením tíhy lodního motoru, hydromotoru, vyklápěcího rámu a unášecího čepu, stanovena takto:

$$F_o = g(m_{mot} + m_{vr} + m_{uč} + m_{hm}) = 9,81 \cdot (300 + 6,858 + 0,107 + 3,692) = 3048 \text{ N} \quad (36)$$

z rovnice silové rovnováhy se velikost reakčních sil  $F_A$  a  $F_B$  bude rovnat:

$$\sum F_y = 0; F_A = F_B = \frac{F_o}{2} = 1524 \text{ N} \quad (37)$$

dalším krokem je zjištění výsledných vnitřních účinků v jednotlivých řezech:



Obr. 41 – Schéma VVÚ

pro řez I.:

$$T_y = F_A \quad (38)$$

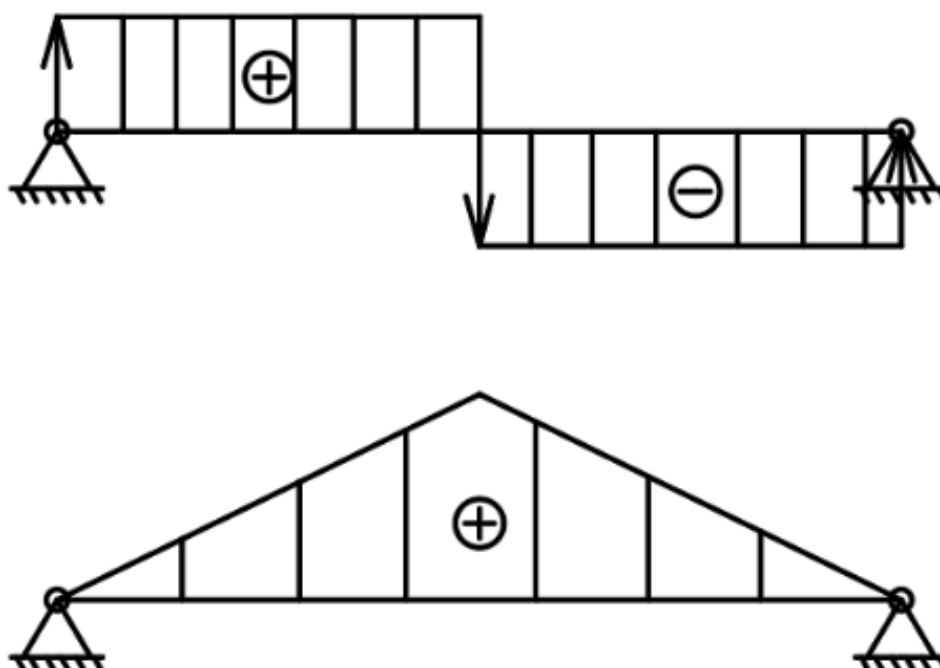
$$M_z = F_A x_I \quad (39)$$

pro řez II.:

$$T_y = F_A - F_o \quad (40)$$

$$M_z = F_A \left( x_{II} + \frac{l}{2} \right) - F_o x_{II} \quad (41)$$

průběh posouvající síly a ohybového momentu je následný:



Obr. 42 – Schéma průběhu posouvající síly a momentu

ze schématu lze určit, že největší ohybový moment působí uprostřed, jeho hodnota je:

$$M_{oz}(O) = F_A x_I = F_A \frac{l}{2} = 1524 \cdot 37 = 56338 \text{ Nmm} \quad (42)$$

pevnostní podmínka na ohyb:

Pro materiál X5CrNiMo17-12-2 odpovídá dle ČSN EN 10088-1  $\sigma_{D,o} = 160 \text{ MPa}$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{M_{oz}(O)}{J_y} c \leq \sigma_{D,o} \quad (43)$$

jelikož se čep může v uložení otáčet kolem své osy a v místě namáhání je vyvrtán mazací kanálek s osou kolmou na osu čepu, je nutné  $J_y$  spočítat pro takovou plochu, která bude v rovině ohybu nejmenší, potom:

$$J_y = J_{y,kruh} - J_{y,kolmá\ díra} = \frac{\pi D^4}{64} - \frac{bh^3}{12} = 5187 \text{ mm}^4 \quad (44)$$

napětí v ohybu je pak rovno:

$$\sigma_o = \frac{M_{oz}(O)}{J_y} c = \frac{56338}{5187} \cdot 10 = 109 \text{ MPa} \leq \sigma_{D,o} \quad (45)$$

Kontrola na smyk:

$$\tau_S = \frac{F_S}{S_{\xi}} \leq \tau_{DS} \quad (46)$$

kdy  $F_S$  je síla pouze od lodního motoru, lineárního hydromotoru a vyklápěcího rámu, potom:

$$F_S = mg = (300 + 6,858 + 3,692) \cdot 9,81 = 3048 \text{ N} \quad (47)$$

Pro materiál X5CrNiMo17-12-2 odpovídá dle ČSN EN 10088-1  $\tau_{DS} = 100 \text{ MPa}$

protože v ose čepu je otvor pro mazání, výpočet bude ve tvaru:

$$\tau_S = \frac{F_S}{S_{\xi}} = \frac{F_S}{\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}} = \frac{3047}{\frac{\pi \cdot (20^2 - 4^2)}{4}} = 10,1 \text{ MPa} \leq \tau_{DS} \quad (48)$$

výpočet redukovaného napětí dle HMMH:

$$\sigma_{red}^{HMH} = \sqrt{\sigma_0^2 + 3\tau_S^2} = 110 \text{ MPa} \quad (49)$$

bezpečnost k mezi kluzu:

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{red}^{HMH}} = \frac{210}{110} = 1,9 \quad (50)$$

$F_O$  ... ohybová síla [N]

$F_A$  ... reakční síla v podpoře A [N]

$F_B$  ... reakční síla v podpoře B [N]

$T_Y$  ... posouvající síla [N]

$M_Z$  ... moment k ose z [Nmm]

$x_I$  ... rameno řezu I [mm]

$x_{II}$  ... rameno řezu II [mm]

$l$  ... délka čepu [mm]

$M_{OZ(O)}$  ... maximální moment uprostřed čepu [Nmm]

$\sigma_O$  ... napětí v ohybu [MPa]

$M_O$  ... ohybový moment [Nmm]

$W_O$  ... modul pružnosti v ohybu [mm<sup>3</sup>]

$\sigma_{DO}$  ... výpočtové napětí v ohybu [MPa]

$J_y$  ... kvadratický modul průřezu [mm<sup>4</sup>]

$c$  ... vzdálenost povrchu tělesa od neutrální osy

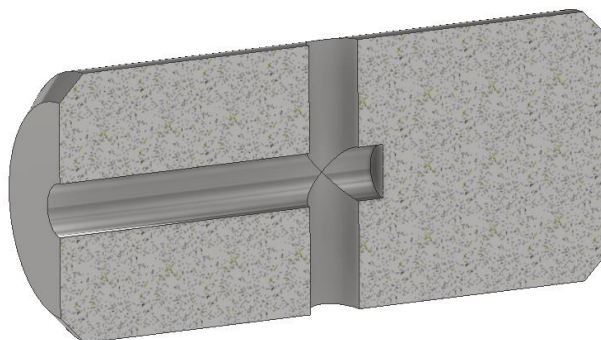
$\sigma_{red}^{HMH}$  ... redukované napětí podle HMMH [MPa]

$R_e$  ... mez kluzu [MPa]

$k$  ... součinitel bezpečnosti k mezi kluzu [-]

### UNÁŠECÍ ČEP

Zhotoven ze stejného materiálu jako ostatní čepy. Mazání je uskutečněno mazničkou přes dutinu v ose čepu (Obr. 43). Na rozdíl od spodního čepu není unášecí čep nijak zakrytován ani těsněn, protože je u něj nízká pravděpodobnost kontaktu s vodou, je pouze osově zajištěn hřídelovými pojistnými kroužky (segrovkami), aby nedošlo k rozpojení.



Obr. 43 – Modelové zobrazení mazacího kanálku v unášecím čepu

### KRYTOVÁNÍ

Účelem tohoto jednoduchého krytování (Obr. 44) je zmírnit kontakt vody se spodním čepem a hydromotorem. Kvůli rozsahu pohybu hydromotoru kolem čepu však neslouží jako těsnění. Dále brání případnému uniklému mazivu, aby se dostalo do vodní plochy (řeky, moře). Zároveň vymezuje polohu hydromotoru na čepu. Materiálem je polyetylen kvůli nízké ceně, dobré obrobiteľnosti, dobré dostupnosti a korozivzdornosti.

Označení: PE 100 ČSN EN 12201-2



Obr. 44 – Model krytování

## NÁDRŽKA

Nádržka slouží ke skladování hydraulické kapaliny, je opatřena zátkou a otvorem pro doplnění. Ve spodní části má přívod kapaliny z hydromotoru, která je vytlačována při zdvihu a následně i otvor pro odvod kapaliny do hydrogenerátoru, nebo pro přívod kapaliny při sklápění a reverzaci otáček hydrogenerátoru (Obr. 45).



*Obr. 45 – Model nádržky*

## ZÁVĚR

V této práci byly vysvětleny způsoby používání lodních motorů v rekreační lodní dopravě, zpravidla pro malé a střední lodě, jachty, plující převážně na mořích. Byly zmíněny druhy manipulace s lodními motory, jak při provozu motoru, tak mimo něj. Dále byla vysvětlena funkce trim a funkce tilt, jejich základní rozdíly, použití a výhody.

Další kapitola obsahuje rešeršní část o současných používaných vyklápěcích mechanismech lodních motorů. Tato část je rozdělena na tři podkapitoly dle velikosti lodních motorů, jsou zde zmíněné jednotlivé varianty vyklápění a popis jejich funkce. Po souhrnu současných používaných variant následuje kritická rešerše, která se zaměřuje na hydraulický mechanismus vyklápění, zde je hlavním poznatkem rozdíl v konstrukci mechanismu „Powertilt“ a „Power Trim & Tilt“.

Následně je představen koncepční návrh obdobného mechanismu, jehož cílem je vyklopit závěsný lodní motor do takové polohy, aby byla ponořená část včetně propeleru nad hladinou. Mechanismus bude pomocí šroubů připevněn na záďové stěně plavidla a lodní motor bude připevněn k vyklápěcí části mechanismu. Návrh tohoto mechanismu se soustředí především na jednoduchost konstrukce, montáže a celkovou funkčnost mechanismu. Prostor pro optimalizaci je primárně v designové stránce mechanismu, kvůli které by nemusel splňovat některé požadavky a parametry, které trh v této oblasti vyžaduje. Další možností pro zlepšení by byla například volba alternativních materiálů, to by mohlo mít dopad na celkovou hmotnost mechanismu, výrobní i pořizovací náklady, vyžadovalo by to však další podrobné přezkoumání. Většina kovových součástí je vyrobena z námořnické nerez (Marine Grade Stainless Steel), pro svařované součásti je doporučena technologie TIG, sjednocená volba materiálů má za následek předejití vytvoření elektrického článku a poruše korozivzdornosti. Koncepční návrh obsahuje také návrh jednoduchého otevřeného hydraulického obvodu, jehož provozní tlak je stanoven na 8 MPa a pracovní látkou je hydraulický olej HEES ISO VG 32, jakožto biologicky rozložitelný olej, vhodný pro použití v lodní hydraulice. Dále jednotlivý výpis použitých komponent, jejichž výběr je podložen nezbytnými pevnostními a kapacitními výpočty a analýzami. Při volbě hydraulického lineárního hydromotoru se vycházelo z výšky zdvihu a následného návrhu průměru pístu. Volba dalších komponent v hydraulickém obvodu se odvíjela od dostupnosti na trhu, kompatibility s ostatními součástmi a předpokladu používání v prostředí s vysokou vlhkostí a chemickou reaktivitou vlivem chloridů obsažených ve slané vodě.

Výsledkem této práce je zhotovení 3D modelu v programu Autodesk Inventor Professional 2026 a následně výkres sestavení tohoto mechanismu, který může sloužit k výrobě prototypu pro pokročilejší testování, nebo k dalším krokům týkajících se výzkumu a optimalizace mechanismu.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] MERCURY MARINE. *Mercury Outboard Motor Installation Attachments Guide* [online]. [s.l.]: Mercury Marine, [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/655422130/Mercury-Outboard-Motor-Installation-Attachments-Guide-PDF-EnG-486-KB-compressed>
- [2] MERCURY MARINE. *Boating Basics: Trim, Tilt and Trim Tabs* [online]. Fond du Lac, WI: Mercury Marine, [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://www.mercurymarine.com/us/en/lifestyle/dockline/boating-basics-trim-tilt-and-trim-tabs/>
- [3] ACTISENSE. *What is Tilt and Trim, and What is the Difference?* [online]. Actisense, [cit. 2025-05-22]. Dostupné z: <https://actisense.com/news/what-is-tilt-and-trim-and-what-is-the-difference/>
- [4] YAMAHA MOTOR EUROPE. *Přenosné lodní motory (6 – 2,5 k)* [online]. Yamaha Motor Europe, [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.yamaha-motor.eu/cz/cs/marine-engines/portable/>
- [5] YAMAHA MOTOR EUROPE. *Lodní motory středního výkonu (80 – 30 k)* [online]. Yamaha Motor Europe, [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.yamaha-motor.eu/cz/cs/marine-engines/mid-power/>
- [6] YAMAHA MOTOR EUROPE. *Lodní motory Premium (450 – 225 k)* [online]. Yamaha Motor Europe, [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.yamaha-motor.eu/cz/cs/marine-engines/premium/>
- [7] YAMAHA MOTOR EUROPE. *TotalTilt™ – exkluzivní funkce vyklápění motoru* [online]. [s.l.], [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: [https://cdn2.yamaha-motor.eu/prod/product-assets/2021/F300NCB/Factsheets/2021-F300NCB\\_en.pdf?ut](https://cdn2.yamaha-motor.eu/prod/product-assets/2021/F300NCB/Factsheets/2021-F300NCB_en.pdf?ut)
- [8] HADEx, spol. s r.o. *T749B Lineární motor – aktuátor 400/700mm, napájení 12VDC, 1500N, 7mm/s* [online]. [s.l.]: H A D E X, spol. s r.o., [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.hadex.cz/t749b-linearni-motor---aktuator-400700mm-napajeni-12vdc-1500n-7mms/>
- [9] STERNDRIVE ENGINEERING. *Complete Trim/Tilt System* [online]. Dostupné z: <https://www.sterndrive.cc/Complete-Trim-Tilt-System.html> [cit. 2025-05-23].
- [10] HYDROMA. *Zámek hydraulický oboustranný s pilotním ovládaním* [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.hydrroma.cz/zamek-hydraulicky-oboustranny-s-pilotnim-ovladanim-21640.html>
- [11] HYDROLIDER. *Hydraulická hadice DN8 M16x1.5 2SN ZZ* [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: [https://hydrolider.cz/cs\\_CZ/p/Hydraulicka-hadice-DN8-M16x1.5-2SN-ZZ/14474](https://hydrolider.cz/cs_CZ/p/Hydraulicka-hadice-DN8-M16x1.5-2SN-ZZ/14474)
- [12] HYDRAULICS S.R.O. *Výrobní katalog přímočarých hydromotorů* [online]. Slopné: Hydraulics s.r.o., 2019 [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: [https://www.hydraulics.cz/wcd/pdf/vyrobní\\_katalog\\_cz2019.pdf](https://www.hydraulics.cz/wcd/pdf/vyrobní_katalog_cz2019.pdf)

- [13] HYDROMA. *Hydrogenerátor zubový 28973* [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.hydroma.cz/hydrogenerator-zubovy-28973.html>
- [14] HYDROMA. *Technická dokumentace hydrogenerátoru zubového 076-10061* [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://www.hydroma.cz/files/product/9/46/22294/data/076-10061.pdf>
- [15] ARCO MARINE. *Original Equipment Quality Replacement Tilt Trim Motor fits BRP-OMC - 6238* [online]. [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://arcomarine.com/products/6238?srsId=AfmBOoo-qeaXgrc60kINz881nZx10pDWJjkjeB3yA1RLyTmquYAozH8D>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>ČSN</i>		česká technická norma
<i>EN</i>		evropská norma
<i>HEES</i>		označení hydraulického oleje
<i>ISO</i>		norma mezinárodní organizace pro normalizaci
<i>NBR</i>		označení nitrilového kaučuku
<i>TIG</i>		metoda svařování („Tungsten inert gas“)
<i>UV</i>		ultrafialové záření
<i>VVÚ</i>		výsledné vnitřní účinky
<i>c</i>	[mm]	vzdálenost povrchu tělesa od střednice
<i>d<sub>č</sub></i>	[mm]	skutečný průměr čepu
<i>d<sub>h</sub></i>	[mm]	vnitřní průměr hadice
<i>D<sub>min</sub></i>	[mm]	minimální průměr pístu hydromotoru
<i>d<sub>min,č</sub></i>	[mm]	minimální průměr čepu
<i>d<sub>M16</sub></i>	[mm]	průměr dřívku šroubu M16
<i>d<sub>š</sub></i>	[mm]	průměr šroubu
<i>F</i>	[N]	síla od břemene
<i>F<sub>A</sub></i>	[N]	reakční síla v podpoře A
<i>F<sub>B</sub></i>	[N]	reakční síla v podpoře B
<i>F<sub>c</sub></i>	[N]	celková síla působící kolmo na osu šroubů
<i>F<sub>i</sub></i>	[N]	výsledné síly působící kolmo na osu šroubů
<i>F<sub>i</sub>'</i>	[N]	síly působící kolmo na osu šroubů
<i>F<sub>i</sub>''</i>	[N]	síly od momentu působící kolmo na osu šroubů
<i>F<sub>o</sub></i>	[N]	ohybová síla působící na čep
<i>F<sub>S</sub></i>	[N]	střížná síla působící na čep
<i>g</i>	[m·s <sup>-2</sup> ]	gravitační zrychlení
<i>J<sub>y</sub></i>	[mm <sup>4</sup> ]	kvadratický moment průřezu
<i>k</i>	[-]	součinitel bezpečnosti k mezi kluzu
<i>l</i>	[mm]	délka čepu
<i>m</i>	[kg]	celková hmotnost
<i>m<sub>em</sub></i>	[kg]	hmotnost elektromotoru
<i>m<sub>hč</sub></i>	[kg]	hmotnost horního čepu
<i>m<sub>hg</sub></i>	[kg]	hmotnost hydrogenerátoru

$m_{hm}$	[kg]	hmotnost hydromotoru
$m_{mech}$	[kg]	hmotnost mechanismu
$m_{mot}$	[kg]	hmotnost motoru
$m_{nr}$	[kg]	hmotnost nosného rámu
$M_O$	nmm	ohybový moment
$M_{Oz}(O)$	nmm	maximální ohybový moment uprostřed čepu
$M_Z$	nmm	moment k ose z
$m_{sč}$	[kg]	hmotnost spodního čepu
$m_{uč}$	[kg]	hmotnost unášecího čepu
$m_{vr}$	[kg]	hmotnost vyklápěcího rámu
$n$	[min <sup>-1</sup> ]	pracovní otáčky hydrogenerátoru
$n_s$	[min <sup>-1</sup> ]	snížené pracovní otáčky
$p$	[MPa]	pracovní tlak
$P$	[MPa]	otlačení
$p_D$	[MPa]	dovolená hodnota otlačení
$Q$	[cm <sup>3</sup> /min]	objemový průtok
$Q_s$	[cm <sup>3</sup> /min]	snížený průtok
$R_e$	[MPa]	mez kluzu
$r_i$	[mm]	ramena sil
$S$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha válce
$S_{č}$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha průřezu čepu
$S_h$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha uvnitř hadice
$S_{š}$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha dřívku šroubu
$T_y$	[N]	posouvající síla
$v$	[m·s <sup>-1</sup> ]	rychlost zdvihu
$V_g$	[cm <sup>3</sup> /ot]	objemový výkon
$v_h$	[m·s <sup>-1</sup> ]	rychlost v hadici
$v_s$	[m·s <sup>-1</sup> ]	snížená rychlost zdvihu
$W_o$	[mm <sup>3</sup> ]	modul pružnosti v ohybu
$x_I$	[mm]	rameno řezu I
$x_{II}$	[mm]	rameno řezu II
$\sigma_{DO}$	[MPa]	výpočtové napětí v ohybu
$\sigma_O$	[MPa]	napětí v ohybu

$\sigma_{red}^{HMH}$	[MPa]	redukované napětí podle HMH
$\tau_{Ds}$	[MPa]	výpočtové napětí ve smyku
$\tau_s$	[MPa]	napětí ve smyku

## SEZNAM PŘÍLOH

Seznam výkresové dokumentace:

Příloha P1            HYD. M. VYKLÁPĚNÍ L. M.            Výkres sestavení