



Konstrukce zadního odpružení u sjezdového kola

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství

Autor práce: **Vladimír Kafka**
Vedoucí práce: prof. Ing. Jaroslav Beran, CSc.



The Rear suspension design for downhill bikes

Bachelor thesis

Study programme: B2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301R000 – Mechanical Engineering

Author: **Vladimír Kafka**
Supervisor: prof. Ing. Jaroslav Beran, CSc.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vladimír Kafka**
Osobní číslo: **S16000557**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojní inženýrství**
Název tématu: **Konstrukce zadního odpružení u sjezdového kola**
Zadávací katedra: **Katedra textilních a jednoúčelových strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Rešerše systémů zadního odpružení u sjezdového kola.
2. Návrh optimální trajektorie osy zadního kola.
3. Návrh konstrukce předního rámového trojúhelníka.
4. Konstrukce zadní stavby rámu sjezdového kola dle zvolené trajektorie osy zadního kola.
5. Výrobní výkresy zadní stavby rámu.

Rozsah grafických prací: **vykresová dokumentace**

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran, formát A4**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. SANDOR, G. N., ERDMAN, A. G.: *Advanced Mechanism Design: Analysis and Synthesis*. Prentice-Hall, London, 1984.

2. CHARVÁT, Jaroslav. *Teorie mechanismů*. Liberec: skriptum VŠST, 1970.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jaroslav Beran, CSc.**


Katedra textilních a jednoúčelových strojů

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **4. července 2017**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




prof. Ing. Jaroslav Beran, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. března 2017

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Abstrakt

Tato práce se zabývá konstrukčním návrhem rámu celoodpruženého horského (sjezdového) kola. Nejprve byly analyzovány jednotlivé systémy zadního odpružení na trhu, jejich výhody a nevýhody. Dále byly zadány požadavky na systém odpružení u navrhovaného rámu. Dle těchto požadavků se následně vytvořil celkový systém přepákování v programu Linkage i s jeho kinematickými vlastnostmi. Z navrhnutého mechanismu byly převzaty jednotlivé geometrické parametry, ze kterých se následně vytvořil 3D model pro rámový celek v programu Creo Parametric 2.0. Nakonec byla vytvořena výkresová dokumentace k zadní stavbě.

Abstrakt

This work deals with the construction design of full suspension mountain (downhill) frame. Initially, individual systems of rear suspension were analyzed with their advantages and disadvantages. Requirements for the design of suspension system have been entered. According to these requirements, the overall system of rear suspension was created in the Linkage. From the proposed mechanism, individual geometric parameters were taken from which a 3D model was created for a frame unit in the Creo Parametric 2.0 program. Finally, drawing documentation for the rear structure was created.

Obsah

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Úvod | 11 |
| 2 | Disciplíny MTB | 12 |
| 2.1 | Cross-country (XC) | 12 |
| 2.3 | Enduro | 13 |
| 2.2 | Sjezd (DH) | 14 |
| 3 | Terminologie..... | 15 |
| 3.1 | Změna zatížení..... | 15 |
| 3.2 | Instant center (IC)..... | 16 |
| 3.3 | SAG | 16 |
| 3.4 | Anti-rise (AR) | 16 |
| 3.5 | Chain growth (CG), pedal kickback (PK) | 17 |
| 3.6 | Anti-squat (AS)..... | 17 |
| 4 | Rešerše mechanismů přepákování zadní stavby..... | 19 |
| 4.1 | Rozdělení dle trajektorie osy zadního kola | 19 |
| 4.1.1 | Kružnice | 19 |
| 4.1.2 | Obecný rovinný pohyb | 21 |
| 5 | Tlumící a pružící jednotky u sjezdových rámu..... | 23 |
| 5.1 | Typy pružin: | 23 |
| 6 | Návrh sjezdového rámu, požadované kinematické a konstrukční vlastnosti zadního odpružení | 25 |
| 6.1 | Kinematické požadavky | 25 |
| 6.2 | Konstrukční požadavky..... | 25 |
| 7 | Volba pružící a tlumící jednotky | 27 |
| 8 | Navrhované řešení mechanismu zadního odpružení..... | 28 |
| 8.1 | Volba tuhosti pružiny..... | 28 |
| 8.2 | Kinematická analýza navrženého mechanismu..... | 29 |
| 9 | Porovnání kinematických charakteristik zadního odpružení..... | 32 |
| 9.1 | Progresivita zadního odpružení..... | 32 |
| 9.2 | Anti-rise | 35 |
| 9.3 | Pedal kickback | 37 |
| 9.4 | Anti-squat | 38 |
| 10 | Model rámového celku..... | 40 |
| 10.1 | Přední rámový trojúhelník..... | 40 |
| 10.2 | Horní a spodní vahadla..... | 42 |

| | | |
|------|-------------------------|----|
| 10.3 | Těhlice | 43 |
| 10.4 | Model sestavy..... | 44 |
| 11 | Závěr a zhodnocení..... | 46 |

Seznam zkratek

| | |
|-----|------------------------|
| MTB | mountain bike |
| XC | cross country |
| DH | downhill |
| IC | instant center |
| FSR | future shock rear |
| VPP | virtual pivot point |
| IS | international standart |
| LR | první převodová funkce |
| ORP | obecný rovinný pohyb |

Seznam veličin

| | | |
|-------------------|-------------------------------------|----------------------|
| AR | anti-rise | [%] |
| AS | anti-squat | [%] |
| CG | chain growth | [mm] |
| PK | pedal kickback | [°] |
| LR | leverage ratio | [1] |
| M | zatížení od hmotnosti jezdec + kolo | [kg] |
| L | rozvor kol | [m] |
| h | výška těžiště | [m] |
| a | zrychlení | [m*s ⁻²] |
| ΔW_f | změna zatížení předního kola | [N] |
| ΔW_r | změna zatížení zadního kola | [N] |
| Y | zdvih zadního kola | [mm] |
| X | zdvih tlumiče | [mm] |
| Y_{celk} | celkový zdvih osy zadního kola | [mm] |
| X_0 | počátek zdvihu tlumiče | [mm] |
| X_1 | plné stlačení tlumiče | [mm] |

1 Úvod

Cílem této práce je navržení odpruženého rámu sjezdového kola. Práce se v první řadě zaměřuje na systém zadního odpružení a popisuje jeho hlavní charakteristiky. Dále čtenáře seznámí s nejčastějšími typy zadního odpružení na trhu, u kterých jsou popsány jejich charakteristické vlastnosti, výhody a nevýhody.

Hlavní část práce se tedy zaměří na vlastní konstrukci celoodpruženého sjezdového rámu. Nejprve jsou určeny požadavky na vlastnosti zadního odpružení, dle kterých je vytvořen kinematický model zadního odpružení i s jeho hlavními charakteristikami. Následně je navržený mechanismus porovnán se dvěma dalšími sjezdovými rámy na trhu. Jejich jednotlivé charakteristiky jsou pro co nejlepší přehlednost zakresleny do grafů a doplněny tabulkami. Z výsledného kinematického návrhu jsou získány hlavní parametry zadního odpružení (délky všech elementů zadní stavby a jednotlivé umístění čepů vůči přednímu rámovému trojúhelníku), se kterými se následně pracuje při tvorbě 3D modelu.

Jelikož u většiny sjezdových rámu jednotlivé systémy nezřídka přesahují u zdvihu zadního kola hodnotu 200mm, je model doplněn kinematickými vazbami pro kontrolu, zda v celém rozsahu zdvihu nedochází k možné kolizi jednotlivých dílů zadního odpružení. Celý rám je modelován ve studentské verzi programu Creo 2.0 a doplněn o výkresovou dokumentaci zadní stavby rámu.

2 Disciplíny MTB

V dnešní době můžeme MTB rozdělit na tři základní disciplíny, které se liší svým důrazem na fyzickou a technickou zdatnost jezdce. A stejně tak i na vlastnosti jednotlivých kol, které jsou konstruovány s rozdílnou geometrií, velikostí a charakterem odpružení, použitými komponenty i svou celkovou pevností.

2.1 Cross-country (XC)

Cross-country je v dnešní době nejrozšířenější odvětví MTB, z důvodu největší využitelnosti pro širokou veřejnost a také jako jediná disciplína, která reprezentuje MTB na olympijských hrách. XC kola jsou vhodná pro použití na zpevněných cestách i do mírného terénu lesních cest. Proto také všechny disponují přední odpruženou vidlicí a v dnešní době se v nabídce výrobců objevují téměř ve stejné míře i celoodpružené varianty tzv. full (viz obr. 1).

Rámy jsou konstrukčně řešeny s co největším důrazem na přenos výkonu při šlapání. S tím je spojena i velikost zdvihů odpružení, která se pohybuje nejčastěji okolo 100/100mm přední/zadní (viz tab. 1).

Tab. 1: Specifické parametry kol typu XC [15]

| Hmotnost kola [kg] | Zdvih [mm] (přední/zadní) | Hlavový úhel [°] | Průměr kol [palce] |
|--------------------|---------------------------|------------------|--------------------|
| 8.5-14 | 80/80-110/110 | 68-71 | 26; 27.5; 29 |



Obr. 1: Závodní XC kolo Specialized Epic Jaroslava Kulhavého model 2016 [20]

2.3 Enduro

Enduro je nejmladší disciplínou MTB, která v současnosti zažívá největší rozmach. Enduro kombinuje prvky cross-country a sjezdu, proto i velikost odpružení se pohybuje na středu mezi XC a DH, tedy okolo 160/160mm (viz obr. 2). Ideální enduro kolo by mělo mít vlastnosti XC kola při výšlapu a DH kola při sjezdu, avšak v praxi je prakticky nemožné takovýchto vlastností dosáhnout, a proto můžeme mluvit o hledání kompromisu při navrhování takového kola.

Rámy typu enduro mají oproti XC menší hlavový úhel pro lepší pohlcování nerovností přední vidlicí a pro zajištění vyšší stability při jízdě v terénu. Mají vyšší hmotnost z důvodu jejich vyššího namáhání při sjezdech oproti XC a v současnosti se vyrábí pouze v kombinaci s průměry kol 27.5" a 29 " (viz tab. 2).

Tab. 2: Specifické parametry kol typu Enduro [15]

| Hmotnost kola [kg] | Zdvih [mm] (přední/zadní) | Hlavový úhel [°] | Průměr kol [palce] |
|--------------------|---------------------------|------------------|--------------------|
| 11-15 | 140/140-160/160 | 65-68 | 27.5; 29 |



Obr. 2: Jeden z nejúspěšnějších enduro modelů současnosti, Canyon Strive 27,5" [21]

2.2 Sjezd (DH)

Sjezd je velmi technickou disciplínou, při které jsou kola vystavena těžkému terénu s velkými skoky a tím pádem i silnému namáhání. Proto se i jejich hmotnost pohybuje od 15 do 19 kg. Kola jsou primárně navrhována s co největším důrazem na průchodnost těžkým terénem a co nejlepší ovladatelnost. Proto je i u předního odpružení specifická dvoukorunková vidlice stejné konstrukce jako například u motocyklů a zadním pružinovým tlumičem. Zdvihy se nejčastěji pohybují okolo 200/200-240 mm (viz tab. 3).

Sjezdové rámy jsou specifické menším hlavovým úhlem 63-64°, kratším předním trojúhelníkem a delším rozvorem kol. Důraz je kladen nejen na vysokou pevnost při extrémní zátěži, ale i na co největší tuhost zadní stavby. K vyloučení spadnutí řetězu disponují klasickými úchyty ISCG [17] pro napínák řetězu, které jsou umístěny okolo středu šlapání. V současnosti většina výrobců přechází z 26" na 27,5", zejména z důvodu lepší průchodnosti terénem v případě většího průměru kol (viz obr. 3).

Tab. 3: Specifické parametry kol typu DH [15]

| Hmotnost kola [kg] | Zdvih [mm] (přední/zadní) | Hlavový úhel [°] | Průměr kol [palce] |
|--------------------|---------------------------|------------------|--------------------|
| 15-18 | 200/200-240 | 63-64 | 26; 27.5 |



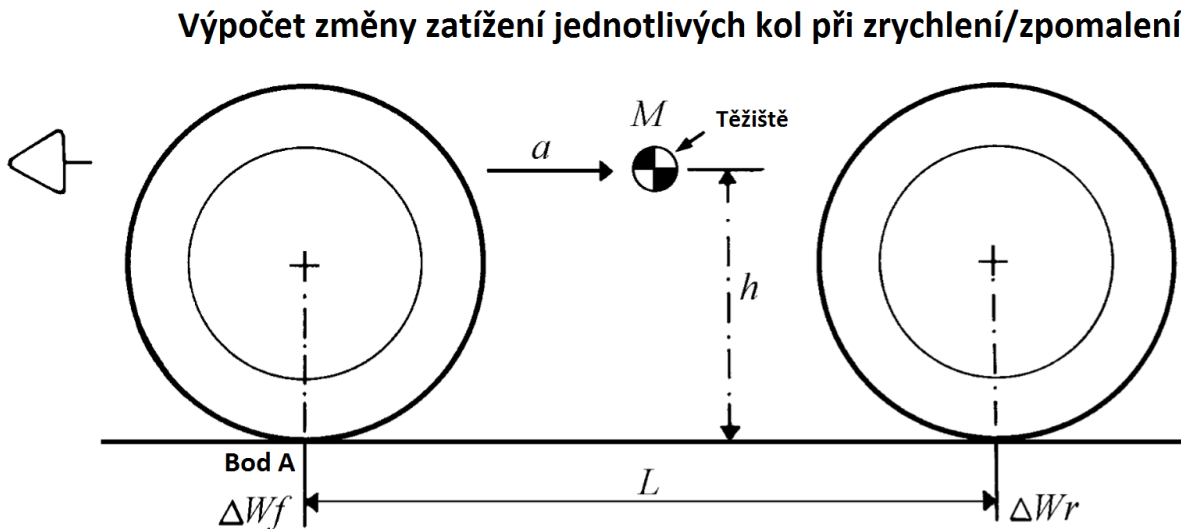
Obr. 3: Specialized Demo je etalonem mezi sjezdovými koly. Porovnání prvního modelu z roku. 2005 s 26" koly (vlevo) s modelovým rokem 2016 s 27,5" koly (vpravo) [22]

3 Terminologie

Pro co nejlepší popis systémů zadního odpružení, ale i pro maximální orientaci v návrhu vlastního rámu je třeba definovat jednotlivé termíny. Ty popisují vlastnosti odpružení při speciálních případech (brzdění, akceleraci), ale i další důležité vlastnosti, které mají přímý vliv na celkovou charakteristiku zadního odpružení.

3.1 Změna zatížení

Zrychlení či zpomalení vždy způsobí změnu rozložení zatížení jednotlivých kol, což má v praxi za následek kompresi, nebo naopak extenzi odpružení. Aby odpružení zůstávalo co nejvíce aktivní, je třeba tyto účinky kompenzovat (brzdícím momentem, nebo tahovou silou od řetězu). Jednoduché schéma a výpočet změny zatížení je uveden na obr. 4. Jak je z rovnic rovnováhy patrné, změna zatížení na jednotlivá kola je přímo úměrná zrychlení a výšce těžiště a nepřímo úměrná rozvoru kol.[1]



Obr. 4: Schéma změny zatížení na jednotlivá kola zrychlení/zpomalení [1]

| | | | |
|--------------|---|-------------------------------------|----------------------|
| M | = | zatížení od hmotnosti jezdec + kolo | [kg] |
| L | = | rozvor kol | [m] |
| h | = | výška těžiště | [m] |
| a | = | zrychlení | [m*s ⁻²] |
| ΔW_f | = | změna zatížení předního kola | [N] |
| ΔW_r | = | změna zatížení zadního kola | [N] |

$$\text{Setrvačná dynamická síla} = M * a \quad (1)$$

$$\text{Moment od setrvačné dynamické síly} = M * a * h \quad (2)$$

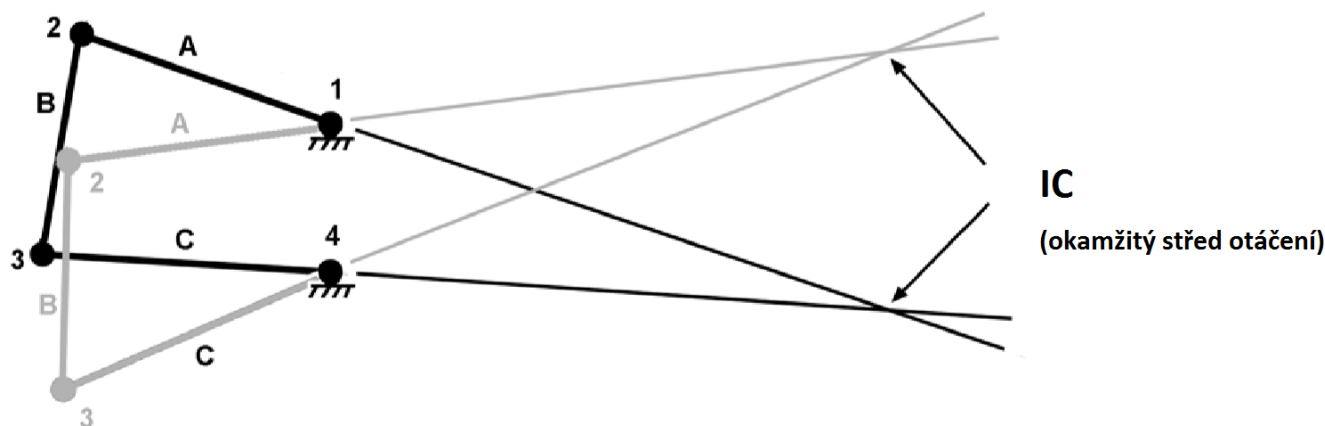
$$\text{Momentová rovnováha k bodu A:} \quad \Delta W_r * L = M * a * h \quad (3)$$

$$\Delta W_r = \frac{M \cdot a \cdot h}{L} \quad (4)$$

$$\Delta W_r = -\Delta W_f \quad (5)$$

3.2 Instant center (IC)

Zkratkou IC je označován okamžitý bod otáčení, nebo-li pól pohybu. Jedná se o okamžitý střed otáčení osy zadního kola. U tzv. jednočepových konstrukcí zadního odpružení, kdy je osa zadního kola pevně spojena spodním vahadlem, je IC fixní, jelikož jako IC zde figuruje čep spodního vahadla v předním rámovém trojúhelníku. Naopak u tzv. čtyřčepových konstrukcí je IC proměnlivé po celém rozsahu zdvihu, čímž se stává tzv. virtuálním bodem otáčení. Pozice IC je velmi důležitá vzhledem k AR (viz kapitola 3.4, čím vzdálenější je, tím rám dosahuje hodnot blízkých se 0% a tedy oddělení brzdných účinků od zadního odpružení), ale stejně tak i u AS (viz kapitola 3.6), kde IC umístěný nad vektorem síly od řetězu má za příčinu kladné hodnoty AS a naopak. Polohu IC získáme, když proložíme oba čepy horního a spodního vahadla přímkou. Průsečík těchto přímek je hledaný IC (viz obr. 5). [1]



Obr. 5: Geometrické zobrazení polohy IC u čtyřčlenného mechanismu [1]

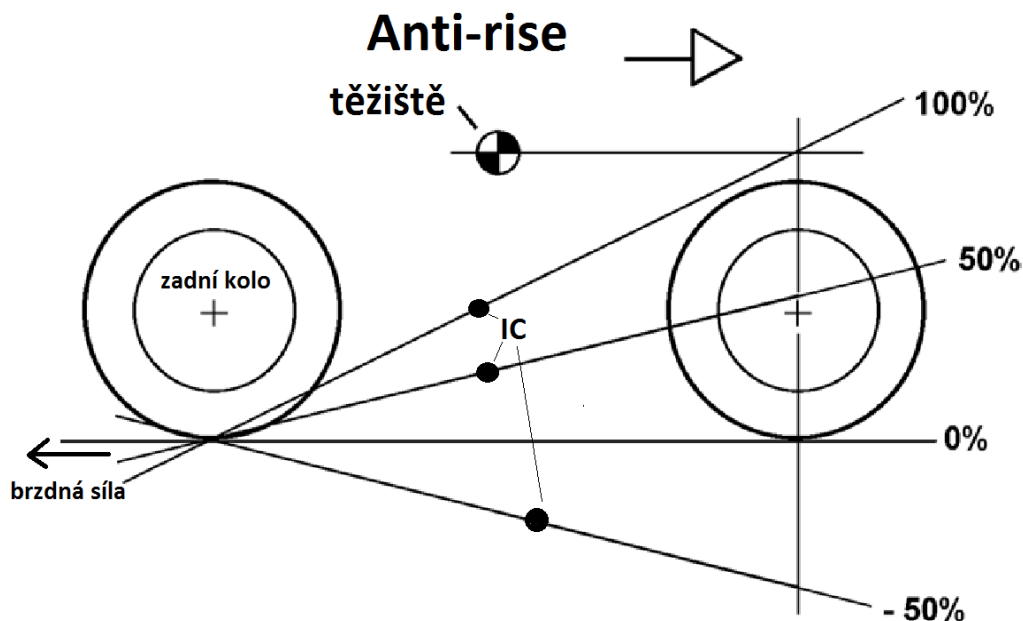
3.3 SAG

Udává velikost komprese, při statickém zatížení (cyklista+kolo) a je určující hodnotou pro volbu tuhosti pružiny. Udává se v procentech vůči celkovému zdvihu a pro sjezdové rámy je doporučena velikost SAGu 30%. [6]

3.4 Anti-rise (AR)

Anti-rise představuje funkci, která určuje vliv brzdného účinku pouze zadní brzdy na kompresi zadního odpružení, které je způsobeno: statickým zatížením (statické rozložení hmotnosti jezdec+kolo), změnou rozložení hmotnosti při zpomalení a brzdným momentem. Její jednotkou jsou procenta a může být definována jako poměr zatížení tlumiče při brzdění pouze zadní brzdou, děleno statickým zatížením zadního tlumiče. V případě, kdy tato hodnota nabývá jedné resp. 100%, je stlačení zadní stavby při zpomalení stejné jako stlačení od statického zatížení. V takovémto případě je záporná změna hmotnosti působící na zadní kolo kompenzována kompresními účinky od zadní brzdy. Při nulových hodnotách je brzdný účinek

absolutně izolovaný od zadního odpružení a v případě záporných hodnot má brzdňý moment extenzivní účinky na zadní odpružení. Funkce AR tedy závisí na poloze těžiště hmotnosti jezdce a kola a na systému přepákování zadní stavby. Stejným způsobem může být aplikována i na přední odpružení. Nejčastěji se k výpočtu AR využívá grafická metoda, která je zobrazena na obr. 6. Většina výrobců jízdních kol se snaží co nejvíce oddělit brzdňé účinky zadní brzdy od zadního odpružení. Proto jako rámy s aktivním odpružením při brzdění se většinou označují rámy s hodnotami AR 0 až 80% . [1]



Obr. 6: Geometrické určení velikosti Anti-rise (při brzdění zablokovaným zadním kolem) [1]

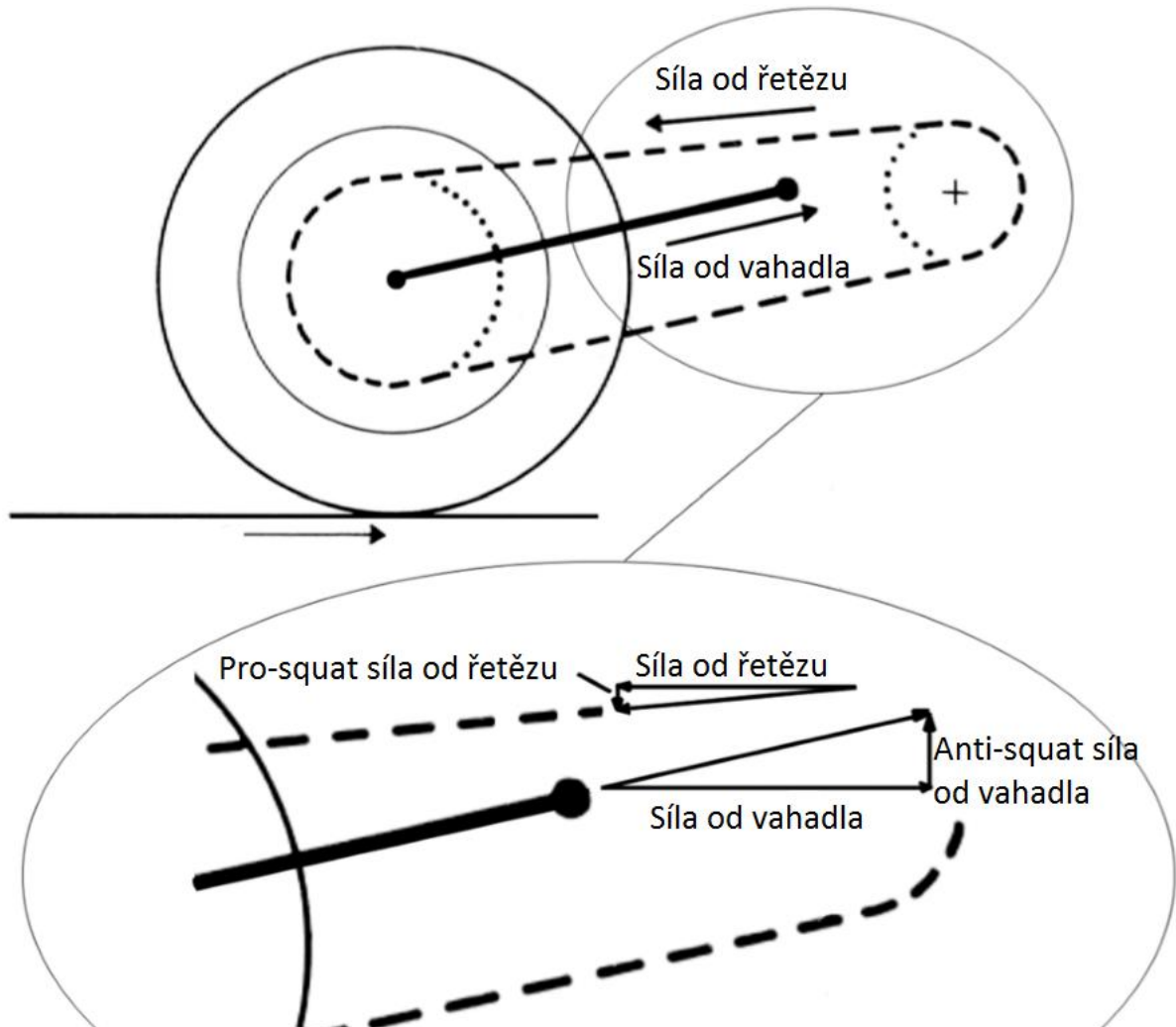
3.5 Chain growth (CG), pedal kickback (PK)

Chain growth (prodloužení řetězu) vzniká při kompresi zadního odpružení a je závislé na systému odpružení a na zařazeném převodu. Jelikož se u téměř většiny celoodpružených rámu osa zadního kola částečně vzdaluje vůči středu šlapání, důsledkem čehož vzniká v řetězu tahová síla a stejně tak i moment ve středové ose, který se snaží otočit klikami. Proto je tento efekt nutno co nejvíce redukovat. Při jízdě se to může projevit jako tzv. pedal kickback (kopání do pedálu) v protisměru šlapání a udává se ve stupních. [5]

3.6 Anti-squat (AS)

Tento termín vyjadřuje míru kompenzace komprese při akceleraci (vzniklou od setrvačnosti jezdce+kola), silou od pohonu, která má v ideálním případě extenzivní účinky na zadní odpružení. Tato hodnota se vyjadřuje v procentech a stejně jako AR je závislá na poloze těžiště, systému přepákování zadní stavby a navíc na umístění pohonu a na zařazeném převodu. V ideálním případě nabývá hodnot 100%. Jednoduše řečeno, síla od pohonu v tomto případě působí na zadní odpružení stejným, ale opačným účinkem jako síla od setrvačnosti jezdce a kola. Při $AS < 100\%$ převládají kompresní účinky a zadní odpružení se při akceleraci stlačuje. Hodnota AS se mění, jak v závislosti na zdvihu zadní stavby, ve které se zrovna odpružení nachází, tak i na zařazené rychlosti. Proto se výrobci snaží dosáhnout hodnoty 100% AS, při hodnotě SAG

30% a při převodech určených ke stoupání. Zjednodušené schéma toho, k čemu vlastně při akceleraci dochází, je znázorněno na obr. 7, kde převládá anti-squat síla od vahadla nad pro-squat silou od řetězu. Anti-squat síla se snaží nadzvednout zbytek kola i jezdce a tím eliminovat kompresi způsobenou setrvačnými účinky. [1,6]



Obr. 7: Zjednodušené schéma sil působících při AS [1]

4 Rešerše mechanismů přepákování zadní stavby

Systémy přepákování zadní stavby se liší u každého výrobce. Zjednodušeně můžeme říci, že existují dva základní typy přepákování. Z hlediska kinematického rozdělení to jsou mechanismy, jejichž osa zadního kola opisuje kružnici (tzv. jednočepý) a mechanismy, u kterých osa zadního kola koná obecný rovinný pohyb (tzv. čtyřčepý). Avšak při konstrukci se nerozhoduje pouze nad tím, jaký zvolit typ čtyřčepu nebo jednoduššího jednočepu, ale i na přesném rozmístění jednotlivých čepů vůči přednímu rámovému trojúhelníku, což sice nezmění trajektorii zadního kola, ale může zásadně změnit charakter pružení (jeho progresivitu, AR, AS...).

4.1 Rozdělení dle trajektorie osy zadního kola

V praxi se setkáváme pouze se dvěma typy trajektorií osy zadního kola. A to s pohybem obecným rovinným a pohybem opisujícím část kružnice.

4.1.1 Kružnice

Dvoučlenný mechanismus - U klasického dvoučlenného mechanismu najdeme pouze jediný čep, který je zároveň i IC. Zadní stavba je tvořena jediným dílem a osa zadního kola při kompresi opisuje kružnici. Výhodou těchto rámu je jednoduchá konstrukce, velká boční tuhost a nenáročnost na údržbu. Nevýhodou jsou vyšší hodnoty AR a hůře dosažitelná progresivita odpružení. Klasickým představitelem rámu s dvoučlennou konstrukcí zadní stavby je anglická firma Orange (viz obr. 8), která se svojí více než 25letou tradicí je jednou z nejstarších MTB firem na světě a ani v dnešní době neopouští od své tzv. jednočepové konstrukce s čepem klasicky umístěným vpravo nahoře od středu šlapání. Díky takto umístěnému čepu a konstrukčnímu řešení zadní stavby nedochází při jízdě ke kontaktu řetězu a zadní stavby, což má za následek bezhlučný provoz. Nevýhodou jsou vyšší hodnoty AR.



Obr. 8: Sjezdový rám Orange 324 (dvoučlenný mechanismus) [23]

Čtyřčlenný mechanismus - Ačkoliv se vlastně jedná o čtyřčlenný mechanismus, je spodní vahadlo pevně spojeno s osou zadního kola. Díky tomu osa zadního kola opisuje kružnici stejně jako u klasického dvoučlenného mechanismu (jako IC tu figuruje čep spojující spodní vahadlo s rámovým trojúhelníkem), proto bývá tento systém často označován jako tzv. přepákový jednočep. Avšak díky přepákování lze snadněji dosáhnout požadované tuhosti a progresivity odpružení. Výhodou je dobrá boční tuhost a progresivní chod. Nevýhodou jsou stejně jako u klasického dvoučlenného mechanismu hodnoty $AR > 100\%$ (zadní odpružení tuhne). Klasickým představitelem tohoto systému je kanadská firma Kona (viz obr. 9).



Obr. 9: Sjezdový rám Kona Operator 2016 (jednočepový systém s přepákováním) [24]

Active braking pivot (ABP) – V překladu aktivní brzdový čep je patentovaný systém, který využívá americká firma Trek. Specialitou tohoto systému je fakt, že třmen zadní brzdy není umístěn na stejném elementu jako osa zadního kola (v tomto případě je umístěn na těhlici viz obr. 10). U ABP je čep spojující spodní vahadlo s těhlicí integrovaný přímo v ose zadního kola a tlumič není pevně spojen s předním rámovým trojúhelníkem, ale mezi spodním a horním vahadlem. Často je tedy takto umístěný tlumič označován jako tzv. plovoucí. Tím pádem při kompresi zadní stavby se spodní i horní oko tlumiče pohybuje směrem dolů, což dává možnost využití tlumičů s menšími zdvihy díky většímu poměru přepákování. Ačkoliv firma Trek uvádí, že jejich systém dosahuje absolutně nejmenších hodnot AR, díky čemuž má být zadní odpružení zcela nezávislé na zadní brzdě, není tomu tak. Nezávislé testy ukazují že ABP dosahuje velmi podobných hodnot jako např. FSR. Z mého pohledu je hlavní výhodou ABP fakt, že dosahuje velmi dobrých vlastností, aniž by přicházela do kolize s již vyvinutými a patentovanými systémy. Tento systém je jediný mechanismus s trajektorií osy zadního kola opisující část kružnice, který můžeme označit jako aktivní při brzdění. [7]



Obr. 10: Sjezdový rám Trek Session 9.9 se systémem ABP [25]

4.1.2 Obecný rovinný pohyb

Čtyřčlenných mechanismů, u kterých osa zadního kola provádí obecný rovinný pohyb, je na trhu celá řada. Liší se pouze umístěním čepů a délkami jednotlivých vahadel a těhlice.

FSR (Future Shock Rear) – Je čtyřčlenný mechanismus používaný a patentovaný americkou firmou Specialized, která jako jedna z prvních přišla s používáním tzv. čtyřčepové konstrukce u zadního odpružení. Tento systém je specifický dlouhým spodním vahadlem a čepem, který spojuje spodní vahadlo s těhlicí a je umístěn pod osou zadního kola. Obecně bývá tento systém často označován jako tzv. Horst Link. Díky tomuto patentu bylo zabráněno velkému rozšíření použití čtyřčepových systémů, hlavně na americkém kontinentu. Proto mnoha americkým firmám nezbylo nic jiného než licenci na patent zakoupit (firmy: Norco viz obr. 11, Turner, Rocky Mountain). Díky tomu, že osa zadního kola vykonává obecný rovinný pohyb a třmen brzdy je uchycen na těhlici, hodnoty AR většinou nepřesahují 80%. V dnešní době se jedná asi o nejrozšířenější konstrukční řešení čtyřčlenného mechanismu. [3]



Obr. 11: Sjezdový rám Norco Aurum se systémem FSR [26]

Dual Link – Je dalším typem čtyřčlenného mechanismu, který se obecně vyznačuje velmi krátkým spodním i horním vahadlem a trojúhelníkovou těhlicí. Toto řešení můžeme najít v různých kombinacích od různých výrobců např.: systémy DW-link (značky: Ibis, Pivot, Turner), Maestro (Giant), VPP (Santa Cruz) atd. Výhodou těchto řešení je díky kombinaci krátkých vahadel s trojúhelníkovou těhlicí velká tuhost zadní stavby jako celku. Dále jsou tyto systémy (nejvíce asi Dual Link) dobře nastavitelné na hodnoty AS. Proto se také enduro kola s tímto systémem vyznačují velmi dobrými vlastnostmi při výjezdech. Na obr. 12 je zobrazen enduro rám značky Ibis. Velmi důležité z hlediska šlapání je spodní vahadlo, které se při hodnotě SAG 30% dostává téměř do rovnoběžky s tažnou větví řetězu, díky čemuž dosahuje výborných vlastností při šlapání. [4]



Obr. 12: Enduro rám Ibis Mojo HDR využívající systém DW-link [27]

5 Tlumící a pružící jednotky u sjezdových rámu

Nejčastěji používanými typy tlumičů u MTB jsou kapalinové a olejopneumatické. Jako absorber kinetické energie zde figuruje kapalinové tření. Kapalina prochází několika škrťacími ventily, které zajišťují kompresní a expanzní vlastnosti tlumiče. U olejopneumatických tlumičů je olej udržován přetlakem stlačeného plynu (vzduch, dusík), který je oddělen pístem a umístěn v tzv. expanzní nádobce tlumiče. To zajišťuje, aby nedocházelo k pění oleje, či kavitaci. [19]

5.1 Typy pružin:

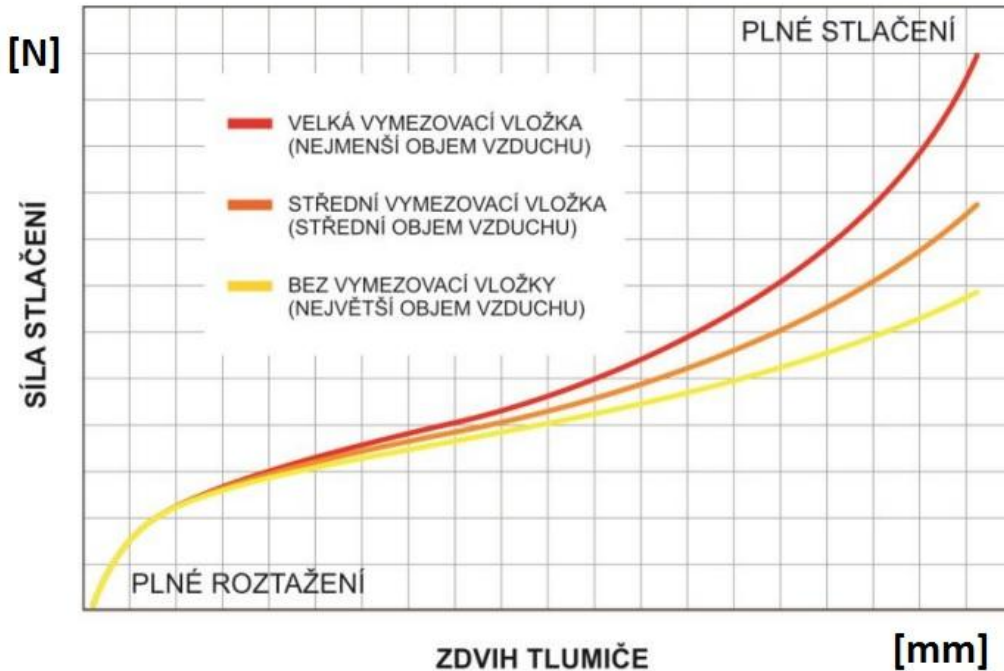
1 Pneumatické pružiny – nejčastěji u kol typu enduro, XC

Výhody:

- progresivní charakter
- libovolné nastavení tuhosti
- menší hmotnost
- větší průměr těla tlumiče (zvýšení celkové tuhosti rámu)

Nevýhody:

- menší citlivost na počátku zdvihu (degresivní charakteristika na počátku zdvihu viz obr. 13)
- nutnost použití vysokotlaké pumpičky



Obr. 13: Charakteristika tlumičů značky Fox s pneumatickou pružinou [14]

2 Válcové šroubovitě vinuté tlačné pružiny – nejčastěji se používají u sjezdových kol. Jsou vyráběny z oceli nebo titanu a na obou koncích jsou opatřeny závěrnými závity. Jejich stoupání je konstantní. Tuhost jednotlivých pružin se udává v lbs/in \cong 0,175 N/mm. [14]

Výhody:

- a) větší citlivost na počátku zdvihu
- b) lineární charakteristika (výhoda při návrhu kinematiky)
- c) životnost

Nevýhody:

- a) vyšší hmotnost
- b) menší boční tuhost tlumiče

6 Návrh sjezdového rámu, požadované kinematické a konstrukční vlastnosti zadního odpružení

Na začátku celkového návrhu sjezdového rámu byly nejprve stanoveny jednotlivé požadavky na zadní odpružení, které se následně staly určujícími parametry při kinematickém návrhu systému přepákování zadní stavby.

6.1 Kinematické požadavky

Kinematické požadavky určují celkové vlastnosti zadního odpružení (velikost zdvihu odpružení, jednotlivé hodnoty AR, AS, PK, atd...). Proto byly vytvořeny tři hlavní kinematické požadavky, které jsou primárně zaměřeny na progresivitu zadního odpružení, vlastnosti odpružení při brzdění (hodnoty AR) a velikost zadního zdvihu.

1 Progresivní charakteristika (při použití pružinového tlumiče)

Progresivní odpružení zajišťuje citlivý chod s malou počáteční tuhostí, tím pádem je maximalizován styk zadního kola s terénem a s tím spojená i vyšší stabilita při jízdě. Ke konci zdvihu odpružení tuhne, proto se i při velkých rázech minimalizuje riziko dosednutí tlumiče na konec zdvihu a s tím i spojené poškození rámu a tlumiče, či ztráta stability jezdce nad kolem. Progresivitu zajišťuje první převodová funkce (pákový poměr, nebo zdvihový poměr), která určuje poměr mezi zdvihem zadního kola a tlumiče a určíme ji ze vztahu (6), kde Y je zdvih zadního kola a X je zdvih tlumiče.

$$LR = \frac{\delta Y}{\delta X} \quad (6)$$

2 Maximální nezávislost zadního odpružení na zadní brzdě

Maximalizace nezávislosti zadního odpružení na zadní brzdě je hlavně u sjezdových kol velmi důležitým aspektem. Jelikož při sjezdu brzdění probíhá hlavně v prudkých dávkách a často i se zablokovaným zadním kolem, je proto důležité, aby pružení zůstalo co nejaktivnější (netuhlo a neměnilo svou charakteristiku) a zadní kolo bylo co nejvíce v kontaktu s terénem. Díky tomu se brzdění stává efektivnější a jezdec může brzdit později a v kratších dávkách. Závislost zadního odpružení na zadní brzdě nám určuje velikost AR. Jako požadovaná hodnota byla vybrána $0\% < AR < 80\%$ při hodnotě SAG 30%.

3 Zdvih zadního kola

V praxi jsou všechny sjezdové vidlice vyráběny se zdvihem 200mm. Proto bylo požadavkem u zdvihu zadního kola maximální přiblížení hodnotě zdvihu přední odpružené vidlice, tedy 200mm. Díky tomu bude při jízdě v terénu s použitím konvenčních sjezdových vidlic geometrie rámu zachována. [19]

6.2 Konstrukční požadavky

I když se tato práce nezabývá pevnostními výpočty, bylo využito kratších vahadel a trojúhelníkové těhlice jako celku další podmínkou celé konstrukce. Tím by bylo umožněno

využití ložisek s větším vnějším průměrem, zvýšení jejich životnosti a celkově lepší boční tuhosti celého mechanismu. Dále by díky kratším vahadlům a trojúhelníkové těhlici bylo možno snáze optimalizovat zadní stavbu vzhledem k pevnostním podmínkám.

7 Volba pružící a tlumící jednotky

1) Zdvih: V technické literatuře je nejčastěji doporučován zdvihový poměr 1:3 (tlumič/zadní kolo) [2]. Tomuto parametru z konvenčních tlumičů nejvíce vyhovuje zdvih 76,2mm při délce tlumiče oko-oko 241mm.

2) Pružina: Pružící jednotka byla zvolena válcová ocelová tlačná pružina, pro její větší citlivost na začátku zdvihu oproti pneumatické pružině (viz obr. 13), což je u sjezdu velmi důležité.

3) Nastavení: Jako požadované možnosti nastavení tlumiče byly zvoleny: nastavení odskoku, nízkorychlostní a vysokorychlostní komprese.

Všechny tyto požadavky splňuje tlumič **Fox DHX RC2** (viz obr. 14), a proto jsem se ho rozhodl použít.

Tlumič Fox DHX RC2 kashima

Délka (oko-oko): 241mm

Zdvih: 76,2mm

Pružina: Válcová šroubovitě vinutá tlačná

Možnosti nastavení tlumiče Fox DHX RC2:

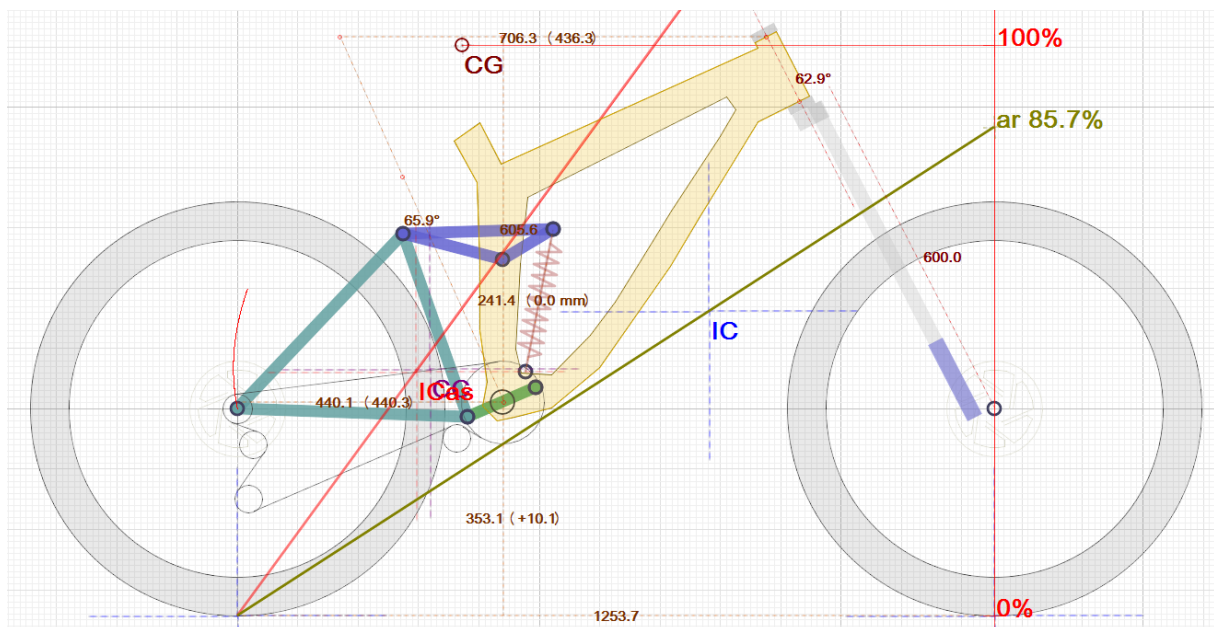
- 1)** Předpětí pružiny (viz 8.1)
- 2)** Nízkorychlostní expanze - ovlivňuje chování tlumiče při brzdění a výjezdech ze zatáček, kdy je žádoucí nejlepší trakce a přilnutí zadního kola k terénu.
- 3)** Vysokorychlostní expanze - ovlivňuje chování tlumiče při střední a vysoké rychlosti odskoku tlumiče, tzn. zejména při tvrdých dopadech skoků a nájezdech na hranu překážky tak, aby byl tlumič schopen rychle utlumit velké nárazy.
- 4)** Nízkorychlostní komprese - ovlivňuje chování tlumiče zejména při pohybech způsobených šlapáním, nájezdech ke skoku a pohlcování malých nerovností. Dále ovlivňuje přilnutí zadního kola k terénu a obecně měkkost a tvrdost odpružení.
- 5)** Vysokorychlostní komprese - ovlivňuje chování tlumiče při střední a vysoké rychlosti stlačení tlumiče, tzn. zejména při tvrdých dopadech a nájezdech na hranu překážky. [14]



Obr. 14: Tlumič Fox DHX2 [28]

8 Navrhované řešení mechanismu zadního odpružení

Realizace vlastního návrhu odpružení byla provedena v programu Linkage, který umožňuje statickou analýzu jednostopých vozidel s výpočty základních charakteristik odpružení. Zde byla zadána vlastní navržená geometrie předního rámového trojúhelníku, délka zadní stavby (střed šlapání-osa zadního kola, hodnota 440mm viz obr. 15), zdvih přední vidlice, rozměrové parametry zvoleného tlumiče, typ pružiny a počáteční návrh konstrukčního řešení mechanismu. Vhodnou změnou polohy čepů a délky jednotlivých elementů zadní stavby bylo dosaženo řešení, které splňuje zadané požadavky (viz kapitola 6.1 a 6.2). Na obr. 15 je zobrazeno navržené řešení v programu Linkage s nulovým zatížením (počátek zdvihů předního i zadního kola). Dále jsou na obrázku geometricky zobrazeny hodnoty funkcí AR, AS (hodnota AS je znázorněná červenou úsečkou a přesahuje hodnotu 100%, proto není na obr. 15 vyobrazena celá). Poté je zde zobrazena poloha okamžitého středu otáčení (IC), těžiště jezdce (CG) a velikost stlačení zadního tlumiče (0.0mm).



Obr. 15: Schéma výsledného mechanismu zadního odpružení v programu Linkage

8.1 Volba tuhosti pružiny

Při volbě tuhosti pružiny se vychází z hodnoty SAG, která se tabulkově volí přibližně 30% +/- 5%, dle členitosti terénu a polohou těžiště jezdce+kolo. Opět byl využit program Linkage pro výpočet tuhosti pružiny. V programu byly zadány tyto hodnoty: poloha těžiště, hmotnost jezdce a kola 90kg (viz obr. 16), přední a zadní SAG, předpětí pružiny a tuhost pružiny.

U rozložení hmotnosti byla ponechána předvolená hodnota 65% na zadní kolo a 35% na přední kolo. Požadovaný SAG 30% u předního i zadního kola. Pro počáteční návrh byla zvolena pružina o tuhosti 70 N/mm (400 lbs/in). Tato pružina vyhovovala zadané hodnotě SAG 30%, při předpětí 5 mm (viz obr. 16).

Pro porovnání byly navoleny i nejbližší vyráběné pružiny tj. 61.25 N/mm a 78.75 N/mm (350 a 450 lbs/in), ale nevyhovovaly předvolené hodnotě SAG.

The screenshot shows a 'Sag calculation' dialog box with the following fields and values:

- Rider weight: 90 kg (selected), lbs (unselected)
- Weight distribution: 65% : 35%
- Sag rear: 30%
- Sag front: 30%
- Spring rate: 400.00 lbs/in
- Preload: 5.0 mm
- Result rear sag: 30%
- Result spring rate: 401.7 lbs/in

obr. 16: Výpočet tuhosti pružiny v programu Linkage

8.2 Kinematická analýza navrženého mechanismu

Na grafu 1 je znázorněna první převodová funkce, která určuje progresivitu odpružení. Na svislé ose je uvedena hodnota zdvihového poměru mezi vertikálním pohybem zadního kola (zdvihem zadního kola) a stlačením tlumiče. Na vodorovné ose je vyznačen zdvih zadního kola. Křivka má klesající průběh, a proto bude mít funkce tuhosti zadního odpružení rostoucí průběh (viz graf 4 a 5). To zajistí požadovanou progresivitu odpružení. V praxi se dále tato progresivita umocní tlumičem. Ke konci zdvihu se díky menšímu zdvihovému poměru tlumič začne stlačovat rychleji, tím pádem vznikne i vyšší kapalinové tření uvnitř tlumiče. To ještě více umocní progresivní chování zadního odpružení jako celku.

Ve výsledku je zde splněn první a nejdůležitější cíl pro kinematickou vlastnost mechanismu zadního odpružení (viz 6.1 progresivní charakteristika). V další kapitole bude progresivita porovnána s ostatními rámy, které jsou na trhu.

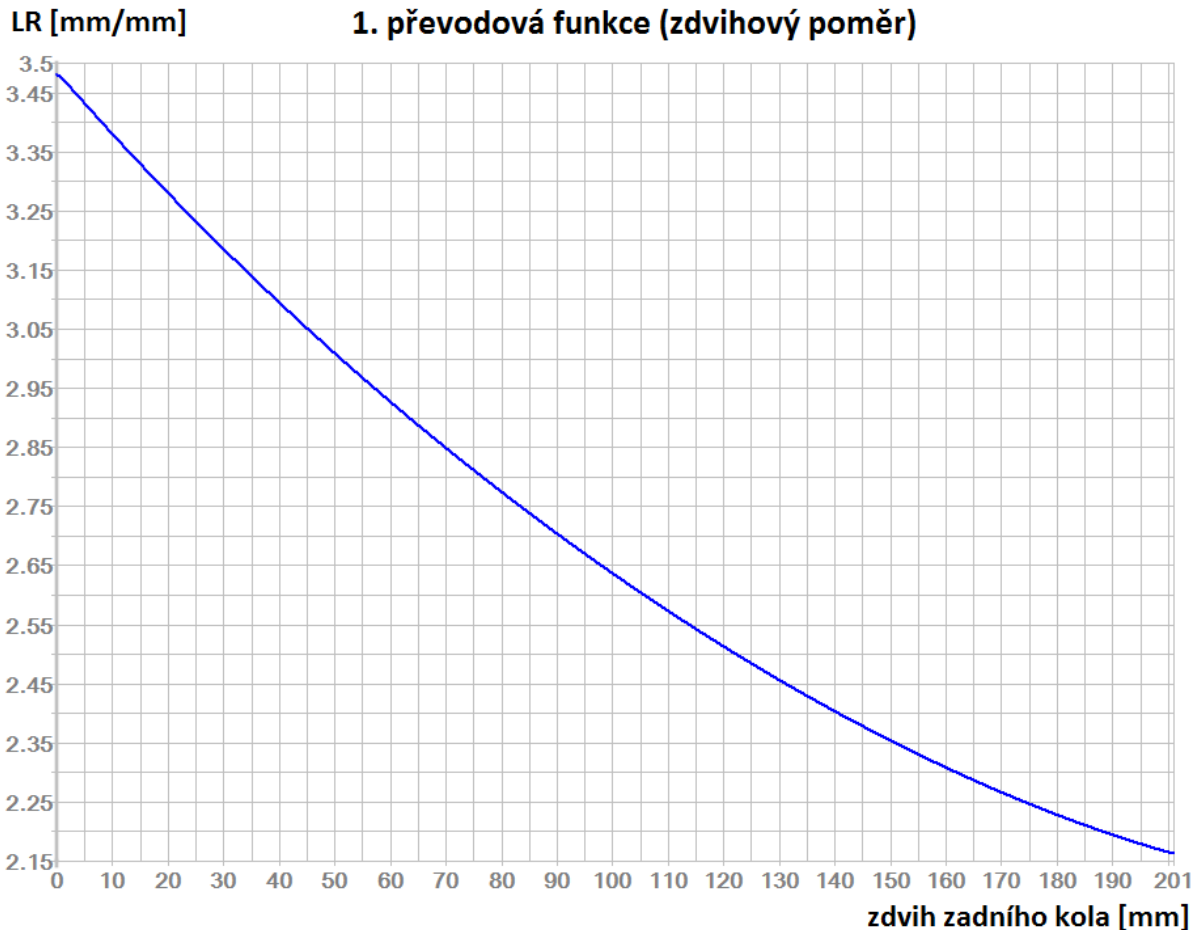
Dalším požadavkem kinematické vlastnosti zadního odpružení byla nezávislost zadního odpružení na brzděném momentu (viz kapitola 6.1 co největší nezávislost zadního odpružení na zadní brzdě). Na grafu 2 je znázorněna funkce AR na zdvihu zadní stavby. Hodnoty se pohybují

od 74% do 70% (při hodnotě SAG 25%-35%), což bylo vyhodnoceno jako druhé splněné kritérium.

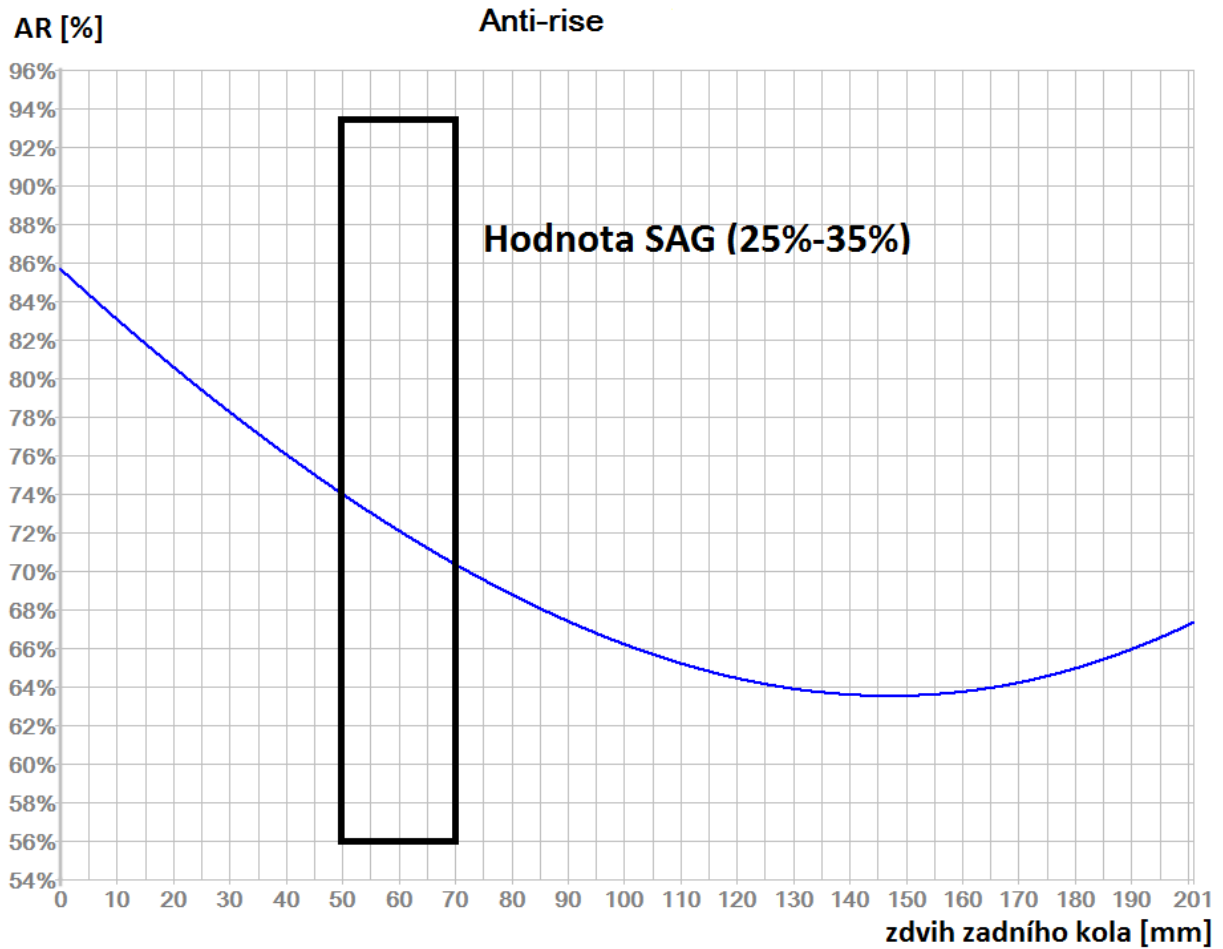
Posledním kinematickým kritériem byla velikost zdvihu zadního kola blížíící se hodnotě 200mm (viz kapitola 6.1). Protože celkový zdvih osy zadního kola přímo úměrně souvisí s první převodovou funkcí a velikostí zdvihu zadního tlumiče (viz rovnice 7), činí hodnota výsledného zdvihu 201mm. Tato hodnota přesahuje pouze o 1mm zdvih přední vidlice. Tím je zajištěno, že při stejných hodnotách SAG pro přední i zadní kolo nedochází ke změně počáteční geometrie (úhel hlavové trubky zůstává zachován). Poslední cíl návrhu je považován za splněný.

- Y_{celk} = celkový zdvih osy zadního kola [mm]
 $LR(X)$ = první převodová funkce určená polohou a zdvihem zadního tlumiče
 X_0 = počátek zdvihu tlumiče (0mm)
 X_1 = plné stlačení tlumiče (76.2mm)

$$Y_{\text{celk}} = \int_{X_0}^{X_1} LR(X) dX \quad (7)$$



Graf 1: Analýza zdvihového poměru (angl. Leverage ratio) v programu Linkage



Graf 2: Analýza funkce Anti-rise v programu Linkage

9 Porovnání kinematických charakteristik zadního odpružení

Pro lepší zhodnocení kinematických charakteristik zadního odpružení bylo navrhované řešení porovnáno s dalšími dvěma rámy. Pro srovnání vlastního návrhu kinematiky s ostatními koly byla vybrána absolutní špička na trhu. Za rámy využívající dvoučlenný mechanismus byl vybrán rám Orange 322 (viz obr. 17) a za čtyřčlenné mechanismy, jejichž osa zadního kola má trajektorii obecného rovinného pohybu, byl vybrán rám Specialized Demo (viz obr. 17). Kinematické charakteristiky byly získány z internetové databáze programu Linkage. [16]



Obr. 17: Porovnávané rámy, Orange 322 (vlevo), Specialized Demo (vpravo) [29]

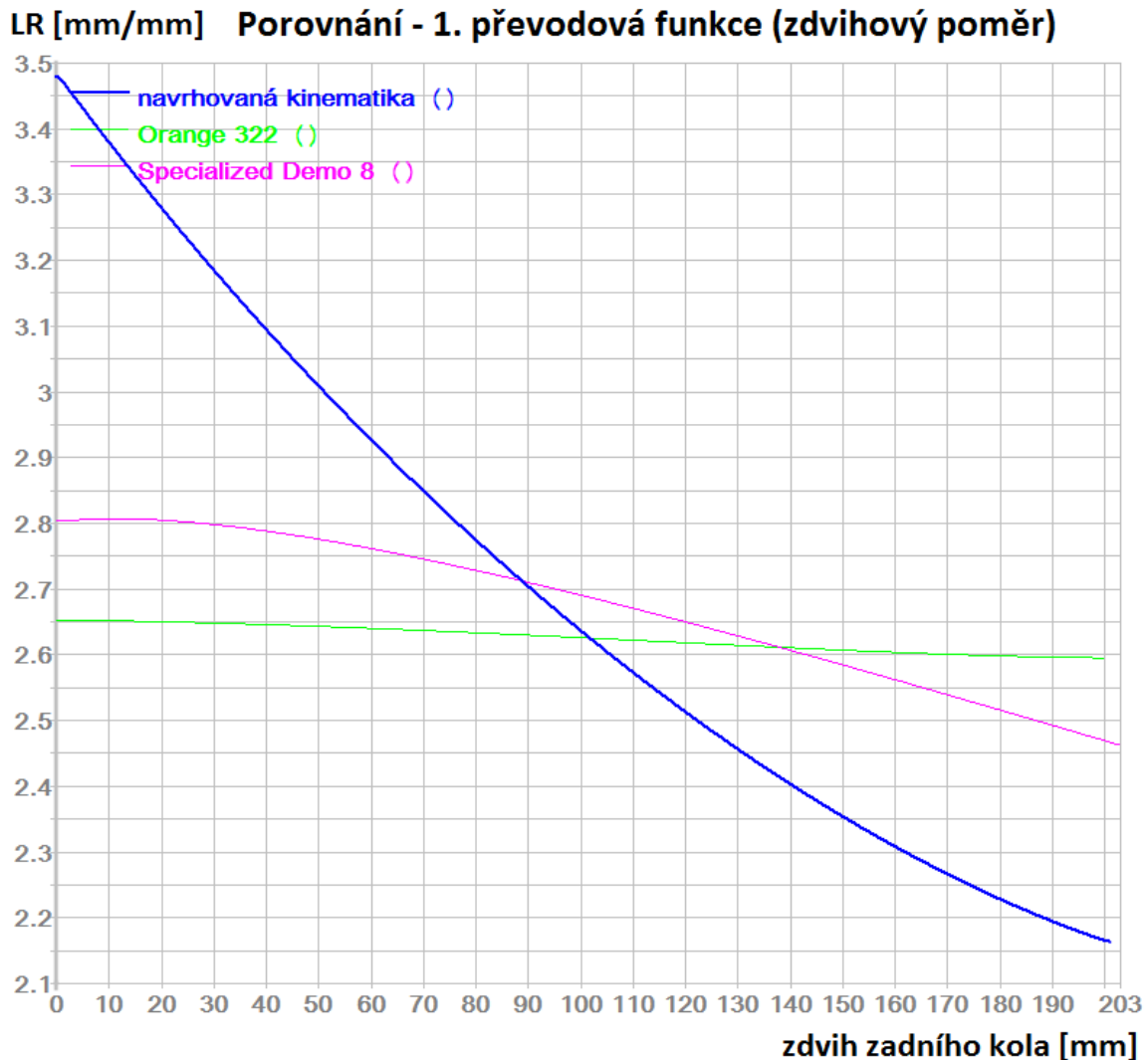
9.1 Progresivita zadního odpružení

Nejprve byl porovnán zdvihový poměr a z grafu 3 je patrné, že Orange i Specialized mají spíše lineární charakteristiku. U rámu Orange se zdvihový poměr změnil v celém rozsahu zdvihu pouze o 0,05 a u rámu Specialized o 0,33. Naopak u navržené kinematiky je rozdíl zdvihového poměru na začátku a konci odpružení 1,32, díky čemuž se odpružení stává mnohem progresivnějším oproti porovnávaným ráům.

Dále bylo u všech ráků nastaveno stejné zatížení, tedy jezdec+kolo hmotnost 90kg a stejné hodnoty SAG. Poté byla v programu Linkage vypočtena požadovaná tuhost pružin (stejným způsobem viz 8.1) 52.5N/mm pro oba ráky a provedena analýza celkové síly potřebné ke stlačení tlumiče. Průběh funkce je znázorněn na grafech 4 a 5, kde na svislé ose vlevo je znázorněna celková síla potřebná ke stlačení tlumiče a na svislé ose vpravo tuhost odpružení.

Z grafů 4 a 5 je patrné, že navrhovaná kinematika má čistě progresivní charakter odpružení, oproti porovnávaným modelům. Stejně nastavení hodnoty SAG je na grafech 4 a 5 vidět mezi 25% - 35% zdvihu, kde se silové křivky téměř protínají s navrhovanou kinematikou. Na počátku zdvihu jsou všechny silové křivky téměř totožné, avšak k dosažení konce zdvihu u navrhovaného řešení je potřeba o 25% větší síla vůči rámu Specialized Demo a o 29% větší síla oproti rámu Orange 322, při menší počáteční tuhosti. Tím pádem je minimalizováno riziko dosednutí tlumiče

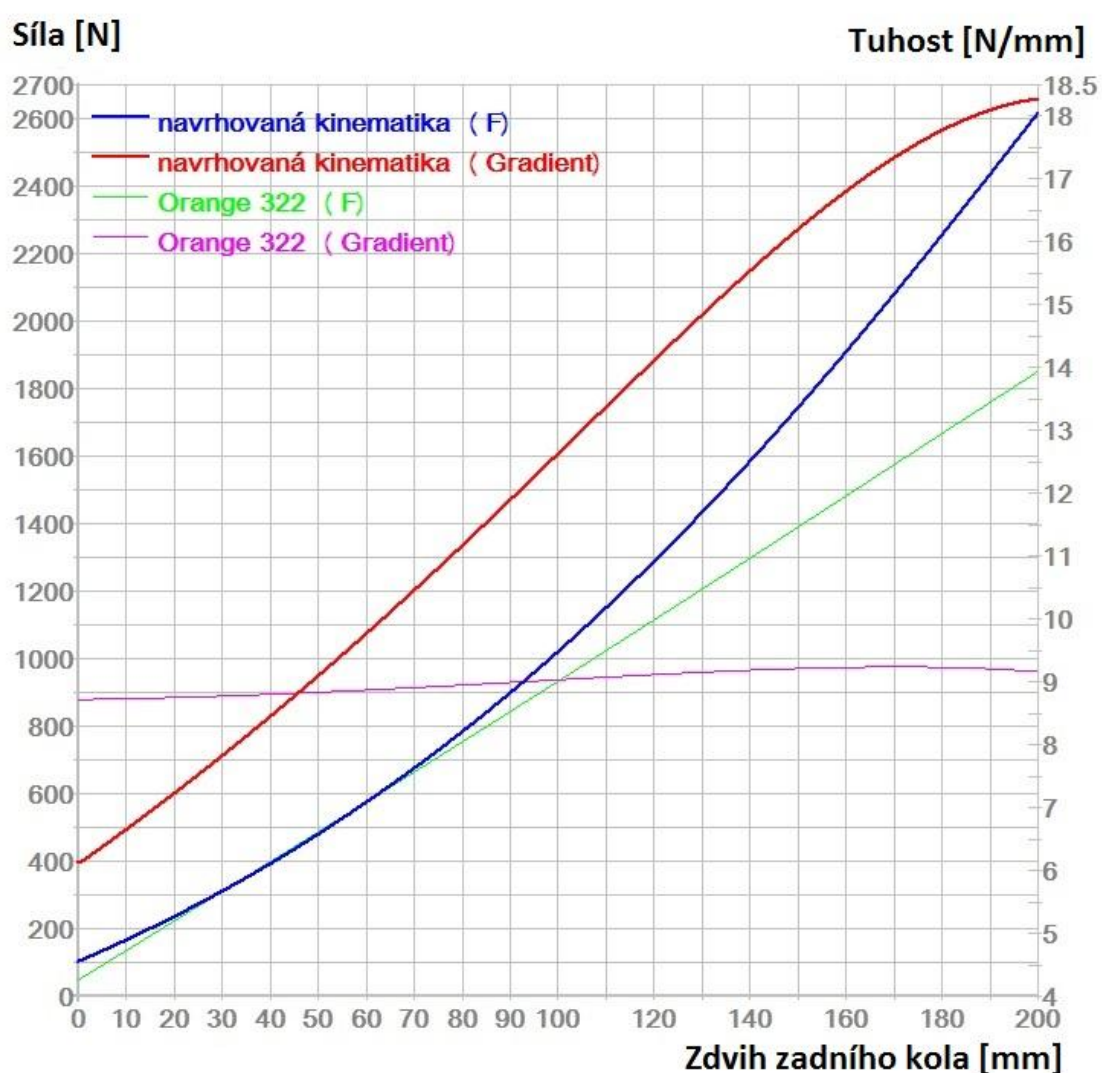
na doraz (při tvrdých dopadech skoků, či v těžkém terénu, kde se zadní odpružení nemusí stíhat vracet a může se dostat až na konec zdvihu), které může způsobit ztrátu kontroly jezdce nad kolem. Dále by navrhované řešení mělo díky menší počáteční tuhosti odpružení dosahovat vyšší citlivosti na menších nerovnostech oproti ráám Specialized a Orange, proto by mělo zadní kolo zůstat ve stálém kontaktu s terénem a zajistit pevné držení jízdní stopy zadního kola. Jelikož oba rámy zastupují spíše lineární nastavení odpružení, jsou v tab. 4 uvedeny rozdíly hodnot prvních převodových funkcí na začátku a konci zdvihu i u dalších nejprodávanějších ráamů na trhu, doplněné typem pružiny, se kterou jsou rámy dodávány.



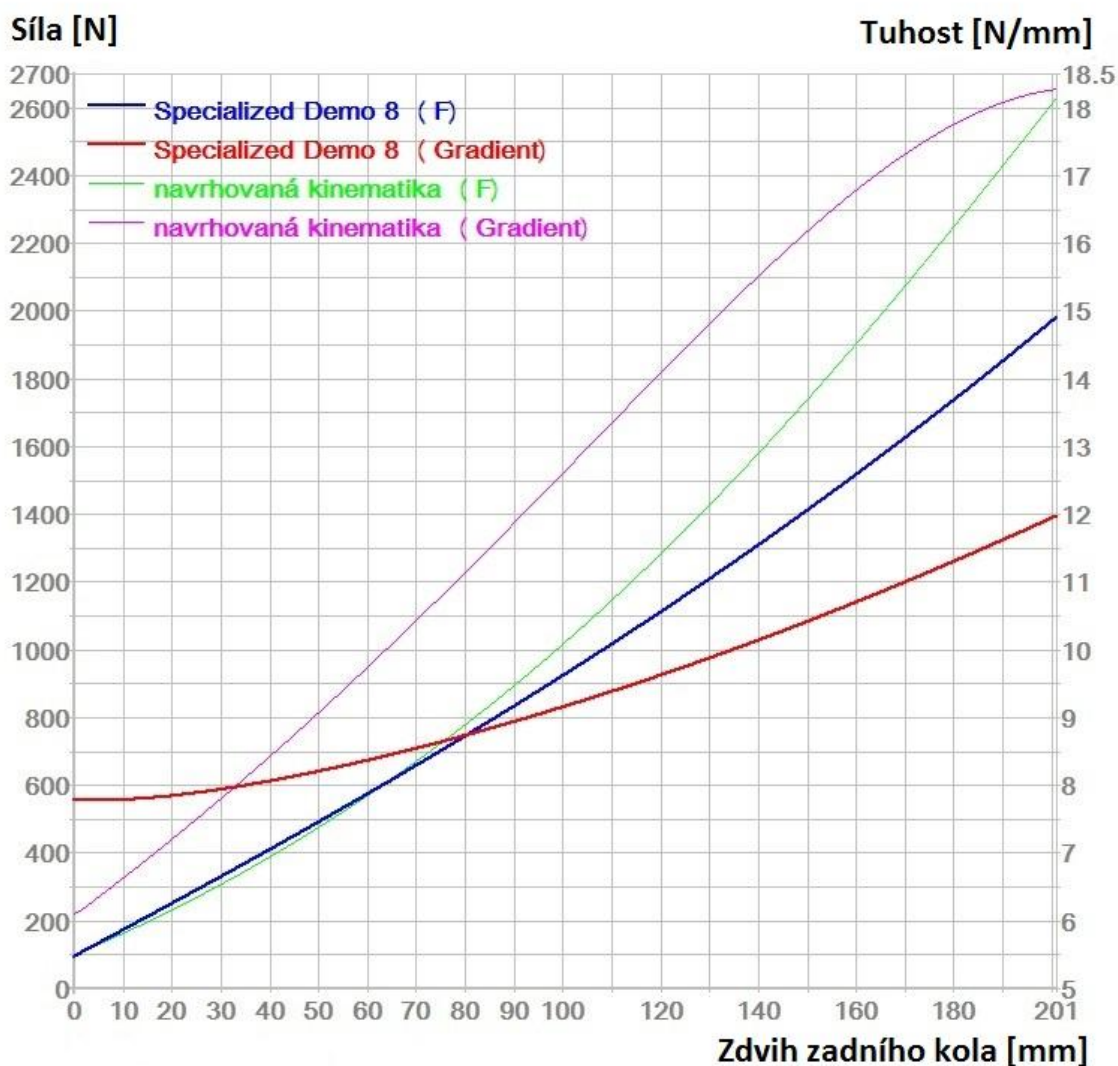
Graf 3: Zdvihový poměr porovnávaných ráamů

Tab. 4: Porovnání prvních převodových funkcí u ostatních rámců na trhu [10]

| Značka a model | Typ pružiny | 1. převodová funkce rozdíl počátek a konec zdvihu |
|---------------------|----------------|---|
| Orange 322 | Válcová tlačná | 0,05 |
| Specialized Demo | Válcová tlačná | 0,33 |
| Navržená kinematika | Válcová tlačná | 1,32 |
| Canyon Sender | pneumatická | 1,1 |
| YT Tues | pneumatická | 1,3 |
| Mondraker Summum | Válcová tlačná | 1,1 |
| Trek Session | Válcová tlačná | 0,36 |



Graf 4: Porovnání s rámem Orange 322. Síly a tuhosti odpružení v závislosti na zdvihu zadní stavby



Graf 5: Porovnání s rámem Specialized Demo. Síly a tuhosti odpružení v závislosti na zdvihu zadní stavby

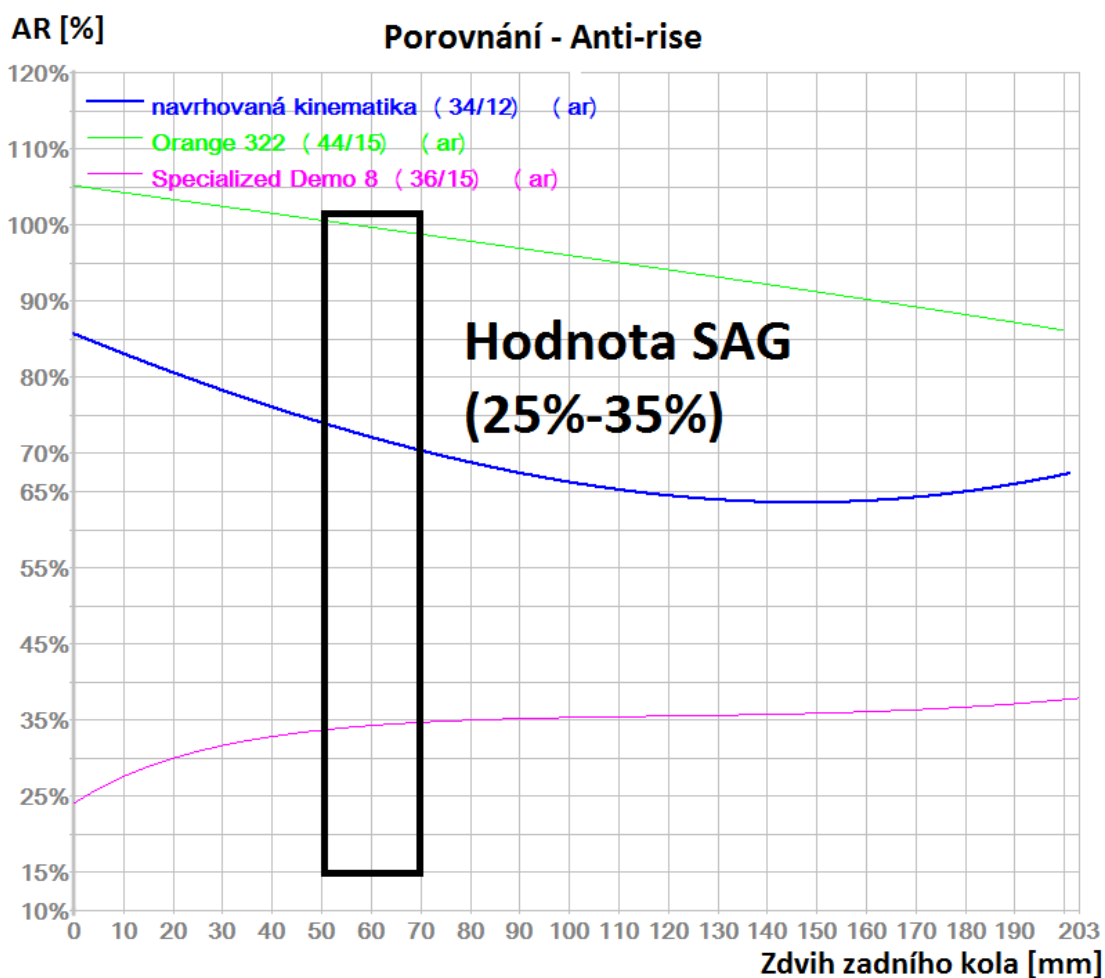
Tab. 5: Maximální a minimální hodnoty z grafu 4 a 5

| Typ rámu | Síla na zadní kolo potřeba k plnému stlačení tlumiče [N] | Počáteční/konečná tuhost odpružení [N/mm] |
|-----------------------|--|---|
| Specialized Demo | 1967 | 7.78/11.94 |
| Orange 322 | 1851 | 8.72/9.16 |
| Navrhovaná kinematika | 2612 | 6.14/18.27 |

9.2 Anti-rise

Funkce Anti-rise udává míru komprese zadního odpružení při brzdění zadní brzdou. Z grafu 6 je vidět, že nejvyšších hodnot AR dosahuje rám Orange, avšak díky dlouhému ramenu, na kterém se osa zadního kola pohybuje, je docíleno velmi dobrých hodnot vůči ostatním tzv. jednočepům, u kterých hodnoty AR začínají okolo 120%. Nejnižších hodnot zde dosahuje rám Specialized. Navržená kinematika se ke konci zdvihu pouze přibližuje rámu Specialized.

V praxi bude navrhované řešení při brzdění zadní brzdou a hodnotách SAG 30% z cca 70% kompenzovat zápornou změnu zatížení zadního kola silovými účinky od zadní brzdy. U rámu Orange bude zatížení zadního kola při aplikaci zadní brzdy téměř stejné jako při statickém zatížení. Oproti tomu u rámu Specialized budou při brzdění převládat setrvačné účinky a záporná změna hmotnosti u zadního kola bude kompenzována brzdnými účinky v oblasti SAG pouze o cca 35%. To znamená, že při rozložení hmotnosti 35%/65% přední/zadní kolo, hmotnosti 90kg jezdec+kolo a hodnotách zdvihu SAG 30% bude ve chvíli brzdění zadní kolo zatíženo u rámu Orange 58.5kg, u rámu Specialized 20.5kg a u navrhovaného řešení 40.25kg. Z praktického hlediska se může zdát, že ideálním rámem je rám Orange, u kterého se při brzdění zdvih udržuje mezi hodnotami SAG. Avšak zde musíme zohlednit změnu polohy těžiště jezdce při brzdění, která je vždy směrem k zemi a posunuta nad zadní kolo (ovlivněno stylem jízdy jednotlivých jezdců), což ve výsledku zásadně změní funkci AR k vyšším hodnotám u všech rámu. Proto se i většina výrobců snaží hodnoty AR minimalizovat. V tab. 6 jsou pro lepší přehlednost porovnány i další rámy na trhu vzhledem k hodnotám AR.



Graf 6: Srovnání hodnot Anti-rise

Tab. 6: Srovnání hodnot Anti-rise [16]

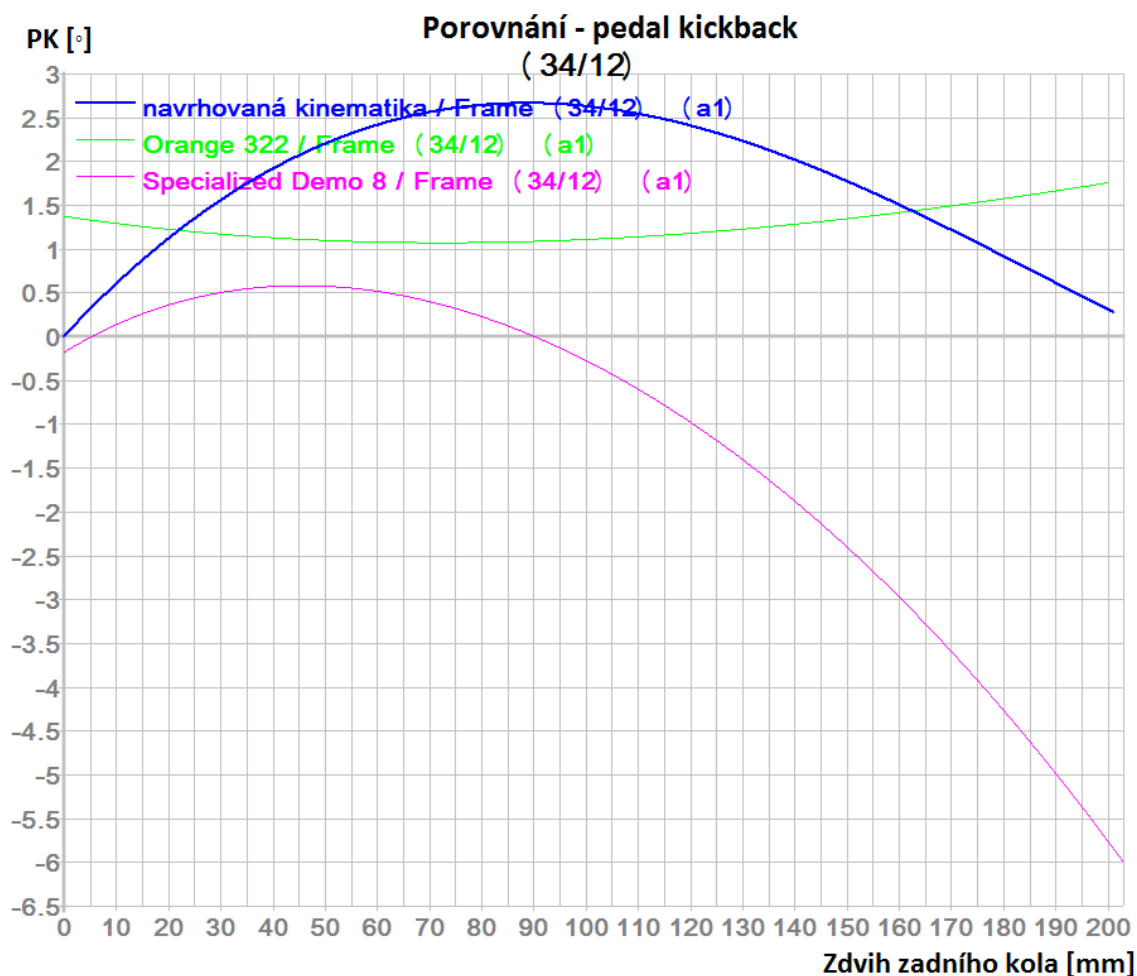
| Značka a model | Trajektorie osy zadního kola | Hodnota AR při SAG 30% |
|-----------------------|------------------------------|------------------------|
| Navrhovaná kinematika | ORP | 70% |
| Specialized Demo | ORP | 35% |
| Orange 322 | kružnice | 98% |
| Giant Glory | ORP | 73% |
| Canyon Torque | ORP | 57% |
| Scott Gambler | kružnice | 115% |
| Kona Operator | kružnice | 115% |

9.3 Pedal kickback

Jak už bylo v kapitole 3.5 zmíněno, při pružení se vždy mění délka tažné větve řetězu (pokud IC není konstantní a neleží ve středu šlapání), což má za následek natáčení klik při jízdě. V grafu 7 je znázorněn průběh natočení klik v závislosti na zdvihu zadní stavby při zařazeném převodu 34/12. Navrhovaná kinematika dosahuje největšího natočení klik v polovině zdvihu. Maximální hodnota natočení je 2.7° . V praxi je takto malé prodloužení tažné větve řetězu kompenzováno otáčejícím pastorkem, který se při jízdě může otáčet stejnou úhlovou rychlostí jako zadní kolo, čímž umožní prodloužení horní tažné větve řetězu. Rámy, u kterých může reálně docházet pro jezdce k nepříjemným kopáním do pedálu, nebo dokonce k přetržení řetězu (u tvrdých dopadů), jsou např. Giant Glory nebo Scott Gambler (viz tab. 7), u kterých se natočení klik při zařazeném převodu 34/12 pohybuje okolo 10° . Rámy Specialized a Orange dosahují prakticky nulového, nebo záporného natočení, což je v praxi velmi žádané. U vlastního návrhu dochází pouze k minimálnímu natočení při jízdě, které bylo shledáno zanedbatelným. Pro lepší přehlednost byly dosažené hodnoty opět porovnány s ostatními rámy na trhu (viz tab. 7).

Tab. 7: Srovnání hodnot Pedal-kickback při zařazeném převodu 34/12 [16]

| Značka a model | Pedal-kickback (34/12) Počáteční hodnota/maximální hodnota |
|-----------------------|---|
| Navrhovaná kinematika | $0^\circ/3,5^\circ$ |
| Orange 322 | $1,75^\circ/3,75^\circ$ |
| Specialized Demo | $0,25^\circ/1,4^\circ$ |
| Kona Operator | $2,2^\circ/5,1^\circ$ |
| Scott Gambler | $0,5^\circ/11,7^\circ$ |
| Canyon Torque | $0,2^\circ/3,9^\circ$ |
| Giant Glory | $0^\circ/8,7^\circ$ |

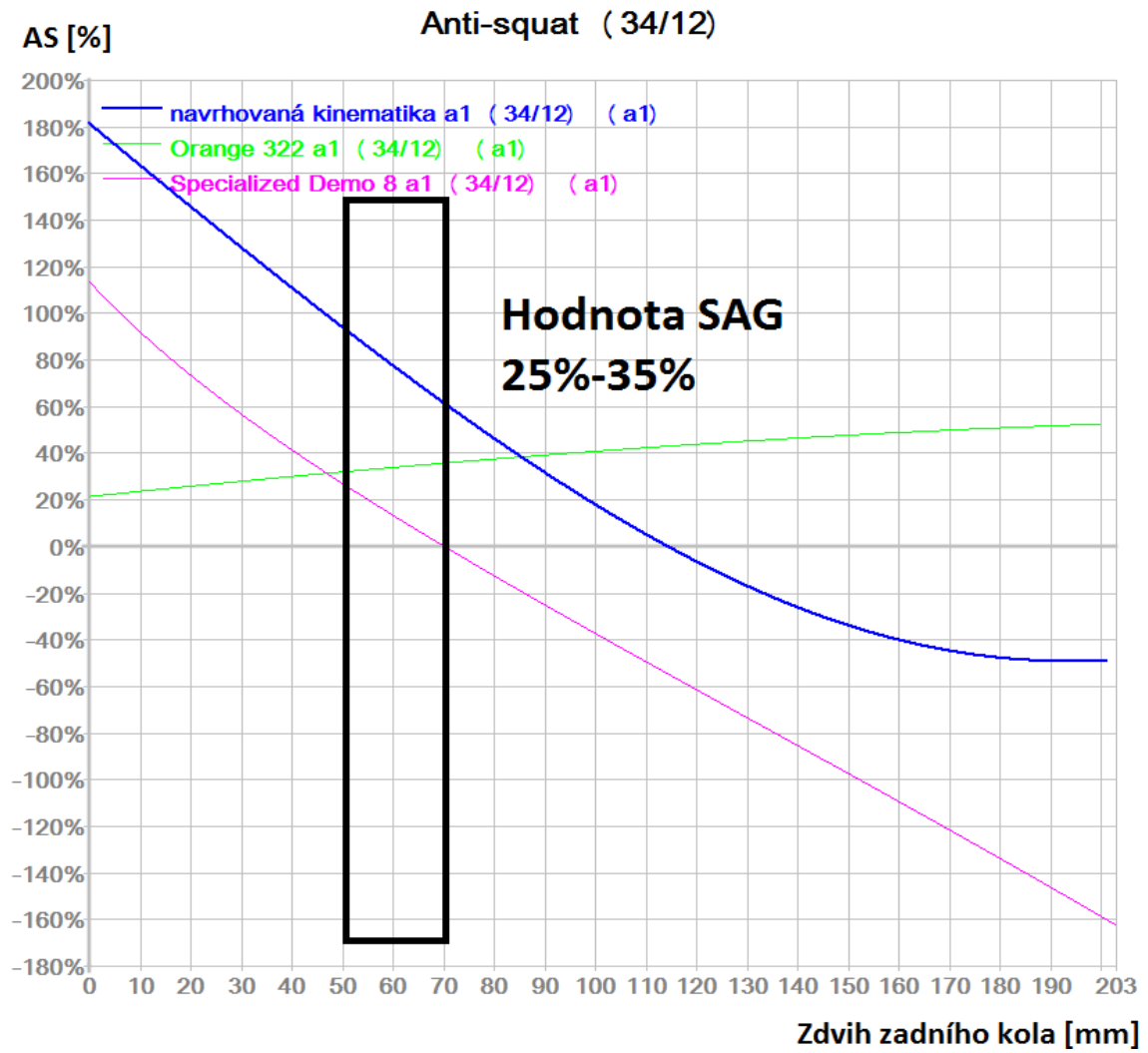


Graf 7: Funkce pedal-kickback při zařazeném převodu 34/12

9.4 Anti-squat

AS určuje efektivitu pohonu v určité poloze zdvihu zadního kola (viz kapitola 3.6), přičemž požadovaná hodnota je 100%, při hodnotě zdvihu SAG 25-35%. Stejně tak jako PK je AS závislá i na zařazeném převodu. Graf 8 zobrazuje funkci AS při zařazeném převodu 34/12. Nejlepších hodnot v okolí SAG (25%-35%) dosahuje navržená kinematika, kde se hodnoty pohybují okolo 80%. Hodnoty rámu Orange a Specialized se pohybují okolo 30%. Díky vyšším hodnotám AS se zadní odpružení navržené kinematiky nebude při šlapání tolik stlačovat jako rámy Specialized a Orange. Tím je zajištěna vyšší efektivita pohonu. Další výhodou vyšších hodnot AS u navržené kinematiky je minimalizace možnosti kolize pedálů s terénem, která může ve vyšší rychlosti zapříčinit nebezpečný pád jezdce.

Navržená kinematika je tedy v porovnání s rámy Orange a Specialized při šlapání účinnější (u převodu 34/12) a minimalizuje stlačování zadního tlumiče.



Graf 8: Funkce Anti-squat při zařazeném převodu 34/12 [16]

10 Model rámového celku

Při vytváření modelu sjezdového rámu bylo vycházeno z hodnot délek a umístění jednotlivých elementů zadní stavby vypočtených v programu Linkage. A protože se v dnešní době čím dál více využívá kompozitních materiálů (hlavně u předních rámových trojúhelníků), díky čemuž lze navrhnout prakticky jakýkoliv tvar rámu, byl model vytvářen s důrazem na co nejestetičtější design předního rámového trojúhelníku. Celkový model rámu byl navrhován pro průměr kol 26" a vymodelován v programu Creo Parametric 2.0.

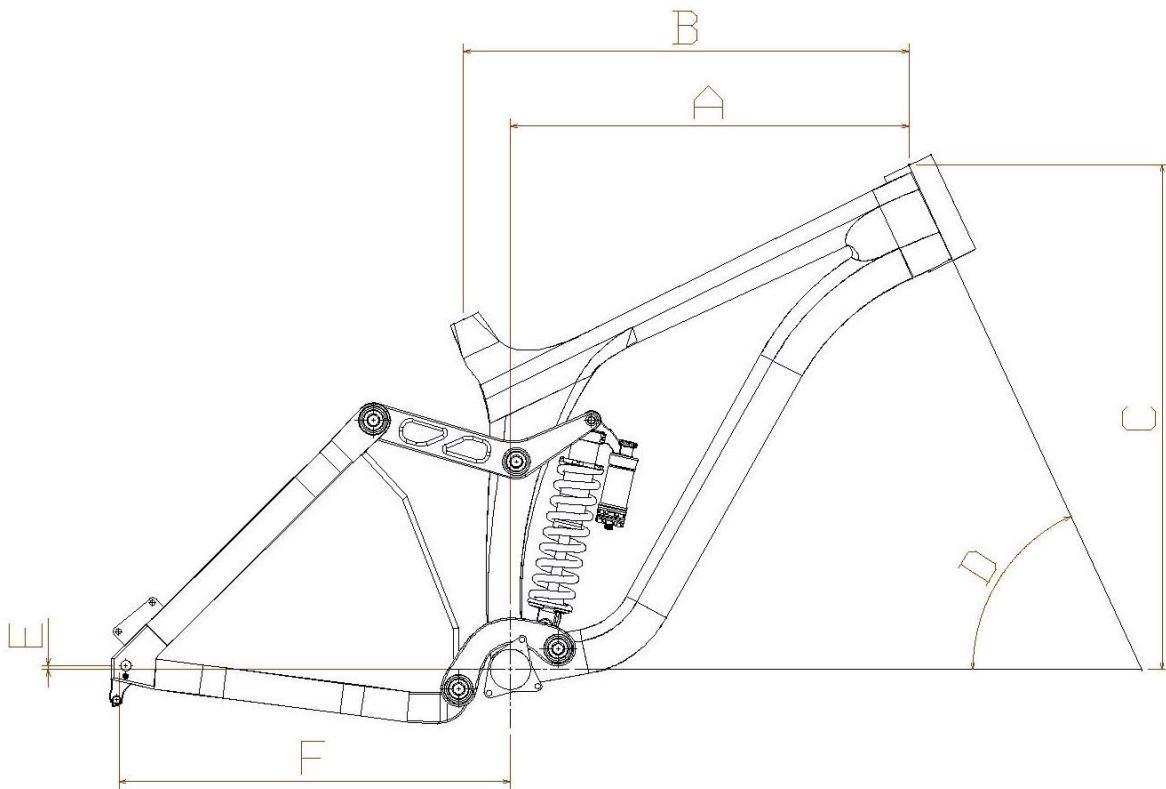
10.1 Přední rámový trojúhelník

Přední rámový trojúhelník se v praxi jako jediný element rámu vyrábí v několika velikostech, aby co nejvíce vyhovoval tělesným propozicím jednotlivých jezdců. Nejčastěji se jedná o čtyři velikosti S, M, L a XL, které jsou odstupňovány dle tělesné výšky jezdce. V mém případě jsem přední trojúhelník navrhoval na výšku jezdce, která by co nejvíce odpovídala mé vlastní postavě (183cm), což je tabulková hodnota nejčastěji odpovídající velikosti na pomezí L a XL. Dále byl přední rámový trojúhelník modelován s předpokladem využití kompozitních materiálů, což umožnilo vytvoření složitějších profilů a tvarů trubek. Základní geometrie předního rámového trojúhelníku je popsána v tab. 8 a na obr. 18.

Přední rámový trojúhelník je dále navržen s ohledem na normalizované přípojovací rozměry, kterými jsou: hlavová trubka $\varnothing 1,5"$, úchyt napínačku řetězu s označením ISCG 05 [17], typ šlapacího středu BB95 [8] a sedlová trubka $\varnothing 31.6\text{mm}$.

Tab. 8: Základní geometrie předního rámového trojúhelníku (hodnoty se vztahují k obr. 18)

| Označení kóty na obr. 18 | Název kóty | Hodnota kóty |
|--------------------------|--|--------------|
| A | Rozsah | 437mm |
| B | Délka horní rámové trubky | 602mm |
| C | Výška od středu vrcholu hlavového složení ke středu šlapacího středu | 590mm |
| D | Úhel hlavové trubky | 63° |
| E | Výška středu šlapání vůči ose zadního kola | 10mm |
| F | Délka zadní stavby | 440mm |



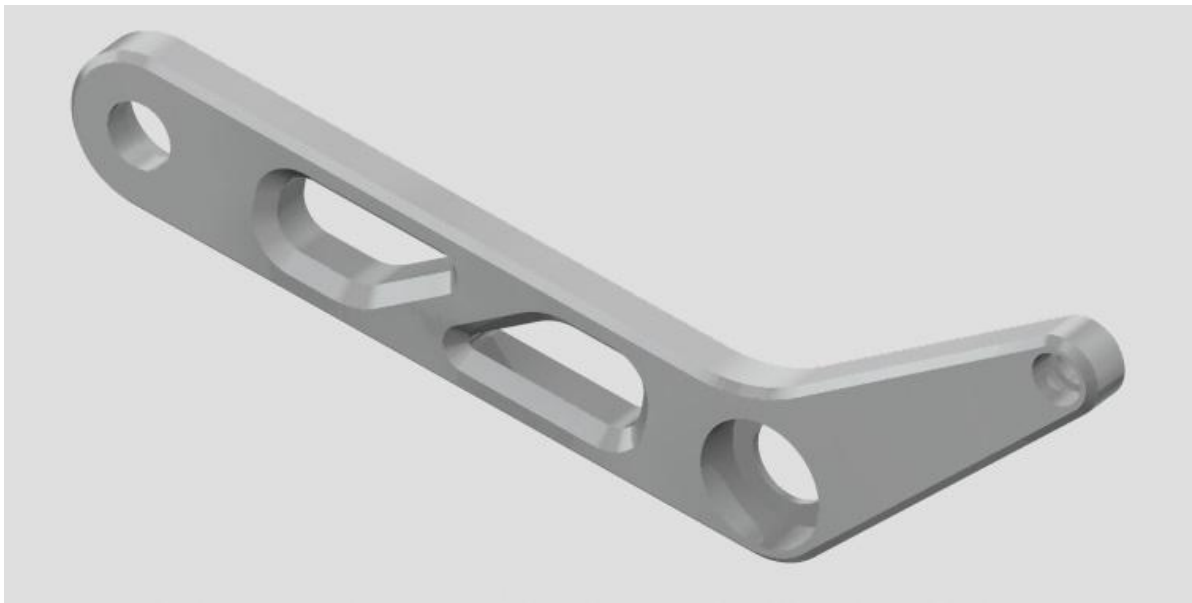
Obr. 18: Základní geometrie předního rámového trojúhelníku
(jednotlivé hodnoty jsou popsány v tab. 8)



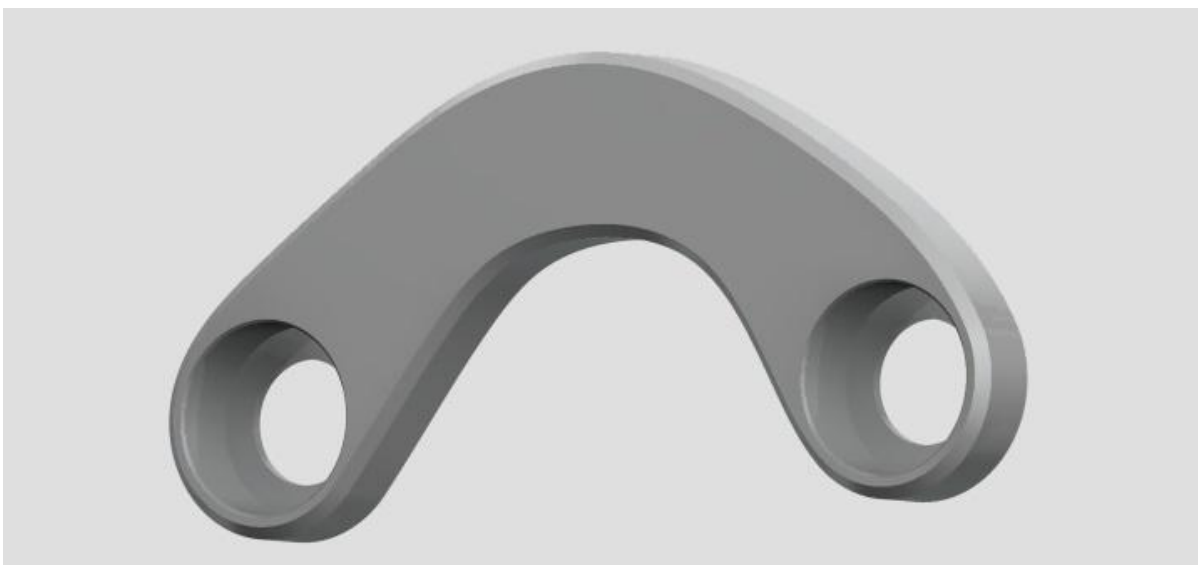
Obr. 19: Vyrendovaný model předního rámového trojúhelníku v programu Creo Parametric 2.0

10.2 Horní a spodní vahadla

Rámový celek je tvořen čtyřmi vahadly, levým a pravým horním (viz obr. 20) a levým a pravým spodním (viz obr. 21). Horní vahadla zajišťují spojení předního rámového trojúhelníku s těhlicí pomocí čepů uložených v kuličkových jednořadých ložiskách a tlumiče pomocí pevnostního šroubu uloženém v pouzdrech tlumiče. Spodní vahadla spojují přední rámový trojúhelník a těhlici, také za pomoci čepů uložených v kuličkových jednořadých ložiskách. Jelikož se tato práce nezabývá pevnostními výpočty, nebyl proveden výpočet statické únosnosti jednotlivých ložisek, a proto byla pro všechny vahadla zvolena ložiska kuličková jednořadá s vnějším průměrem 32mm. U všech vahadel by se základní tvar vyříznul laserem. Poté by byly obrobena otvory pro ložiska a čepy, odlehčení a otvor pro pevnostní šroub u horních vahadel a nakonec sražení hran.



Obr. 20: Vyrendrovaný model pravého horního vahadla



Obr. 21: Vyrendrovaný model pravého spodního vahadla

10.3 Těhlice

Těhlice představuje nosnou konstrukci zadního kola. Pomocí třech čepů uložených v ložiskách je připojena ke dvěma spodním a dvěma horním vahadlům. Spolu s vahadly představuje hlavní část zadní stavby rámu. Těhlice byla navržena jako svařenec z obráběných a tvářených dílů (viz obr. 22). Protože se jedná o prvotní návrh zadní stavby, je těhlice navržena s maximálním důrazem na jednoduchost obráběných nebo ohýbaných dílů. Stejně tak jako přední rámový trojúhelník, je navržena s ohledem na kompatibilitu s normalizovanými komponenty. Osa zadního kola využívá normalizovaný rozměr náboje zadního kola 150x12mm. Na levé části těhlice jsou umístěny úchyty IS (international standart) pro třmen zadní brzdy [18]. Pro připojení přehazovačky je vytvořen na levé části těhlice zástavbový prostor pro tzv. patku (funkční součást spojující těhlici s přehazovačkou), která bývá při jízdě často poškozována, proto je kladen důraz na možnost jednoduché a hlavně levné výměny této součásti.



Obr. 22: Vyrendrovaný model těhlice

10.4 Model sestavy

Na obrázku 23 a 24 je zobrazen model sestavy odpruženého rámu s tlumící jednotkou Fox DHX, která byla stažena ze serveru Grabcad.com [12]. Dále byly vytvořeny pohyblivé vazby a model tlumiče pro kontrolu, zda při plném stlačení nedochází ke kolizi jednotlivých dílů (viz obr. 24).



Obr. 23: Vyrendrovaný model sestavy rámového celku v programu Creo Parametric 2.0



Obr. 24: Vyrendrovaný model sestavy rámového celku v programu Creo Parametric 2.0
(plné stlačení tlumiče)

11 Závěr a zhodnocení

Tato bakalářská práce se zabývá kinematickým návrhem mechanismu odpružení u sjezdového kola, který byl vytvořen v programu Linkage a dále převeden do 3D modelu v programu Creo Parametric.

V úvodní části práce byly představeny základní geometrické parametry sjezdových rámu a jejich konstrukční požadavky. Dále byly podrobně popsány jevy, jako jsou: změna projevu odpružení v závislosti na brzděném momentu (AR), prodloužení řetězu, natočení klik v průběhu odpružení (PK) a efektivita pohonu, které jsou v praxi nezanedbatelné a určují následné konstrukční řešení rámového celku.

Následně byla popsána rozdělení systému zadních odpružených mechanismů, které jsou v současnosti na trhu. Rozdělení bylo provedeno na základě kinematického typu pohybu určeného osou zadního kola (část kružnice, nebo obecný rovinný pohyb). U těchto rozdělení byly rozepsány jejich jednotlivé konstrukční typy a jejich charakteristické vlastnosti.

Při navrhování sjezdového rámu byly nejprve určeny kinematické a konstrukční požadavky, kterými byly: progresivní odpružení, minimalizace závislosti odpružení na brzděném momentu, velikost zdvihu zadního kola blízká se hodnotě 200mm a využití krátkých vahadel společně s trojúhelníkovou těhlicí. Pro celkový kinematický návrh bylo využito softwaru Linkage, ve kterém byly následně vypočteny i základní kinematické charakteristiky navrhovaného řešení a volba pružící a tlumící jednotky. Výsledné charakteristiky byly porovnány se současnými nabízenými modely od značek Specialized (zastupující systémy s obecným rovinným pohybem zadní osy) a Orange (zastupující systémy s kružnicovým pohybem zadní osy). Z celkového kinematického modelu vytvořeného v programu Linkage byly získány geometrické hodnoty jednotlivých elementů zadní stavby, které byly následně využity při modelování rámového celku v Creo Parametric.

Navržený sjezdový rám dosahuje velké progresivity odpružení vůči konkurenčním modelům při zachování malé počáteční tuhosti odpružení, což zajišťuje maximalizaci styku zadního kola s terénem. Hodnoty AR ukazují celkově malé zasahování brzděného momentu do funkce zadního odpružení a při zařazeném převodu 34/12, který je typický pro sjezd, dochází u rámu k minimálnímu natáčení klik v průběhu pružení. Celkově byl sjezdový rám navrhnout na velmi členitý terén s velkými skoky, kde by se kolo mělo chovat stabilně díky velké progresivitě odpružení, delší zadní stavbě, malému hlavovému úhlu a dobrým vlastnostem odpružení při brzdění. Naopak horších vlastností by mohlo zaznamenat díky delší zadní stavbě v krátkých zatáčkách a jízdě ve středně těžkém terénu, kde odpružení začíná dosahovat vyšší tuhosti oproti konkurenci.

V dalším pokračování této práce by byla nezbytná tvorba zatěžovacích charakteristik rámového celku, které by poté byly použity pro pevnostní výpočty a následný návrh profilů sjezdového rámu. Tato činnost nebyla součástí bakalářské práce. Následné laboratorní pevnostní zkoušky by poukázaly na eventuální chyby ve výpočtech a simulacích. Na závěr by přicházelo na řadu testování rámu v praxi, které by bylo tvořeno z jízdnicích pocitů testovacích jezdců a pevnostních analýz, jež se nejčastěji získávají tenzometry připevněnými přímo na sjezdové rámy.

Použitá literatura

- [1] T. Foale, Motorcycle Handling and Chassis Design: The Art and Science, Tony Foale Designs, 2006.
- [2] VLK, František. Teorie a konstrukce motocyklů. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1601-7.
- [3] HÁJÍČEK Štěpán: *Pod závojem odpružení*. [online]. [vid. 2016-07-11].
Dostupné z: <http://www.bikeandride.cz/2011/02/odpruzeni-skutecny-ctyrcep/>
- [4] HÁJÍČEK Štěpán: *Detailní rozbor systému DW-link* [online]. [vid. 2016-07-11].
Dostupné z: <http://www.bikeandride.cz/2015/02/dw-link-detailni-rozbor-systemu-odpruzeni/>
- [5] Technická data. [online]. [vid. 2016-9-11].
Dostupné z: <http://www.ridingfeelsgood.com/suspension-linkage-kinematics-basics-anti-squat-pedal-kickback/>
- [6] Technická data: *Teorie zadního odpružení*: [online]. [vid. 2016-10-15]
Dostupné z: <http://www.i-trackuspension.com/suspensiontheory2.html>
- [7] *Technická data* [online]. [vid. 2016-09-15].
Dostupné z: <http://trekmountain.typepad.com/king/2007/08/abp-explained.html>
- [8] *Technická data* [online]. [vid. 2016-09-21]. Dostupné z:
http://problemsolversbike.com/files/tech/Bottom_Bracket_Standards_Reference.pdf
- [9] *Technická data* [online]. [vid. 2016-08-21]. Dostupné z: <http://www.bikechecker.com/>
- [10] *andrextr, youtube.com* [online]. [vid. 2017-05-05]
Dostupné z: <https://www.youtube.com/user/andrextr/videos>
- [11] *Technická data* [online]. [vid. 2016-08-11].
Dostupné z: <http://singletrackworld.com/forum/topic/brake-jack-whats-the-accepted-meaning-cos-now-im-confused>
- [12] Alex Y., Grabcad.com: [online]. [vid. 2017-05-05].
Dostupné z: <https://grabcad.com/library/fox-dhx-5-241-mm>
- [13] M. Čadek „ *Návrh konstrukce speciálního rámu horského kola* “. Diplomová práce. TUL. 2013.
- [14] *Manual k vidlicím a tlumičům značky FOX* [online]. [vid. 2016-11-11].
Dostupné z: http://www.cyklosvec.cz/userfiles/ke_stazeni/manual-k-vidlicim-a-tlumicum-fox-2016-rev.pdf
- [15] *Katalog kol značky Specialized* [online]. [vid. 2016-07-01].
Dostupné z: <https://www.specialized.com/cz/cs/men/bikes/mountain>

- [16] *Technická data: Linkage bike library* [online]. [vid. 2016-10-11].
Dostupné z: <http://www.bikechecker.com/bikelib.php>
- [17] *Technická data, ISCG 05 standart* [online]. [vid. 2016-12-12].
Dostupné z: <http://www.pinkbike.com/forum/listcomments/?threadid=89390>
- [18] *Technická data, IS brake standart*: [online]. [vid. 2016-12-15].
Dostupné z: <http://blog.artscyclery.com/keeping-the-rubber-side-down/rubber-side-down-disc-brake-adapters/>
- [19] *Technická data, Fox shock and fork support*: [online]. [vid. 2016-12-05].
Dostupné z: <http://www.ridefox.com/help.php?m=bike&listall=manual>
- [20] Michal Červený, *Specialized Epic Járy Kulhavého pro Rio*, [online]. [vid. 2016-09-15]
Dostupné z: <http://mtbs.cz/clanek/specialized-epic-jary-kulhaveho-pro-rio#.WRb3JOXyiUK>
- [21] *Canyon Strive CF 8.0 Race, dirtmountainbike.com* : [online]. [vid. 2016-09-15]
Dostupné z: <https://dirtmountainbike.com/bike-reviews/trail-enduro-bikes/canyon-strive-cf-7-0-race.html>
- [22] *Fórum, ridemonkey.bikemag.com* : [online]. [vid. 2016-09-15].
Dostupné z: <https://www.bikerumor.com/2016/02/23/2016-specialized-demo-8-ii-alloy-unveiled-drops-in-with-direct-to-consumer-sales/>
<http://ridemonkey.bikemag.com/threads/2006-top-stock-bike-picks-join-in.137228/>
- [23] *Orange 324, sunsetmtb.co.uk* : [online]. [vid. 2016-09-18].
Dostupné z: http://www.sunsetmtb.co.uk/shop/index.php?product_id=4982
- [24] *Kona bikes, konaworld.com* : [online]. [vid. 2016-09-20].
Dostupné z: http://www.konaworld.com/supreme_operator.cfm.
- [25] *eurobike-praha.cz, Trek Session* : [online]. [vid. 2016-10-15].
Dostupné z: <http://www.eurobike-praha.cz/trek-session-99-ram-2012>.
- [26] *evanscycles.com, Norco Aurum* : [online]. [vid. 2016-10-15].
Dostupné z: <https://www.evanscycles.com/norco-aurum-c7-1-2016-mountain-bike-frame-EV230276>
- [27] *vitalmtb.com, Ibis Mojo HDR* : [online]. [vid. 2016-10-15].
Dostupné z: <http://www.vitalmtb.com/product/guide/Frames,7/Ibis/Mojo-HDR,14846>.
- [28] *tbsm.com.au Fox DHX 2* : [online]. [vid. 2016-10-20].
Dostupné z: <http://tbsm.com.au/bike-parts/suspension/rear-shocks/2017-fox-dhx2-shock-21299>
- [29] *2013 Specialized Demo 8 carbon team replica, sicklines.com* , *The 2013 Orange 322 DH Bike, descent-world.co.uk Orange 322* : [online]. [vid. 2016-10-25].
Dostupné z: <http://www.descent-world.co.uk/2012/07/12/the-2013-orange-322-dh-bike/>
<http://www.sicklines.com/2012/08/17/2013-specialized-demo-8-carbon-team-replica-demo-8-i-carbon-demo-8-ii-aluminum-demo-8-i-aluminum/>.

1

2

3

4

A

B

C

D

E

F

A

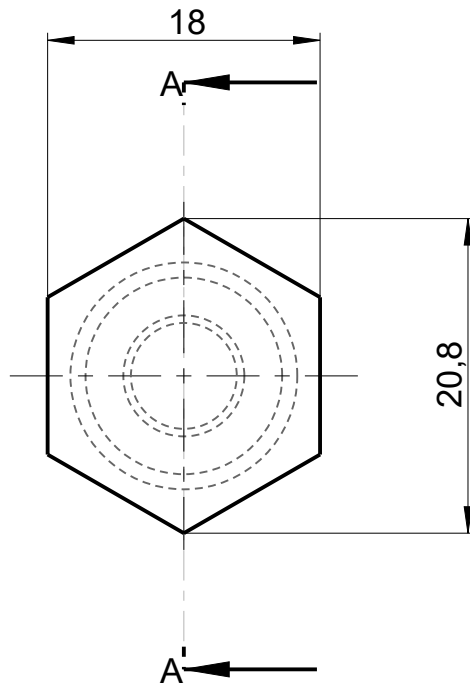
B

C

D

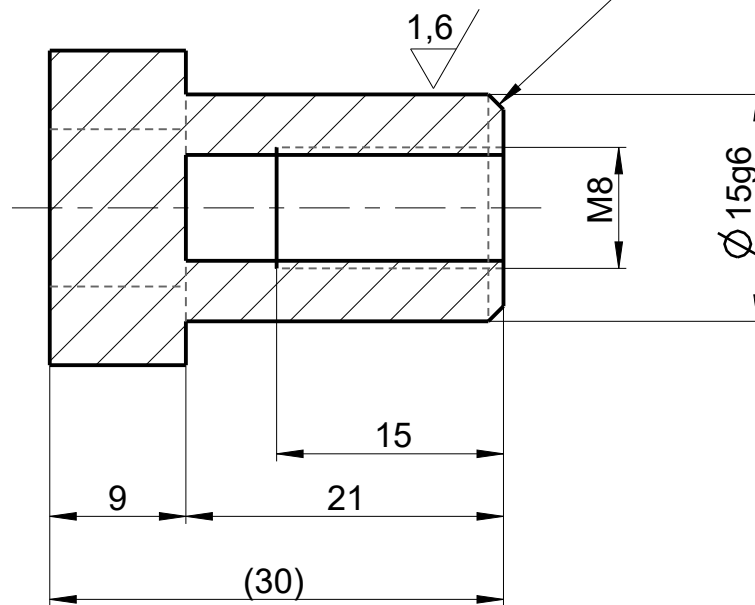
E

F



SRAZENI 1x45°

A-A



3,2

(1,6)

| | | | | | | | | | | |
|--------------|-------|------------|--|------------|------------|-------------|--|----------------------|--|--|
| Rozm.-Polot. | | - | | Ø 25 X 30 | | | | PRESNOST ISO 2768-mK | | |
| | | c) | | Mater. | ENAW7075T6 | Tr. odp. | - | TOLEROVANI ISO 8015 | | |
| | | b) | | C. hm. | kg | Hr. hm. | kg | PROMITANI | | |
| | | a) | | | | | | | | |
| Zmena | | Datum | | Index | Podpisy | | TU v Liberci CEP_HORN | | | |
| Meritko | Pozn. | Navrhl | | | | Nazev | | | | |
| 2:1 | | Kreslil | | Kafka | | | | | | |
| C.seznamu | | Prezkousel | | | | Typ | | | | |
| C.sestavy | - | Technolog | | | | Cis.vykresu | | | | |
| Stary vykr. | | Normaliz. | | | | | | | | |
| Novy vykr. | | Schvalil | | | | | | | | |
| | | Datum | | 23-06-2017 | | | | List | | |

1

2

3

4

1 2 3 4

A

A

B

B

C

C

D

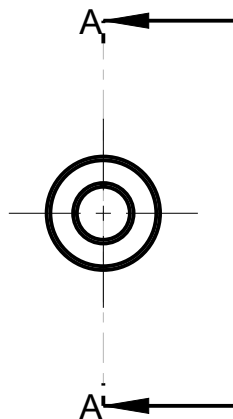
D

E

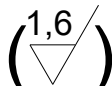
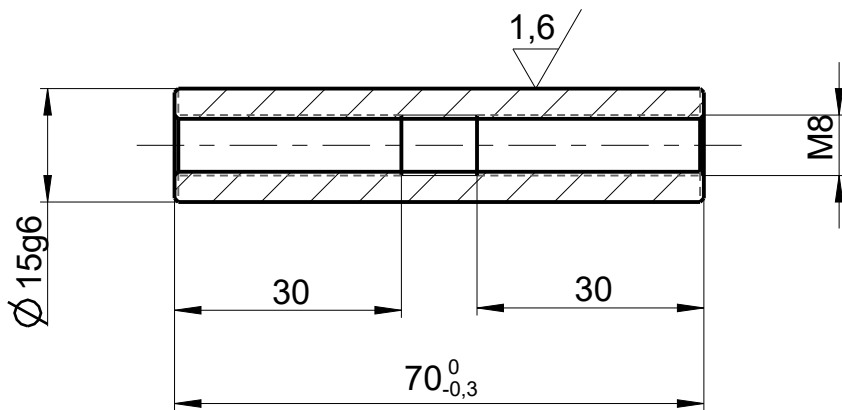
E

F

F



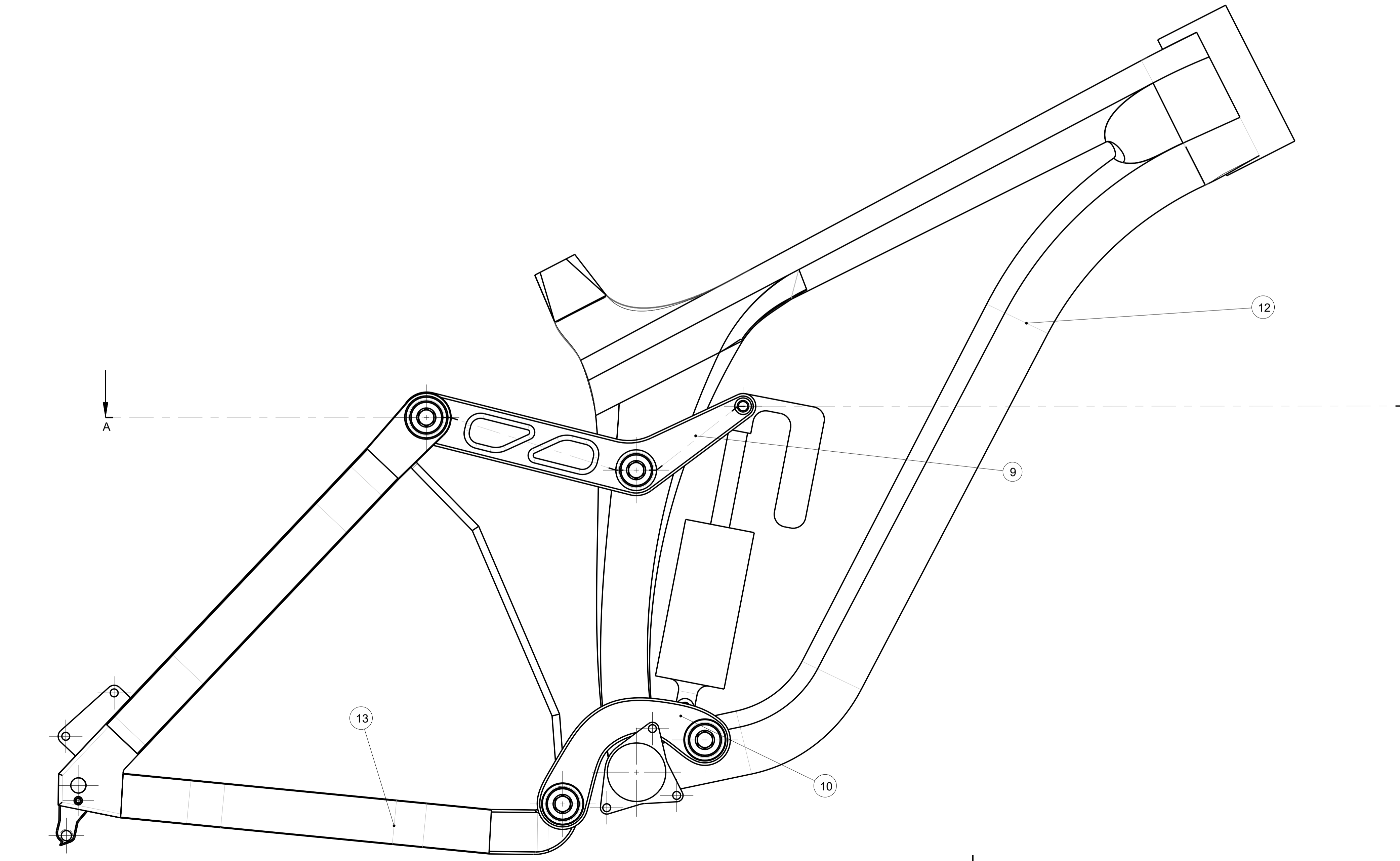
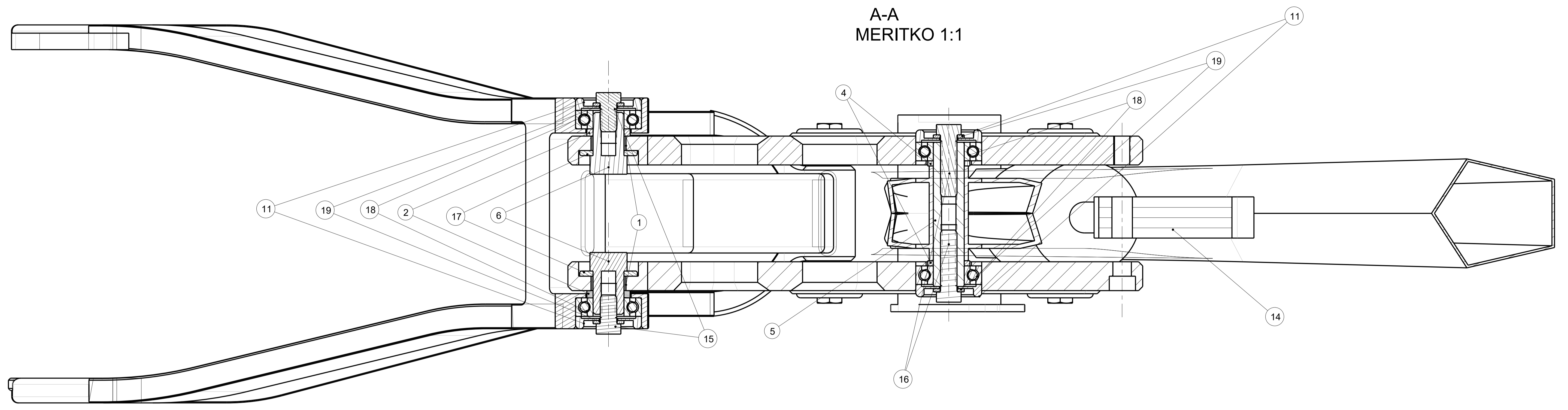
A-A



| | | | | | | | | | | | |
|--------------|--|-------|--|-----------|--|------------|--|---|----------------------|-----------|--|
| Rozm.-Polot. | | - | | | | Ø 20 X 75 | | | PRESNOST ISO 2768-mK | | |
| | | c) | | Mater. | | ENAW7075T6 | | Tr. odp. | | - | |
| | | b) | | C. hm. | | kg | | Hr. hm. | | kg | |
| | | a) | | | | | | | | PROMITANI | |
| Zmena | | Datum | | Index | | Podpisy | | TU v Liberci CEP_15X70 | | | |
| Meritko | | Pozn. | | Navrhl | | Kreslil | | | | | |
| 1:1 | | | | Kafka | | | | Typ | | | |
| C.seznamu | | | | Technolog | | | | Cis.vykresu | | | |
| C.sestavy | | - | | Normaliz. | | | | | | | |
| Stary vykr. | | | | Schvalil | | | | | | | |
| Novy vykr. | | | | Datum | | 23-06-2017 | | | | | |
| | | | | | | | | | | List | |

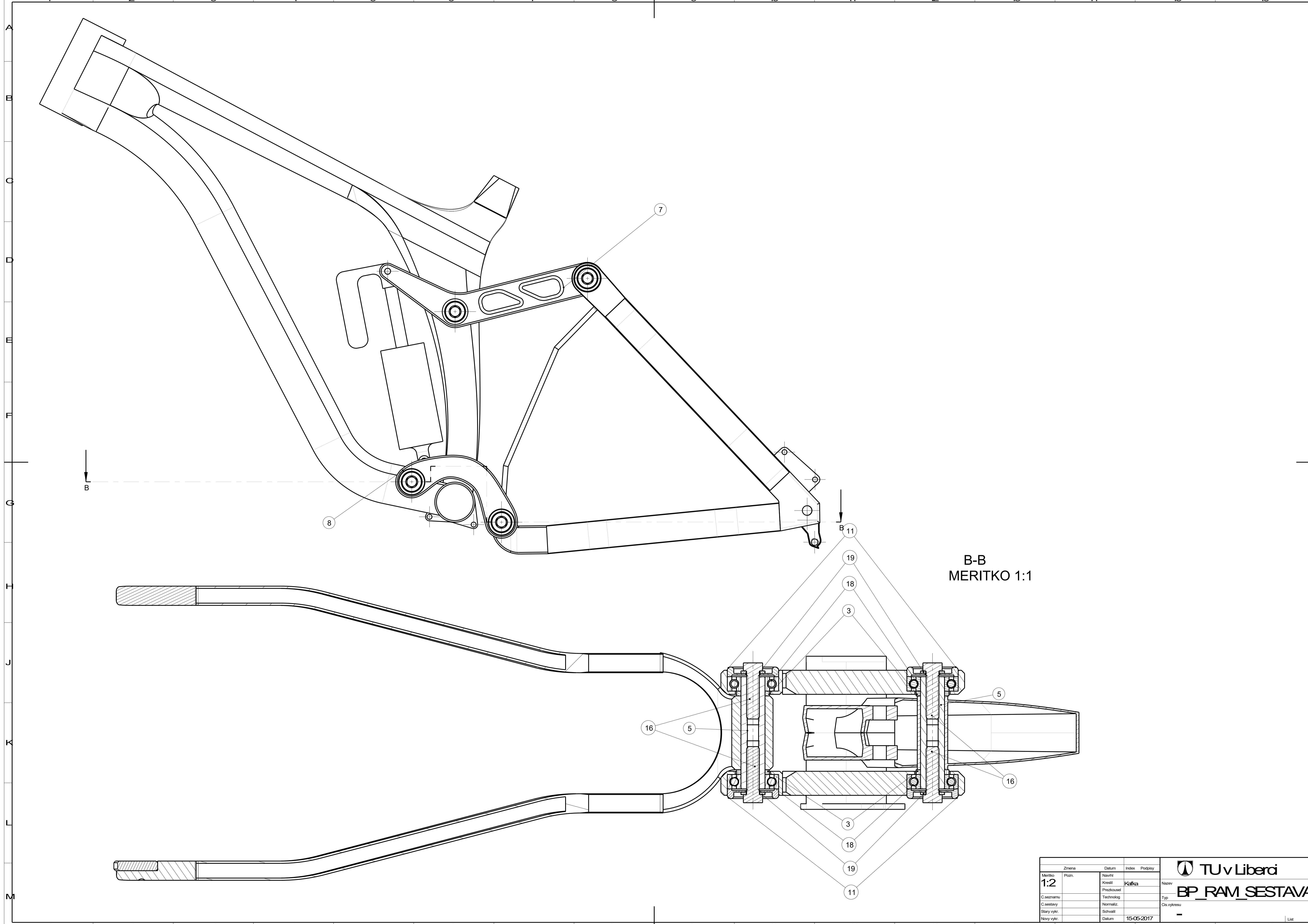
1 2 3 4

A-A
MERITKO 1:1



| ČÍSLO | OZNACENÍ VÝKRES | POLOŽKA MATERIAL | ČÍS. ZÁSOBNÍKU POZNÁMKA | MN. JED. |
|-------|-----------------------|---------------------|----------------------------|-------------|
| 1 | POLOŽKA_1 | BRONZE | - | 2 ks. |
| 2 | POLOŽKA_2 | EN AW 7075 T6 | - | 2 ks. |
| 3 | POLOŽKA_3 | EN AW 7075 T6 | - | 2 ks. |
| 4 | POLOŽKA_4 | EN AW 7075 T6 | - | 4 ks. |
| 5 | ČEP_15X70 | EN AW 7075 T6 | - | 3 ks. |
| 6 | ČEP_HORN | EN AW 7075 T6 | - | 2 ks. |
| 7 | VAHÁČLO_LH | EN AW 7075 T6 | - | 1 ks. |
| 8 | VAHÁČLO_LS | EN AW 7075 T6 | - | 1 ks. |
| 9 | VAHÁČLO_FH | EN AW 7075 T6 | - | 1 ks. |
| 10 | VAHÁČLO_FS | EN AW 7075 T6 | - | 1 ks. |
| 11 | ZÁTKA_ČEP | EN AW 7075 T6 | - | 8 ks. |
| 12 | RAM_PŘEDNÍ_TROJHĚLNÍK | karbon | - | 1 ks. |
| 13 | TEHUČE | - | - | 1 ks. |
| 14 | TL_FCHYB | - | - | 1 ks. |
| 15 | SROUB M8x14 | CSN 02 1207 | - | 2 ks. |
| 16 | SROUB M8x30 | CSN 02 1207 | - | 6 ks. |
| 17 | POLOŽKA_A_15 | CSN 02 1702-A | - | 2 ks. |
| 18 | LOŽISKO 6002 | CSN 02 4630-60 | - | 8 ks. |
| 19 | POLOŽKA_8 | CSN EN ISO 7082 | - | 8 ks. |

| | | | | |
|----------------|------------------------------|------------|--------|--|
| Změna | Datum | Index | Podpis | TU v Liberci BP_RAM_SESTAVA |
| Meritko 1:2 | Navrh Kreslil Kontrola | Kaňka | | |
| C. seznamu | Technologie | | | Typ |
| C. sestavy | Normaliz. | | | Čís. výkresu |
| Stary výkr. | Schválil | | | |
| Nový výkr. | Datum | 15-05-2017 | | |



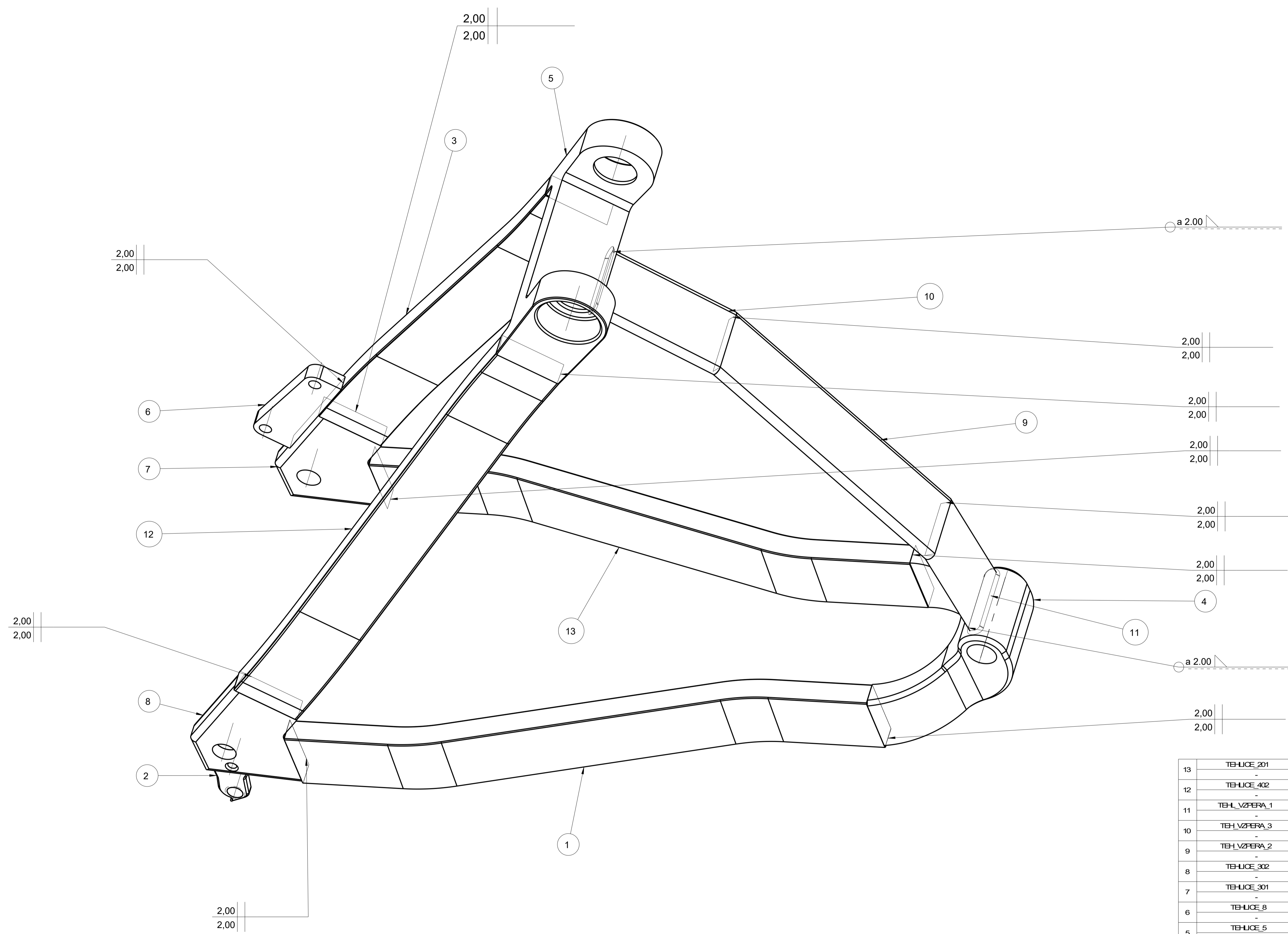
B-B
MERITKO 1:1

| Zmena | | Datum | Index | Podpis | Nazov |
|-----------------------|-------|--------------------------------|------------|--------|--------------|
| Meritko 1:2 | Pozn. | Navrh Kreslil Prezkoušel | Kašica | | |
| C. seznamu | | Technolog | | | |
| C. sestavy | | Normaliz. | | | Typ |
| Stary vykr. | | Schválil | | | Čís. výkresu |
| Nový vykr. | | Datum | 15.05.2017 | | - |



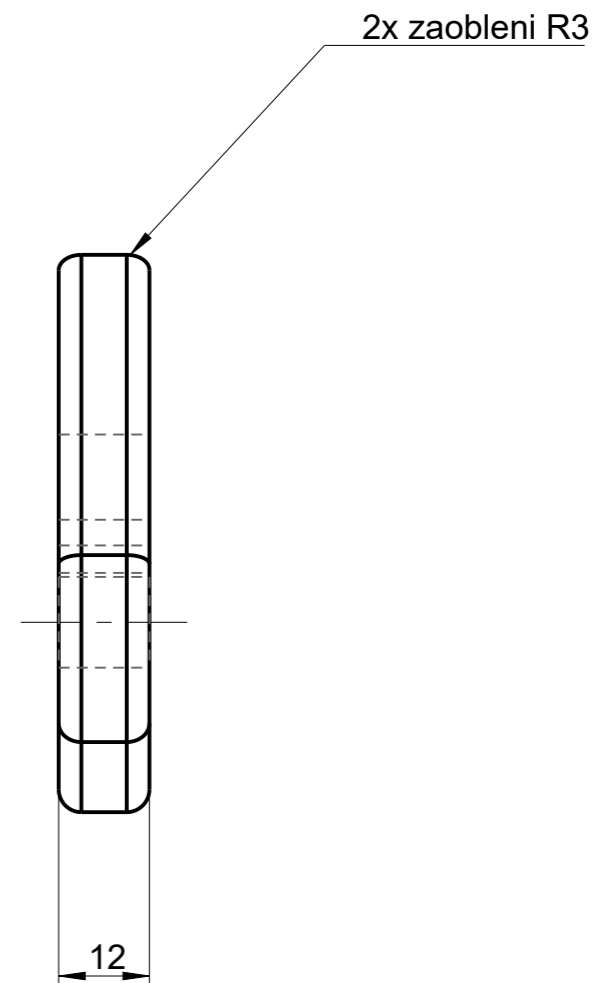
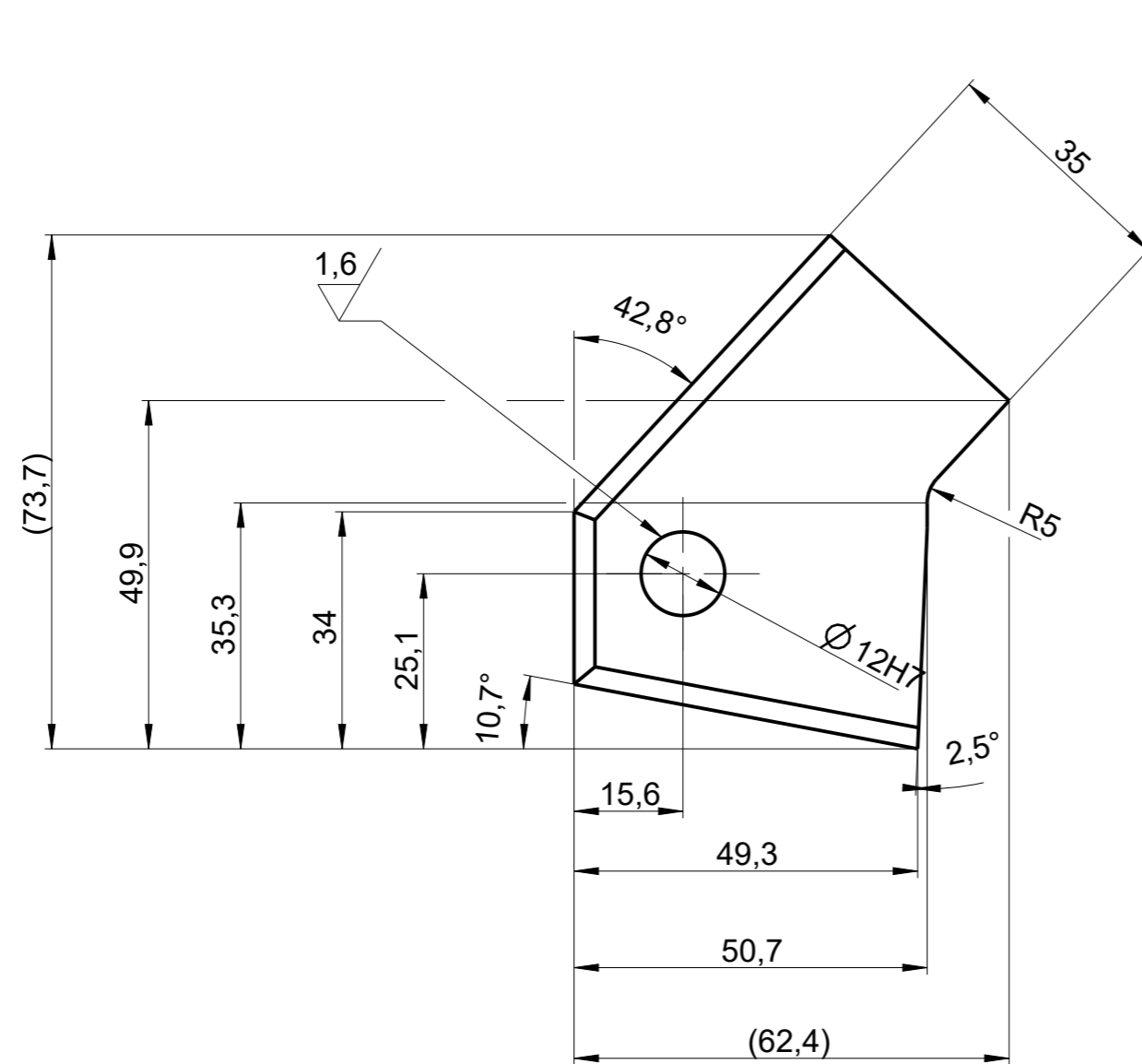
Nazov
BP_RAM_SESTAVA

List



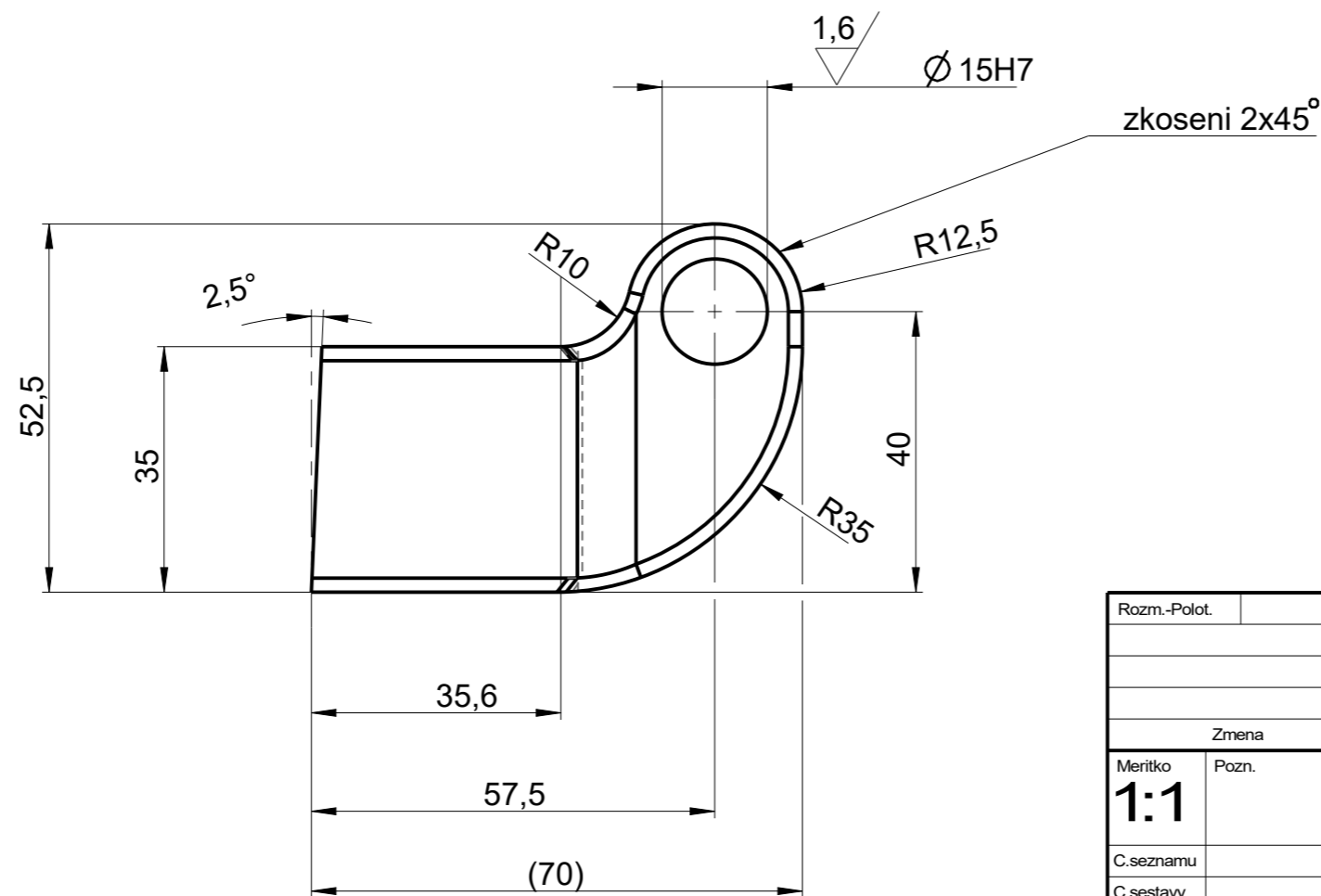
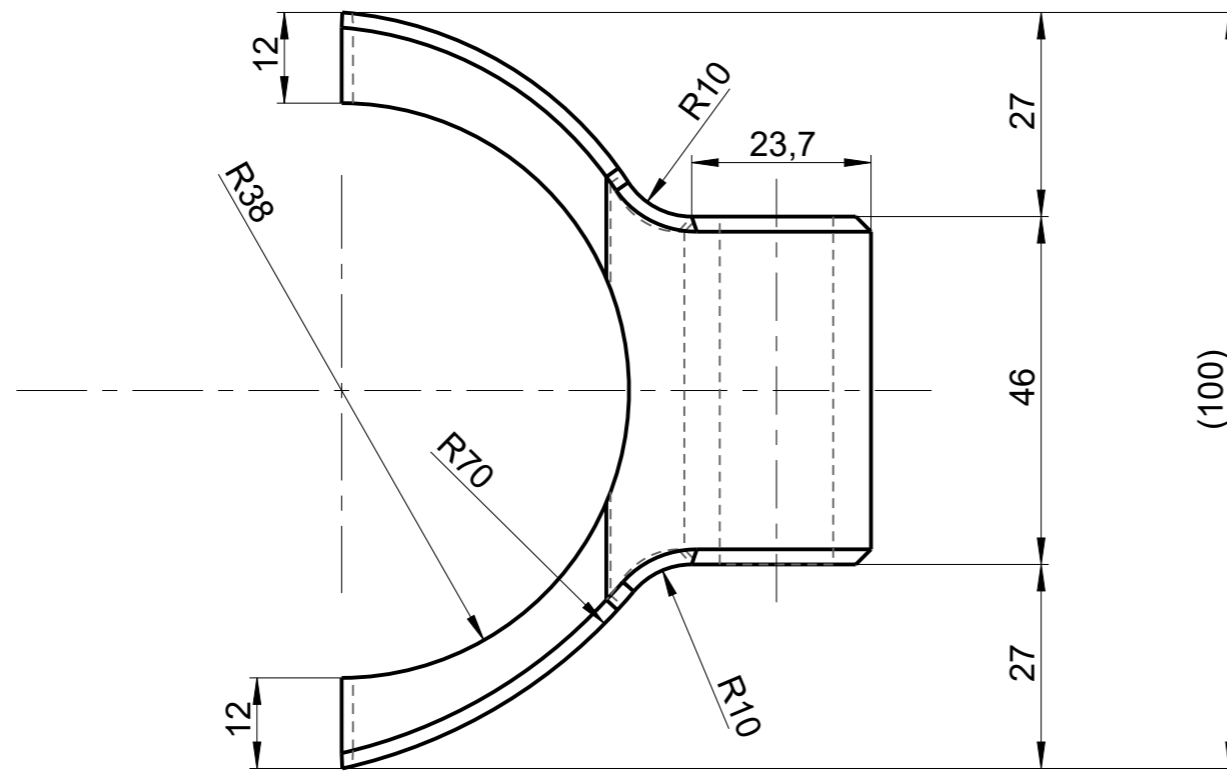
| | | | | |
|-----|---------------|-----------------|---------------|------|
| 13 | TEHLICE_201 | profil n. 11297 | - | 1 |
| | - | ENAW7075T6 | - | ks. |
| | TEHLICE_402 | profil n. 11297 | - | 1 |
| | - | ENAW7075T6 | - | ks. |
| 12 | TEHL_VZPERA_1 | profil n. 810 | - | 1 |
| | - | ENAW7075T6 | - | ks. |
| 11 | TEHL_VZPERA_3 | profil n. 810 | - | 1 |
| | - | ENAW7075T6 | - | ks. |
| 10 | TEHL_VZPERA_2 | profil n. 810 | - | 1 |
| | - | ENAW7075T6 | - | ks. |
| 9 | TEHLICE_302 | 75x65x13 | - | 1 |
| | - | ENAW7075T6 | - | ks. |
| 8 | TEHLICE_301 | 74x63x17 | - | 1 |
| | - | ENAW7075T6 | - | ks. |
| 7 | TEHLICE_8 | 64x23x8 | - | 1 |
| | - | ENAW7075T6 | - | ks. |
| 6 | TEHLICE_5 | 114x72x40 | - | 1 |
| | - | ENAW7075T6 | - | ks. |
| 5 | TEHLICE_1 | 102x72x54 | - | 1 |
| | - | ENAW7075T6 | - | ks. |
| 4 | TEHLICE_401 | profil n. 11297 | - | 1 |
| | - | ENAW7075T6 | - | ks. |
| 3 | PATKA_PREHAZ | 59x28x7 | - | 1 |
| | - | ENAW6060 | - | ks. |
| 2 | TEHLICE_202 | profil n. 11297 | - | 1 |
| | - | ENAW7075T6 | - | ks. |
| 1 | OBNACEN | PCLOTQVAR | OS. ZASOBNIKU | MN. |
| 00K | VYKRES | MATERIAL | POZNAMKA | JED. |

| Zmena | Datum | Index | Podpis | TU v Liberci | |
|-----------------------|------------|-----------|------------|--------------|--|
| Meritko 1:1 | | | | TEHLICE | |
| C. seznamu | Navrh | Kreslil | Katka | Nazov | |
| C. sestavy | Prezkoušel | Technolog | | Typ | |
| Stary vykr. | Normaliz. | Schválil | | Cis. vykresu | |
| Novy vykr. | Datum | | 22.06.2017 | | |



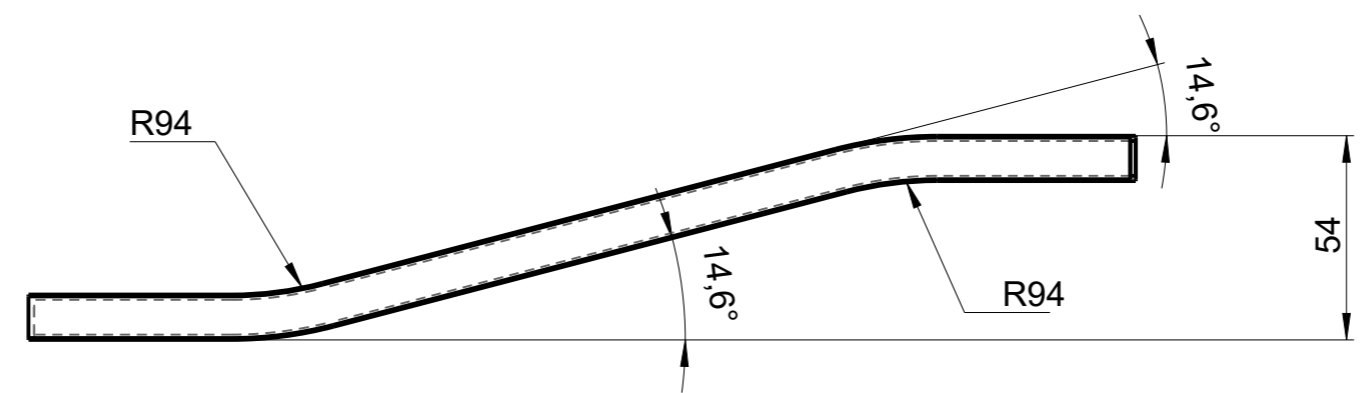
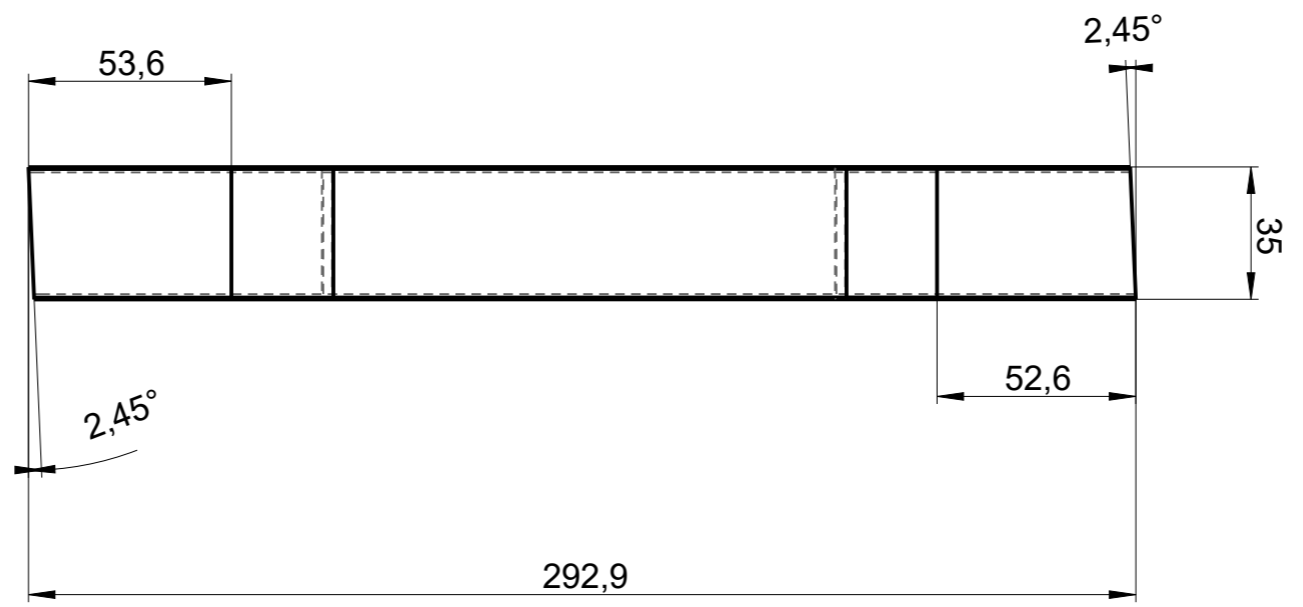
3,2 (1,6)

| | | | | | | | |
|--------------|-------|-------------|------------|--------------|----------|----------------------|---------------------|
| Rozm.-Polot. | | 65x75x13 | | | | PRESNOST ISO 2768-mK | |
| | | c) | Mater. | ENAW7075T6 | Tr. odp. | - | TOLEROVANI ISO 8015 |
| | | b) | C. hm. | kg | Hr. hm. | kg | PROMITANI |
| | | a) | | | | | |
| Zmena | | Datum | Index | Podpisy | | | |
| Meritko | Pozn. | Navrhl | | | | | |
| 1:1 | | Kreslil | Kafka | | | | |
| C.seznamu | | Prezkousel | | | | | |
| C.sestavy | - | Technolog | | | | | |
| Stary vykr. | | Normaliz. | | | | | |
| Novy vykr. | | Schvalil | | | | | |
| | | Datum | 17-06-2017 | | | | |
| | | Název | | TU v Liberci | | | |
| | | Typ | | TEHLICE_301 | | | |
| | | Cis.vykresu | | - | | | |
| | | List | | | | | |



| | | | | | |
|--------------|--|-------------------|--|----------------------|--|
| Rozm.-Polot. | | 102x72x54 | | PRESNOST ISO 2768-mK | |
| | | Mater. ENAW7075T6 | | Tolerovani ISO 8015 | |
| | | C. hm. kg | | Hr. hm. kg | |
| Zmena | | Datum | | Index | |
| Podpisy | | Navrh | | Kreslil | |
| Meritko | | 1:1 | | Prezkousel | |
| C.seznamu | | Technolog | | Navev | |
| C.sestavy | | Normaliz. | | Typ | |
| Stary vykr. | | Schvalil | | Cis.vykresu | |
| Novy vykr. | | Datum | | 13-06-2017 | |
| | | | | List | |

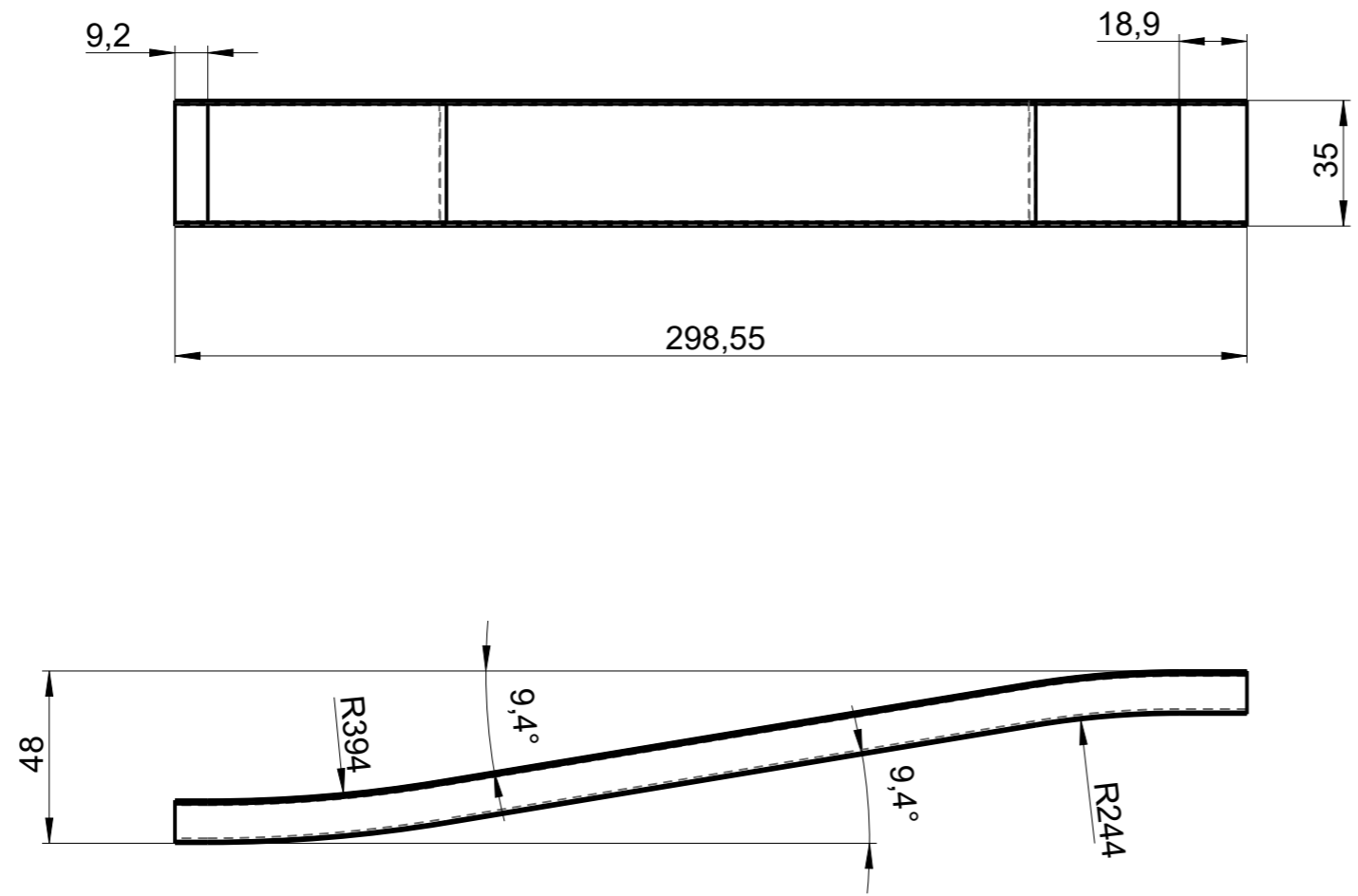
TU v Liberci
TEHLICE_1



Rozvinuta delka je 298,2
srazit ostre hrany 0,5x45°

3,2

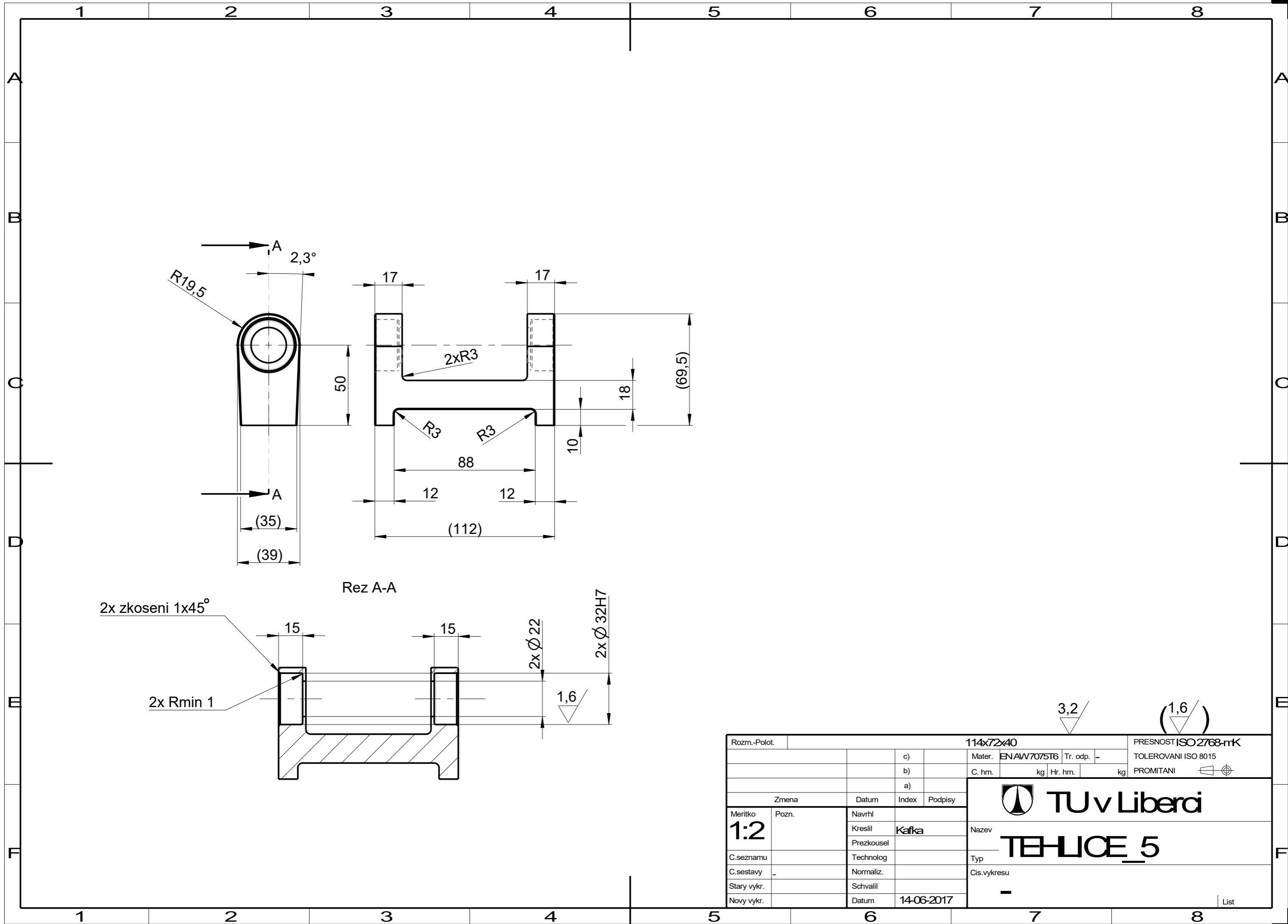
| | | | | | | | |
|--------------|-------|---------------------|--|-----------------|--|---|--|
| Rozm.-Polot. | | 35x12x1,4 delka 305 | | profil n. 11297 | | PRESNOST ISO 2768-mK | |
| | | c) | | Mater. | | ENAW7075T6 Tr. odp. - | |
| | | b) | | C. hm. | | kg Hr. hm. kg TOLEROVANI ISO 8015 | |
| | | a) | | | | PROMITANI | |
| Zmena | | Datum | | Index | | Podpisy | |
| Meritko | Pozn. | Navrhl | | Navev | | TU v Liberci TEHLICE_202 | |
| 1:2 | | Kreslil | | Kafka | | | |
| C.seznamu | | Prezkousel | | | | | |
| C.sestavy | - | Technolog | | | | | |
| Stary vykr. | | Normaliz. | | | | | |
| Novy vykr. | | Schvalil | | Datum | | 14-06-2017 | |
| | | | | | | Cis.vykresu | |
| | | | | | | List | |



Rozvinuta delka je 301,3
Srazit hrany 0,5x45°

3,2

| | | | | | | | |
|--------------|--|---------------------|--|-----------------|--|---|--|
| Rozm.-Polot. | | 35x12x1,4 delka 305 | | profil n. 11297 | | PRESNOST ISO 2768-mK | |
| | | c) | | Mater. | | ENAW7075T6 Tr. odp. - | |
| | | b) | | C. hm. | | kg Hr. hm. kg TOLEROVANI ISO 8015 | |
| | | a) | | | | PROMITANI | |
| Zmena | | Datum | | Index | | Podpisy | |
| Meritko | | Pozn. | | Navrhl | | Navev | |
| 1:2 | | | | Kreslil | | Kafka | |
| C.seznamu | | | | Prezkousel | | | |
| C.sestavy | | - | | Technolog | | Typ | |
| Stary vykr. | | | | Normaliz. | | Cis.vykresu | |
| Novy vykr. | | | | Schvalil | | - | |
| | | | | Datum | | 14-06-2017 | |
| | | | | | | TU v Liberci TEHLICE_402 | |
| | | | | | | List | |



| | | | | | |
|--------------|--|-------------------|--|----------------------|--|
| Rozm.-Polot. | | 114x72x40 | | PRESNOST ISO 2768-mK | |
| | | Mater. ENAW7075T6 | | Tolerovani ISO 8015 | |
| | | C. hm. | | PROMITANI | |
| Zmena | | Datum | | Index | |
| Podpisy | | Navrh | | Podpisy | |
| Meritko 1:2 | | Kreslil Kafka | | Navev | |
| C.seznamu | | Technolog | | Typ | |
| C.sestavy | | Normaliz. | | Cis.vykresu | |
| Stary vykr. | | Schvalil | | - | |
| Novy vykr. | | Datum | | 14-06-2017 | |
| | | | | List | |

TU v Liberci
TEHLICE_5

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

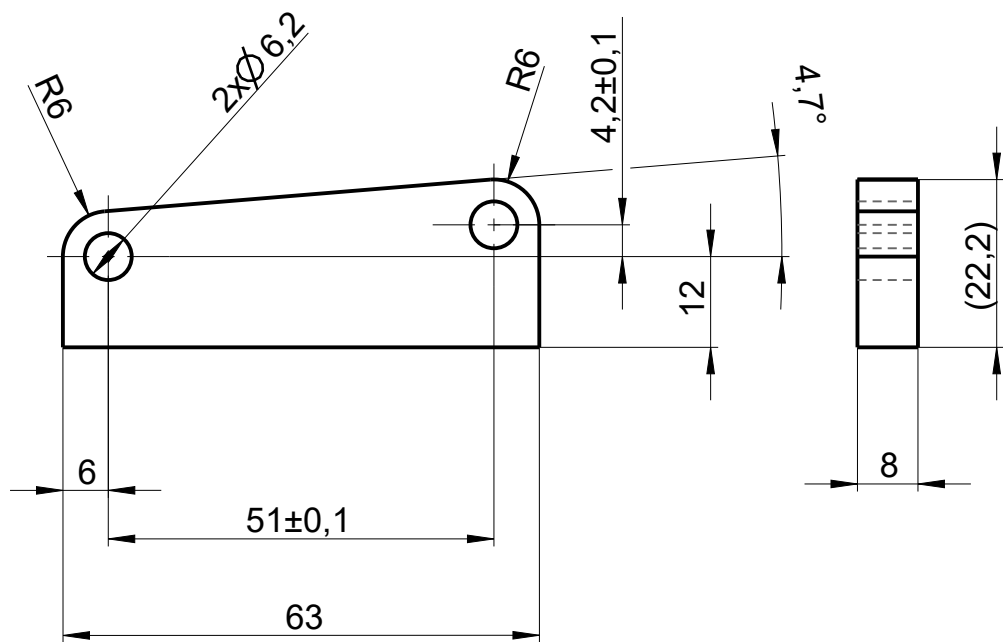
D

E

E

F

F



3,2

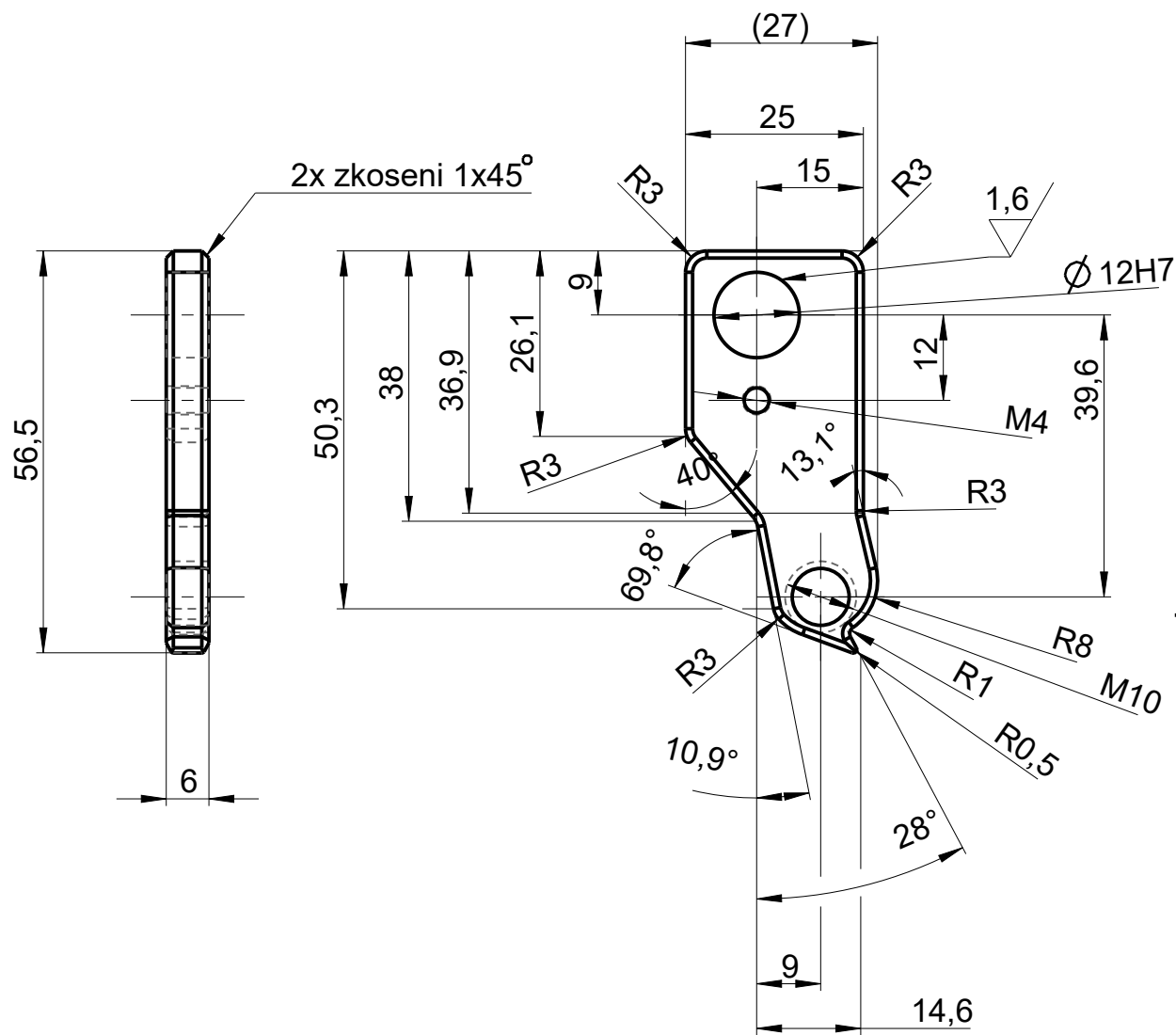
| | | | | | | | |
|--------------|-------|------------|------------|---------------------|--|----------------------|----|
| Rozm.-Polot. | | 64x23x9 | | | | PRESNOST ISO 2768-mK | |
| | | c) | | Mater. | ENAW7075T6 | Tr. odp. | - |
| | | b) | | C. hm. | kg | Hr. hm. | kg |
| | | a) | | TOLEROVANI ISO 8015 | | | |
| Zmena | | Datum | Index | Podpisy | PROMITANI | | |
| Meritko | Pozn. | Navrhl | | | TU v Liberci TEHUCE_8 | | |
| 1:1 | | Kreslil | Kafka | | | | |
| C.seznamu | | Prezkousel | | | Typ | | |
| C.sestavy | - | Technolog | | | Cis.vykresu | | |
| Stary vykr. | | Normaliz. | | | - | | |
| Novy vykr. | | Schvalil | | | | | |
| | | Datum | 15-06-2017 | | List | | |

1

2

3

4



3,2 / (1,6)

| | | | | | |
|--------------|-------|------------|--------------|----------------------|------------|
| Rozm.-Polot. | | 58x28x7 | | PRESNOST ISO 2768-mK | |
| | | c) | Mater. | ENAW6060 | Tr. odp. - |
| | | b) | C. hm. | kg | Hr. hm. |
| | | a) | kg | | |
| Zmena | | Datum | Index | Podpisy | |
| Meritko | Pozn. | Navrhl | Nazev | | |
| 1:1 | | Kreslil | TU v Liberci | | |
| C.seznamu | | Prezkousel | PATKA_PREHAZ | | |
| C.sestavy | | Technolog | Typ | | |
| Stary vykr. | | Normaliz. | Cis.vykresu | | |
| Novy vykr. | | Schvalil | - | | |
| | | Datum | 21-06-2017 | | |
| | | | | | List |

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

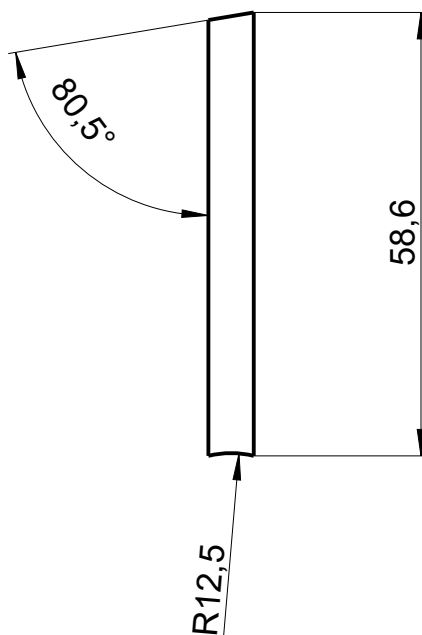
D

E

E

F

F



3,2

| | | | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|------------|--------------|---|------------|----------|----------------------|---------------------|--|----------------------|
| Rozm.-Polot. | 38,5x6 delka 65 | | | profil n. 810 | | | PRESNOST ISO 2768-mK | | | |
| | | c) | | Mater. | ENAW7075T6 | Tr. odp. | - | TOLEROVANI ISO 8015 | | |
| | | b) | | C. hm. | kg | Hr. hm. | kg | PROMITANI | | |
| | | a) | | TU v Liberci TEHL_VZPERA_1 | | | | | | |
| Zmena | | Datum | Index | | | | | | | Podpisy |
| Meritko | Pozn. | Navrhl | | | | | | | | Nazev |
| 1:1 | | Kreslil | Kafka | | | | | | | TEHL_VZPERA_1 |
| C.seznamu | | Prezkousel | | | | | | | | Typ |
| C.sestavy | - | Technolog | | Cis.vykresu | | | | | | |
| Stary vykr. | | Normaliz. | | | | | | | | |
| Novy vykr. | | Schvalil | | | | | | | | |
| | | Datum | 21-06-2017 | | | | | | | |
| | | | | List | | | | | | |

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

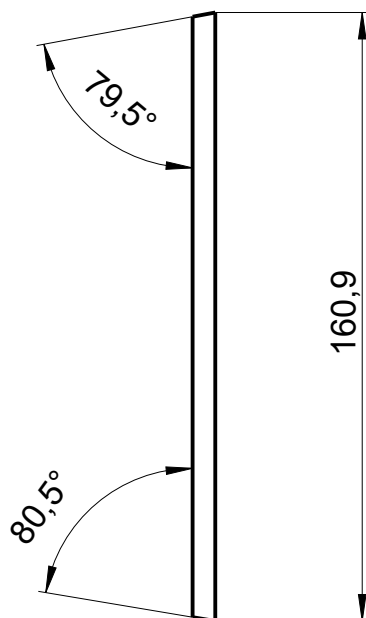
D

E

E

F

F



3,2

| | | | | | | | | | | |
|--------------|------------------|------------|------------|--|------------|----------|----------------------|---------------------|--|-------------|
| Rozm.-Polot. | 38,5x6 delka 165 | | | profil n. 810 | | | PRESNOST ISO 2768-mK | | | |
| | | c) | | Mater. | ENAW7075T6 | Tr. odp. | - | TOLEROVANI ISO 8015 | | |
| | | b) | | C. hm. | kg | Hr. hm. | kg | PROMITANI | | |
| | | a) | | TU v Liberci TEH_VZPERA_2 | | | | | | |
| Zmena | | Datum | Index | | | | | | | Podpisy |
| Meritko | Pozn. | Navrhl | | | | | | | | Nazev |
| 1:2 | | Kreslil | Kafka | | | | | | | Typ |
| C.seznamu | | Prezkousel | | | | | | | | Cis.vykresu |
| C.sestavy | - | Technolog | | | | | | | | |
| Stary vykr. | | Normaliz. | | | | | | | | |
| Novy vykr. | | Schvalil | | | | | | | | |
| | | Datum | 21-06-2017 | | | | | | | |
| | | | | | | | | List | | |

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

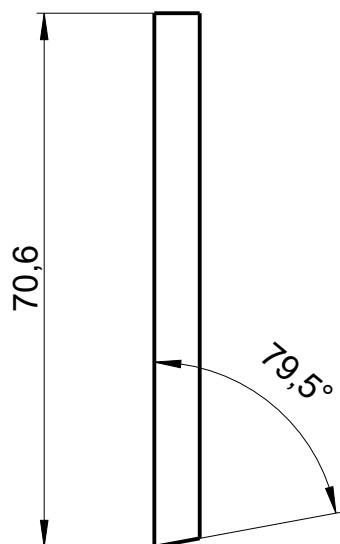
D

E

E

F

F



3,2

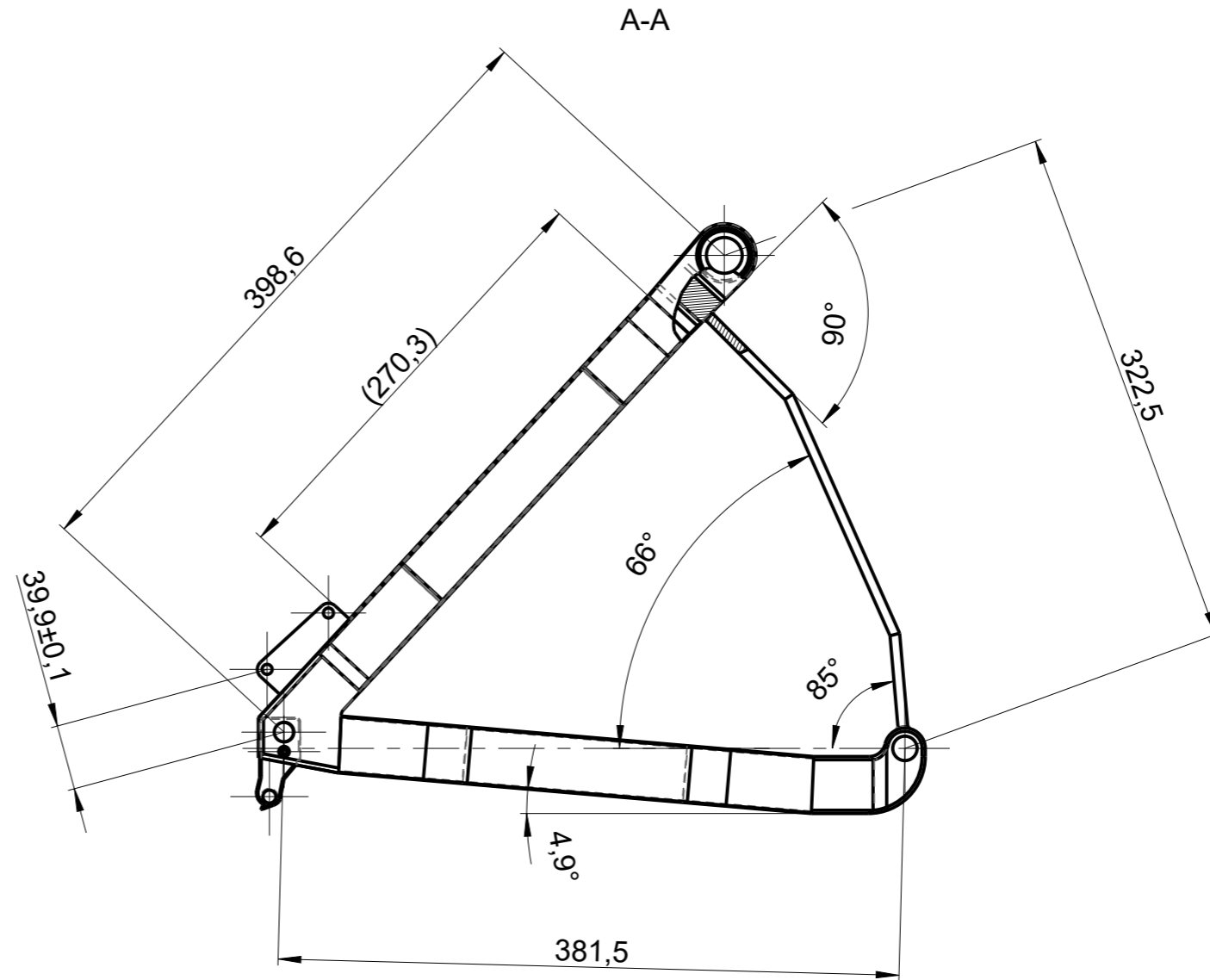
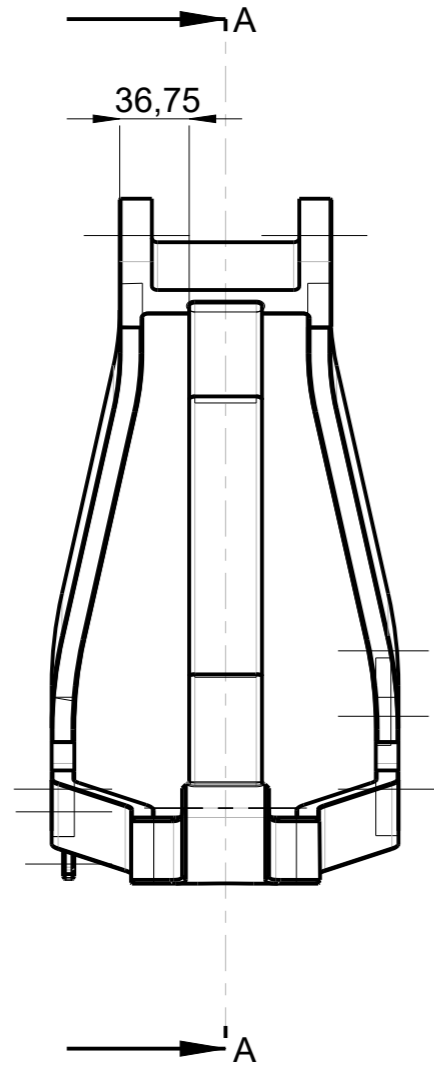
| | | | | | | | | | |
|--------------|-------|-----------------|--------------|--|------------|----------|----------------------|---------------------|-------------|
| Rozm.-Polot. | | 38,5x6 delka 75 | | profil n. 810 | | | PRESNOST ISO 2768-mK | | |
| | | c) | | Mater. | ENAW7075T6 | Tr. odp. | - | TOLEROVANI ISO 8015 | |
| | | b) | | C. hm. | kg | Hr. hm. | kg | PROMITANI | |
| | | a) | | TU v Liberci TEH_VZPERA_3 | | | | | |
| Zmena | | Datum | Index | | | | | | Podpisy |
| Meritko | Pozn. | Navrhl | | | | | | | Nazev |
| 1:1 | | Kreslil | Kafka | | | | | | Typ |
| C.seznamu | | Prezkousel | | | | | | | Cis.vykresu |
| C.sestavy | - | Technolog | | | | | | | |
| Stary vykr. | | Normaliz. | | | | | | | |
| Novy vykr. | | Schvalil | | | | | | | |
| | | Datum | 21-06-2017 | | | | | | |
| | | | | | | | | List | |


1

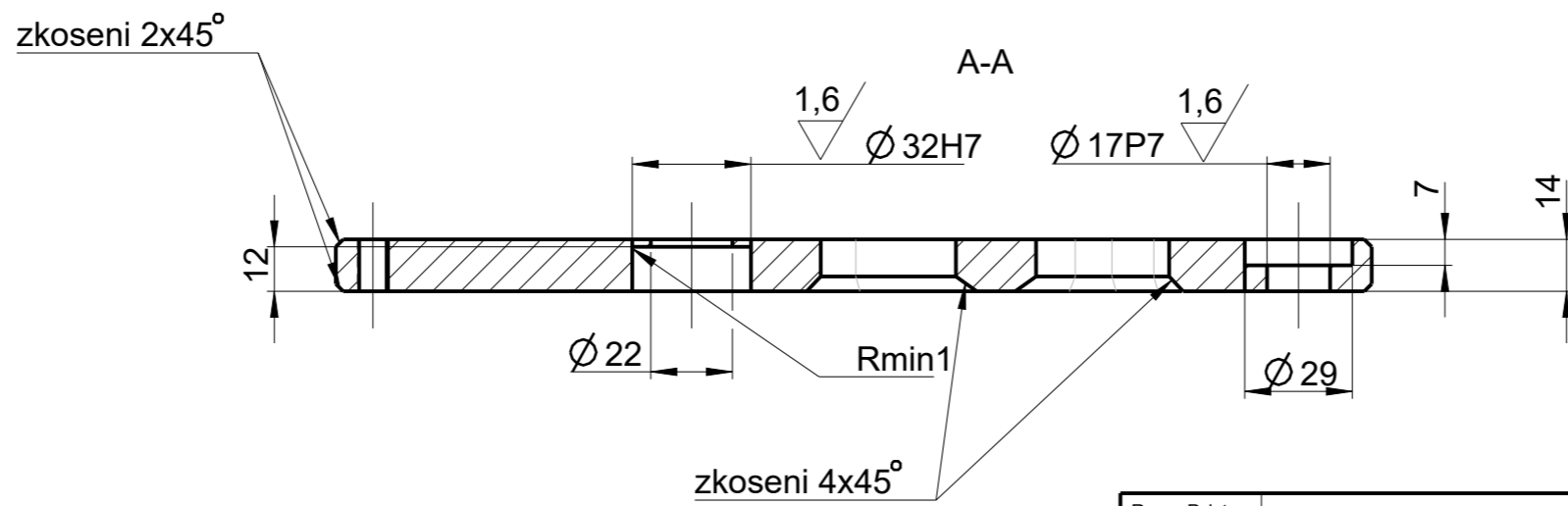
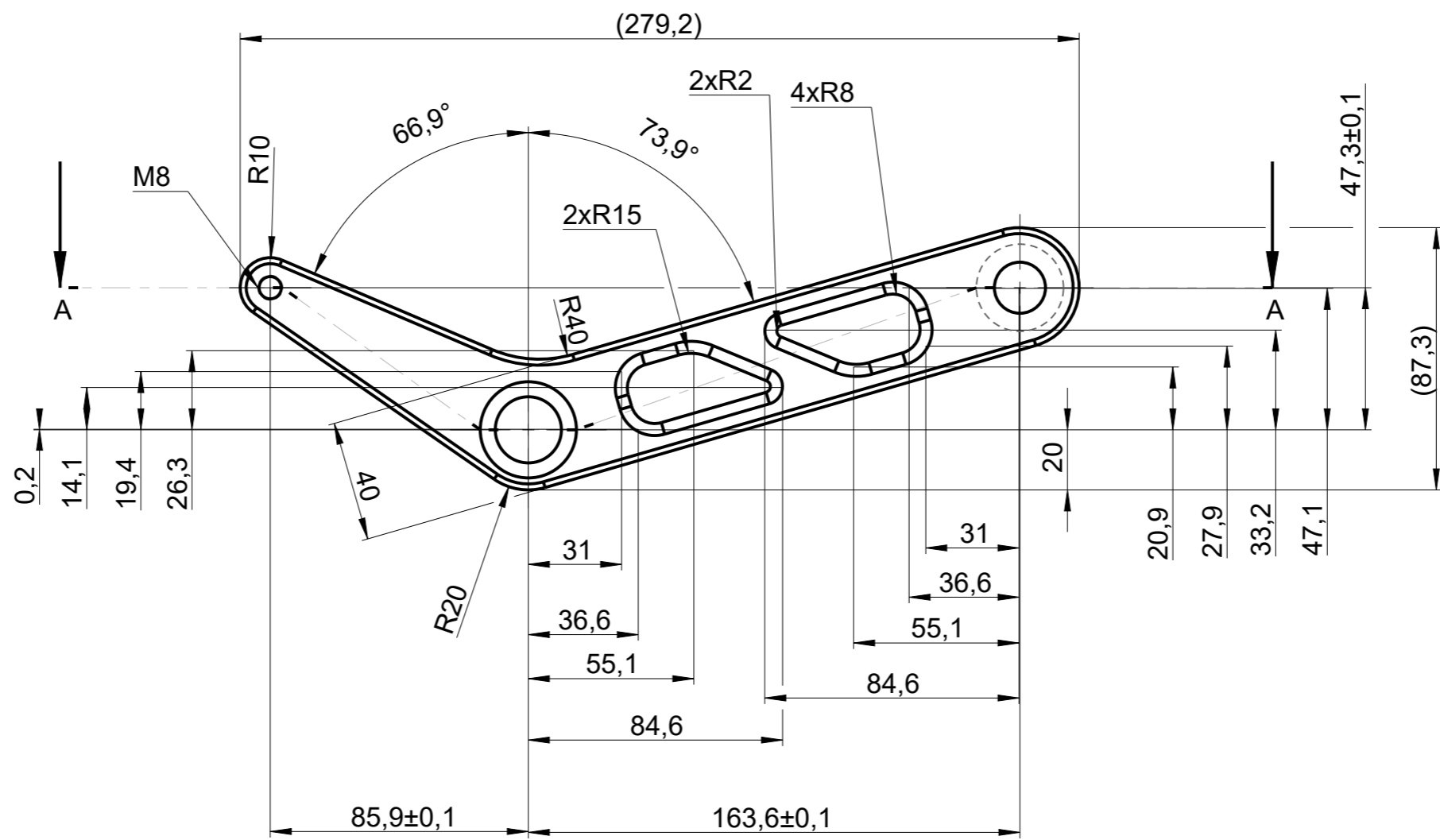
2

3

4

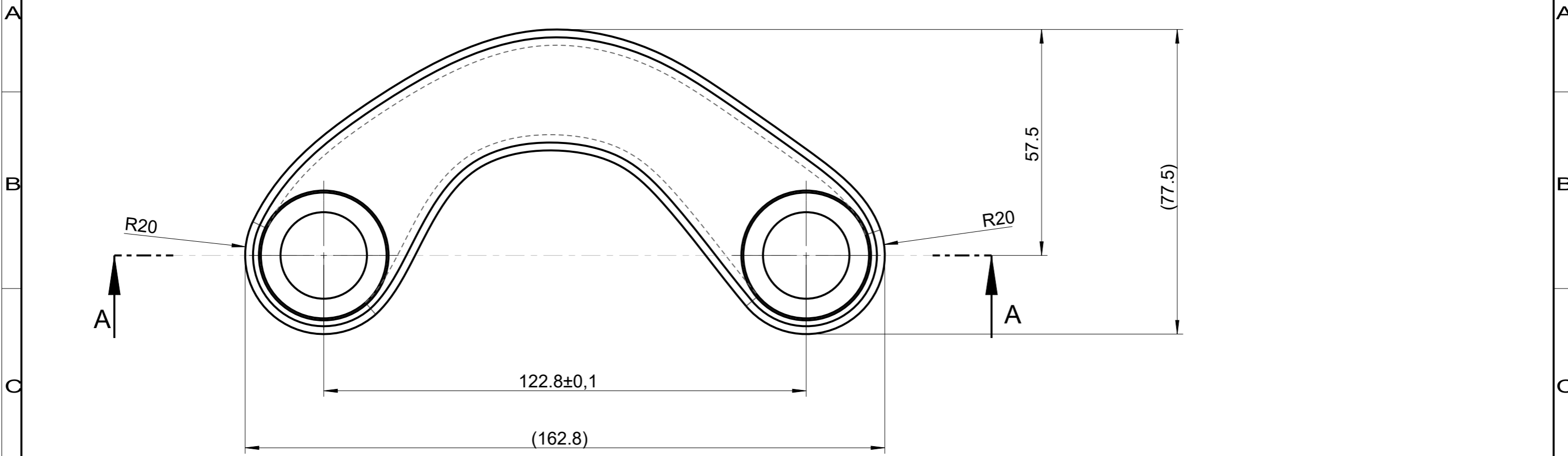


| | | | | | |
|--------------|-------|------------|------------|--|--|
| Rozm.-Polot. | | | | PRESNOST | |
| | | | | TOLEROVANI ISO 8015 | |
| | | c) | | Mater. | |
| | | b) | | Tr. odp. | |
| | | a) | | C. hm. kg Hr. hm. kg | |
| Zmena | | Datum | Index | Podpisy | |
| Meritko | Pozn. | Navrhl | | | |
| 1:4 | | Kreslil | Kafka | | |
| C.seznamu | | Prezkousel | | | |
| C.sestavy | | Technolog | | | |
| Stary vykr. | | Normaliz. | | | |
| Novy vykr. | | Schvalil | | | |
| | | Datum | 24-06-2017 | | |
| | | | |  TU v Liberci Nazev TEHLICE Typ Cis.vykresu | |
| | | | | List | |

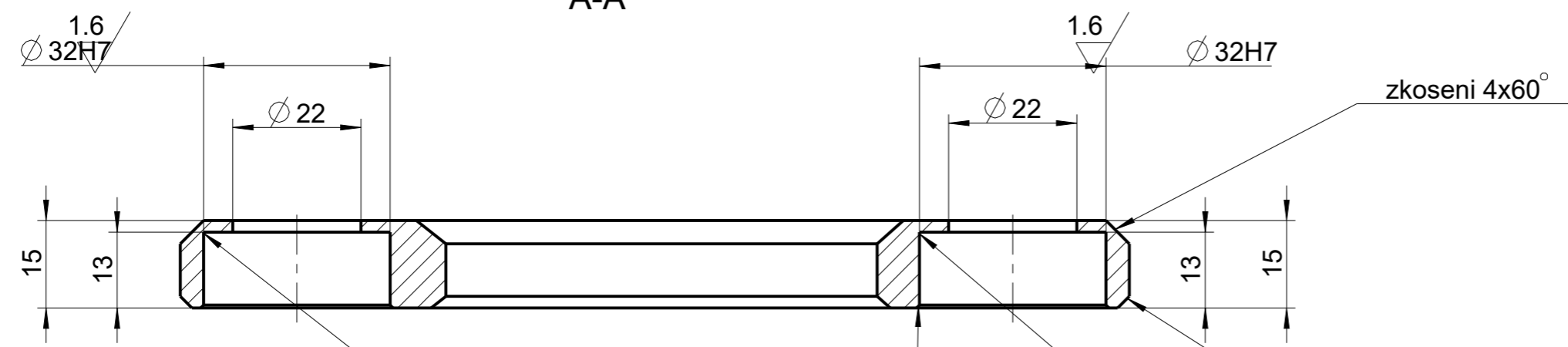


| | | | | | | | |
|--------------|-------|------------|------------|---------------------|------------|----------------------|----|
| Rozm.-Polot. | | - | | 285x90x16 | | PRESNOST ISO 2768-mK | |
| | | c) | | Mater. | ENAW7075T6 | Tr. odp. | - |
| | | b) | | C. hm. | kg | Hr. hm. | kg |
| | | a) | | TOLEROVANI ISO 8015 | | | |
| Zmena | | Datum | Index | PROMITANI | | | |
| Meritko | Pozn. | Navrh | | | | | |
| 1:2 | | Kresil | Kafka | Nazev | | | |
| C.seznamu | | Prezkousel | | VAHADLO_LH | | | |
| C.sestavy | - | Technolog | | Typ | | | |
| Stary vykr. | | Normaliz. | | Cis.vykresu | | | |
| Novy vykr. | | Schvalil | | - | | | |
| | | Datum | 23-06-2017 | List | | | |

1 2 3 4 5 6 7 8



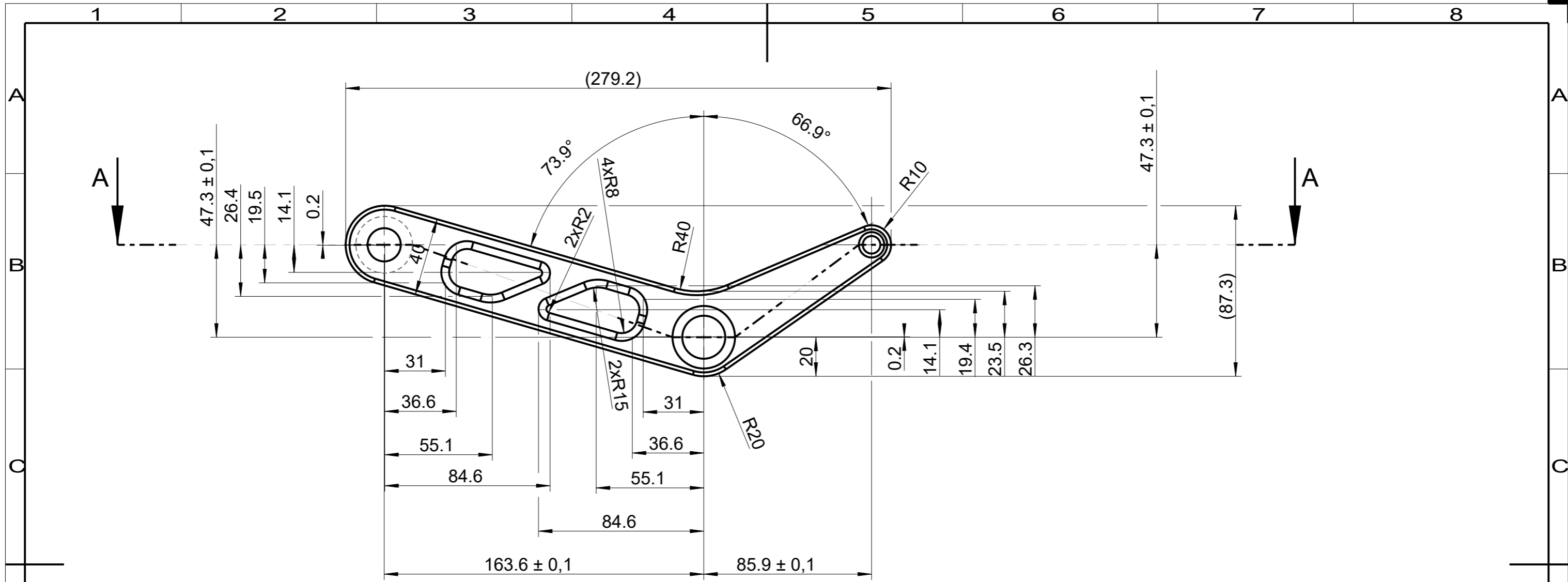
A-A



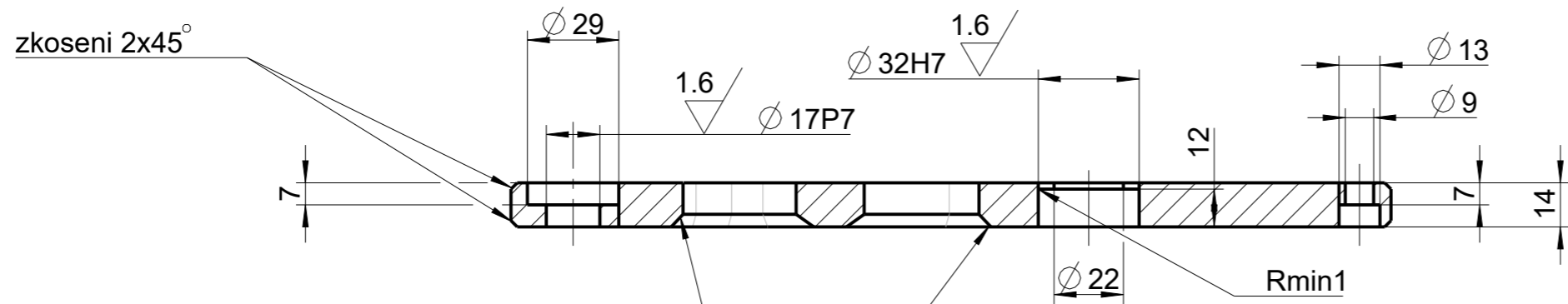
| | | | | | |
|--------------|--|---------------------|--|----------------------|--|
| Rozm.-Polot. | | 164x80x16 | | PRESNOST ISO 2768-mK | |
| | | Mater. EN AW 7075T6 | | TOLEROVANI ISO 8015 | |
| | | C. hm. kg | | Tr. odp. - | |
| | | Hr. hm. kg | | PROMITANI | |
| Zmena | | Datum | | Index | |
| Podpisy | | Navrhl | | Kafka | |
| Meritko 1:1 | | Kreslil | | Prezkousel | |
| C.seznamu | | Technolog | | Typ | |
| C.sestavy | | Normaliz. | | Cis.vykresu | |
| Stary vykr. | | Schvalil | | - | |
| Novy vykr. | | Datum | | 18-05-2017 | |
| | | | | List | |

TU v Liberci
VAHADLO_LS

1 2 3 4 5 6 7 8

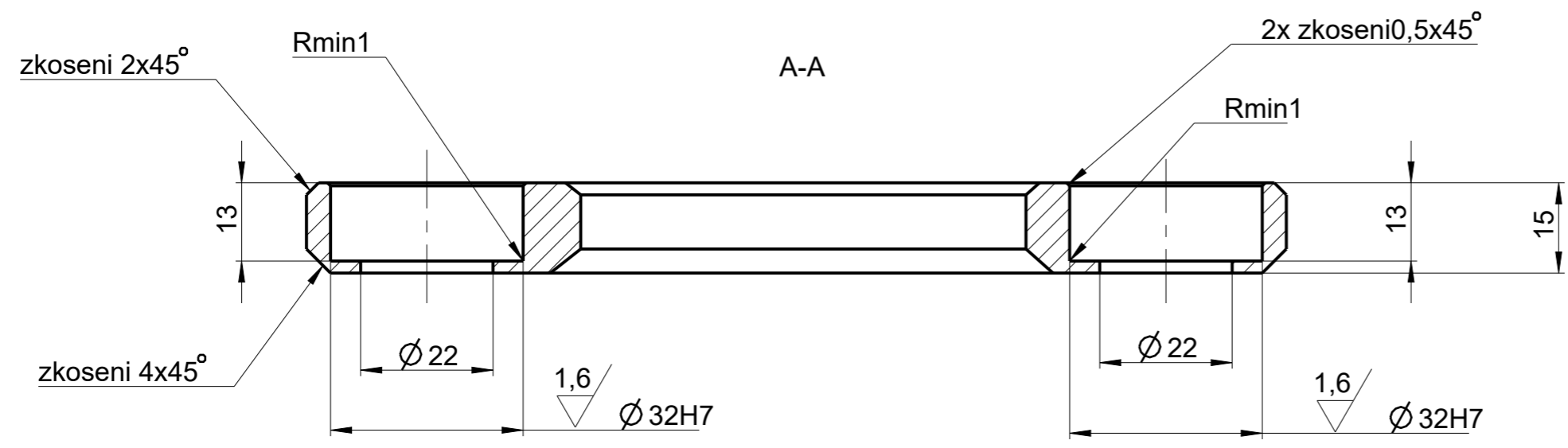
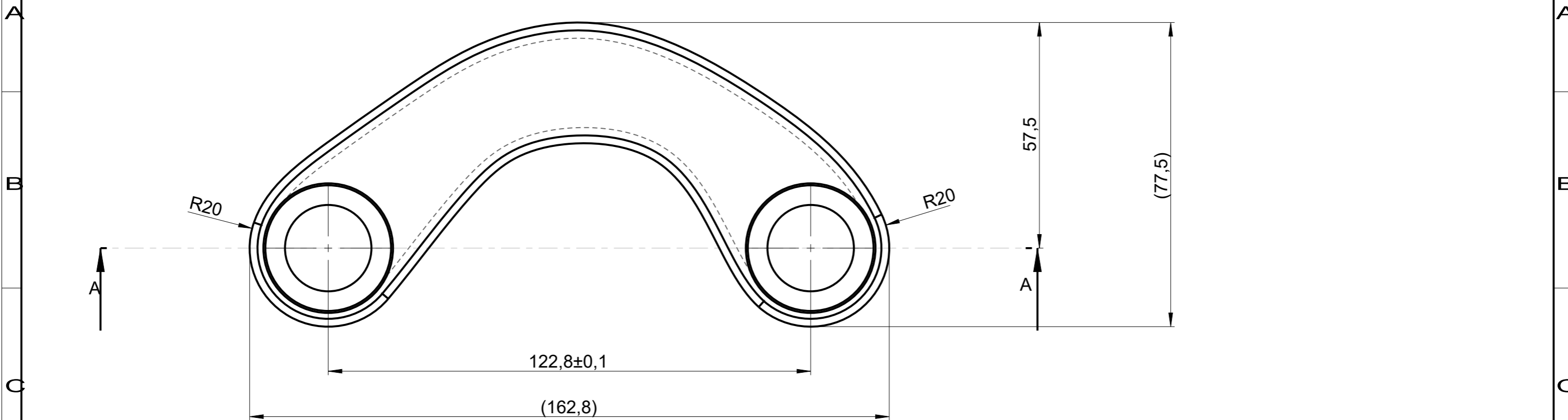


A-A



| | | | | | | | |
|--------------|-------|------------|------------|---------------------|--------------|----------------------|----|
| Rozm.-Polot. | | 285X90X16 | | | | PRESNOST ISO 2768-mK | |
| | | c) | | Mater. | EN AW 7075T6 | Tr. odp. | - |
| | | b) | | C. hm. | kg | Hr. hm. | kg |
| | | a) | | TOLEROVANI ISO 8015 | | | |
| | | | | PROMITANI | | | |
| Zmena | | Datum | Index | | | | |
| Meritko | Pozn. | Navrhl | | | | | |
| 1:2 | | Kreslil | Kafka | | | | |
| C.seznamu | | Prezkousel | | | | | |
| C.sestavy | | Technolog | | | | | |
| Stary vykr. | | Normaliz. | | | | | |
| Novy vykr. | | Schvalil | | | | | |
| | | Datum | 27-06-2017 | | | | |
| | | | | Nazev | VAHADLO_PH | | |
| | | | | Typ | | | |
| | | | | Cis.vykresu | - | | |
| | | | | List | | | |

1 2 3 4 5 6 7 8



3,2 / (1,6)

| | | | | |
|--------------|-------|-------------------|----------------------|---------------------|
| Rozm.-Polot. | - | 165x82x16 | PRESNOST ISO 2768-mK | |
| | c) | Mater. ENAW7075T6 | Tr. odp. - | TOLEROVANI ISO 8015 |
| | b) | C. hm. kg | Hr. hm. kg | PROMITANI |
| | a) | | | |
| Zmena | | Datum | Index | Podpisy |
| Meritko | Pozn. | Navrhl | | |
| 1:1 | | Kreslil | Kafka | Nazev |
| | | Prezkousel | | VAHADLO_PS |
| C.seznamu | | Technolog | | Typ |
| C.sestavy | - | Normaliz. | | Cis.vykresu |
| Stary vykr. | | Schvalil | | - |
| Novy vykr. | | Datum | 23-06-2017 | List |

1 2 3 4 5 6 7 8

1

2

3

4

A

B

C

D

E

F

A

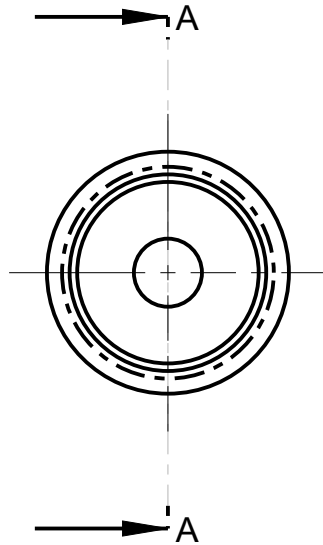
B

C

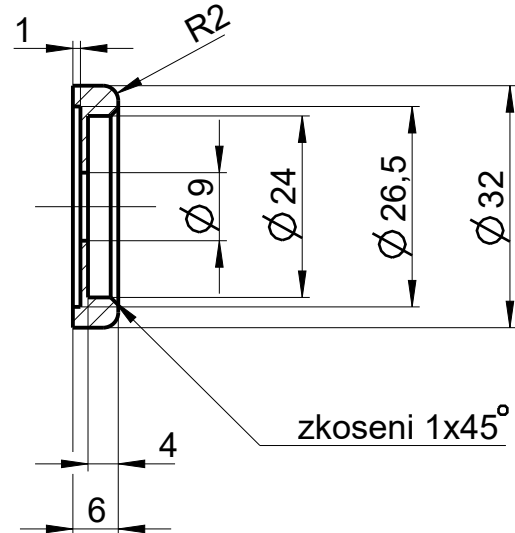
D

E

F



Rez A-A



3,2

| | | | | | | | |
|--------------|-------|---------------------------|----------------------|-------------|----------|----------------------|-----------|
| Rozm.-Polot. | | $\varnothing 35 \times 7$ | | | | PRESNOST ISO 2768-mK | |
| | | c) | Mater. EN AW 7075 T6 | | Tr. odp. | TOLEROVANI ISO 8015 | |
| | | b) | C. hm. | kg | Hr. hm. | kg | PROMITANI |
| | | a) | | | | | |
| Zmena | | Datum | Index | Podpisy | | | |
| Meritko | Pozn. | Navrh | | | | | |
| 1:1 | | Kreslil | Kafka | | | | |
| C.seznamu | | Prezkousel | | | | | |
| C.sestavy | - | Technolog | | | | | |
| Stary vykr. | | Normaliz. | | | | | |
| Novy vykr. | | Schvalil | | | | | |
| | | Datum | 02-06-2017 | | | | |
| | | | | Nazev | | ZATKA_CEP | |
| | | | | Typ | | | |
| | | | | Cis.vykresu | | - | |
| | | | | | | List | |

1

2

3

4