



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

## NÁVRH RÁMU CELOODPRUŽENÉHO HORSKÉHO KOLA

ENGINEERING DESIGN OF A FULLSUSPENSION MOUNTAIN BIKE FRAME

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondrej Zvozil

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Březina, Ph.D.

BRNO 2016

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student:	<b>Ondrej Zvozil</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Lukáš Březina, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2015/16

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:

## Návrh rámu celoodpruženého horského kola

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současné době je v cyklistice patrné stále masovější použití celoodpružených rámu, kdy je zadní stavba uložena pohyblivě a umožňuje tak tlumit nerovnosti přejížděné zadním kolem. Přístupů k řešení návrhu celoodpružených rámu je celá řada, nicméně problematickou částí návrhu, mimo jiné, zůstává právě uložení a kinematická struktura pohyblivé zadní stavby.

Předmětem práce bude navržení konstrukčního řešení rámu celoodpruženého horského kola. Komplexní návrh předpokládá: průzkum aktuálních řešení dostupných na trhu, návrh vlastního konstrukčního řešení rámu a výpočtové zhodnocení provedeného návrhu.

### Cíle bakalářské práce:

- 1) průzkum aktuálních řešení kinematiky celoodpruženého rámu horského kola
- 2) návrh vlastního konstrukčního řešení rámu
- 3) výpočtové zhodnocení provedeného návrhu
- 4) vizualizace provedeného návrhu

### Seznam literatury:

Damgaard, B. F., et al. (2009): Modelling and Dimensioning the Rear Suspension of a Mountain Bike. Aalborg University, Aalborg.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **Abstrakt**

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom rámu celoodpruženého horského bicykla. Na počiatku rozdeľuje horské bicykle do kategórii, popisuje funkciu tlmiča a objasňuje problematiku návrhu kinematiky rámu a jeho charakteristík s ňou spojených. Taktiež popisuje vlastnosti najpoužívanejších materiálov pre výrobu rámov. Následne sú analyzované najrozšírenejšie systémy zavesenia zadného kolesa a ich vlastnosti. Ďalej sú vymedzené požiadavky na vlastný návrh z hľadiska geometrie, konštrukčného riešenia, kinematiky a tvorba jeho 3D modelu v programe SolidWorks. Charakteristiky navrhnutého rámu sú analyzované špecifickým softvérom Linkage X3. Ďalej je zhotovená analýza zaťaženia vo väzbách v programe Ansys, za účelom navrhnutia ložísk jednotlivých pivotov. Záverečná časť práce je venovaná vizualizácii navrhnutého rámu.

### **Kľúčové slová:**

Horský bicykel, MTB, celoodpružený, kinematika, charakteristiky, trail, pivot, anti-squat, spätný ráz pedálov, analýza

## **Abstract**

The aim of this bachelor thesis is designing of a full-suspension mountain bike frame. At the beginning of the thesis mountain bikes are divided into categories, the function of a shock absorber is described and issues of bike kinematics and related characteristics are clarified. The thesis also describes properties of the most used materials for bike frames manufacturing. Subsequently, the most common systems of rear wheel linkage are analysed. Next, the requirements for own design are identified in terms of geometry, construction, kinematics and a creation of its 3D model in SolidWorks software. The characteristics of designed frame are analysed by specific software Linkage X3. Then a static analysis in Ansys software is made in order to select bearings for individual pivots. The final part of the thesis is dedicated to visualisation of designed frame.

### **Key words:**

Mountain bike, MTB, full-suspension, kinematics, characteristics, trail, pivot, anti-squat, pedal kickback, analysis

## **Bibliografická citácia**

ZVOZIL, O. Návrh rámu celoodpruženého horského kola. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 81 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Březina, Ph.D..

## **Prehlásenie autora**

Prehlasujem, že bakalárska práca je pôvodná a vypracoval som ju samostatne pod odborným vedením Ing. Lukáša Březiny, pomocou informačných zdrojov, ktoré sú uvedené v zozname použitých zdrojov na konci tejto práce.

V Brne dňa 20. 5. 2016

.....  
Ondrej Zvozil

## **Pod'akovanie**

Ďakujem vedúcemu mojej bakalárskej práce Ing. Lukáši Březinovi za odborné vedenie, cenné rady a zapožičanie svojho bicykla. Ďalej ďakujem doc. Ing. Zdeňku Florianovi, CSc. za konzultáciu.

# Obsah

1	Úvod .....	10
2	Celoodpružený horský bicykel .....	11
2.1	Geometria .....	11
2.2	Kategórie .....	12
2.3	Kinematika rámu celoodpruženého bicykla .....	14
2.4	Tlmič .....	17
2.4.1	Tlmič s vinutou pružinou .....	18
2.4.2	Vzduchový tlmič .....	19
3	Charakteristiky rámu ovplyvnené jeho kinematikou .....	21
3.1	Pohupovanie .....	21
3.2	Anti-squat .....	21
3.2.1	Určenie hodnoty anti-squat .....	22
3.3	Spätňý ráz pedálov .....	23
3.3.1	Výpočet spätého rázu pedálov .....	23
3.4	Anti-rise .....	24
3.4.1	Stanovenie hodnoty anti-rise .....	25
4	Systémy zavesenia zadného kolesa celoodpružených bicyklov .....	26
4.1	Jednočapové zavesenie .....	26
4.2	Štvorramenné zavesenie .....	26
4.2.1	Split pivot .....	26
4.2.2	Horst link .....	27
4.2.3	S krátkymi členmi .....	28
4.2.4	S čapom nad pätkou .....	29
4.3	Šesťramenné zavesenie .....	29
4.4	Zjednotený zadný trojuholník (URT) .....	30
5	Materiály rámov celoodpružených bicyklov .....	31
5.1	Oceľ .....	31
5.2	Hliník .....	31
5.2.1	Technológie spracovania trubiek z hliníkových zliatin .....	32
5.3	Karbón .....	33
6	Návrh vlastného rámu .....	34
6.1	Požiadavky .....	34
6.1.1	Geometria .....	34
6.1.2	Charakteristiky rámu .....	35
6.1.3	Typ konštrukcie a materiál .....	35
6.2	Kinematická štruktúra .....	35
6.3	CAD model .....	38
7	Analýza výsledného návrhu .....	42
7.1	Charakteristiky rámu .....	42
7.1.1	Anti-squat .....	42
7.1.2	Spätňý ráz pedálov .....	43
7.1.3	Pomer prepákovania .....	44

7.1.4	Anti-rise.....	45
7.2	Analýza zaťaženia vo väzbách .....	46
7.2.1	Výber vhodných ložísk.....	47
8	Vizualizácia.....	49
9	Záver.....	50
10	Zoznam použitých zdrojov .....	51
11	Zoznam použitých symbolov a skratiek.....	56
12	Zoznam obrázkov a tabuliek .....	58
13	Zoznam príloh .....	60

# 1 Úvod

Horská cyklistika sa v posledných rokoch stáva obľúbenou aktivitou stále väčšej skupiny ľudí všetkých vekových kategórii. Celoodpružené horské bicykle už dávno nie sú výsadou len profesionálnych jazdcov, ale sú čoraz dostupnejšie aj amatérskym hobby cyklistom.

Rámy celoodpružených horských bicyklov sa neustále vyvíjajú, nie len z hľadiska materiálu a konštrukcie, ale aj z hľadiska konkrétnych prevedení odpruženia zadnej stavby. Na trhu je dostupné veľké množstvo systémov zavesenia zadného kolesa, od najjednoduchšieho jednočapu, až po šesťramenné zavesenie, či iné komplikované systémy. Každé z nich má svoje charakteristické vlastnosti a vždy sa jedná o kompromis medzi najrôznejšími požiadavkami na rám. Pre niekoho môže byť prioritou vysoká efektivita pedálovania, pre iného zase čo najjednoduchšia konštrukcia a s tým spojená jednoduchá údržba. Dôležitú úlohu však zohráva geometria rámu, a v neposlednej rade, aj jeho vzhľad.

Jazdné vlastnosti celoodpruženého horského bicykla okrem jeho geometrie ovplyvňuje najmä jeho kinematika. Tá predurčuje jeho vlastnosti pri zrýchľovaní, brzdení a z veľkej časti taktiež progresivitu odpruženia. Cieľom tejto práce je návrh vlastného rámu, čo zahŕňa aj návrh jeho kinematiky. Tá je vytvorená podľa stanovenej geometrie a jej výsledná podoba by mala rešpektovať vopred určené požiadavky na vlastnosti rámu. Pre následnú vizualizáciu bude potrebné vytvoriť 3D model, ktorý bude rešpektovať navrhnutú kinematiku.

## 2 Celoodpružený horský bicykel

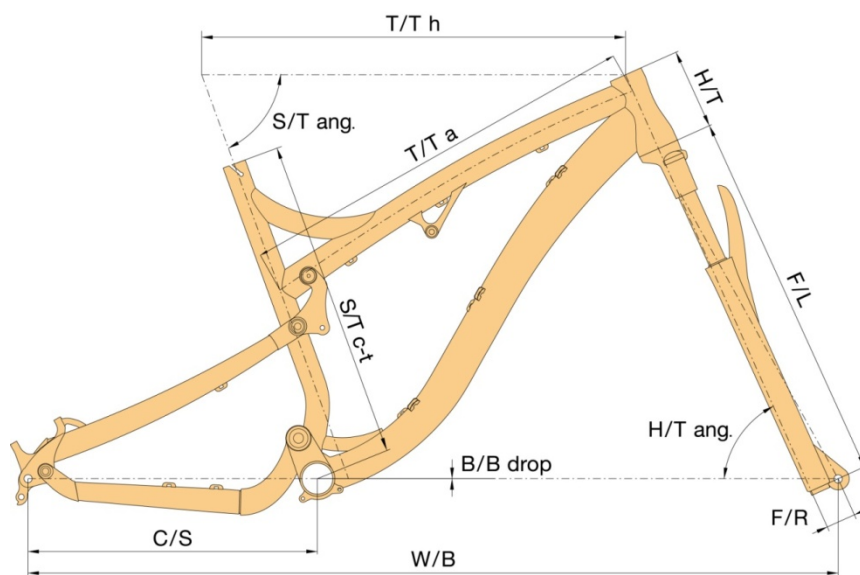
Celoodpružený horský bicykel (full suspension MTB), na rozdiel od tradičného horského bicykla (hardtail MTB), má okrem prednej odpruženej vidlice aj systém odpruženia zadného kolesa, ktorý zvyšuje komfort a bezpečnosť pri prejazde horským terénom.

Rámy celoodpružených horských bicyklov sa skladajú z viacerých prvkov, v závislosti od konkrétneho konštrukčného riešenia, ktoré sa líšia svojou zložitosťou a vlastnosťami. Niektoré konštrukčné riešenia odpruženia zadnej stavby sú analyzované v kapitole 3. Spoločným znakom väčšiny rámov je pevný rámový trojuholník, na ktorý sa pomocou čapu a tlmiča pripája systém zadnej stavby, ktorý sa veľkým podielom podieľa na vlastnostiach bicykla.

Pri jazde nerovným terénom sa pod tiažou jazdca pohybuje zadná stavba spolu so zadným kolesom smerom nahor, konkrétny pohyb závisí od konštrukčného riešenia. Pohyb je systémom zadnej stavby prenášaný do tlmiča, ktorý má za úlohu brzdiť pohyb zadnej stavby pomocou pružného elementu (pružina, stlačený vzduch) a tlmiť kompresiu a následný odskok (vracanie sa do pôvodnej polohy).

### 2.1 Geometria

Geometria bicykla je súbor jeho dĺžkových a uhlových rozmerov. Ovplyvňuje jazdné vlastnosti a celkový pocit z jazdy. Geometria bicyklov rôznych kategórií sa výrazne líšia [33]. Hlavné kategórie horských bicyklov sú popísané v odseku 2.2. Obrázok 2.1 definuje časti tvoriace geometriu horského bicykla.



Obr. 2.1 – Geometria bicykla AUTHOR PATRIOT TRAIL 1.0 2015 [6]

**S/T c-t** – seat tube (center-top), dĺžka sedlovej trubky od stredu stredového zloženia po jej vrchol

**S/T c-c** – seat tube (center-center), dĺžka sedlovej trubky od stredu stredového zloženia po os hornej rámovej trubky

**T/T h** – top tube horizontal, horizontálna dĺžka hornej rámovej trubky

**T/T a** – top tube actual, skutočná dĺžka hornej rámovej trubky

**H/T** – head tube, dĺžka hlavovej trubky

**C/S** – chain stay, dĺžka reťazovej vzpery

**W/B** – wheel base, rázvor kolies (osová vzdialenosť predného a zadného kolesa)

**S/T ang.** – seat tube angle, uhol medzi osou sedlovej trubky a pomyselnou spojnicou osí predného a zadného kolesa

**H/T ang.** - head tube angle, uhol medzi osou hlavovej trubky a pomyselnou spojnicou osí predného a zadného kolesa

**F/L** – fork length, montážna dĺžka vidlice od spodnej časti hlavového zloženia po os predného kolesa

**B/B drop** – bottom bracket drop, vzdialenosť medzi pomyselnou spojnicou osí kolies a osí stredového zloženia, meraná od stredového zloženia

**F/R** – fork rake, vzdialenosť medzi osou hlavovej trubky a osou vidlice meraná v osi predného kolesa, tzv. offset [6]

Na geometrii bicykla sa neodmysliteľne podieľajú aj kolesá, ktorých štandardná veľkosť je 26". V súčasnosti sa čoraz viac objavujú modely s 29" kolesami, vďaka ktorým je jazda oveľa komfortnejšia, ale za cenu horšej manévrovateľnosti. Ako kompromis medzi týmito dvomi rozmermi sa rozširujú 27,5" kolesá.

## 2.2 Kategórie

Podľa zamerania bicykla na konkrétny terén, alebo štýl jazdy, ich delíme do viacerých kategórií: cross country (XC), trail, all mountain (AM), downhill (DH) a iné. Jednotlivé kategórie sú charakteristické svojou geometriou, ako napríklad maximálny zdvih (zadného kolesa, prednej vidlice), uhol hlavovej a sedlovej trubky a použitými komponentmi. Hranice špecifikácii jednotlivých kategórií sú však len orientačné, preto nie je výnimkou, ak špecifikácie bicykla odpovedajú kombinácii susedných kategórií.

### *Cross country (XC)*

XC bicykle sú charakteristické svojou ľahkou konštrukciou, pretože ich hlavným cieľom je čo najvyššia efektívnosť prenosu energie jazdca na pohyb vpred. Bicykle tejto kategórie majú zdvihy do 120 mm. Do tejto kategórie patria najmä bicykle s len predným odpružením (tzv. hardtaily), ktorých efektívnosť prenosu energie a hmotnosť je pre celoodpružené bicykle nedosiahnuteľná [12, 20, 55].

Uhol hlavovej trubky býva zväčša 70 až 71 stupňov pre čo najrýchlejšie manévrovanie a pohodlné stúpanie. Osadenie 29" kolesami je v tejto kategórii asi najviac opodstatnené, keďže kombinujú lepšiu prejazdnosť nerovností pri zachovaní nízkeho zdvihu. Bicykle tejto kategórie znášajú aj ťažší terén a drobné skoky, no nie tak pohodlne ako bicykle nasledujúcich kategórií [23, 55].

### ***Enduro/All-mountain***

Enduro bicykle sú určené pre pomerne rýchle, náročné a agresívne zjazdy kvôli čomu bývajú ich rámy robustnejšie a ťažšie. Stúpanie do kopca je už ale náročnejšie ako s bicyklami kategórie XC. Uhol hlavovej trubky býva maximálne 67 °, zdvihy v rozsahu 140 až 170 mm. Používajú sa krátke predstavce od 30 mm a širšie riadidlá – do 750 mm. Rámy bývajú mohutnejšie pre absorbovanie väčších nárazov, čo sa prejaví na vyššej hmotnosti [23].

### ***Trail***

Trail bicykle kombinujú rýchlosť a nízku hmotnosť XC bicyklov a schopnosti absorbovať väčšie nárazy a skoky AM bicyklov. Bicykle tejto kategórie, ktorej predstaviteľ je na obr. 2.2, sú vhodné aj pre náročnejšie technické zjazdy. Rozsah používaných zdvihov býva 120 až 160 mm. Uhol hlavovej trubky neprevyšuje 69°, čo zaisťuje pohodlnejšie stúpanie ako pri enduro bicykloch a vyššiu stabilitu pri zjazde oproti XC bicyklom. Taktiež sa používajú dlhšie predstavce (do 90 mm) a kratšie riadidlá ako bicykle predchádzajúcej kategórie. Osadenie 27,5" kolesami v tejto kategórii je stále populárnejšie [23, 36].



Obr. 2.2 – Trail bicykel Santa Cruz Bronson [9]

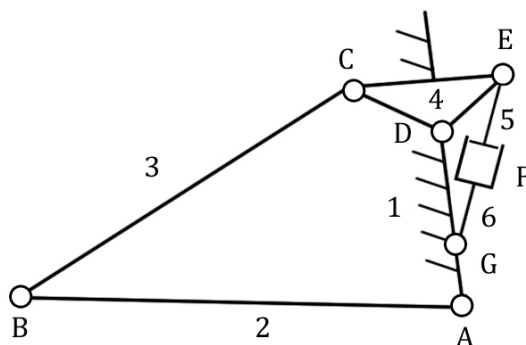
### ***Downhill (DH)***

Bicykle tejto kategórie možno nazvať ako jednoúčelové. Sú určené na tie najnáročnejšie a najstrmšie zjazdy, prípadne najdlhšie skoky, všeobecne povedané, na to najtvrdšie zaobchádzanie. Pri rámoch týchto bicyklov je hmotnosť druhoradá, dôležitá je hlavne ich pevnosť a tuhosť. Väčšina je osadená tlmičom s vinutou pružinou. Pre absorbovanie dopadov dlhých a vysokých skokov disponujú zdvihmi 170 až 250 mm. Pri takto extrémnych zdvihoch sa používajú väčšinou klasické 26" kolesá, prípadne zadné koleso býva 24". U nových modelov nie sú výnimkou ani 27,5" kolesá. Uhol hlavovej trubky začína na 62°, dosahuje maximálne 65°, čo spolu s vysokými zdvihmi a absenciou veľkých zadných prevodníkov znemožňuje výstupy do kopca šliapaním do pedálov [23, 55].

## 2.3 Kinematika rámu celoodpruženého bicykla

Kinematiku rámu celoodpruženého bicykla (tzv. linkage) ako celok väčšinou tvorí sústava trubiek a pák pospájaných čapmi, ktorá má za úlohu viesť pohyb zadného kolesa pri prejazde terénom a transformovať tento pohyb na kompresiu tlmiča. Kinematika popisuje pohyb zadného kolesa v rámci zdvihu, bez ohľadu na to, čo ho spôsobilo [37].

Na zadnú stavbu sa dá pozerat' ako na sústavu prútov, pospájaných rotačnými väzbami, ktorá je pomocou rotačnej väzby (čap) a obojstrannej posuvnej väzby (tlmič) pripojená k základnému telesu (rámový trojuholník). Táto sústava má vždy jeden stupeň voľnosti.



Obr. 2.3 – Príklad zjednodušeného pohľadu na zadnú stavbu

Počet stupňov voľnosti:

$$i = i_v(n-1) - \sum \xi_i, \quad (2.1),$$

kde  $i_v$  je počet stupňov voľnosti voľného telesa (pre 2D úlohu  $i_v = 3$ ),  $n$  je počet telies,  $\sum \xi_i$  je počet stupňov voľnosti odobratých väzbami. Pre prípad na obrázku 2.3, kde každá väzba odoberá 2 stupne voľnosti, je teda počet stupňov voľnosti:

$$i = 3 \cdot (6-1) - 14 = 1$$

Pre pochopenie rozdielnych vlastností medzi jednotlivými konštrukčnými typmi zadných stavieb, je nutné definovať niektoré základné pojmy.

### **Pivot**

Miesto, kde sú dve časti rámu/zadnej stavby rotačne spojené čapom a ložiskom. Väzby A, B, C, D na obrázku 1.3.

### **Link**

Člen spájajúci 2 pivoty, väčšinou dutý profil. Telesá 2, 3 a 4 na obrázku 2.3.

### **Travel**

Zdvih zadného (prípadne aj predného) kolesa. Podľa krajiny pôvodu ju výrobcovia bicyklov udávajú v milimetroch alebo palcoch, ako maximálnu výšku vertikálneho pohybu zadnej osi. Hodnota zdvihu sa medzi kategóriami bicyklov značne líši.

### Stroke

Maximálna veľkosť stlačenia tlmiča, udáva sa ako druhá hodnota, ktorá charakterizuje veľkosť tlmiča. Napr. tlmič s označením 215×63 má maximálnu kompresiu 63 mm.

### Sag

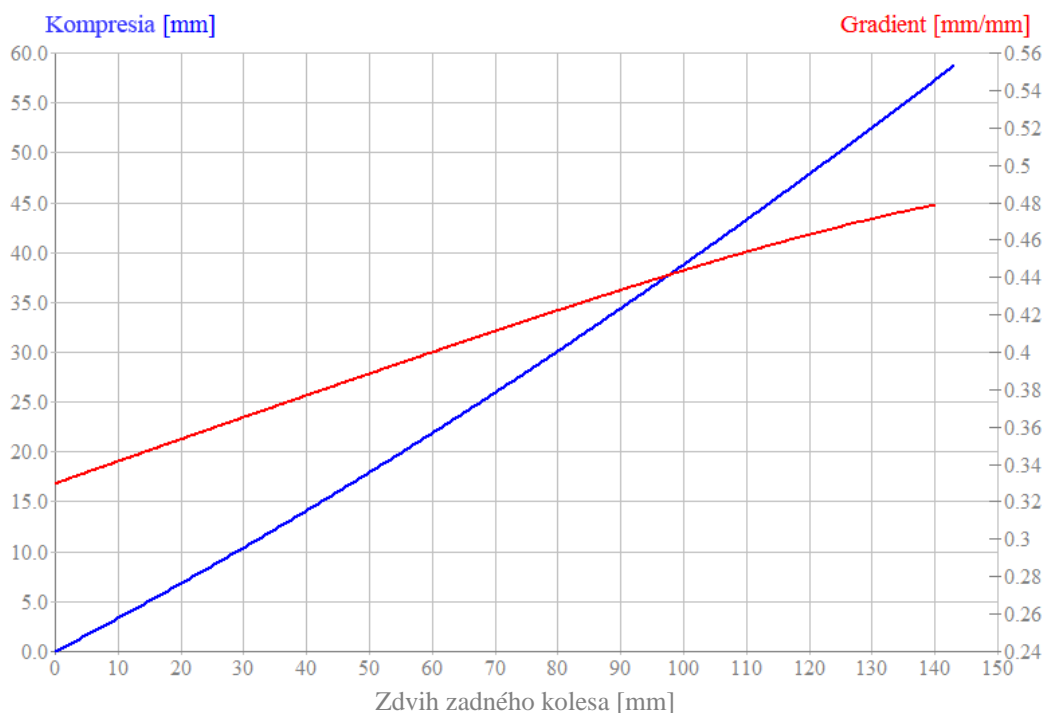
Pomerné stlačenie tlmiča pod tiažou jazdca, zväčša zóna 25 až 30 % celkového zdvihu. Čím väčší zdvih je k dispozícii, tým väčší sag sa zvykne nastavovať. Považuje sa za počiatočnú polohu pri navrhovaní odpruženia. Pri nedostatočnej hodnote sag by koleso pri prejazde horským terénom mohlo zbytočne strácať trakciu [7].

### Pomer pohybu

Počas kompresie odpruženia sa mení kinematické usporiadanie, čo spôsobuje nelineárny charakter kompresie tlmiča v priebehu zdvihu. Závislosť kompresie tlmiča na zdvihu sa nazýva krivka kompresie tlmiča. Praktickejšie je však poznať priebeh strmosti krivky kompresie, teda jej deriváciu podľa zdvihu zadného kolesa - pomer pohybu (motion ratio – *MR*) [29]:

$$MR = \frac{dY_s}{dY_w}, \quad (2.2)$$

kde  $Y_s$  je kompresia tlmiča a  $Y_w$  zdvih zadného kolesa. Príklad priebehu krivky kompresie a pomeru pohybu v závislosti od zdvihu zadného kolesa je na obrázku 2.4.



Obr. 2.4 – Krivka kompresie tlmiču (modrá) a závislosť *MR* na zdvihu (červená) bicykla YT Jeffsy

Poznať priebeh krivky kompresie, resp. *MR* v závislosti na zdvihu zadného kolesa je užitočné, pretože z vykreslenej závislosti dokážeme hodnotiť odpruženie ako progresívne,

lineárne, či degresívne [29]. K výslednému charakteru odpruženia prispieva aj konštrukcia tlmiča, ktorý bude detailnejšie prebraný v odseku 2.4.

### ***Pomer prepákovania***

Výrobcovia bicyklov častejšie ako hodnotu  $MR$  uvádzajú pomer prepákovania (leverage ratio –  $LR$ ), čo je prevrátená hodnota  $MR$  [29]. Pomer prepákovania dáva do vzťahu zdvih zadného kolesa a kompresiu tlmiča nasledujúcim spôsobom:

$$LR = \frac{dY_w}{dY_s}, \quad (2.3)$$

kde  $Y_w$  je zdvih zadného kolesa a  $Y_s$  kompresia tlmiča. Podľa tejto charakteristiky sa taktiež zvykne hodnotiť charakter odpruženia, hoci v tomto prípade progresívnemu odpruženiu odpovedá klesajúca krivka, a naopak. O progresivite v tomto prípade vypovedá rozdiel maximálnej a minimálnej hodnoty  $LR$  v priebehu zdvihu.

### ***Predĺženie ťažnej vetvy reťaze***

Predĺženie vzdialenosti od stredového zloženia po zadnú os pri kompresii odpruženia. Je to jedna zo zložiek spätného rázu pedálov, ktorý bude vysvetlený v samostatnej podkapitole.

### ***Trajektória osi zadného kolesa***

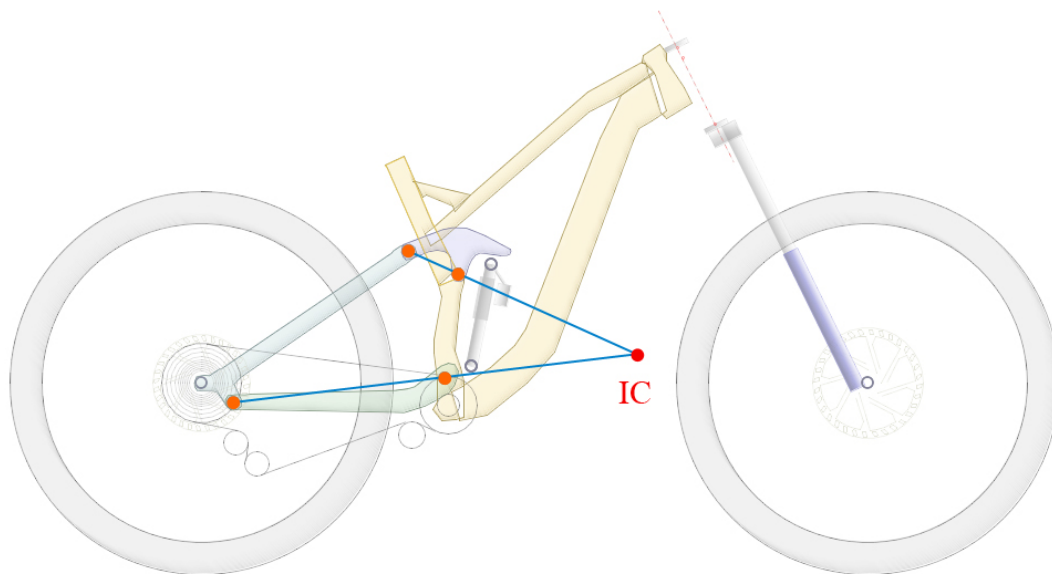
Trajektória tvorená osou zadného kolesa v priebehu zdvihu, všeobecne 2D krivka, niekedy časť kružnice. Je ovplyvnená typom konštrukčného riešenia zadnej stavby. Je vždy určená polohou okamžitého stred rotácie. Smer pohybu zadného kolesa na začiatku zdvihu je jedným z parametrov, ktoré určujú citlivosť odpruženia na drobné nerovnosti. Tvar trajektórie osi zadného kolesa vypovedá o charakteristikách rámu, ktoré sú detailnejšie popísané v kapitole 4.

### ***Okamžitý stred rotácie zadnej osi***

Okamžitý stred rotácie (instant centre, IC) zadnej osi vzhľadom k rámovému trojuholníku je stred krivosti trajektórie, ktorú zadná os v priebehu zdvihu opisuje. Jednotlivé konštrukcie zadných stavieb sa líšia v polohe IC, ktorý leží väčšinou mimo samotného rámu. Výnimku tvorí najjednoduchšia konštrukcia rámu – single pivot – ktorého IC je priamo spojenie zadnej stavby z predným trojuholníkom rámu.

Tento bod je kľúčový pre určovanie ďalších charakteristík, popísaných v nasledujúcej kapitole. Pre nájdenie okamžitého stred rotácie u konvenčných konštrukcii zadnej stavby nám bude stačiť jednoduchá grafická metóda [29], ktorá je ilustrovaná na obrázku 2.5. Ako príklad je použitý Canyon Strive 2015 so štvoramenným zavesením zadného kolesa:

- Spojíme pivoty vrchnej časti konštrukcie zadnej stavby (vahadla) priamkou.
- Spojíme pivoty spodnej časti konštrukcie zadnej stavby (reťazovej vzpery) priamkou.
- Priesečník týchto 2 priamok je náš hľadaný okamžitý stred rotácie.



Obr. 2.5 – Ilustrácia grafickej metódy určenia okamžitého stredú rotácie

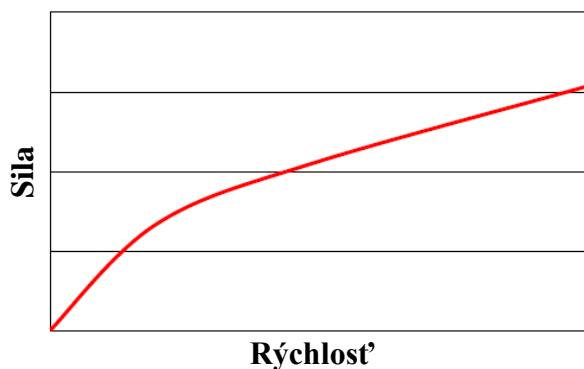
## 2.4 Tlmič

Zadný tlmič je kľúčovým prvkom v ráme celoodpruženého horského bicykla. Má za úlohu udržiavať koleso v kontakte so zemou pre zlepšenie trakcie a tlmiť nárazy, ktorým je bicykel aj jazdec vystavovaný pri jazde horským terénom, prípadne pri skokoch.

Pri známej sile v stlačenej tlmiči ( $F_S$ ) a známej hodnote  $MR$  (definovanej v odseku 2.3) vieme podľa jednoduchého vzťahu vypočítať silu pôsobiacu na zadné koleso ( $F_W$ ) ktorá túto kompresiu spôsobila [29]:

$$F_W = MR \cdot F_S \quad (2.4)$$

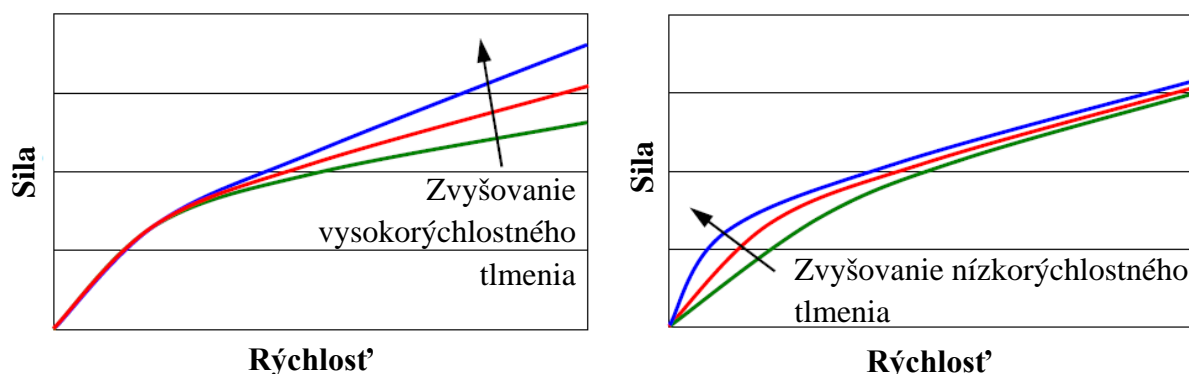
Tlmenie je sprostredkované brzdením prietoku oleja sústavou rôznych kanálov a ventilov, kde sa vložená pohybová energia trením mení na teplo [35, 42]. K tlmeniu dochádza počas kompresie aj pri následnom vracaní tlmiča do pôvodnej polohy – tzv. odskoku.



Obr. 2.6 – Tlmiaca charakteristika [10]

Tlmiacu charakteristiku vyjadruje  $F$ - $v$  diagram, čo je závislosť tlmiacej sily na rýchlosti kompresie. Typický tvar tlmiacej charakteristiky je zobrazený na obrázku 2.6.

Súčasnú tlmiče vyššej kategórie umožňujú regulovanie vysokorýchlostného aj nízkorýchlostného tlmenia pri kompresii aj odskoku, čo ilustruje obrázok 2.7.

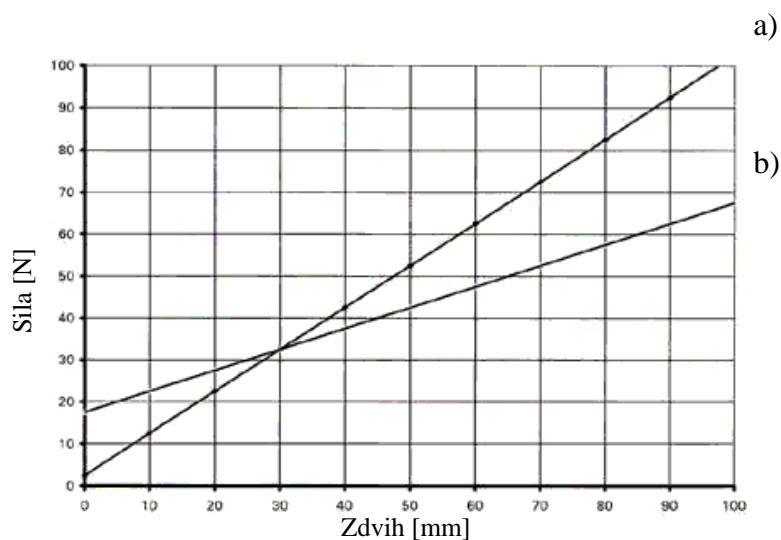


Obr. 2.7 – Nastavovanie a) vysokorýchlostného, b) nízkorýchl. tlmenia kompresie [10]

### 2.4.1 Tlmič s vinutou pružinou

Klasické tlmiče používajú ako pružný prvok väčšinou ocel'ovú vinutú pružinu. Charakter vinutej pružiny sa blíži k lineárnemu, teda jej tuhosť sa v priebehu kompresie dá považovať za konštantnú. Požadované počiatkové zanorenie (sag) sa dá regulovať pomocou regulácie predpätia skrutkou. Dôležitá je voľba pružiny vhodnej tuhosti vzhľadom k jazdcovej hmotnosti.

Ak zvolíme príliš mäkkú pružinu, sag síce na požadovanú hodnotu dokážeme nastaviť vyšším predpätím, no k plnej kompresii dôjde pri podstatne menšej pôsobiacej sile v porovnaní s vhodne zvolenou pružinou. Navyše, tlmič s predpätou pružinou sa začne deformovať až po prekročení určitej sily, takže takéto odpruženie bude menej citlivé pri prejazde menších prekážok [52]. Príklad voľby vhodnej a nevhodnej pružiny ilustruje obrázok 2.8.



Obr. 2.8 – Príklad a) vhodnej, b) nevhodnej voľby pružiny [52]

Súčasnú tlmiče vyšších kategórií, napríklad FOX DHX RC4 na obrázku 2.9, majú mnoho nastavení tlmenia kompresie a odskoku. Prínosná je napríklad funkcia *Bottom-out controll* tohto tlmiča, vďaka ktorej sa v poslednej fáze zdvihu výrazne zvýši jeho tuhosť.

Tlmič tak môže citlivo reagovať pri prejazde terénom a zároveň je schopný absorbovať silné nárazy, napríklad pri skokoch [16].

Nevýhodou tlmičov s vinutou pružinou však aj naďalej ostáva ich hmotnosť v porovnaní s tlmičmi vzduchovými. Ich uplatnenie je teda hlavne v kategóriách, kde sa nekladie dôraz na celkovú hmotnosť bicykla, ako napríklad downhill a freeride.



Obr. 2.9 – Tlmič FOX DHX RC 4 [31]

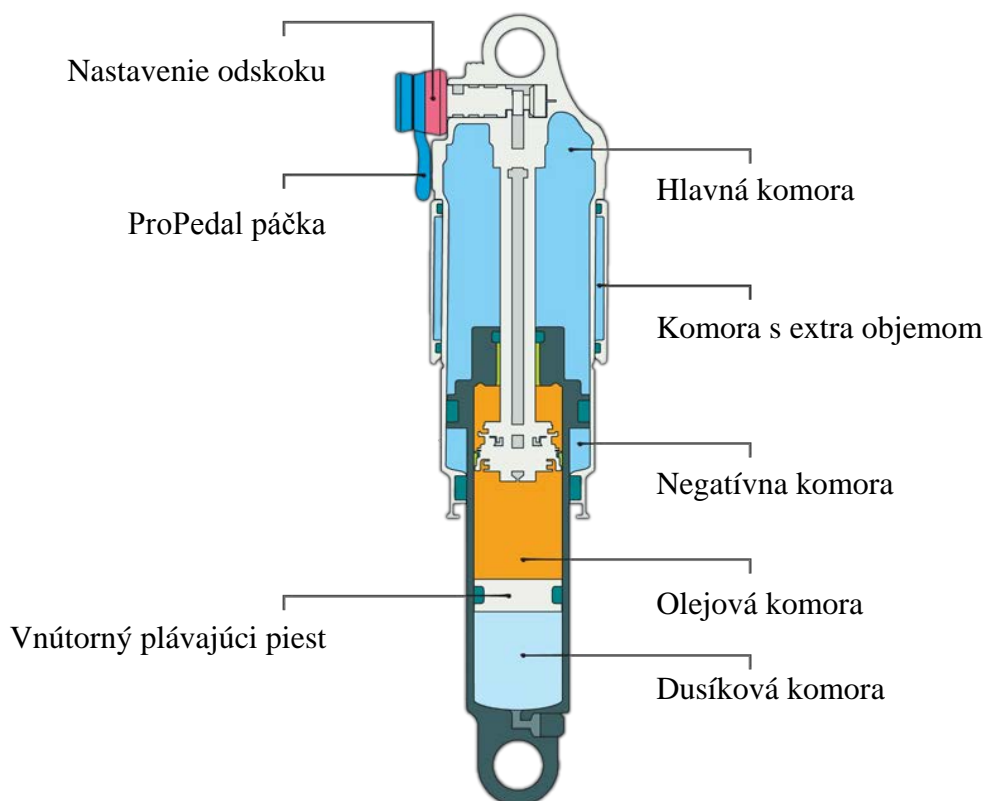
#### 2.4.2 Vzduchový tlmič

V súčasnosti sa vo väčšine rámov so zadným zdvihom do 170 mm používa vzduchový tlmič. Ten funguje na základe pohybu piestu v utesnenej vzduchovej komore. Požadovaná tuhosť sa dá dosiahnuť dofúknutím, prípade odpustením vzduchu z tejto komory, väčšinou cez klasický autoventil.

Čím viac je piest stlačený, tým väčší odpor kladie vzduch proti ďalšiemu stlačeniu – vzduchové tlmiče majú teda progresívny charakter. Progresivita sa dá regulovať veľkosťou vzduchovej komory, resp. objemom jej aktívnej časti (hlavná komora) vkladáním rôznych dištančných prvkov. Vzniku nadmerne vysokých tlakov pri kompresii sa predchádza dorazom, ktorý vymedzuje minimálny objem komory pri úplnej kompresii [10, 37].

Drahsie tlmiče sú vybavené aj tzv. negatívnou komorou, ktorá je z pravidla podstatne menšia ako hlavná a tlak v nej sa dá nastaviť buď samostatne, alebo podľa konštrukcie tlmiča je závislý na tlaku v pozitívnej komore. Sila vyvolaná stlačeným vzduchom v negatívnej komore uľahčuje počiatkové stlačenie tlmiča. Jeho kompresiou rastie objem negatívnej komory a klesá v nej tlak, takže jej účinok sa v priebehu zdvihu eliminuje. Tlmič vybavený negatívnou komorou je teda citlivejší na jemné nerovnosti na počiatku zdvihu a nedochádza v ňom k nárazu pri jeho vracaní sa do pôvodnej polohy. Na obrázku 2.10 je rez starším vzduchovým tlmičom od firmy Fox, konkrétne model Float RP23. Tlmič bez negatívnej komory možno na počiatku zdvihu prirovnáť k tlmiču s predopnutou vinutou pružinou, keďže sa začne deformovať až po aplikovaní sily, ktorá prekoná počiatkový tlak v pozitívnej komore. Alternatívnym riešením je použitie negatívnej pružiny namiesto negatívnej vzduchovej komory [13].

V kategórii downhill sa vzduchové tlmiče nezvyknú používať. Jedným z dôvodov je, že stlačený vzduch sa pri opakovanej a dlhotrvajúcej kompresii počas zjazdu môže nadmerne zohriať, čo spôsobí ďalšie zvýšenie tlaku v pozitívnej komore, čím tlmič stratí požadované vlastnosti [13].



Obr. 2.10 – Rez vzduchovým tlmičom Fox Float RP23 [22]

Vzduchové tlmiče, rovnako ako tlmiče s vinutou pružinou, sa vyrábajú v určitých veľkostiach. Udáva sa vzdialenosť od vrchného oka k spodnému a maximálny zdvih (stroke). Tabuľka 2.1 uvádza dostupné veľkosti tlmiča Fox Float DPS, čo je nástupca staršieho modelu zobrazeného na predchádzajúcom obrázku.

Tab. 2.1 – Dostupné veľkosti tlmiča Fox Float DPS [19]

Veľkosť ["]	Zdvih	Veľkosť [mm]	Zdvih
5,50	1,00	139,7	25,4
6,00	1,25	152,4	31,75
6,50	1,50	165,1	38,1
7,25	1,75	184,15	44,45
7,50	2,00	190,5	50,8
7,875	2,00	200,025	50,8
7,875	2,25	200,025	57,15
8,50	2,50	215,9	63,5

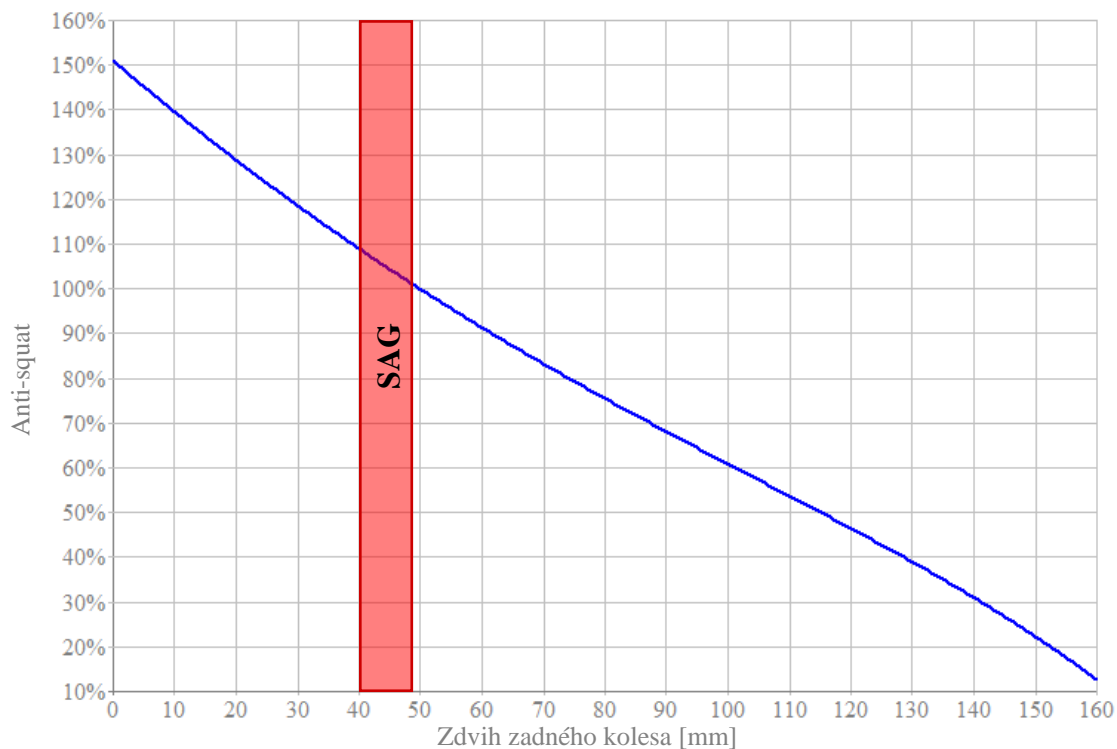
Výber vhodnej veľkosti tlmiča, či už s vinutou pružinou, alebo vzduchového, závisí od požadovaného zdvihu zadnej stavby a priemerného pomeru prepákovania rámu.

### 3 Charakteristiky rámu ovplyvnené jeho kinematikou

Uvažovať o bicykli len ako o čisto kinematickej sústave nemá veľký praktický význam. Výsledné jazdné vlastnosti bicykla sú najmä závislé od jazdca a od toho, ako vie daný bicykel využiť. Jazdec svojou váhou, šliapaním a inými pohybmi pôsobí na bicykel silami, ktoré sa prenášajú do odpruženia. V tejto kapitole budú popísané niektoré efekty vznikajúce pôsobením jazdca.

#### 3.1 Pohupovanie

Pri zrýchľovaní jazdca a bicykla smerom dopredu sa začínajú prejavovať zotrvačné sily, ktorých účinkom dochádza ku kompresii zadnej stavby. Veľkosť zrýchlenia pri šliapaní nie je konštantná. Jazdec pri šliapaní do pedálov pôsobí silou, ktorej hodnota sa mení v závislosti na aktuálnej polohe kľúk. Výsledný priebeh sily, ktorou jazdec pôsobí je periodický, pričom pri uvažovaní rovnako silnej ľavej a pravej nohy, je periódou polovica otáčky kľúk. Periodicky sa meniace zrýchlenie spôsobuje pohupovanie zadnej stavby. Cieľom výrobcov rámov je toto pohupovanie minimalizovať, pre dosiahnutie čo najefektívnejšieho šliapania [18, 24, 37].



Obr. 3.1 – Príklad priebehu charakteristiky anti-squat

#### 3.2 Anti-squat

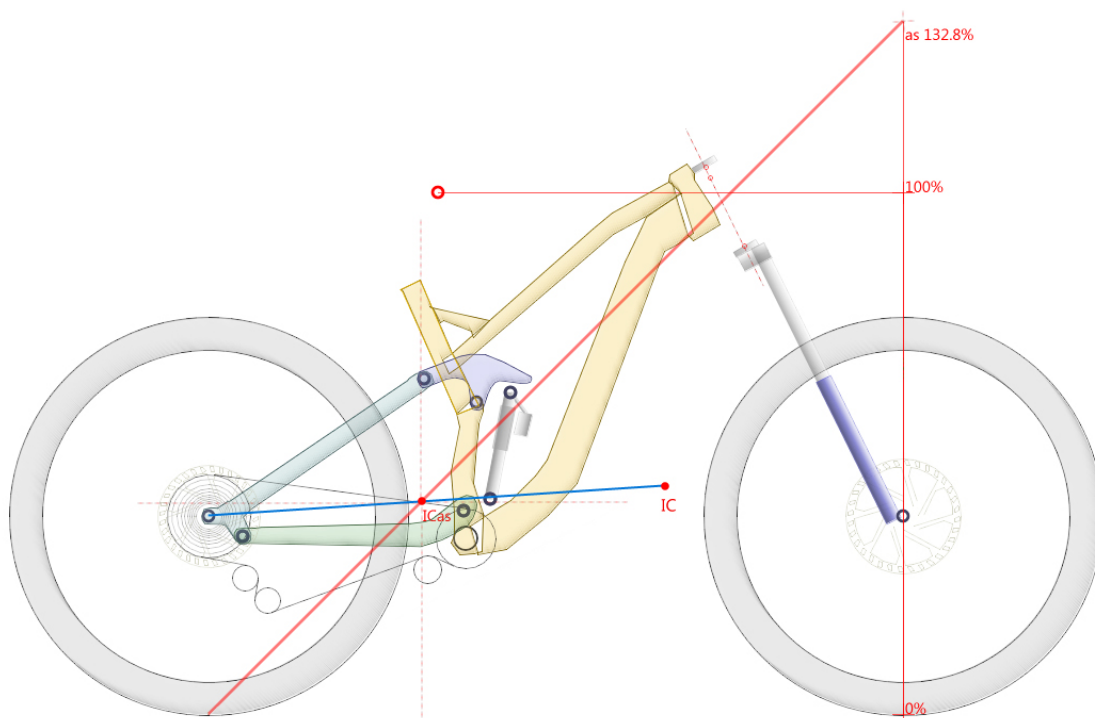
Proti pohupovaniu zadnej stavby pri vhodnej kinematike rámu pôsobí hnacia sila sprostredkovaná reťazou. Miera schopnosti rámu zvládvať zrýchľovanie bez kompresie odpruženia sa nazýva anti-squat, vyčísľuje sa v percentách. Anti-squat je priamo závislý na polohe okamžitého stredu rotácie zadnej osi konkrétneho rámu a výške ťažiska jazdca. Keďže počas pohybu zadnej stavby sa pohybuje aj okamžitý stred rotácie, anti-squat sa v priebehu kompresie odpruženia mení, čo ilustruje obrázok 3.1 [18, 24, 37].

Anti-squat má 2 charakteristické hodnoty. Hodnota 100 % znamená, že pri danej konfigurácii okamžitého stredú otáčania a výške ťažiska jazdca hnacia sila sprostredkovaná reťazou úplne eliminuje kompresiu zadnej stavby spôsobenú zotrvačnými silami pri zrýchľovaní. Hodnota 0 % reprezentuje stav, kedy hnacia sila nijako nepôsobí na odpruženie zadnej stavby, v dôsledku čoho sa bude pohupovať, čo sa prejaví kompresiou tlmiča. Pri väčšine bicyklov však nie sú výnimkou hodnoty nad 100%. V takom prípade sa pri šliapaní snaží zadná stavba tlmič predlžovať. Menej časté sú záporne anti-squat hodnoty. Vtedy časť hnacej sila priamo pôsobí na zadnú stavbu tak, že dochádza ku kompresii odpruženia. Takýto stav je samozrejme neželaný a možno ho tolerovať len na konci zdvihu, kde nepredpokladáme pedálovanie [18, 24, 30, 37].

### 3.2.1 Určenie hodnoty anti-squat

Pre konštrukcie odpruženia kde je stredové zloženie súčasťou predného rámového trojuholníku, s konvenčným pohonom, môžeme využiť nasledujúcu grafickú metódu [29], zobrazenú na obrázku 3.2:

1. Nakreslíme priamku od zadnej osi k okamžitému stredú rotácie.
2. Nakreslíme priamku po vrchnej línii reťaze.
3. Označíme prienik priamok ako ICas.
4. Nakreslíme priamku od kontaktného bodu zadného kolesa so zemou, cez ICas a predĺžime ju až nad os predného kolesa.
5. Nakreslíme vertikálnu priamku cez os predného kolesa.
6. Označíme prienik priamok z bodov 4 a 5 a porovnáme s výškou ťažiska a výškou kontaktnej plochy.



Obr. 3.2 – Ilustrácia grafickej metódy určenia hodnoty anti-squat

Hodnota 0 % anti-squat leží vo výške kontaktu kolesa so zemou, hodnota 100 % odpovedá výške ťažiska. Pre akúkoľvek inú výšku bodu získaného v 6. kroku sa hodnota anti-squat jednoducho dopočíta, ak poznáme polohu 0 % a 100 % [29].

V uvedenom postupe si môžeme všimnúť, že hodnota anti-squat závisí aj od polohy ťažnej vetvy reťaze. Vo všeobecnosti platí, že čím menší prevodník vpredu používame, tým je táto hodnota vyššia, čo je žiaduce, keďže pri výjazde do kopca používame vpredu ľahšie (menšie) prevodníky.

Z doteraz uvedených poznatkov by sa dalo usúdiť, že pri návrhu rámu budeme požadovať, aby bol v priebehu zdvihu zadného kolesa anti-squat čo najbližšie hodnote 100%. V skutočnosti však pri jazde na bicykli dochádza k značným vertikálnym osciláciám ťažiska, ktoré vychádzajú z biomechaniky pedálujúceho jazdca, ktoré táto charakteristika nezohľadňuje. Výškové oscilácie ťažiska jazdca sú výrazné najmä pri vzpriamenom silovom šliapaní. S vysokou hodnotou anti-squat navyše dochádza pri kompresii zadnej stavby k neželanej reakcii, ktorá sa nazýva spätný ráz pedálov [29].

### 3.3 Spätný ráz pedálov

Pri kompresii zadnej stavby dochádza k zmene vzdialenosti medzi stredovým zložením a zadnou osou. Reakcia na túto zmenu je spätné pootočenie kľúk (proti smeru dopredného otáčania), nazývaná spätný ráz pedálov a vyjadruje sa v stupňoch alebo radiánoch. Jeho hodnota je závislá na hodnote anti-squat. Vysokým hodnotám anti-squat odpovedá veľký spätný ráz pedálov [18, 24, 30, 37].

#### 3.3.1 Výpočet späťého rázu pedálov

Spätný ráz pedálov sa počíta na základe [25]. K celkovému spätnému pootočeniu pedálov pri kompresii zadnej stavby prispievajú 3 zložky:

1. Príspevok od zmeny dĺžky medzi kontaktnými bodmi na vrchu predného a zadného prevodníku:

$$\Delta B_1 = \frac{dL_2}{R_F} [\text{rad}], \quad (3.1)$$

kde  $R_F$  je polomer predného prevodníku a

$$dL_2 = L_{12} - L_{11} [\text{mm}]. \quad (3.2)$$

2. Príspevok od spätného pootočenia zadného kolesa:

$$\Delta B_2 = dA_2 \cdot \frac{N_R}{N_F} [\text{rad}], \quad (3.3)$$

kde  $N_R$  je počet zubov na zadnom a  $N_F$  na prednom prevodníku a

$$dA_2 = \frac{L_{22} - L_{21}}{R} [\text{rad}], \quad (3.4)$$

kde  $R$  je valivý polomer zadného kolesa.

3. Rotácia spôsobená odvalením reťaze od predného prevodníku a priľnutím k zadnému prevodníku pri kompresii, ak sa počet zubov na prednom a zadnom prevodníku líši:

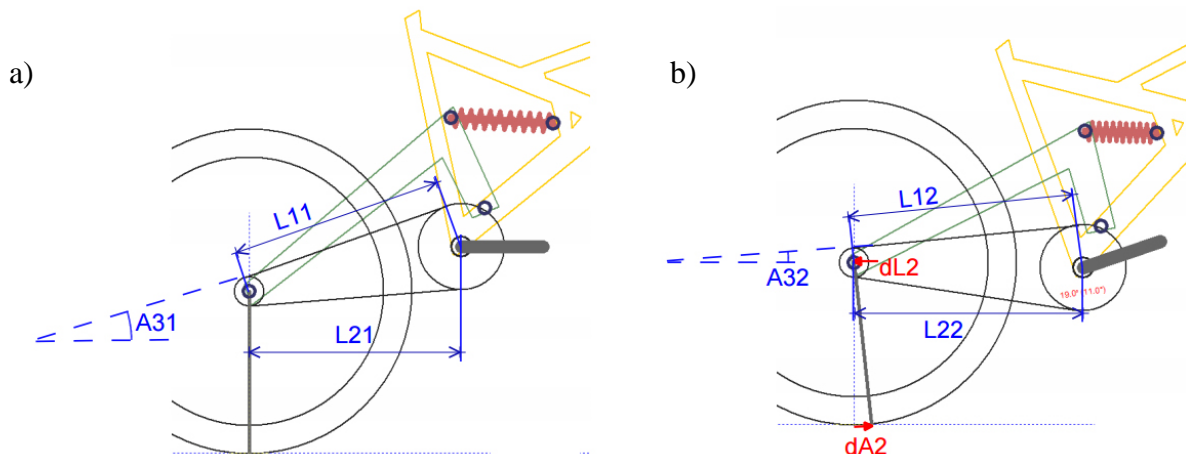
$$\Delta B_3 = (A_{32} - A_{31}) \cdot \left( \frac{N_R}{N_F} - 1 \right) \text{ [rad]}. \quad (3.5)$$

Dĺžkové a uhlové rozmery  $L_{11}$ ,  $L_{12}$ ,  $L_{21}$ ,  $L_{22}$ ,  $A_{31}$  a  $A_{32}$  použité v rovniciach (3.1 - 3.5) sú zakótované na obrázku 3.3.

Celkové spätné pootočené kľúk je potom súčet týchto troch zložiek:

$$B = \Delta B_1 + \Delta B_2 + \Delta B_3 \text{ [rad]}. \quad (3.6)$$

Zo vzťahov (3.1, 3.3 a 3.5) vyplýva, že hodnota spätného rázu pedálov je okrem prevodového pomeru závislá aj na veľkosti práve používaných prevodníkov. To znamená, že napríklad pri prevodovom pomere 1,8 (predný prevodník 32 zubov, zadný 21 zubov) bude hodnota spätného pootočeného kľúk (a teda aj hodnota anti-squat) podstatne menšia, ako pri rovnakom prevodovom pomere (1,8) dosiahnutom radením 24 zubového predného a 13 zubového zadného prevodníku. Jazdec by mal teda poznať svoj bicykel aj z pohľadu volenia správnych prevodov pre minimalizáciu spätného rázu pedálov, či maximalizácie anti-squat u podľa aktuálnej situácie v teréne [18, 37].



Obr. 3.3 – Označenie parametrov pri výpočte spätného rázu pedálov: a) počiatočný zdvih, b) konečný zdvih [25]

### 3.4 Anti-rise

Pri brzdení nastáva opačný efekt ako pri zrýchľovaní, v dôsledku zotrvačných síl by teda mala nastávať expanzia zadného odpruženia. Väčšina systémov odpruženia však pri brzdení zadnou brzdou spôsobuje jeho kompresiu. Reakcia, ktorá pôsobí proti expanzii odpruženia pri brzdení zadnou brzdou nazývame anti-rise [29].

Čím vyššia je hodnota anti-rise, tým viac je odpruženie ovplyvnené brzdením a tým výraznejšiu kompresiu brzdenie spôsobuje. Naopak, čím nižšia hodnota, tým je odpruženie na brzdení nezávislejšie. V praxi sa vysoké hodnoty anti-rise prejavujú zmenou geometrie,

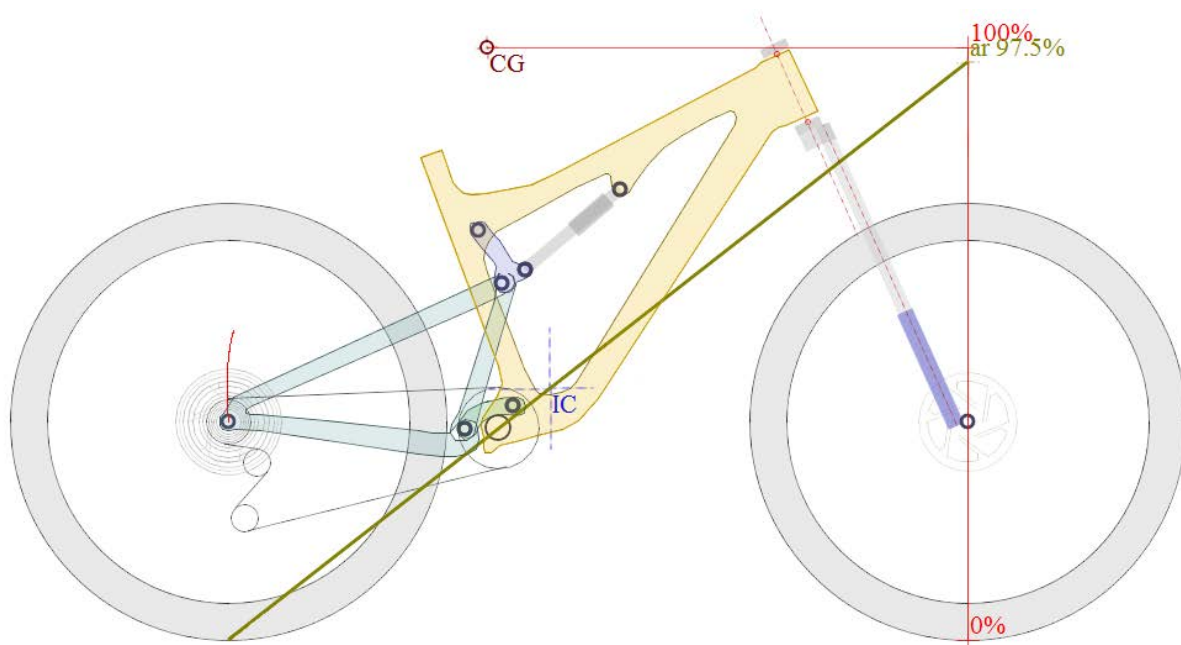
vhodnou pre strmé zjazdy, no zadné koleso pri prejazde nerovnosťami ľahšie stratí trakciu, ako v prípade bicykla s nízkymi hodnotami tejto charakteristiky [40, 46].

Pri skutočnom brzdení však dominantnú úlohu zohráva predná brzda, ktorej brzdná sila spôsobí expanziu odpruženia nerešpektujúc hodnotu anti-rise, ktorá je definovaná len pri brzdení zadnou brzdou.

### 3.4.1 Stanovenie hodnoty anti-rise

Hodnota anti-rise sa dá opäť stanoviť jednoduchou grafickou metódou, ktorá je ilustrovaná obrázkom 3.4 [29]:

1. Nájďme stred rotácie člena, ktorý nesie zadný brzdový strmeň vzhľadom k rámovému trojuholníku (IC).
2. Nakreslíme priamku od kontaktného bodu zadného kolesa so zemou cez IC a predĺžime ju až nad os predného kolesa.
3. Nakreslíme vertikálnu priamku cez os predného kolesa.
4. Označíme prienik priamok získaných v krokoch 2 a 3 a porovnáme ho z výškou ťažiska vzhľadom ku kontaktnému bodu kolesa a zeme.



Obr. 3.4 – Ilustrácia grafickej metódy určenia hodnoty anti-rise

Hodnota 0% anti-rise leží vo výške kontaktu kolesa so zemou, hodnota 100 % odpovedá výške ťažiska. Pre akúkoľvek inú výšku bodu získaného v 4. kroku sa hodnota anti-rise jednoducho dopočíta, ak poznáme polohu 0 % a 100 % [29]. Ako z tejto grafickej metódy vyplýva, táto charakteristika nie je ovplyvnená polohou ťažnej vetvy reťaze, nie je teda závislá od aktuálneho prevodu, na rozdiel od charakteristiky anti-squat.

## 4 Systémy zavesenia zadného kolesa celoodpružených bicyklov

### 4.1 Jednočapové zavesenie

Jednočapové (single pivot) zavesenie je najjednoduchšie riešenie odpruženej zadnej stavby. Predstaviteľ tejto konštrukcie je napríklad Santa Cruz Superlight na obr. 4.1. Zadná stavba je spojená jediným čapom s rámovým trojuholníkom. Tento čap je zároveň okamžitý stred rotácie zadnej stavby – je teda nehybný v celom rozsahu zdvihu zadného kolesa. Kľúčové vlastnosti sa dajú ovplyvniť jedine polohou tohto čapu. Zadná os, ako aj brzda sú súčasťou jediného ramena. Konštruktéri sú teda z hľadiska navrhovania takéhoto rámu značne obmedzení. Môžu nezávisle meniť ktorékoľvek dve charakteristiky z nasledovných troch [28]:

- Hodnota anti-squat v sag zóne,
- sklon anti-squat krivky,
- hodnota anti-rise v sag zóne.



Obr. 4.1 – Santa Cruz Superlight [48]

### 4.2 Štvorramenné zavesenie

Štvorramenné systémy zavesenia zadného kolesa je treba ďalej rozdeliť podľa umiestnenia čapu v blízkosti pätky. Poloha tohto čapu má zásadný vplyv na funkciu a vlastnosti odpruženia [21].

#### 4.2.1 Split pivot

V tomto type zavesenia je čap integrovaný priamo do osi zadného kolesa. Predstaviteľom tohto riešenia je napr. Trek ABP, zobrazený na obr. 4.2. Poloha IC zadnej osi je rovnaká, ako v single pivot systéme, teda v čape, ktorý spája zadné rameno s rámovým trojuholníkom. Možnosti upravovať charakteristiku anti-squat sú teda zhodné so single pivot riešením, rovnako aj kruhová trajektória osi [28, 21].

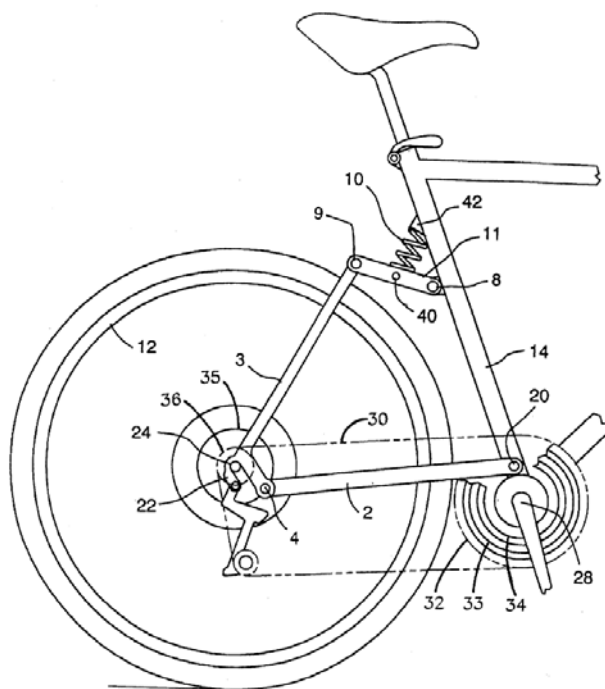
Zadná brzda je však na samostatnom ramene, ktoré je cez vahadlo spojené s rámovým trojuholníkom. IC ramena, na ktorom je zadná brzda je teda iný, ako IC zadnej osi. To dovoľuje nezávislé ladenie charakteristiky anti-rise, čo je jediný rozdiel, oproti single pivot konštrukcii. U väčšiny takýchto systémov vahadlo sprostredkováva aj prepákovanie na tlmič, no podobné prepákovanie je možné aj u bicyklov s jedným čapom [28, 46].



Obr. 4.2 – Rám bicykla Trek Top Fuel SL [53]

#### 4.2.2 Horst link

Horst Leitner si v roku 1997 dal patentovať svoju vlastnú konštrukciu zadného odpruženia, ktorá po jeho krstnom mene prebrala svoj názov – Horst link. Zadná os je súčasťou člena (3), ktorý je pripojený k sedlovej trubke rámového trojuholníku pomocou vrchného (11) a spodného (2) ramena. Pivoť na reťazovej vzpere (4) je blízko zadnej osi, ktorej trajektória je teda veľmi blízka kruhovej. To znamená že anti-squat charakteristika tohto riešenia je veľmi blízka predchádzajúcim riešeniam. Čísla v zátvorkách predstavujú čísla odkazov na obrázku 4.3 [27, 28].



Obr. 4.3 – Nákres zadného odpruženia patentovaného Horstom Leitnerom [27]

Tento návrh začala ako prvá používať firma Specialized pod vlastným názvom FSR Suspension [28]. Neskorší variant tohto návrhu, zobrazený na obr. 4.4, má ešte podtitul Rocker design. Od pôvodného návrhu sa odlišuje v mieste uchytenia tlmiču na rámový trojuholník a pohyb je naň prenášaný pomocou vahadla (rocker).



Obr. 4.4 – Specialized Stumpjumper FSR 2009 [1]

Výhoda tejto konštrukcie v porovnaní s jednočapom je možnosť ovplyvňovať anti-rise charakteristiku upravovaním dĺžky a miesta uchytenia vahadla k rámovému trojuholníku. Zmena charakteristiky anti-rise bude mať za následok veľmi malú zmenu charakteristiky anti-squat.

### 4.2.3 S krátkymi členmi

Konštrukcií tohto typu je na trhu veľké množstvo, s obchodnými názvami Virtual Pivot Point, DW-link, Giant Maestro a iné. Ich spoločným charakteristickým znakom je pevná zadná stavba, ktorá je oddelená od rámového trojuholníka dvomi krátkymi členmi. Je to vlastne Horst link s veľmi krátkym spodným ramenom. Oproti Horst-linku však ponúka výrazne lepšiu možnosť prispôbovať charakteristiky anti-squat a anti-rise. Trajektória osi zadného kolesa je vždy nekruhová. Z dôvodu relatívne krátkych členov a veľkej vzdialenosti medzi nimi, IC môže v priebehu zdvihu veľmi rýchlo zmeniť svoju polohu. Dá sa teda docieľiť náhla zmena priebehu anti-squat charakteristiky a jej prispôbenie podľa požiadaviek [28].

Niektoré rámy od výrobcu Yeti používajú technológiu Switch link, čo je obchodný názov pre ich excentrické uloženie. Rám s týmto uložením a samotné uloženie sú zobrazené na obrázku 4.5. Toto riešenie je z kinematického hľadiska rovnaké, ako člen s dvomi čapmi, ktorý by bol kratší ako priemer ložiska uloženia. Ich novšie modely sú dokonca vybavené posuvným mechanizmom, namiesto excentrického člena, čo ale z kinematického hľadiska neprináša výrazné zmeny [28].



Obr. 4.5 – Rám Yeti SB66 a jeho excentrické uloženie [2, 3]

#### 4.2.4 S čapom nad pätkou

Predstavitel' tohto štvorramenného zavesenia, zobrazený na obr. 4.6, má zadnú os aj brzdú umiestnenú na spodnom ramene, ktoré je čapom spojené s rámom, rovnako ako jednočap. Vrchné rameno, spolu s vahadlom sprostredkovávajú len prepákovanie tlmiča. Tento systém odpruženia sa správa z hľadiska charakteristík anti-squat a anti-rise rovnako ako jednočapové zavesenie [46].



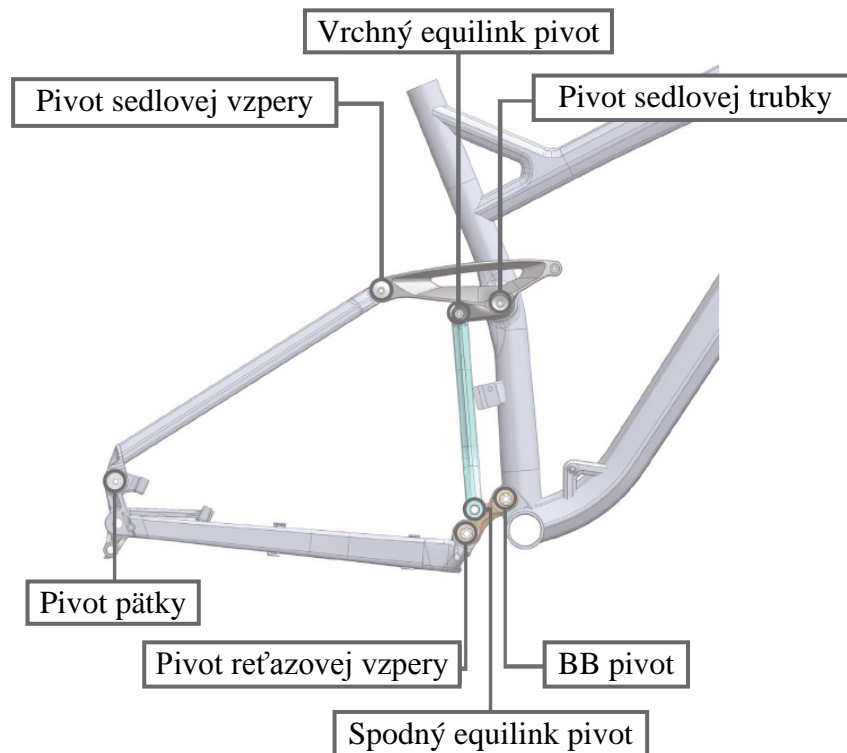
Obr. 4.6 – Merida Ninety-Nine 9. 800 [32]

#### 4.3 Šesťramenné zavesenie

So šesťramenným zavesením sa dá dosiahnuť ešte lepších charakteristík bicykla ako pri štvorramennej konštrukcii. Dôvodom je to, že s takýmto systémom môžeme dosiahnuť ešte prudšie zmeny polohy IC, a teda aj charakteristiky anti-squat. Na druhú stranu, navrhovať takýto systém od základu je oveľa náročnejšie, ako systémy spomenuté doteraz. Najst' správne vzájomné usporiadanie vysokého počtu členov (a teda aj pivotov) vyžaduje

navrhovanie s pomocou výpočtových algoritmov Navyše, zložitosť zadnej stavby sa určite prejaví na jej hmotnosti, ak uvážime vyšší počet pivotov (až 7) a množstvo potrebných ložísk a spojovacieho materiálu pre zaručenie jej správnej funkcie. Tento systém by mal byť teda uprednostnený len v prípade, ak sú pri návrhu dosiahnuté vylepšenia charakteristík, ktoré sú so štvoramenným zavesením nedosiahnuteľné. [28].

Asi najznámejším predstaviteľom konštrukcie tohto typu je systém pod obchodným menom Equilink firmy Felt. Na obrázku 4.7 je pohľad na zadnú stavbu bicykla Felt Compulsion s označenými pivotmi.



Obr. 4.7 – Zadná stavba bicykla Felt Compulsion [11]

#### 4.4 Zjednotený zadný trojuholník (URT)

Všetky doteraz spomenuté riešenia mali stredové zloženie ako súčasť pevného rámového trojuholníka. Systém *unified rear triangle* (URT), teda zjednotený rámový trojuholník ale využíva stredové zloženie namontované priamo na zadnej stavbe. Nedochádza teda k zmenám vzdialenosti medzi stredovým zložením a osou zadného kolesa, takže spätný ráz pedálov sa stáva zanedbateľný [28].

V priebehu zdvihu vzniká relatívny pohyb medzi stredovým zložením a rámovým trojuholníkom. Charakteristika anti-squat sa v tomto prípade už nedá vyčíslit' spôsobom, ktorý bol uvedený v odseku 3.2.1. V prípade, ak jazdec presunie časť svojej váhy so sedla na stredové zloženie, prenáša vlastne váhu z odpruženej časti na neodpruženú. Ak teda jazdec stojí na pedáloch a väčšinu svojej váhy nesie stredové zloženie, toto odpruženie sa stáva do veľkej miery nefunkčné [28]. Podľa mnohých reakcií na internetových diskusiách je medzi jazdcami tento systém najmenej obľúbený [34].

## 5 Materiály rámov celoodpružených bicyklov

Materiál, z ktorého je rám bicykla vyrobený, v nezanedbateľnej miere ovplyvňuje jeho jazdné vlastnosti. Najdôležitejšie charakteristiky rámu vyplývajúce z jeho konštrukcie a použitého materiálu sú tuhosť, pevnosť, životnosť, hmotnosť a v neposlednej rade korozivzdornosť a cena.

### 5.1 Oceľ

Oceľ je najstarším používaným materiálom na výrobu cyklistických rámov. V súčasnosti sú oceľové rámy väčšinou považované za menejcenné kvôli svojej vysokej hmotnosti a nájdeme ich aj na lacných bicykloch. V skutočnosti však majú stále zastúpenie v disciplínach ako freeride [39].

Kvalitnejšie oceľové rámy sú vyrábané z ocele s označením 25CrMo4 (ČSN 15 130). Dominantnými legujúcimi prvkami sú chróm mangán a molybdén. Tieto legúry prispievajú k zlepšeniu únavových a mechanických vlastností. Medza klzu ocele 25CrMo v zušľachtenom stave dosahuje až 700 MPa [39, 44].

Príkladom výrobcu špičkových oceľových rámov je firma Reynolds. Používa trubky z patentovaného materiálu 953, čo je vysokopevnostná nerezová martenzitická oceľ legovaná niklom, titánom a horčíkom. Vďaka starnutiu martenzitu dosahuje pevnosť v ťahu až 2000 MPa. Takto vysoká pevnosť umožňuje výraznú úsporu materiálu použitím trubiek s veľmi tenkou stenou (len 0,3 mm), čo sa prejaví na hmotnosti, ktorá je porovnateľná s hliníkovými rámy. Takúto oceľ však už nemožno považovať za lacný a dostupný materiál [14, 39].

Najrozšírenejším spôsobom spájania častí rámu je zváranie metódou TIG. Ide o zváranie elektrickým oblúkom pomocou netaviacej sa volfrámovej elektródy v ochrannej atmosfére inertného plynu [39].

Oceľ má výborné únavové vlastnosti, vysokú pevnosť a pružnosť. Medzi ďalšie výhody ocele ako konštrukčného materiálu pre rám je jej dostupnosť a nízke náklady pre prípadnú opravu. Nevýhodou je však vysoká merná hmotnosť. V súčasnosti oceľové rámy už na trhu nedominujú, sú vytlačané rámy z ľahších materiálov ako zliatiny hliníku, či karbón [50].

### 5.2 Hliník

Najrozšírenejším materiálom pre výrobu rámov bicyklov je momentálne hliník, resp. jeho zliatiny, keďže čistý hliník nemá požadované mechanické a technologické vlastnosti. Najčastejšie sa používajú zliatiny rady 6xxx, konkrétne EN AW-6061 T6 a rady 7xxx, konkrétne EN AW-7005 T6 a EN AW-7020 T6. Skratka T6 v označení týchto zliatin značí stav po rozpúšťacom žíhaní a umelom starnutí [39, 50].

Zliatina EN AW-6061 má dobré korózne vlastnosti, je veľmi dobre zvariteľná metódou MIG a TIG. Dominantné legujúce prvky sú horčík a kremík. Dosahuje zmluvnú medzu klzu 240 MPa a medzu pevnosti 260 MPa. Vďaka relatívne vysokej ťažnosti sa trubky z nej zhotovené dobre tvarujú metódou hydroforming. Pre obnovenie pôvodných mechanických vlastností po zvarení sa vyžaduje tepelné spracovanie [4, 39].

Zliatina EN AW-7020 má horšie korózne vlastnosti a je horšie zvariteľná ako zliatiny rady 6xxx, no dosahuje vyššie pevnostné charakteristiky, zmluvnú medzu klzu až 290 MPa a

medzu pevnosti až 350 MPa. U zliatin rady 7xxx sa nevyžaduje tepelné spracovanie po zvarení, keďže sú samovytvrdivé. Aj napriek tomu sa však zvarené rámy zvyknú tepelne ošetrovať [5, 39].

### 5.2.1 Technológie spracovania trubiek z hliníkových zliatin

Moderné rámy horských bicyklov sú málokedy len priame pozvárané trubky. Naopak, vynikajú rôznymi tvarmi, premenným prierezom a hrúbkou steny. Základné profily sú takto spracovávané za účelom zníženia hmotnosti rámu pri zachovaní jeho pevnosti, ale estetické hľadisko zohráva taktiež dôležitú úlohu [50]. Najčastejšie sú hliníkové trubky okrem ohýbania spracovávané, zoslabovaním, lisovaním a hydroformingom.



Obr. 5.1 – Rám Canyon Strive [47]

#### **Zoslabovanie**

Zoslabovanie stien rámových trubiek sa robí za účelom zníženia hmotnosti rámu. Stred trubky môže mať tenšiu stenu v porovnaní s jej koncami, z dôvodu výraznejšieho namáhania a lepšej zvariteľnosti. Podľa počtu zoslabení stien poznáme zoslabovanie dvojité, trojité, prípadne viacnásobné. Vo väčšine prípadov sa stretávame s vnútorným zoslabovaním, priemer vonkajšej steny trubky teda ostáva zachovaný.

#### **Hydroforming**

Tvarovanie trubiek klasickým lisovaním je značne obmedzené. Pri výrobe rámov sa s výhodou používa vysokotlaký hydroforming, teda tvarovanie trubiek v delenej forme pomocou kvapaliny pod vysokým tlakom. Touto technológiou sa dajú dosiahnuť zložité a premenné tvary profilov. Výsledný profil môže mať až o 50% väčší obvod v porovnaní s pôvodným. Dochádza teda k výraznému stenčeniu steny, najmä v miestach, kde je najväčšia

vzdialenosť medzi stenou formy a stenou pôvodnej trubky. Túto technológiu je možné využiť aj ako podporný proces pri ohýbaní trubiek [54].

V porovnaní s oceľovými rákami sa kvôli nižšej pevnosti hliníku využívajú trubky väčších priemerov, rámy tak pôsobia robustnejšie. S pokročilými metódami tvarovania hliníkových trubiek je možné vyrobiť pevný, tuhý a ľahký rám rôznorodých tvarov [50]. Príklad takéhoto rámu je na obrázku 5.1. Hliník je však oproti oceli náchylnejší na únavu, keďže nemá prirodzenú medzu únavy, po určitom počte záťažných cyklov dochádza vždy k porušeniu [26].

### 5.3 Karbón

Karbón je zaužívaný názov pre kompozitný materiál, skladajúci sa z uhlíkových vlákien (spevňujúca fáza) a najčastejšie epoxidovej živice (matrica). Vďaka takmer neobmedzeným možnostiam pri tvarovaní rámu a hlavne vynikajúcim mechanickým vlastnostiam si rýchlo našiel cestu aj do cyklistiky [50].

Vláknové kompozity sú charakteristické anizotropiou mechanických vlastností, sú teda závislé na smere zaťažovania. Pri výrobe rámov sa preto najčastejšie používajú tkaniny, ktoré obsahujú vlákna orientované v niekoľkých rôznych smeroch. Takáto tkanina je v surovom stave ľahko deliteľná strihaním. Na predpokladaných najviac zaťažovaných miestach rámu sa zvykne teda navrstviť viac kusov tkaniny, čím v danom mieste docielime vyššiu pevnosť a tuhosť pri zachovaní nízkej hmotnosti rámu [50].

Možnosť vyrobiť veľmi pevný a ľahký rám vyplýva z veľmi vysokého pomeru pevnosti ku mernej hmotnosti v porovnaní s ostatnými konštrukčnými materiálmi. Hodnoty pevnosti vytvrdeného kompozitu môžu dosahovať vyše 3000 MPa [51]. Únavové vlastnosti sú v porovnaní s kovmi taktiež lepšie, pretože každé vlákno pôsobí ako prekážka pri šírení prípadnej trhliny. Karbónové rámy taktiež skvelo pohlcujú vibrácie, čo najviac ocenia majitelia cestných bicyklov, či hardtailov [38, 49].

Argumentom proti karbónovým rámom je fakt, že takéto rámy sú citlivé na krehké porušenie po koncentrovanom údere [38]. Za koncentrovaný úder sa dá považovať napríklad pád, ale aj ostrý kameň odstrelený spod kolesa, čo pri jazde nie je ojedinelý jav. Niektorí výrobcovia preto začali na najviac ohrozené miesta rámu pridávať ochranné prvky, ktoré by prípadný úder pohltili [50]. Seriózni výrobcovia samozrejme ponúkajú na svoje rámy dlhoročnú záruku, v rámci ktorej takéto poškodenie (nespôsobené pádom) opravia.

Jednotlivé časti súčasných rámov sú vyrábané technikou *monococque* – z jedného kusu, prípadne vzájomným lepením väčších celkov. Princíp tohto procesu je vytváranie dutých súčastí v uzavretých formách. V priebehu formovania je vnútri súčasti nafúknutá vzdušnica, ktorá vytvaruje vnútro súčasti a zároveň pomocou tlaku pôsobiaceho na steny odstráni prebytočnú živicu a zlepší spojenie jednotlivých vrstiev tkaniny. Takáto výroba je veľmi nákladná, pretože každá časť potrebuje svoju kovovú formu, čo sa vyplatí až pri veľkých sériách. Výsledné vlastnosti takto vyrábaného rámu, plynúce z možnosti presného definovania jednotlivých vrstiev, sú však najlepšie v porovnaní so staršími metódami, ako napr. vzájomné lepenie trubiek a následné preplátovanie spojov, či spájanie trubiek spojkami [50].

## 6 Návrh vlastného rámu

### 6.1 Požiadavky

Jedným z cieľov tejto práce je navrhnuť rám celoodpruženého horského bicykla. Keďže tento cieľ je veľmi všeobecný, v tejto kapitole budú špecifikované ďalšie požiadavky, ktoré by mal výsledný návrh spĺňať.

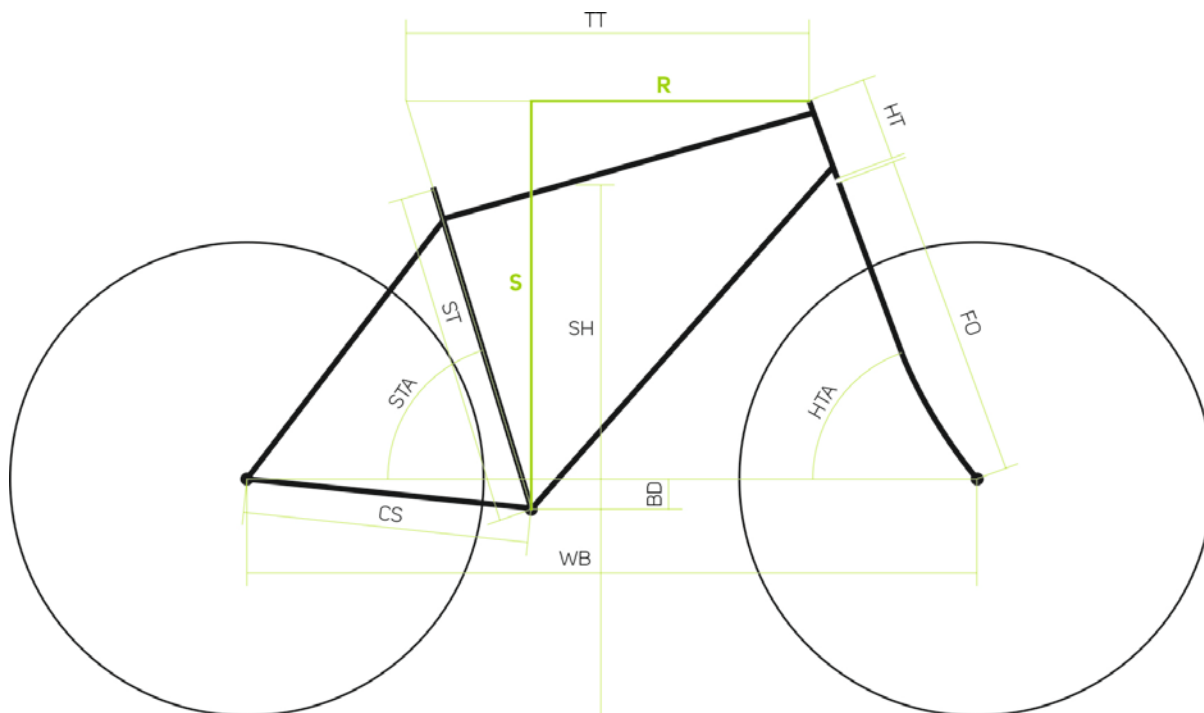
#### 6.1.1 Geometria

Základná geometria bicykla je predurčená najmä jeho kategóriou a rozmermi jazdca, pre ktorého má byť bicykel určený. Výrobcovia produkujú vždy niekoľko veľkostí z každého modelu, aby pokryli požiadavky väčšiny jazdcov. Jednotlivé veľkosti modelu sa väčšinou líšia len dĺžkovými rozmermi, uhlové rozmery sa zachovávajú.

Pre účel tejto práce bude navrhovaný rám bicykla kategórie trail s veľkosťou kolies 27,5", pre 180 cm vysokého jazdca, čo odpovedá katalógovej veľkosti L väčšiny výrobcov. Je však nutné poznamenať, že základné rozmery uvedené v tab. 6.1 a zakótované na obrázku 6.1 sú len orientačné. Výsledné rozmery by boli získané až po finálnom návrhu kinematiky a osadení rámu konkrétnymi komponentmi (hlavové zloženie, vidlica, plášte kolies, ...).

Tab. 6.1 – Základné rozmery navrhovaného rámu

TT	ST	HT	HTA	STA	CS	BB	FO	SH	S	R	WB
[mm]	[mm]	[mm]	[°]	[°]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
625	480	135	68	73	435	14	535	845	630	430	1155



Obr. 6.1 – Požadovaná geometria [32]

## 6.1.2 Charakteristiky rámu

### *Anti-squat*

Základnou požiadavkou, ktorú by mal vlastný návrh spĺňať, je vysoká efektivita prenosu energie jazdca na pohyb bicykla vpred. Tá sa dá dosiahnuť hodnotou anti-squat charakteristiky, v rozsahu 90% až 140%. Nie je však potrebné, aby takéto hodnoty boli dosiahnuté v priebehu celého zdvihu, ale hlavne v rozsahu zdvihov, kde sa predpokladá intenzívne šliapanie do pedálov – v sag zóne.

### *Spätný ráz pedálov*

Ako už bolo spomínané v kapitole 2.3, s vysokými hodnotami anti-squat, prichádza aj veľký spätný ráz pedálov. V situácii, ako je napríklad pomalé stúpanie do strmého kopca sa nepovažuje za neželaný. Naopak, pri rýchlej jazde trailom, v úseku kde treba aj intenzívne pedálovať, je pre jazdca spätný ráz pedálov neprijemný a našou snahou ho bude minimalizovať.

### *Anti-rise*

Názory na ideálnu hodnotu anti-rise sa líšia. Väčšina typov konštrukcie neumožňuje nezávisle ladiť túto charakteristiku. Navyše, je definovaná pri brzdení len zadnou brzdou, čo nezodpovedá reálnej situácii v horských podmienkach, kde sa zvykne intenzívne brzdiť oboma brzdami. Za rozhodujúce budeme považovať teda predchádzajúce charakteristiky, ktorých odladením získame výslednú charakteristiku anti-rise.

## 6.1.3 Typ konštrukcie a materiál

Po preskúmaní a analyzovaní mnohých typov existujúcich konštrukcií, bola pre vlastný návrh vybraná konštrukcia štvoramenného zavesenia s krátkymi spojovacími členmi. Voľbou tejto konštrukcie je očakávaná vysoká efektivita pedálovania v sag zóne, pri zachovaní minimálneho spätného rázu pedálov.

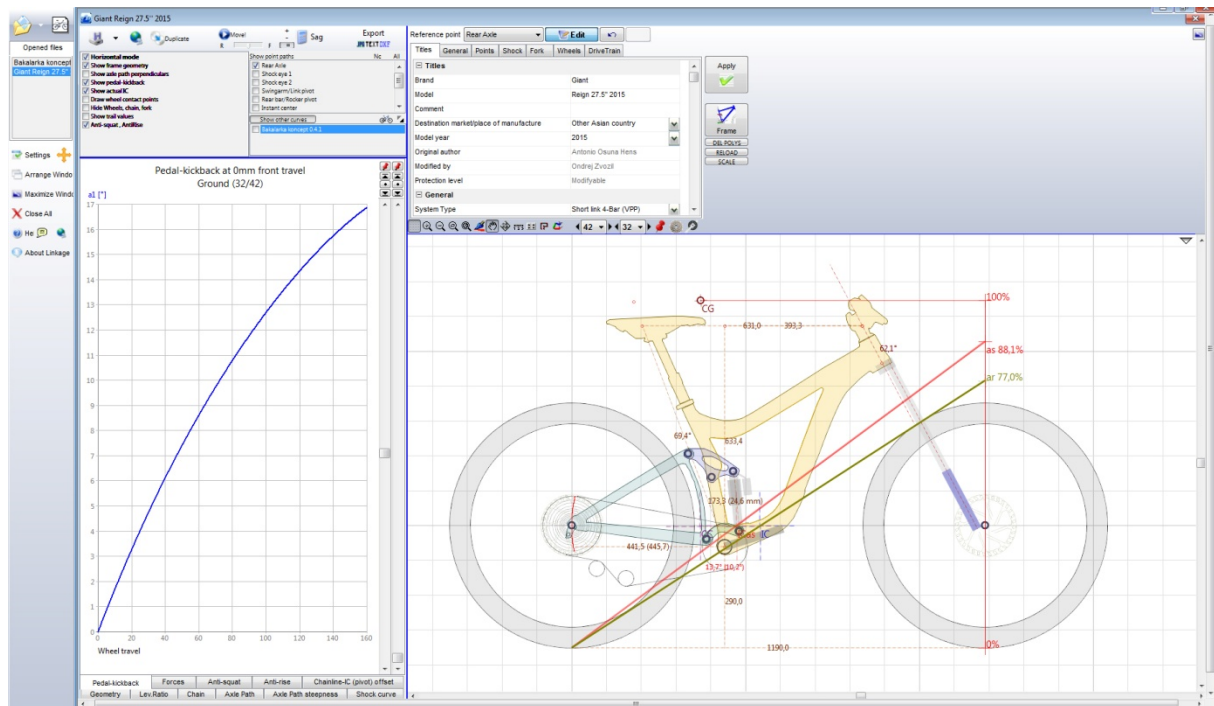
Ako konštrukčný materiál bola zvolená zliatina hliníku AW 7005, čo býva štandard mnohých súčasných hliníkových rámov. Jednotlivé časti rámu by boli zvárané. Púšťať sa do navrhovania rámu z karbónového kompozitu by bolo nad rámec tejto práce. Aj prípadné napäťovo-deformačné výpočty by boli podstatne náročnejšie a musel by byť známy presný výrobný postup. Karbónovým rámom napríklad od firmy Felt zvyknú predchádzať hliníkové prototypy. Až po doladení hliníkového rámu do finálnej podoby začína vývoj karbónového rámu [15].

## 6.2 Kinematická štruktúra

Návrh kinematiky rámu a taktiež všetky charakteristiky s ňou spojené sú riešené v programe Linkage X3. Tento softvér je priamo určený pre dizajnérov celoodpružených horských bicyklov. Jeho súčasťou je aj rozsiahla databáza kinematických modelov bicyklov svetových výrobcov, ale aj prototypov zhotovených užívateľmi.

Na začiatku každého návrhu však treba zvoliť jedno z mnohých konštrukčných riešení prenosu pohybu zadnej stavby na tlmič obsiahnutých v tomto programe, definovať základnú geometriu, veľkosť kolies a požadované zdvihy zadnej stavby a vidlice. Zvolené riešenie sa dá následne upravovať, napríklad posúvaním jednotlivých pivotov, či prispôbovaním

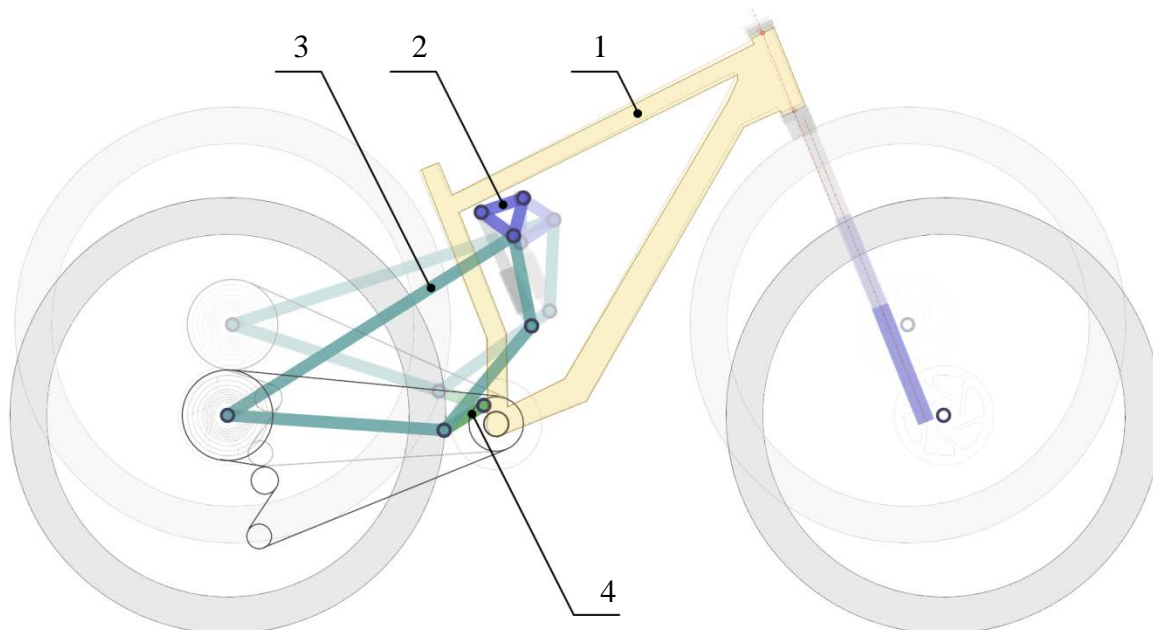
geometrie. Tento program v reálnom čase vykresľuje charakteristiky anti-squat, anti-rise, spätný ráz pedálov, ďalej krivku kompresie, pomer pohybu a pomer prepákovania, priebeh sily pôsobiacej na zadné koleso v závislosti od zdvihu a iné. Súčasťou sú taktiež predné a zadné prevodníky, voľbou ktorých sa niektoré z charakteristík menia. Zakúpená osobná licencia bohužiaľ neumožňuje export dát charakteristík, ale len grafov vo forme obrázkov. Ukážka pracovného prostredia programu Linkage X3 je na obrázku 6.2.



Obr. 6.2 – Pracovné prostredie programu Linkage X3

Pri vlastnom návrhu bolo potrebné rešpektovať požadovanú geometriu. Hoci cieľom tejto práce nie je výroba funkčného prototypu, bolo potrebné vyhnúť sa konštrukčne nezmyselným návrhom a tak už pri návrhu kinematickej štruktúry, bolo potrebné myslieť dopredu na realnosť riešenia z pohľadu prípadnej výroby.

Prvotný návrh, z ktorého sa vychádzalo je na obrázku 6.3, pri nulovom a maximálnom zdvihu predného a zadného odpruženia. Hlavnou myšlienkou tohto návrhu je spôsob prepákovania pohybu zadnej stavby na tlmič. Tento návrh síce spadá do konštrukcie typu Virtual Pivot Point, no jeho prevedenie, konkrétne pohyb vahadla, je netradičné. Vahadlo (2) má spoločný pivot s rámovým trojuholníkom (1) a so zadnou stavbou (3). V priebehu zdvihu rotuje v opačnom zmysle, ako zadná stavba, a stláča tlmič. Zadná stavba je s rámovým trojuholníkom spojená kyvkou (4). Tlmič je hore uchytený na vahadlo a dole na zadnú stavbu. S takýmto riešením je možné dosiahnuť anti-squat charakteristiku s požadovanými vysokými hodnotami v úzkej zóne zdvihu, v ktorej sa predpokladá pedálovanie a súčasne vysokú progresivitu odpruženia.



Obr. 6.3 – Prvotný návrh kinematiky

Nedostatkom tohto návrhu však boli vysoké hodnoty spätného rázu pedálov pri menšom prednom prevodníku, ktorý pri najľahšom prevode dosahoval až  $27^\circ$  a smerom k ťažším prevodom sa znižoval k  $14^\circ$ . Pri radení väčšieho predného prevodníka boli hodnoty spätného rázu pedálov dostatočne nízke.

Nie je však možné nezávisle meniť charakteristiku spätného rázu pedálov. Táto zmena sa vždy prejaví aj na charakteristike anti-squat, prípadne na pomere prepákovania. Jedným z riešení, ako výrazne znížiť spätný ráz pedálov, pri zachovaní vysokých hodnôt anti-squat charakteristiky je upevnenie reťazového kolieska k rámovému trojuholníku, po ktorom by sa odvalovala ťažná vetva reťaze. Inšpiráciou k takémuto riešeniu je existujúci prototyp *i-track* [43]. V priebehu zdvihu prítomnosť kladky minimalizuje predlžovanie ťažnej vetvy reťaze, čo je jedna z hlavných zložiek spätného rázu pedálov. Toto riešenie je však obmedzené na použitie len jedného predného prevodníka. V súčasnosti sú však pohony  $1 \times 10$  a  $1 \times 11$  stále populárnejšie<sup>1</sup>.

Po umiestnení tohto reťazového kolieska na rám sa však zásadne zmenila väčšina charakteristík. Bolo teda potrebné odznovu hľadať vzájomnú polohu jednotlivých pivotov k dosiahnutiu požadovaných priebehov charakteristík. Pivoty vahadla boli ladené pre kompatibilitu s tlmičom o rozmeroch  $200 \times 57,1$  mm, čo je bežný rozmer v rámoch pre bicykle kategórie trail. S využitím malého reťazového kolieska a postupným ladením jednotlivých pivotov bola nakoniec dosiahnutá finálna podoba kinematiky rámu. Tá je zobrazená v prílohe A (obrázok A.1)<sup>2</sup>, so zakótovanou polohou jednotlivých pivotov vzhľadom k stredovému zloženiu. Červená krivka znázorňuje trajektóriu osi zadného kolesa v priebehu zdvihu. Súčasťou prílohy A je aj „rozpočítaný“ návrh (obrázok A.2).

<sup>1</sup> Frima SRAM v marci tohto roku uviedla ako prvá dokonca pohon  $1 \times 12$ .

<sup>2</sup> Kyvka (pozícia 4 na obr. 5.2) je zakrytá líniou rámového trojuholníka.

### 6.3 CAD model

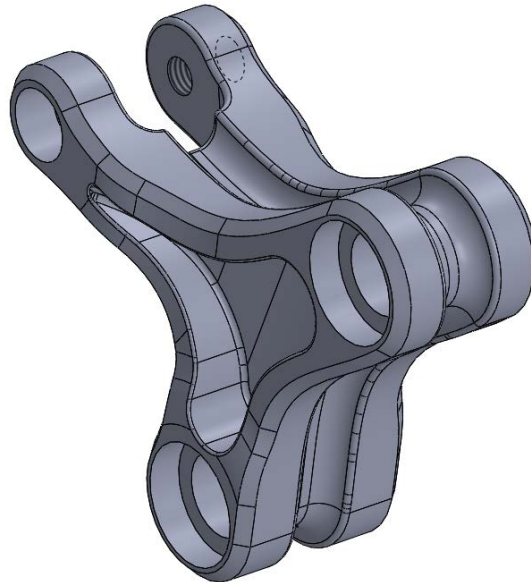
Po vytvorení kinematického modelu, bolo treba vytvoriť 3D model pre účely vizualizácie. V tejto fáze bol vytváraný základný model, teda so značnými zjednodušeniami, ktorý by nebol dostatočný pre prípadné simulácie zaťaženia metódou MKP. Základom pre vytvorenie 3D modelu rámu bola jeho 2D kresba vyexportovaná z programu Linkage X3 vo formáte dxf. Tento súbor obsahoval všetky časti bicykla, tak ako bol zobrazený v spomínanom programe. Na základe tohto náčrtu bol v programe SolidWorks zhotovený 3D náčrt, ktorý obsahoval polohu osí kolies, stredového zloženia a všetkých pivotov. Nasledovalo vytváranie samotných častí konštrukcie: rámového trojuholníka, vahadla, zadnej stavby a krátkej kyvky, ktorá spája rámový trojuholník so zadnou stavbou v spodnej časti rámu.

Pre jednoduchosť bol rámový trojuholník navrhovaný z kruhových trubiek konštantného prierezu. Vplyvy tvárnenia, či zoslabovanie trubiek neboli uvažované. Základný model rámového trojuholníka je na obrázku 6.4. Pri modelovaní hlavovej trubky bolo uvažované integrované hlavové zloženie so štandardizovaným označením IS42/28.6 | IS52/40. Trubka pre stredové zloženie Shimano Press Fit BB94 má vnútorný priemer 41 mm a dĺžku 91,5 mm. Sedlová trubka má štandardizovaný priemer 34,8mm, horná rámová trubka má priemer 31,8 mm, dolná 44 mm a všetky tri majú hrúbku steny 1,5 mm. Sedlová trubka je ešte opatrená úchytom pre ložiská kyvky, ktorá bude spájať rámový trojuholník so zadnou stavbou, a úchytom kladky pre ťažnú vetvu reťaze. Zo spodnej strany hornej rámovej trubky je úchyt pre vahadlo.



Obr. 6.4 – Základný model rámového trojuholníka

Vahadlo bolo navrhnuté z 1 kusu materiálu a jeho základný model je na obrázku 6.5. Obsahuje diery a osadenia, v ktorých budú nalisované 2 páry ložísk<sup>3</sup>. Jeden pár bude prenášať zaťaženie zo zadnej stavby do vahadla a 2. pár bude toto zaťaženie prenášať do rámového trojuholníka. Do vahadla je taktiež prenášané zaťaženie z tlmiča, ten však obsahuje klzné puzdrá už od výroby, spojenie bude teda realizované len skrutkou.



Obr. 6.5 – Základný model vahadla

Zadná stavba, podobne ako rámový trojuholník, bola pre jednoduchosť navrhnutá z kruhových trubiek konštantného prierezu, konkrétne priemer 20 mm s 1,5mm stenou. Vrchné a spodné trubky (reťazové a sedlové vzpery) sú privarené k pätkám. Šírka zadnej stavby je navrhnutá pre kompatibilitu so zadnou osu QR-142/12 mm. Na koncoch vrchných trubiek sú privarené úchyty pre spojovaciu skrutku, ktorá bude spájať zadnú stavbu s vahadlom. Medzi vrchnými trubkami, pri zadnom kolese je premostenie. Pre zaistenie dostatočnej tuhosti sú medzi vrchnými a spodnými trubkami zadnej stavby pridané vzpery.

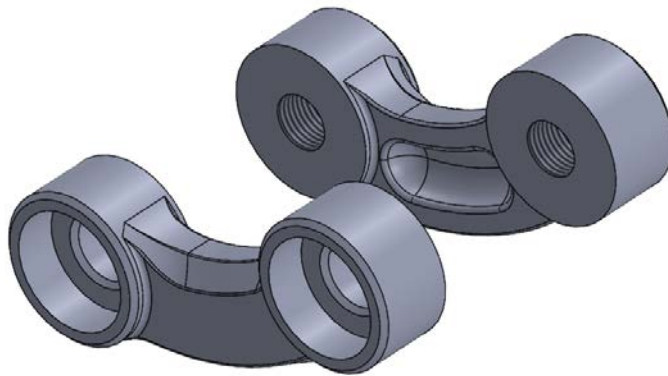
Ostávalo už len vymyslieť uchytenie spodného oka tlmiča k zadnej stavbe. Najjednoduchšou, no nie príliš estetickou možnosťou by bolo k vrchnej trubke zadnej stavby privariť plechové rameno s odľahčovacími otvormi. Toto rameno by bolo v priebehu celého zdvihu dominantne namáhané na ťah. Alternatívou by bolo priviesť k tlmiču trubky, ktoré by boli k dolnej časti privarené podobne ako spomínané vzpery. V tomto prípade by však aj tak bolo potrebné prepojiť vrchnú časť so spodnou pre zaistenie dostatočnej tuhosti. Pre svoju jednoduchosť bolo nakoniec zvolené prvé spomínané riešenie, ktoré je na obrázku 6.6.

---

<sup>3</sup> Voľbou konkrétnych ložísk a osadení pre ne potrebné vo všetkých súčiastiach rámu sa budeme zaoberať až po statickej analýze rámu (článok 6.2). Pre názornosť modelu sú však zatiaľ uvažované guľôčkové ložiská rozmerov používaných na bicykli Felt Compulsion.



Obr. 6.6 – Základný model zadnej stavby



Obr. 6.7 – Model pravej a ľavej kyvky

Poslednou súčasťou potrebnou pre dokončenie modelu rámu bola kyvka (obr. 6.7), spájajúca zadnú stavbu s rámovým trojuholníkom. Tento člen môže byť buď z jedného kusu, alebo delený, pre každú stranu samostatný. Pre jednoduchosť a úsporu hmotnosti bol vymodelovaný tento člen z 2 samostatných symetrických kusov. V pravom kuse sú diery so zahĺbením pre hlavy skrutiek, v ľavom sú diery so závitom. Z vnútornej strany každého z nich je ešte odľahčovacie vybranie.

Zostavený rám je na obrázku 6.8. Pre úplnosť boli do zostavy pridané skrutky a model tlmiču Fox Float CTD, voľne dostupný z [45]. Autorom modelu tlmiča je Nicolas Sanhueza.



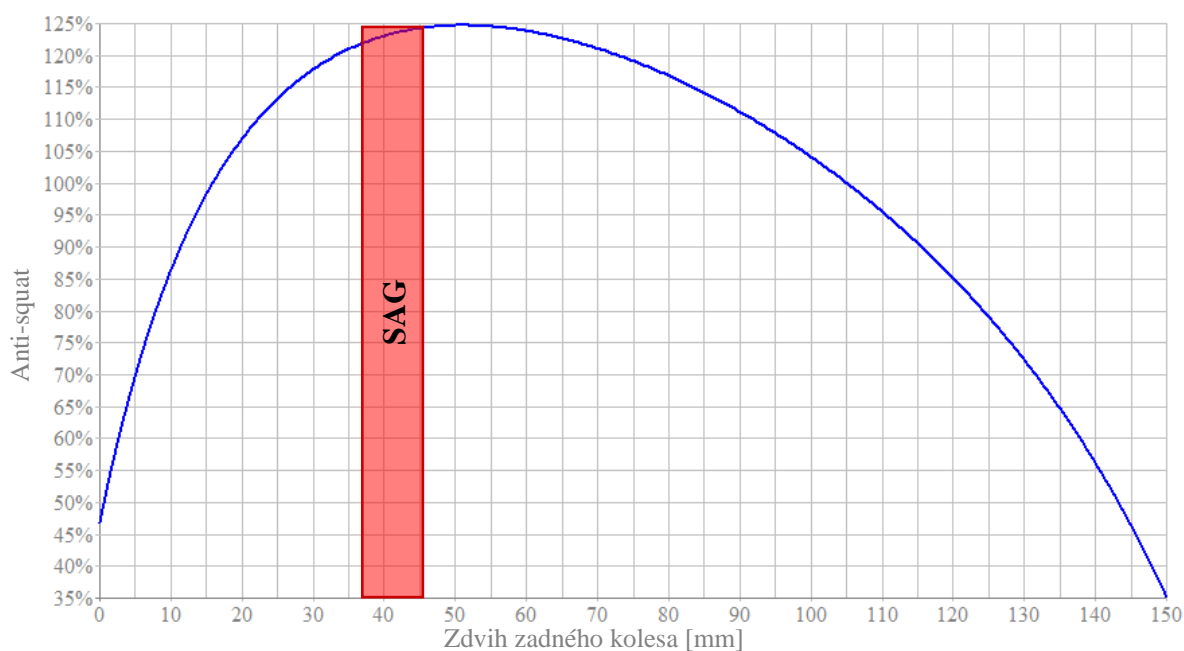
Obr. 6.8 – Zostavený rám

## 7 Analýza výsledného návrhu

### 7.1 Charakteristiky rámu

#### 7.1.1 Anti-squat

Výsledná charakteristika anti-squat pre prevod 32/18 je na obrázku 7.1. Pri zadnom zdvihu 50 mm, čo je 33 % celkového zdvihu, dosahuje svoje maximum, približne 125 %. Toto je takmer ideálny stav, keďže, ako už bolo spomenuté, práve rozsah 25 až 30 % zdvihu sa považuje za sag zónu. Svoje minimum, cca 35%, dosahuje pri maximálnom zdvihu. V tabuľke 7.1 sú vypísané hodnoty anti-squat (zaokrúhlené na celé percentá) pre jednotlivé prevody pri 30 % celkového zdvihu (45 mm).



Obr. 7.1 – Anti squat charakteristika pre prevod 32/18

Tab. 7.1 – Hodnoty anti-squat charakteristiky pri zdvihu 45 mm podľa prevodov

Zadný prevodník [počet zubov]	10	12	14	16	18	21	24	28	32	36	42
Anti-squat [%]	141	135	130	127	124	121	119	116	115	114	112

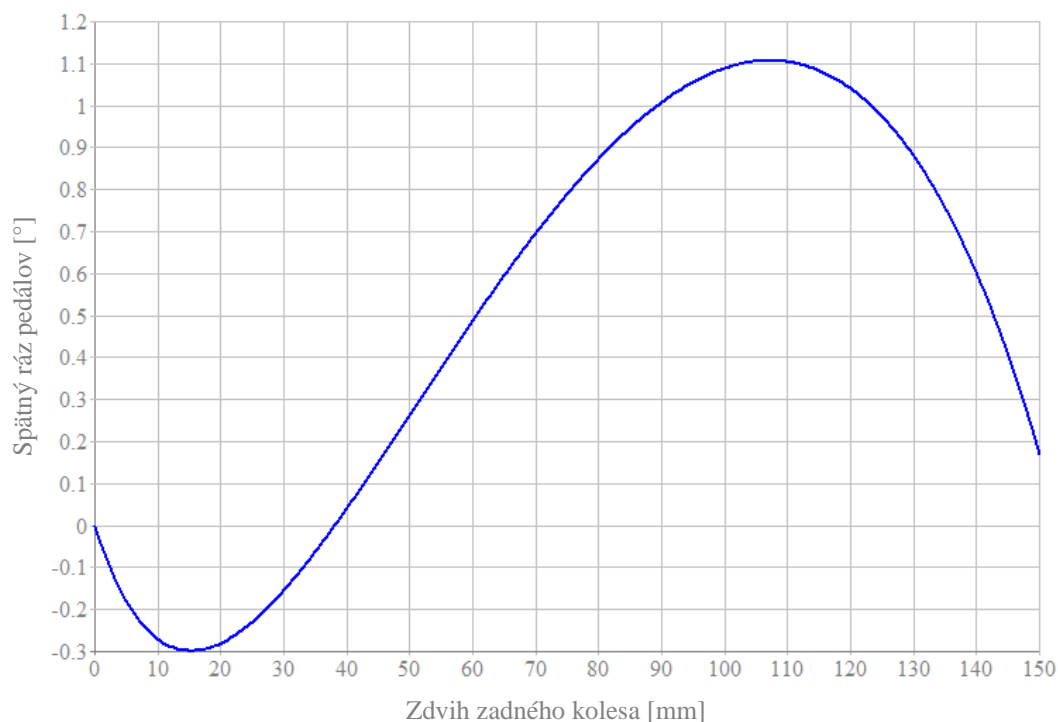
Anti-squat charakteristiky pre ostatné prevody<sup>4</sup> sú zobrazené v prílohe B. Charakteristiky pre všetky prevody strmo rastú, v blízkosti sag zóny dochádza k ich zvratu a do konca zdvihu klesajú. Môžeme pozorovať, že smerom od ľahšieho prevodu k ťažšiemu sa prehĺbuje rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hodnotou. Takéto charakteristiky sú výhodné, pretože kombinujú vysokú efektivitu pedálovania s nízkymi hodnotami spätného rázu pedálov.

<sup>4</sup> Zadné prevodníky s počtom zubov 10, 12, 14, 16, 18, 21, 24, 28, 32, 36 a 42 odpovedajú kazete SRAM XG-1199 XX1. Všetky výsledné anti-squat a anti-rise charakteristiky platia pre výšku ťažiska 1150 mm nad zemou, ktorá bola stanovená po odporúčaní Andrého Santosa, portugalského jazdca, ktorý sa venuje kinematickým analýzám celoodpružených bicyklov.

V prílohe C sú porovnané anti-squat charakteristiky pri najťažšom (32/10) a najľahšom (32/42) prevode s bicyklami Yeti SB6C 27,5" 2015 a Specialized Stumpjumper FSR Comp 650b 2016. Tieto bicykle majú zhodný predný a zadný zdvih ako náš návrh (150 mm), rovnaký rozmer kolies (27,5") a podobnú geometriu. Zástupca od firmy Specialized má lineárny priebeh charakteristiky, čo je typické pre štvoramenné zavesenie. S takýmto priebehom sa dá dosiahnuť vysoká efektívnosť pedálovania, za cenu vyšších hodnôt spätného rázu pedálov, keďže priemerná hodnota anti-squat v rozsahu zdvihu je pomerne vysoká. Bicykel Yeti má priebeh charakteristiky podobný, ako náš návrh, čo zodpovedá rovnakej použitej konštrukcii (Virtual Pivot Point). Je však vidieť, že jeho charakteristika klesá strmšie, takmer k hodnote mínus 90 % pri 150 mm zdvihu. Takéto nízke hodnoty sú však až v poslednej fáze zdvihu, kde sa nepredpokladá pedálovanie, čím si tento bicykel zaistí nízku hodnotu spätného rázu pedálov. V počiatočnej fáze zdvihu je jeho charakteristika vzhľadom k našej plochá, čo v tu zaistí vyššiu efektívnosť pedálovania.

### 7.1.2 Spätný ráz pedálov

Najsilnejšou stránkou tohto návrhu je charakteristika spätného rázu pedálov. Tá je pre prevod 32/18 zobrazená na obrázku 7.2 a pre ostatné prevody v prílohe D. Maximálna hodnota dosahuje 18° pri najľahšom prevode (32/42). Pre prevod 32/16 je už spätný ráz pedálov zanedbateľný. Od tohto prevodu, smerom k ťažším prevodom sú už hodnoty v celom rozsahu zdvihu záporné. To znamená, že pri jazde by jazdec necítil žiadny spätný ráz, vzniknuté skrátenie dĺžky ťažnej vetvy reťaze by vykompenzovalo rameno zadného prehadzovača. Takéto výsledky boli dosiahnuté vďaka prídavnému reťazovému koliesku umiestnenom na rámovom trojuholníku, po ktorom sa odvaluje ťažná vetva reťaze.



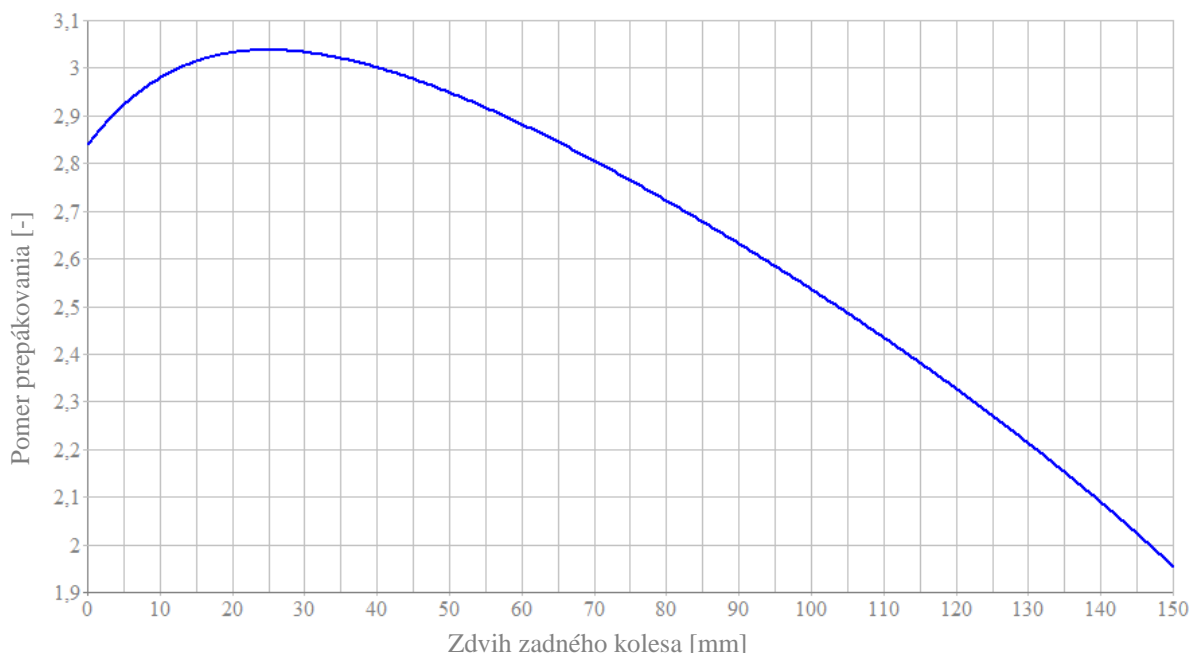
Obr. 7.2 – Charakteristika spätného rázu pedálov pre prevod 32/18

V prílohe E je porovnanie spätného rázu pedálov pre rovnaké bicykle, ako v prípade porovnania anti-squat charakteristík. Z grafov je zrejmé, že pri najťažšom prevode jasne dominuje náš návrh. Bicykle, s ktorými je návrh porovnávaný majú konvenčný pohon, neobsahujú teda prídavné reťazové koliesko. Preto aj pri najťažšom prevode, keď je očakávaný najmenší spätný ráz pedálov, dosahujú kladné hodnoty tejto charakteristiky.

### 7.1.3 Pomer prepákovania

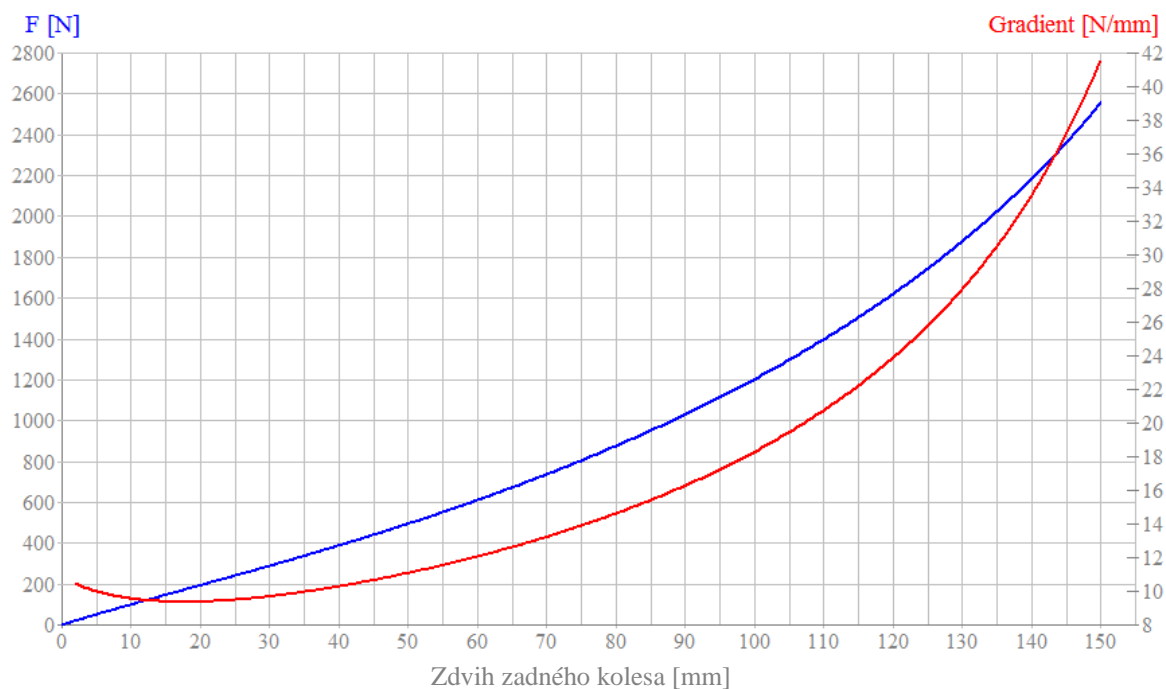
Nemenej dôležitou výslednou charakteristikou je pomer prepákovania, resp. jej prevrátená hodnota, pomer pohybu. Tieto 2 charakteristiky vypovedajú o progresivite kinematického návrhu. Pomer prepákovania v závislosti od zdvihu zadného kolesa je na obrázku 7.3. Rozdiel maximálnej a minimálnej hodnoty na grafe je cca 1,1, čo radí tento návrh medzi veľmi progresívne bicykle.

Progresivitu odpruženia možno vidieť na obrázku 7.4. Modrá krivka ukazuje závislosť vertikálnej sily (pôsojacej na zadné koleso) na zdvihu zadného kolesa<sup>5</sup>. Červená krivka je jej deriváciou a zodpovedá ekvivalentnej tuhosti. Z tejto závislosti je zrejmé, že na stlačenie odpruženia o 150 mm (čo odpovedá 57,1 mm stlačenia tlmíča) je potrebná sila cca 2560 N. Taktiež je vidieť, že progresivita sa začína výraznejšie prejavovať až od zhruba 110 mm zadného zdvihu. To znamená, že odpruženie bude vo väčšine rozsahu relatívne citlivé na nerovnosti, no v poslednej fáze zdvihu výrazne „stuhne“, čo eliminuje časté dosiahnutie dorazu tlmíča. Bicykel s takto progresívnym odpružením je teda vhodný najmä pre náročnejšie zjazdy so skokmi. Takáto progresivita však nemusí vyhovovať každému jazdcovi, Pri rovnakých parametroch tlmíča na menej náročnej trati teda nebude využitý celý rozsah zdvihu. Použitím vzduchového tlmíča bude odpruženie ešte progresívnejšie.



Obr. 7.3 – Pomer prepákovania v závislosti od zdvihu zadného kolesa

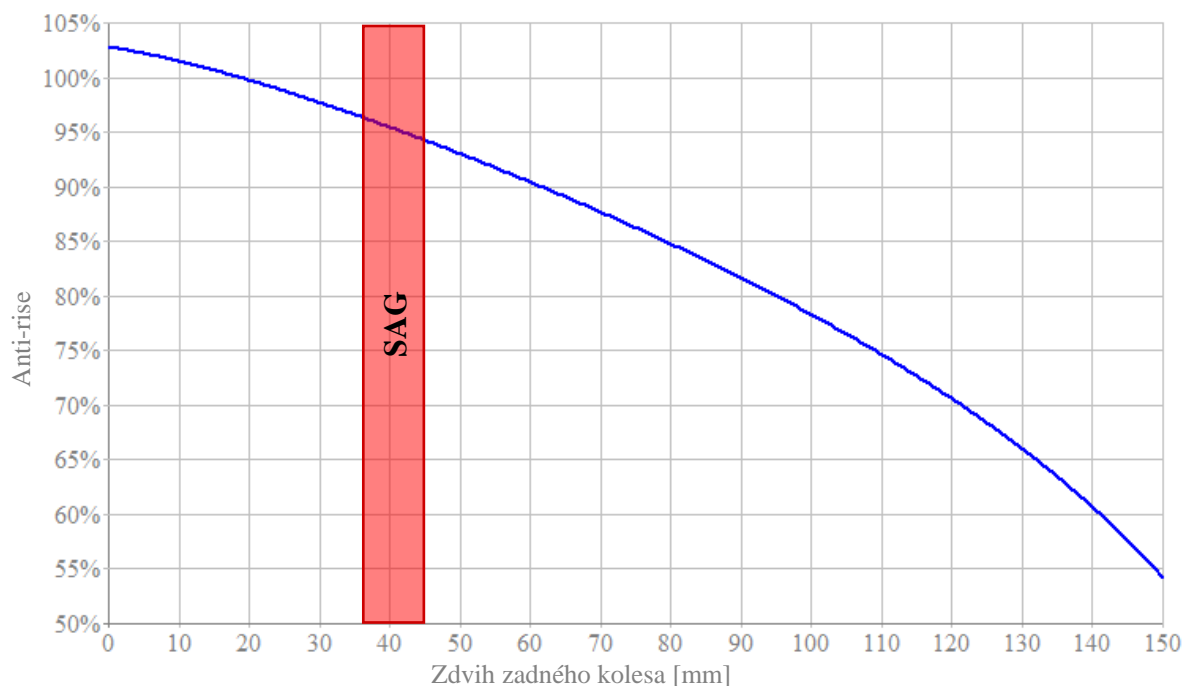
<sup>5</sup> Platí pre tlmíč s vinutou pružinou o konštantnej tuhosti 87,57 N/mm (500 lbs/inch)



Obr. 7.4 – Závislosť sily pôsobiacej na zadné koleso na zdvihu (modrá) a jej derivácia (červená)

#### 7.1.4 Anti-rise

Výsledná charakteristika anti-rise je na obrázku 7.5. Priemerná hodnota v sag zóne je zhruba 95%. Brzdzenie zadnou brzdou bude teda značne ovplyvňovať odpruženie. Bude dochádzať k jeho kompresii, výsledná geometria bude teda vhodná pre strmšie zjazdy.



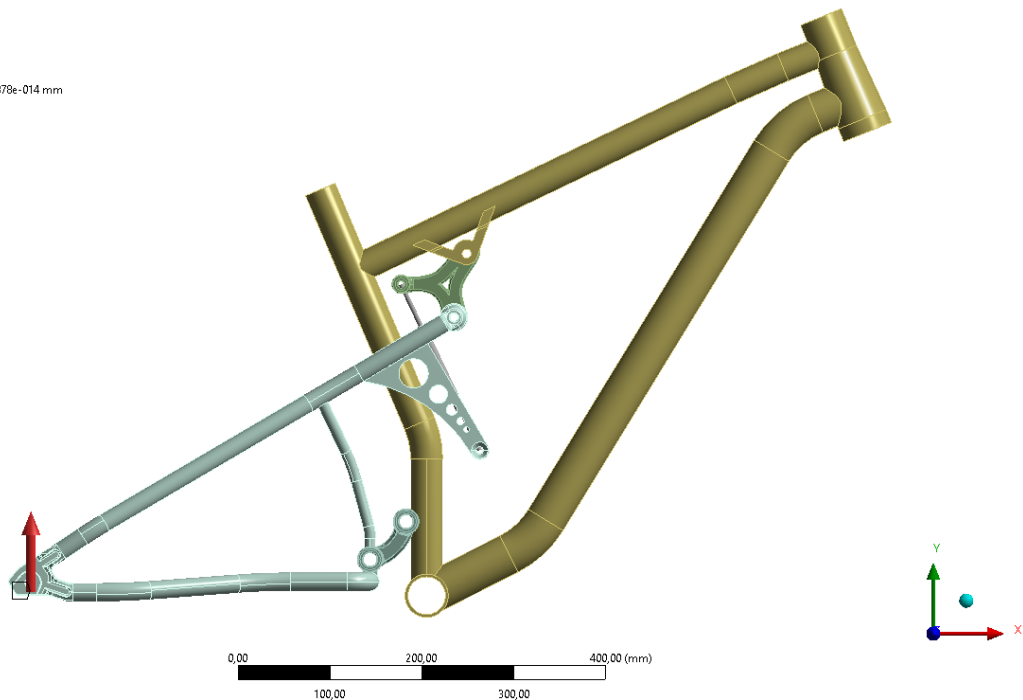
Obr. 7.5 – Výsledná charakteristika anti-rise

## 7.2 Analýza zaťaženia vo väzbách

Za účelom výberu vhodných ložísk pre jednotlivé pivoty rámu bola realizovaná analýza zaťaženia vo väzbách s tuhými telesami. Očakávaný výsledok tejto analýzy bolo zistenie reakčných síl v jednotlivých väzbách. Táto analýza bola vykonaná v programe Ansys Workbench, v systéme Rigid Dynamics.

A: Bike\_static\_pruzina  
Remote Force  
Time: 1, s  
20.4.2016 22:30

Remote Force: 2585, N  
Components: 0,2585,,0, N  
Location: -431,12, 4,3711, 1,3878e-014 mm



Obr. 7.6 – Model rámu v prostredí systému Rigid Dynamics

Zostava rámu vytvorená v odseku 6.3 bola vyexportovaná (bez spojovacieho materiálu a tlmiča) do formátu .stp a následne importovaná ako geometria do Ansysu. Rámový trojuholník bol zaväzbený k základnému telesu pomocou cylindrických väzieb v mieste stredového a hlavového zloženia. Jednotlivé časti rámu boli medzi sebou pospájané rotačnými väzbami. Medzi vahadlo a rameno zadnej stavby sa vložil tlmič s tuhosťou 85,57 N/mm a tlmením 1,85 N.s/mm. Do dier pre zadnú os bola aplikovaná sila v smere osi Y veľkosti 2586 N, ktorá vyvolá max. stlačenie pružiny 57,1 mm. Veľkosť tejto sily narastala lineárne od 0 do maxima v priebehu 1 sekundy. V čase 1 sekunda boli odčítané výsledky, ktoré sú uvedené v tabuľke 7.2. Na obr. 7.6 je zobrazený model rámu s aplikovanou silou v mieste zadnej osi a smery globálneho súradného systému.

Tab. 7.2 – Sily v jednotlivých pivotoch

Pivot	$F_x$ [N]	$F_y$ [N]	$F_z$ [N]	$F$ [N]
Kyvka – zadná stavba	-4174,2	865,3	0	4263
Kyvka – rám	4250,1	330,63	0	4263
Vahadlo – zadná stavba	-2711,6	6022,2	0	6604,6
Vahadlo – rám	-4250,1	-2255,5	0	4811,5

Z výsledkov analýzy vyplýva, že najviac zaťažovaný pivot bude ten, čo spája zadnú stavbu s vahadlom. Nasleduje pivot spájajúci vahadlo s rámom a rovnako zaťažované budú pivoty kyvky. Ak v každom z týchto miest predpokladáme prítomnosť 2 rovnakých ložísk, každé z nich bude niesť polovicu zo zisteného zaťaženia. Takéto zaťaženie by však nastalo len pri využití plného zdvihu zadnej stavby, resp. tlmiča. Bude teda uvažované ako maximálne prípustné zaťaženie<sup>6</sup>.

### 7.2.1 Výber vhodných ložísk

Ložiská pivotov rámu bicykla vykonávajú len kývavý pohyb o určitý uhol. Základným kritériom pre výber vhodných ložísk je teda ich základná statická únosnosť, väčšinou označovaná  $C_0$ , udávaná v kN. Tá je pri guľôčkových ložiskách spravidla násobne nižšia, ako základná dynamická únosnosť, označovaná  $C$ . Pre zistenie potrebnej základnej statickej únosnosti výrobcu SKF udáva nasledujúci vzťah [41]:

$$C_0 = s_0 \cdot P_0, \quad (6.1)$$

kde  $s_0$  je súčiniteľ statickej bezpečnosti a  $P_0$  je ekvivalentné statické zaťaženie ložiska. V našom prípade, keď nepredpokladáme axiálnu zložku zaťaženia, je táto hodnota rovná radiálnemu zaťaženiu ložiska. SKF tak isto odporúča hodnotu súčiniteľa statickej bezpečnosti. Pre nerotujúce guľôčkové ložiská, v prípade rázového zaťažovania o známej max. hodnote, dovoľuje použiť koeficient menší ako 1, minimálne však 0,5, čo odpovedá normálnym podmienkam chodu ložiska [41].

Pre voľbu  $s_0$ , a teda aj konečnú voľbu ložísk, bola zhotovená ďalšia analýza, tento krát na bicykli Santa Cruz Bronson. Tento bicykel je taktiež konštrukcie Virtual Pivot Point, má rovnaké zdvihy aj rozmer tlmiča, ako náš návrh. Táto analýza je zhodná s prvou, čo sa týka väzieb aj zaťaženia. Výrobca Santa Cruz má k svojim bicyklom podrobnú dokumentáciu [8], ktorej súčasťou sú aj použité ložiská v ráme. Nie je teda problém zistiť celkovú základnú statickú únosnosť párov ložísk jednotlivých pivotov. Z výsledkov analýzy zase získame výsledné sily vo väzbách pri max. zaťažení. Podiel týchto dvoch hodnôt môžeme interpretovať ako súčiniteľ statickej bezpečnosti pre dvojicu ložísk konkrétneho pivotu. Uvedené hodnoty pre jednotlivé pivoty sú zhrnuté v tabuľke 7.3

Tab. 7.3 – Celkové sily v pivotoch a statické únosnosti ich ložísk bicykla Santa Cruz Bronson

Pivot	$F$ [kN]	Ložiská – d×D×b [mm]	$C_0$ [kN]	$s_0$ [-]
Kyvka – zadná stavba	4,198	2x7902 MAX - 15x28x7	6,192	1,47
Kyvka – rám	4,198	2x7902 MAX - 15x28x7	6,192	1,47
Vahadlo – zadná stavba	3,982	2x7902 MAX - 15x28x7	6,192	1,55
Vahadlo – rám	1,694	2x6900 MAX - 10x22x6	4,315	2,55

<sup>6</sup> Pre kontrolu správnosti výsledkov predchádzajúcej analýzy, bola vypracovaná ešte odlišná analýza, ktorá zohľadňovala aj pôsobenie prednej vidlice. V tomto prípade bola k zemi zaväzbená predná a zadná os, pôsobisko zaťažujúcej sily bolo v stredovom zložení. Veľkosť tejto sily sa zase volila tak, aby bol dosiahnutý max. zdvih zadného tlmiča. Rozdiel v celkových reakčných silách v pivotoch medzi 1. a 2. analýzou bol zanedbateľný.

Ako je z tabuľky 7.3 vidieť, hodnoty súčiniteľa statickej bezpečnosti najviac zaťažovaných ložísk v tejto analýze sú približne rovné 1,5. S ohľadom na to, že je možné voliť hodnotu  $s_0$  aj menšiu ako 1, pre ložiská vlastného rámu bola zvolená návrhová hodnota  $s_n = 1$ .

Na základne stanovenej hodnoty  $s_n$  a výsledných síl v jednotlivých pivotoch, získaných z 1. analýzy boli teda zvolené ložiská. Ložiská boli vyberané z katalógu výrobcu Endurobearings, konkrétne z rady MAX [17], čo sú guľôčkové ložiská s drážkou pre vkladanie valivých elementov. Vďaka nej obsahujú viac valivých elementov, ako klasické ložiská, čo má za následok vyššiu únosnosť. V tabuľke 7.4 je zaokrúhlená celková sila pôsobiaca na pivot získaná z 1. analýzy, zvolené ložiská, ich celková základná statická únosnosť  $C_0$  a výsledný súčiniteľ statickej bezpečnosti  $s_0$ . Pri výbere boli uprednostňované rovnaké páry ložísk v jednom pivate.

Tab. 7.4 – Voľba ložísk pre konkrétne pivoty

Pivot	$F$ [kN]	Ložiská – d×D×b [mm]	$C_0$ [kN]	$s_0$ [-]
Kyvka – zadná stavba	4,263	2×6901 MAX – 12×24×6	4,333	1,02
Kyvka – rám	4,263	2×6901 MAX – 12×24×6	4,333	1,02
Vahadlo – zadná stavba	6,605	2×3802 MAX – 15×24×7 <sup>7</sup>	8,363	1,27
Vahadlo – rám	4,812	2×6000 MAX – 10×26×8	6,236	1,3

Po výbere konkrétnych ložísk nasledovalo premodelovanie niektorých súčastí modelu, konkrétne zmena veľkostí dier, v ktorých by dané ložiská boli nalisované.

<sup>7</sup> Jedná sa o dvojradé guľôčkové ložisko s kosouhlým stykom

## 8 Vizualizácia

Pre účely vizualizácie výsledného návrhu boli ešte zhotovené konečné úpravy na modeli rámu. Ostré prechody medzi jednotlivými časťami rámu boli zaoblené aby pripomínali zvary. Taktiež boli detailnejšie domodelované zadné pätky, úchyt zadnej brzdy, vzpera medzi hornou a dolnou rámovou trúbkou, prídavné reťazové koliesko s krytom a niektoré ďalšie detaily.

Vizualizácie konečnej zostavy boli zhotovené pomocou pluginu PhotoView 360 programu SolidWorks. Ten má pokročilé možnosti nastavenia materiálov (resp. vzhľadu jednotlivých súčastí), nasvietenia a kamery. Taktiež dokáže vizuálne zaobliť ostré hrany na požadovaný polomer, takže aj ostré hrany vyzerajú v renderovanom obrázku ako fyzicky zaoblené. Bolo zvolené štúdiové nasvietenie s čisto bielim pozadím, pre čo najnižšie nároky na tlač a modro-čierna farebná kombinácia rámu. Zvolené štúdiové prostredie sa dá vzhľadom k modelu a kamere natáčať, takže užívateľ má kontrolu nad vznikajúcimi odleskami. Pomocou rýchleho náhľadového renderovania si ich teda môže pomocou natáčania prostredia nastaviť pre každý pohľad zvlášť. Po tejto príprave nasledoval už finálny rendering požadovaného pohľadu do vysokého rozlíšenia, pre prípadné ďalšie spracovanie. Bočný pohľad na rám pri nulovom zdvihu, je na obr. 8.1. Ostatné pohľady vo vysokom rozlíšení sú v prílohe F.



Obr. 8.1 – Bočný pohľad pri nulovom zdvihu

## 9 Záver

Práca zhrňa súčasné trendy vo výrobe celoodpružených horských bicyklov a rozoberá pozitíva aj negatíva jednotlivých koncepcií. Tieto poznatky sú v ďalšej časti práce využité k návrhu vlastného riešenia.

Výsledkom práce je navrhnutý rám celoodpruženého horského bicykla kategórie trail. Tento návrh sa vyznačuje neobvyklým riešením prepákovania pohybu zadnej stavby na tlmič. Jeho prednosťou je vysoká hodnota anti-squat charakteristiky v sag zóne, čoho dôsledkom je vysoká efektívnosť pedálovania, pri zachovaní veľmi nízkeho (resp. od určitého prevodu nulového) spätného rázu pedálov. Toho bolo dosiahnuté cieľným umiestnením jednotlivých pivotov a vďaka použitiu prídavného reťazového kolieska na rámovom trojuholníku, cez ktoré by prechádzala ťažná vetva reťaze. Navrhnuté odpruženie je výrazne progresívne, vďaka uchyteniu tlmiča medzi vahadlo a zadnú stavbu. Práve pre výraznú progresivitu je odpruženie vhodné aj pre bicykle kategórii enduro a downhill. Pri brzdení zadnou brzdou bude brzdnou silou výrazne ovplyvňované, bude teda nastávať jeho kompresia, čo vyplýva z výslednej charakteristiky anti-rise.

Súčasťou návrhu bol aj výber vhodných ložísk jednotlivých pivotov. Ložiská boli volené na základe porovnania výsledkov analýzy zaťaženia vo väzbách vlastného návrhu a existujúceho bicykla. Na záver boli zhotovené vizualizácie finálnej zostavy rámu.

## 10 Zoznam použitých zdrojov

- [1] 2009 Specialized Stumpjumper FSR Comp. *Bicycle Blue Book* [online]. California, c2015 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.bicyclebluebook.com/searchlistingdetail.aspx?id=15895>
- [2] 2013 Yeti SB66 Aluminium Full Suspension AM Frame - Turquoise. *MountainBikeBitz* [online]. Colyton (United Kingdom), c2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.mountainbikebitz.com/2013-yeti-sb66-aluminium-full-suspension-am-frame-turquoise-p-17085.html>
- [3] 2013 Yeti SB66 Carbon Eccentric MTB Kit. *MountainBikeBitz* [online]. Colyton (United Kingdom), c2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.mountainbikebitz.com/2013-yeti-sb66-carbon-eccentric-mountain-bike-kit-p-28167.html>
- [4] *ALLOY DATA SHEET: EN AW-6061 [AlMg1SiCu]*. Netherlands: Nedal Aluminium, 2005. Dostupné tiež z: [http://www.nedalextrusion.com/files/9613/0678/5550/Data\\_6061.pdf](http://www.nedalextrusion.com/files/9613/0678/5550/Data_6061.pdf)
- [5] *ALLOY DATA SHEET: EN AW-7020 [AlZn4.5Mg1]*. Netherlands: Nedal Aluminium, 2005. Dostupné tiež z: [http://www.nedalextrusion.com/files/8713/0678/5563/Data\\_7020.pdf](http://www.nedalextrusion.com/files/8713/0678/5563/Data_7020.pdf)
- [6] Author. AUTHOR BICYCLES. *Geometria modelu Author patriot trail 1.0 2015* [online]. 2015 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://sk.author.eu/horske/celoodpruzene-mtb-27-5/author-patriot-trail-1-0-2015-ua42839001#!geometrie-modelu>
- [7] BENEDICT, Tyler. Suspension Setup Series #1: Set Your Sag Properly. In: *Bikerumor* [online]. Greensboro (North Carolina): BikeBoardMedia, c2008-2016 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.bikerumor.com/2014/07/24/suspension-setup-series-1-set-your-sag-properly/>
- [8] Bronson 2 Exploded View Assembly. *Santa Cruz Bicycles* [online]. California: Santa Cruz Bicycles [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.santacruz bicycles.com/en/ca/tech/bronson-2-exploded-view>
- [9] Bronson. *Santa Cruz Bicycles* [online]. California: Santa Cruz Bicycles [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.santacruz bicycles.com/en/us/bronson>
- [10] CANE CREEK. *Cane Creek Double Barrel Instructions* [online]. 2008 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: [https://www.canyon.com/download/manuals/Manual\\_Double\\_Barrel\\_Instructions.pdf](https://www.canyon.com/download/manuals/Manual_Double_Barrel_Instructions.pdf)
- [11] *Compulsion Technical Manual*. California: Felt Bicycles, 2015. Dostupné tiež z: [https://www.feltbicycles.com/Resources/Manuals/Compulsion\\_Manual.pdf](https://www.feltbicycles.com/Resources/Manuals/Compulsion_Manual.pdf)

- [12] Cross-country cycling. *Wikipedia: the free encyclopedia*. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2007, 2016. Dostupné tiež z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-country\\_cycling](https://en.wikipedia.org/wiki/Cross-country_cycling)
- [13] CUNNINGHAM, Richard. Tech Tuesday: What a Negative Spring is and Why it Makes the Coil-Spring Nearly Obsolete. *Pinbike* [online]. 2013 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.pinkbike.com/news/Tech-Tuesday-negative-spring-air-shocks-2012.html>
- [14] DAVID, Arthur. Independent Fabrication SSR 953. In: *Road Cycling UK* [online]. London: Factory Media, c2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20080829120107/http://www.roadcyclinguk.com/news/article/mps/uan/3315>
- [15] Decree design and engineering: The Decree development cycle. *Felt bicycles* [online]. California: Felt Racing, c2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.feltbicycles.com/decree/technology/>
- [16] DHX RC4. In: *Ridefox* [online]. United States: FOX Factory, c2015 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: [http://www.ridefox.com/fox\\_tech\\_center/owners\\_manuals/011/Content/Rear\\_Shocks/DHX\\_RC4.html](http://www.ridefox.com/fox_tech_center/owners_manuals/011/Content/Rear_Shocks/DHX_RC4.html)
- [17] Enduro MAX Bearings. *Enduro Bearings* [online]. c2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://endurobearings.com/wp-content/uploads/2015/03/MAX15-New-PL0-2015Full.xlsx.pdf>
- [18] FAULKNER, Matt. Suspension Linkage Kinematics: The Basics of Anti-Squat and Pedal Kickback. *Ridingfeelsgood* [online]. 2014 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.ridingfeelsgood.com/suspension-linkage-kinematics-basics-anti-squat-pedal-kickback/>
- [19] Float DPS. *Ridefox* [online]. United States: FOX Factory, c2015 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.ridefox.com/2016/family.php?m=bike&family=float>
- [20] GRAY, Coling. Which Mountain Bike Type is Right for Me? *Mountainbikesapart* [online]. 2011 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.mountainbikesapart.com/what-mountain-bike/which-mountain-bike-type/>
- [21] HÁJÍČEK, Štěpán. Počítání do čtyř. *Velo*. 2010, 2010(2), 23-32. ISSN 1213-113X.
- [22] HAYES, Paul, Simon YOUNG a Andrew DODD. Buyer's guide to mountain bike suspension: part 3. YOUNG, Simon. *Bikeradar* [online]. 2010 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.bikeradar.com/gear/article/buyers-guide-to-mountain-bike-suspension-part-3-28498/>
- [23] How to Choose a Mountain Bike: Buyer's Guide & Bike Types. In: *Evo* [online]. Seattle: Evo, c2001-2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.evo.com/how-to-choose-a-mountain-bike.aspx>

- [24] KOKKONEN, Leo. What Is Anti Squat and Pedal Kickback. *Polebicycles* [online]. 2015 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <https://www.polebicycles.com/what-is-anti-squat-and-pedal-kickback/?v=f0aa03aaca95>
- [25] KOVÁCS, Gergely. Pedal Kickback Calculation. In: *Bikechecker* [online]. 2006 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://bikechecker.com/download/PedalKickbackCalculation.pdf>
- [26] KUBĚNA, Martin. *Únavové vlastnosti hliníkové slitiny EN-AW 7020*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2011.
- [27] LEITNER, Horst. *Rear suspension for bicycles*. US 5678837 A Utility patent. Uděleno 1997. Dostupné tiež z: <http://www.docs.google.com/viewer?url=patentimages.storage.googleapis.com/pdfs/US5678837.pdf>
- [28] MCLEAY, Hugh. Suspension design. In: *I-track suspension* [online]. Australia: i-track suspension, 2013 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.i-tracksuspension.com/suspensiondesign.html>
- [29] MCLEAY, Hugh. Suspension theory. In: *I-track suspension* [online]. Australia: i-track suspension, 2013 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.i-tracksuspension.com/suspensiontheory2.html>
- [30] MCLEAY, Hugh. *Vehicle suspension system*. US 2015/0035241 A1 Utility patent. Uděleno 2015. Zapsáno 2013.
- [31] MERCANTI, Saris. Fox Shox Introduces New Air DH Fork & Revamped DHX RC4 Shock for 2014. In: *Bikerumor* [online]. Greensboro (North Carolina): BikeBoardMedia, c2008-2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.bikerumor.com/2013/03/26/fox-shox-introduces-new-air-dh-fork-the-40-float-rc2-and-revamped-dhx-rc4-shock-for-2014/>
- [32] Merida: NINETY-NINE 9. 800. *Merida* [online]. Slovensko, c2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.merida.sk/horske-bicykle/ninety-nine-9-800>
- [33] MICHAEL. Geometry, an In Depth Explanation. *Pinbike* [online]. 2009 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.pinkbike.com/news/bike-frame-geometry-2009.html>
- [34] Most hated suspension design. *Pinbike* [online]. Squamish (British Columbia), c2000-2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.pinkbike.com/forum/listcomments/?threadid=30478&pagenum=2>
- [35] Mountain Bike Suspension 101. *Cyclemonkey* [online]. c2010 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: [http://www.cyclemonkey.com/suspension\\_101.shtml](http://www.cyclemonkey.com/suspension_101.shtml)
- [36] Mountain bike: Designs. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mountain\\_bike#Designs](https://en.wikipedia.org/wiki/Mountain_bike#Designs)

- [37] MURPHY, Brett. Suspension Design Theory and Anti-Squat Behavior. *Art's cyclery: blog* [online]. 2015 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://blog.artscyclery.com/science-behind-the-magic/suspension-design-theory-and-anti-squat-behavior/>
- [38] NOVÁK, Jaroslav. Karbon tehdy a teď. *Velo*. 2010(11), 66-72. ISSN 1213-113X.
- [39] NOVÁK, Jaroslav. Malá lekce (kovového) materialismu. *Velo*. 2010(3), 32-40. ISSN 1213-113X.
- [40] OSUNA, Antonio. B-S & Traction (WM). In: *Linkagedesign* [online]. 2014 [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://linkagedesign.blogspot.com/2014/06/brake-squat-traction-wm.html>
- [41] Potřebná statická únosnost. *SKF* [online]. Švédsko [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/roller-bearings/principles/selection-of-bearing-size/selecting-bearing-size-using-static-load/required-basic-static-load-rating/index.html>
- [42] PRAŽÁK, František. *Tlumič odpružení jako prvek ovlivňující jízdní vlastnosti automobilu* [online]. Brno, 2006 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: [http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz\\_soubor.php?id=62](http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=62). Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [43] Prototype 3. *I-track suspension* [online]. Australia, 2015 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.i-tracksuspension.com/P3.html>
- [44] *Přehled vlastností oceli 25CrMo4*. Kladno: Bohdan Bolzano, c2016. Dostupné tiež z: [http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP\\_%20Tycova\\_ocel/EN\\_10083/MOP\\_vlastnosti\\_25CrMo4.pdf](http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vlastnosti_25CrMo4.pdf)
- [45] SANHUEZA, Nicolas. Fox Shock CTD BoostValve. In: *GrabCAD* [online]. Cambridge (Massachusetts), c2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <https://grabcad.com/library/fox-shock-ctd-boostvalve-1>
- [46] SANTOS, André. Instant Center (Virtual Pivot): MTB rear suspension (Ep.10). In: *Youtube* [video soubor]. 2016 [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=yBJPLY4xukU&index=10&list=PL4tH8eqoJoZ-puE8n0kDNVdCuKL7ySEAv>
- [47] Strive AL Frameset. *Canyon* [online]. Koblenz: Canyon Bicycles, c2016 [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <https://www.canyon.com/en/mtb/strive/f-strive-al.html>
- [48] Superlight. *Santa Cruz Bicycles* [online]. California: Santa Cruz Bicycles [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.santacruz bicycles.com/en/us/superlight>
- [49] ŠÁLY, Peter. *Volba materiálu pro rámy jízdních kol*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2009.

- [50] ŠEVEČEK, Jan. *Porovnání kompozitních a tradičních materiálů používaných v cyklistickém průmyslu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2011.
- [51] *T1000G: Data Sheet*. California: Toray Carbon Fibers America, c2008. Dostupné tiež z: <http://www.toraycfa.com/pdfs/T1000GDataSheet.pdf>
- [52] THEDE, Paul. Technicalities: Spring Rate and Preload. *Sportrider* [online]. 2010 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.sportrider.com/technicalities-spring-rate-and-preload?image=3>
- [53] Trek Top Fuel SL Carbon Frameset. *Trek Bicycle Superstore* [online]. Waterloo (Wisconsin): Trek Bicycle Corporation, c2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: [http://www.trebikes.com/us/en\\_US/bikes/mountain-bikes/cross-country-mountain-bikes/top-fuel/top-fuel-sl-carbon-frameset/p/2139100-2016](http://www.trebikes.com/us/en_US/bikes/mountain-bikes/cross-country-mountain-bikes/top-fuel/top-fuel-sl-carbon-frameset/p/2139100-2016)
- [54] VILDA, Dalibor. *Využití kapaliny při tvarování trubek*. Brno, 2013. 28s, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
- [55] WOODHOUSE, Jon. Best mountain bike: how to choose the right one for you. *Bikeradar* [online]. 2016 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.bikeradar.com/gear/article/best-mountain-bike-the-ultimate-buyers-guide-46712/>

## 11 Zoznam použitých symbolov a skratiek

AM	– all mountain, kategória horských bicyklov
ČSN	– česká technická norma
DH	– downhill, kategória horských bicyklov
EN	– európska norma
IC	– instant centre, okamžitý stred rotácie
MKP	– metóda konečný prvkov
MTB	– mountain bike ( horský bicykel)
T6	– stav materiálu po rozpúšťacom žíhaní a umelom starnutí
TIG	– zváranie volfrámovou elektródou v ochranej atmosfére inertného plynu
XC	– corss country, kategória horských bicyklov
$\Delta B_1, \Delta B_2, \Delta B_3$ [rad]	– príspevky k celkovému spätnému rázu pedálov
$\xi_i$ [-]	– počet stupňov voľnosti odobratých väzbami
$A_{31}$ [rad]	– uhol medzi ťažnou vetvou reťaze a horizontálnou rovinou pri počiatocnom zdvihu
$A_{32}$ [rad]	– uhol medzi ťažnou vetvou reťaze a horizontálnou rovinou pri konečnom zdvihu
$b$ [mm]	– menovitá šírka ložiska
$B$ [rad]	– celkový spätný ráz pedálov
$C_0$ [kN]	– základná statická únosnosť ložiska
$d$ [mm]	– vnútorný menovitý priemer ložiska
$D$ [mm]	– vonkajší menovitý priemer ložiska
$dA_2$ [rad]	– spätné pootočenie zadného kolesa
$dL_2$ [mm]	– horizontálna zmena polohy zadnej osi
$F$ [N]	– sila
$F_s$ [N]	– sila v stlačenom tlmíči
$F_w$ [N]	– sila pôsobiaca na zadné koleso
$F_x$ [N]	– sila v smere osi X
$F_y$ [N]	– sila v smere osi Y
$F_z$ [N]	– sila v smere osi Z
$i_v$ [-]	– počet stupňov voľnosti voľného telesa
$L_{11}$ [mm]	– vzdialenosť zadnej osi od stredového zloženia pri počiatocnom zdvihu, meraná rovnobežne s ťažnou vetvou reťaze
$L_{12}$ [mm]	– vzdialenosť zadnej osi od stredového zloženia pri konečnom zdvihu, meraná rovnobežne s ťažnou vetvou reťaze
$L_{21}$ [mm]	– horizontálna vzdialenosť zadnej osi od stredového zloženia pri počiatocnom zdvihu
$L_{22}$ [mm]	– horizontálna vzdialenosť zadnej osi od stredového zloženia pri konečnom zdvihu
$LR$ [-]	– leverage ratio (pomer prepákovania)
$MR$ [-]	– motion ratio (pomer pohybu)

$n$ [-]	– počet telies
$N_F$ [-]	– počet zubov na prednom prevodníku
$N_R$ [-]	– počet zubov na zadnom prevodníku
$P_0$ [kN]	– ekvivalentné statické zaťaženie ložiska
$R$ [mm]	– valivý polomer zadného kolesa
$R_F$ [mm]	– polomer predného prevodníku
$s_0$ [-]	– súčiniteľ statickej bezpečnosti
$v$ [m.s <sup>-1</sup> ]	– rýchlosť
$Y_S$ [mm]	– kompresia tlmiča
$Y_W$ [mm]	– zdvih zadného kolesa

## 12 Zoznam obrázkov a tabuliek

Obr. 2.1 – Geometria bicykla AUTHOR PATRIOT TRAIL 1.0 2015 [6].....	11
Obr. 2.2 – Trail bicykel Santa Cruz Bronson [9].....	13
Obr. 2.3 – Príklad zjednodušeného pohľadu na zadnú stavbu.....	14
Obr. 2.4 – Krivka kompresie tlmiču (modrá) a závislosť MR na zdvihu (červená) bicykla YT Jeffsy .....	15
Obr. 2.5 – Ilustrácia grafickej metódy určenia okamžitého stredú rotácie .....	17
Obr. 2.6 – Tlmiaca charakteristika [10] .....	17
Obr. 2.7 – Nastavovanie a) vysokorýchlostného, b) nízkorýchl. tlmenia kompresie [10].....	18
Obr. 2.8 – Príklad a) vhodnej, b) nevhodnej voľby pružiny [52].....	18
Obr. 2.9 – Tlmič FOX DHX RC 4 [31] .....	19
Obr. 2.10 – Rez vzruchovým tlmičom Fox Float RP23 [22] .....	20
Obr. 3.1 – Príklad priebehu charakteristiky anti-squat.....	21
Obr. 3.2 – Ilustrácia grafickej metódy určenia hodnoty anti-squat.....	22
Obr. 3.3 – Označenie parametrov pri výpočte spätného rázu pedálov: a) počiatočný zdvih, b) konečný zdvih [25] .....	24
Obr. 3.4 – Ilustrácia grafickej metódy určenia hodnoty anti-rise.....	25
Obr. 4.1 – Santa Cruz Superlight [48].....	26
Obr. 4.2 – Rám bicykla Trek Top Fuel SL [53].....	27
Obr. 4.3 – Nákres zadného odpruženia patentovaného Horstom Leitnerom [27].....	27
Obr. 4.4 – Specialized Stumpjumper FSR 2009 [1] .....	28
Obr. 4.5 – Rám Yeti SB66 a jeho excentrické uloženie [2, 3].....	29
Obr. 4.6 – Merida Ninety-Nine 9. 800 [32] .....	29
Obr. 4.7 – Zadná stavba bicykla Felt Compulsion [11] .....	30
Obr. 5.1 – Rám Canyon Strive [47] .....	32
Obr. 6.1 – Požadovaná geometria [32].....	34
Obr. 6.2 – Pracovné prostredie programu Linkage X3 .....	36
Obr. 6.3 – Prvotný návrh kinematiky .....	37
Obr. 6.4 – Základný model rámového trojuholníka .....	38
Obr. 6.5 – Základný model vahadla .....	39
Obr. 6.6 – Základný model zadnej stavby.....	40
Obr. 6.7 – Model pravej a ľavej kyvky .....	40
Obr. 6.8 – Zostavený rám.....	41
Obr. 7.1 – Anti squat charakteristika pre prevod 32/18 .....	42
Obr. 7.2 – Charakteristika spätného rázu pedálov pre prevod 32/18 .....	43
Obr. 7.3 – Pomer prepákovania v závislosti od zdvihu zadného kolesa .....	44
Obr. 7.5 – Výsledná charakteristika anti-rise .....	45
Obr. 7.4 – Závislosť sily pôsobiacej na zadné koleso na zdvihu (modrá) a jej derivácia (červená).....	45
Obr. 7.6 – Model rámu v prostredí systému Rigid Dynamics.....	46
Obr. 8.1 – Bočný pohľad pri nulovom zdvihu .....	49

Tab. 2.1 – Dostupné veľkosti tlmiča Fox Float DPS [19].....	20
Tab. 6.1 – Základné rozmery navrhovaného rámu .....	34
Tab. 7.1 – Hodnoty anti-squat charakteristiky pri zdvihu 45 mm podľa prevodov .....	42
Tab. 7.2 – Sily v jednotlivých pivotoch .....	46
Tab. 7.3 – Celkové sily v pivotoch a stat. únosnosti ich ložísk bicykla Santa Cruz Bronson .	47
Tab. 7.4 – Voľba ložísk pre konkrétne pivoty.....	48

## **13 Zoznam príloh**

Príloha A – Výsledná podoba kinematiky rámu

Príloha B – Anti-squat charakteristiky pre jednotlivé prevody

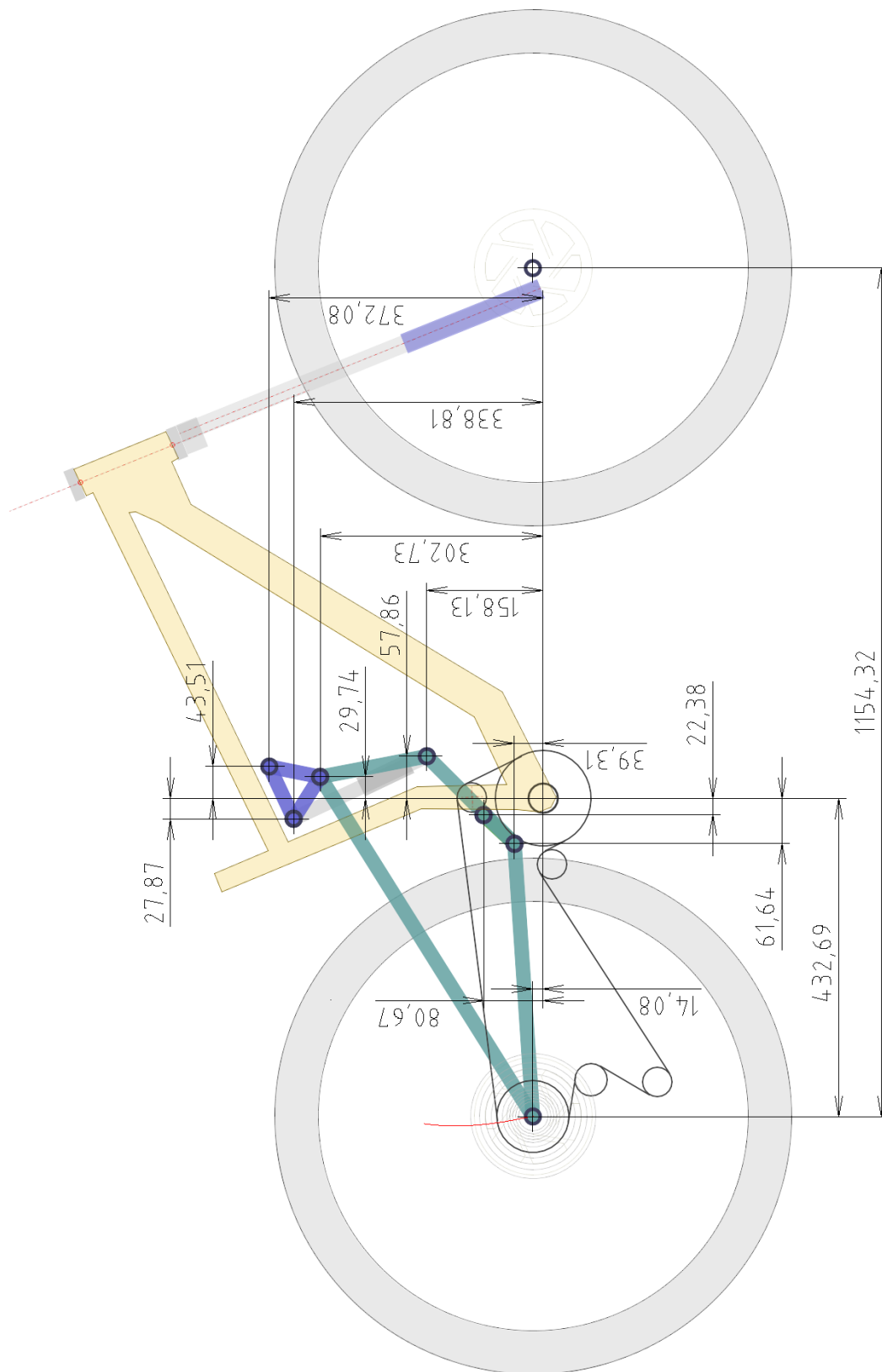
Príloha C – Porovnanie anti-squat charakteristík

Príloha D – Charakteristiky spätného rázu pedálov pre jednotlivé prevody

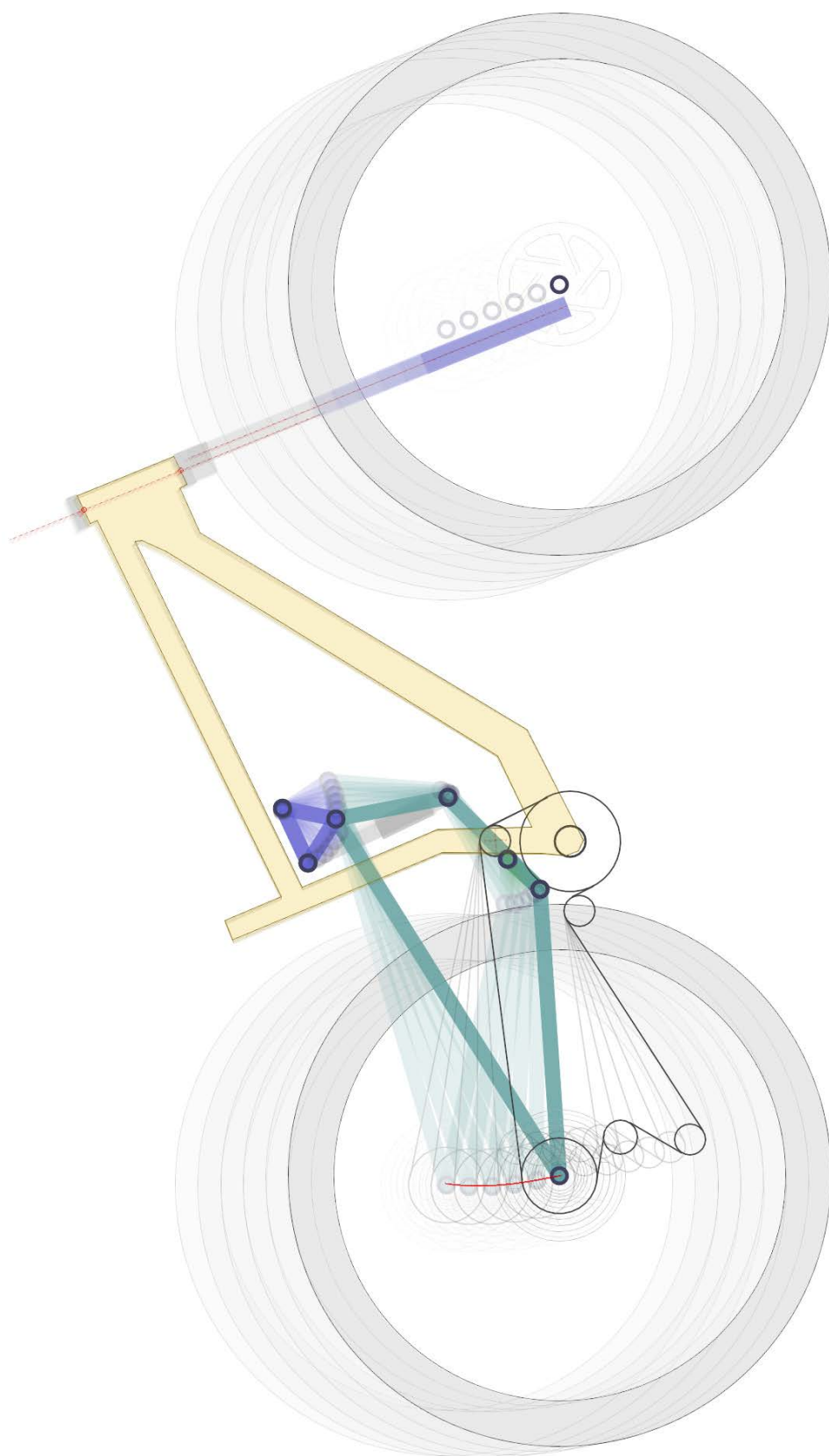
Príloha E – Porovnanie charakteristík spätného rázu pedálov

Príloha F – Vizualizácie

## Príloha A – Výsledná podoba kinematiky rámu

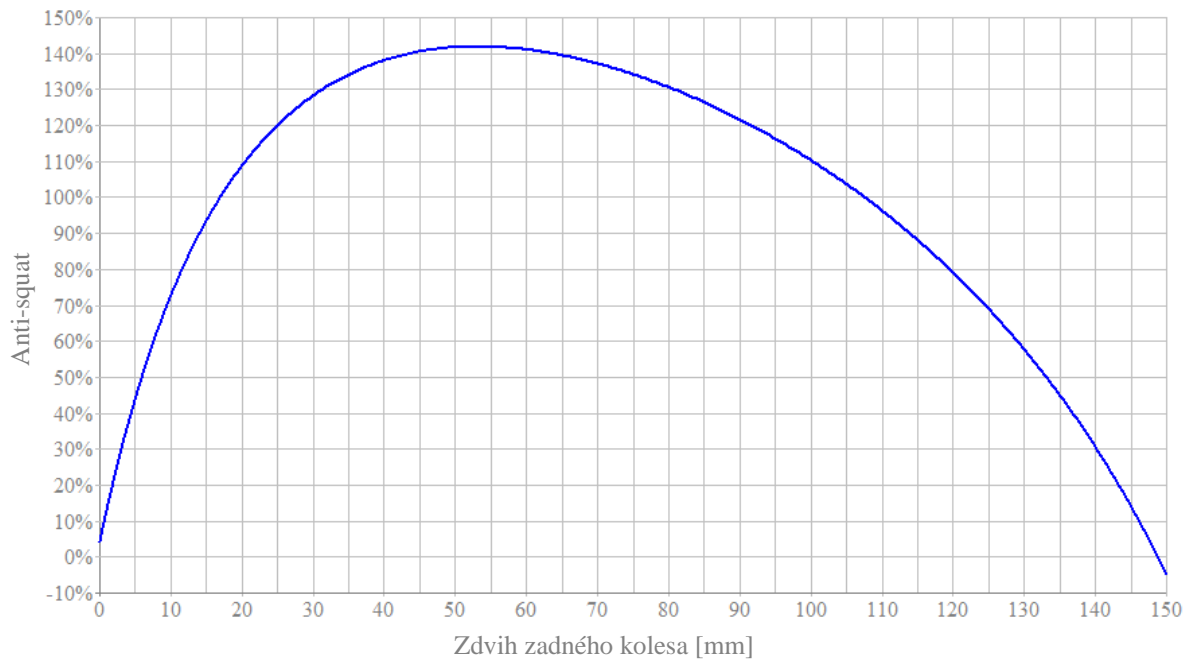


Obr. A.1 – Výsledná podoba kinematiky rámu

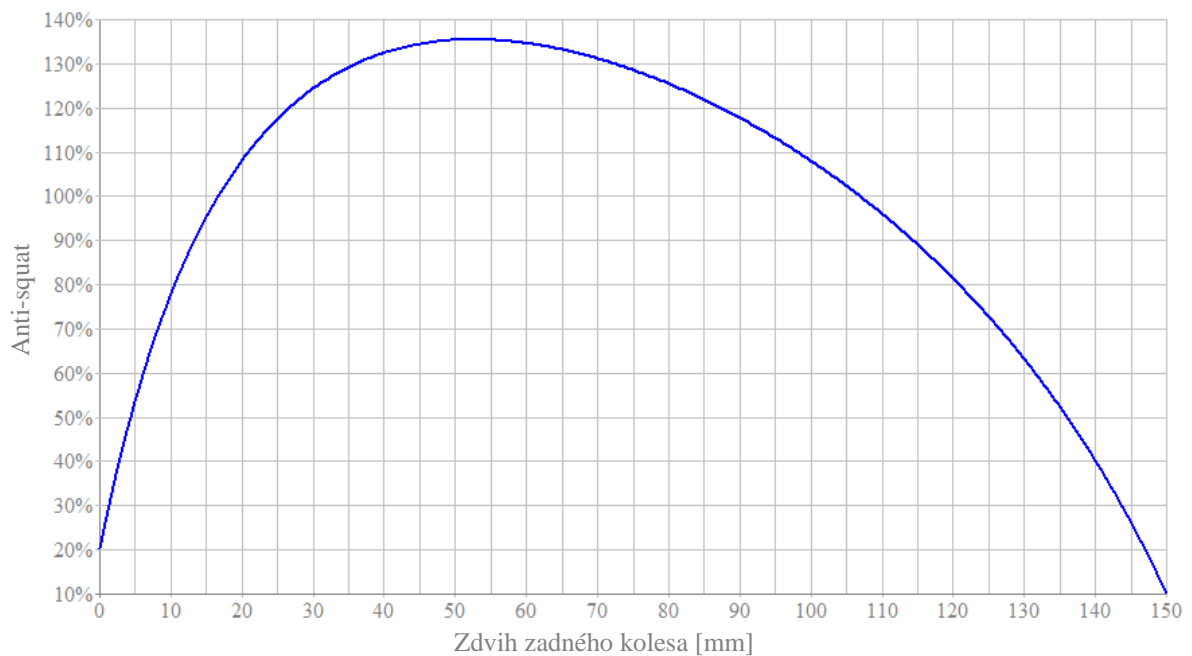


Obr. A.2 – Kinematický návrh v jednotlivých fázach zdvihu

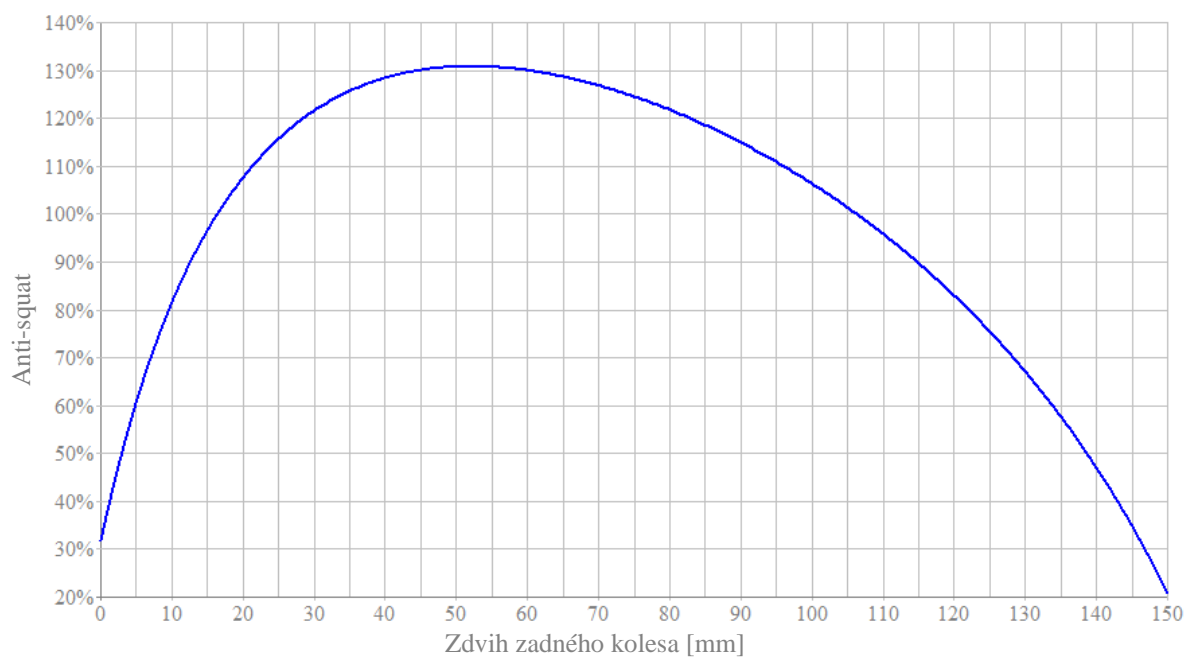
## Príloha B – Anti-squat charakteristiky pre jednotlivé prevody



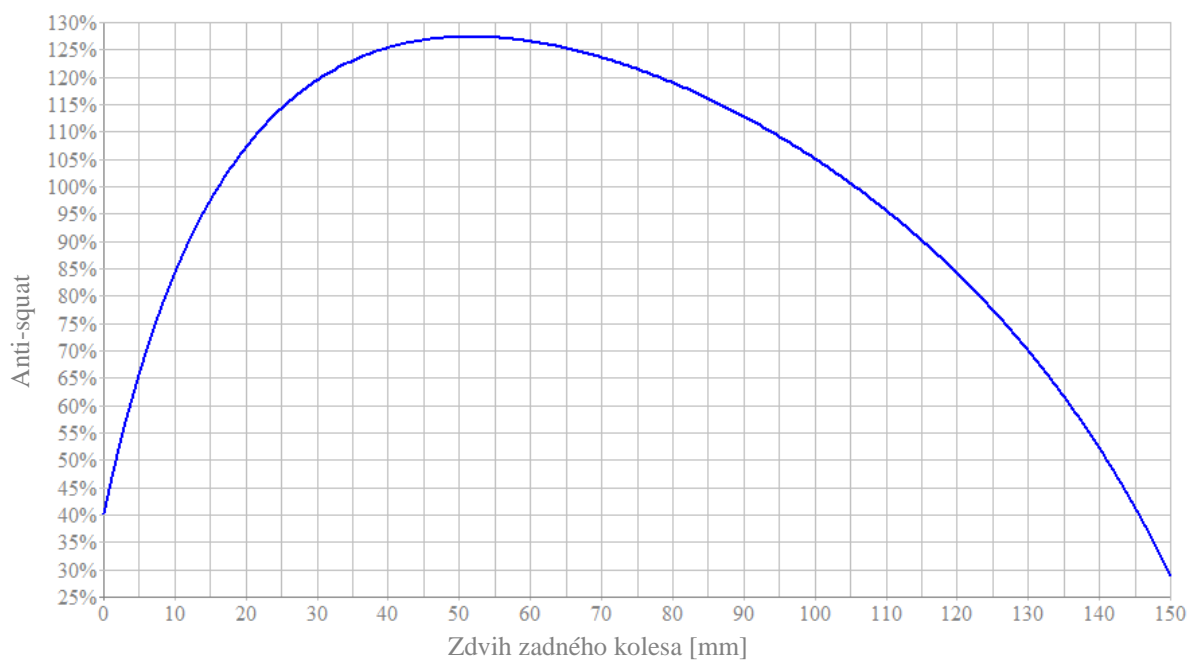
Obr. B.1 – Anti-squat charakteristika pre prevod 32/10



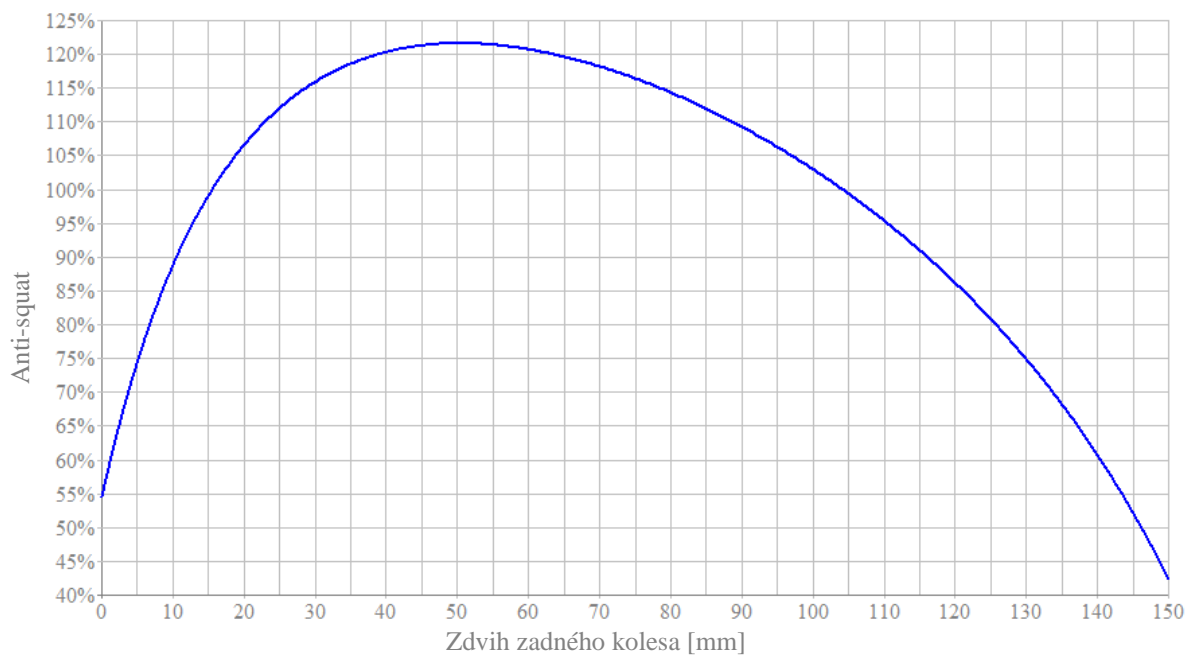
Obr. B.2 – Anti-squat charakteristika pre prevod 32/12



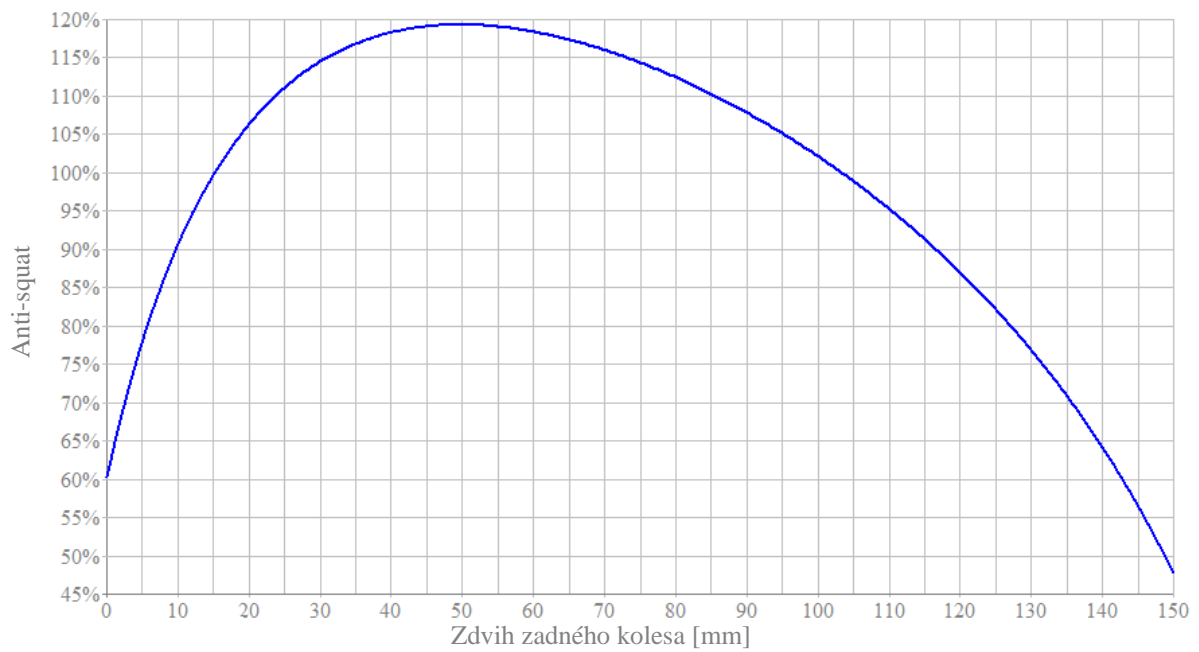
Obr. B.3 – Anti-squat charakteristika pre prevod 32/14



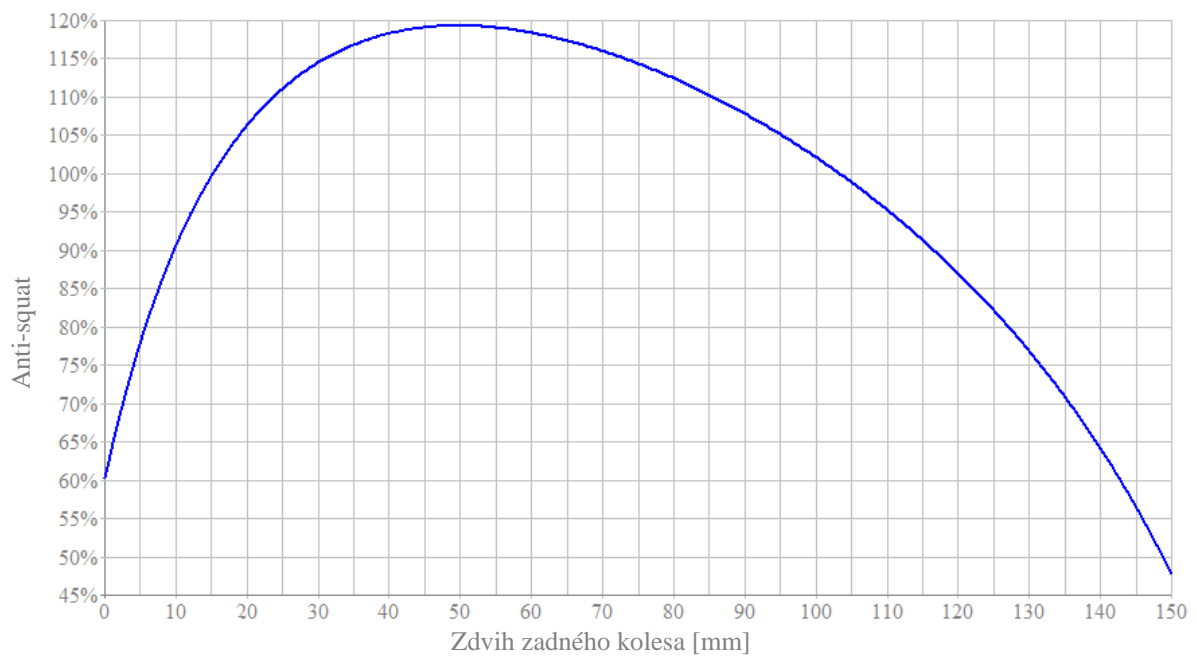
Obr. B.4 – Anti-squat charakteristika pre prevod 32/16



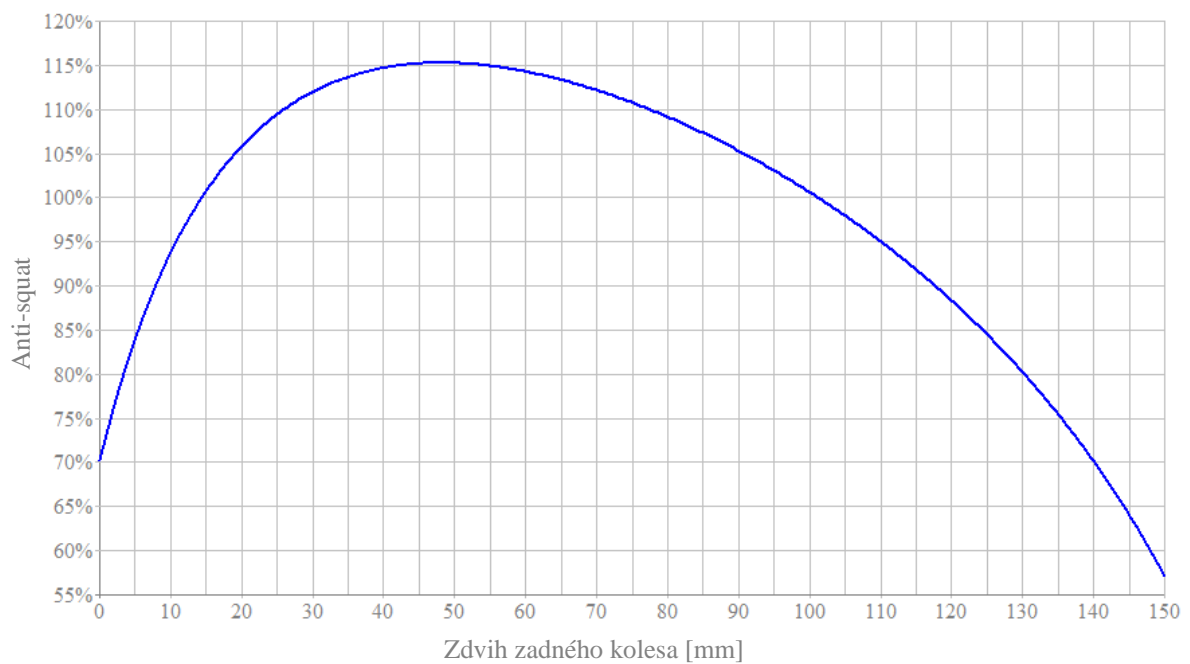
Obr. B.5 – Anti-squat charakteristika pre prevod 32/21



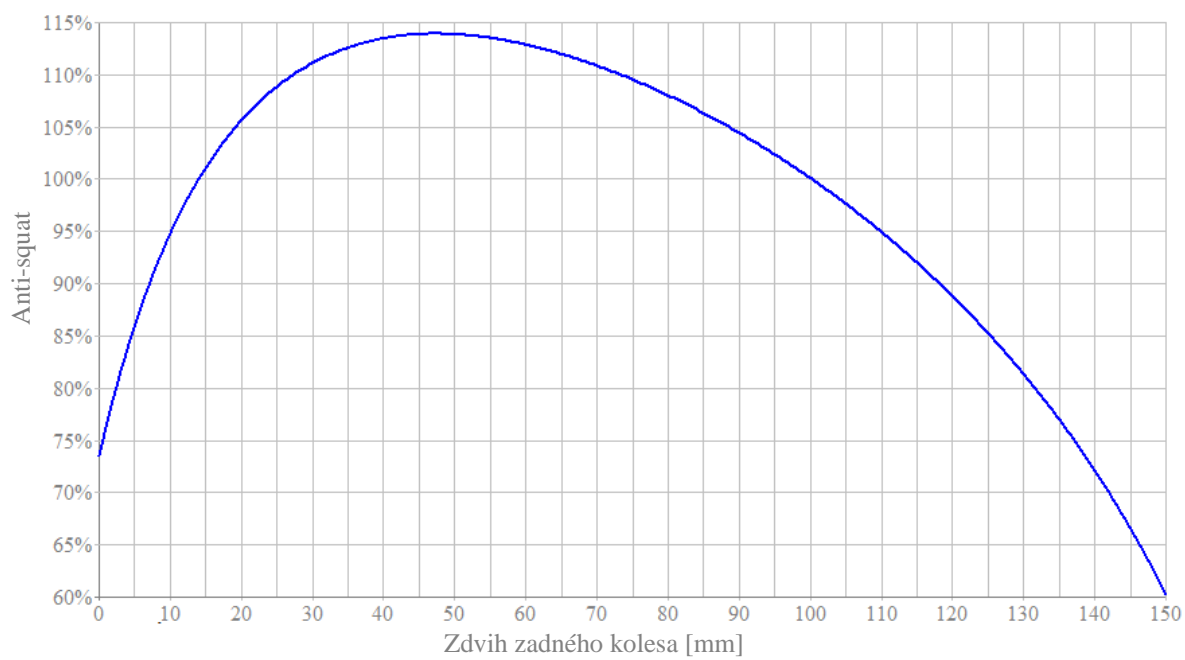
Obr. B.6 – Anti-squat charakteristika pre prevod 32/24



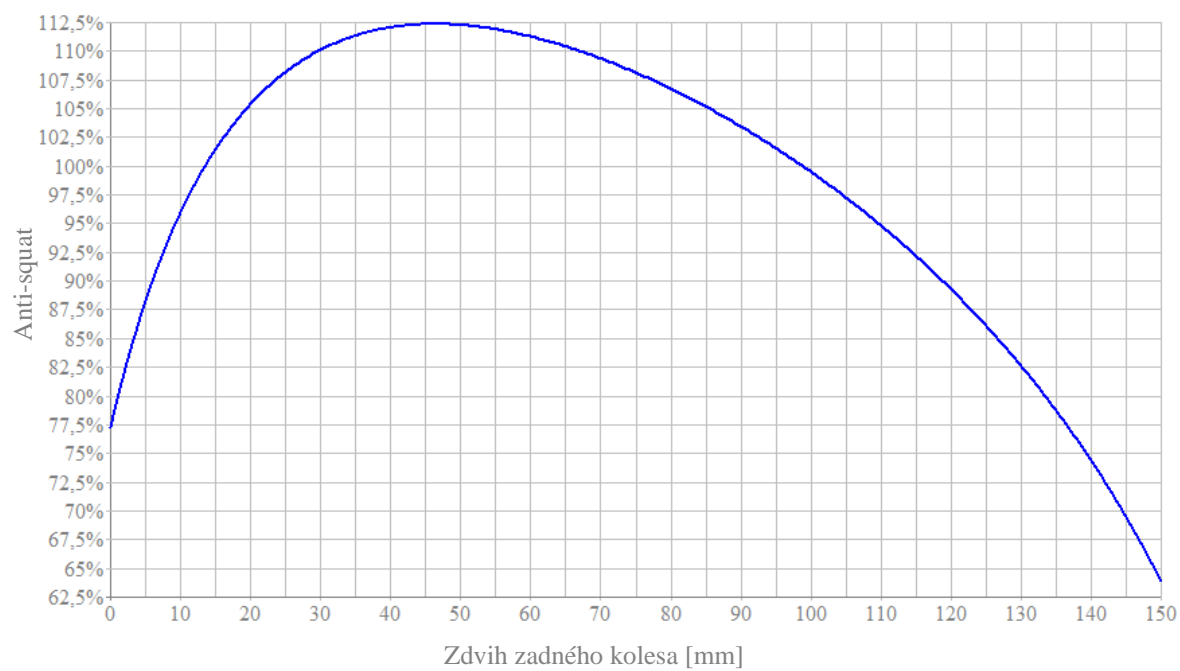
Obr. B.7 – Anti-squat charakteristika pre prevod 32/28



Obr. B.8 – Anti-squat charakteristika pre prevod 32/32

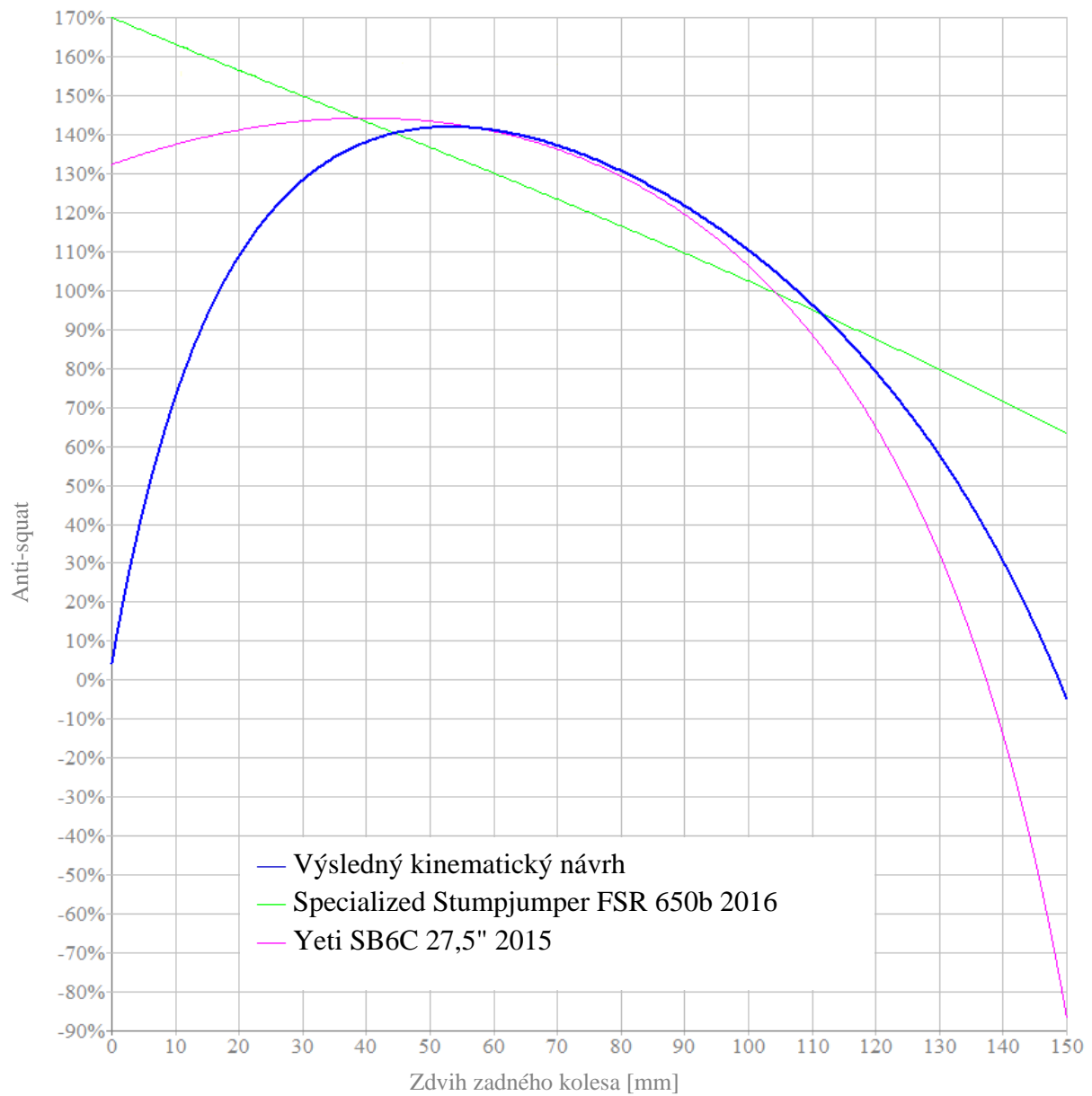


Obr. B.9 – Anti-squat charakteristika pre prevod 32/36

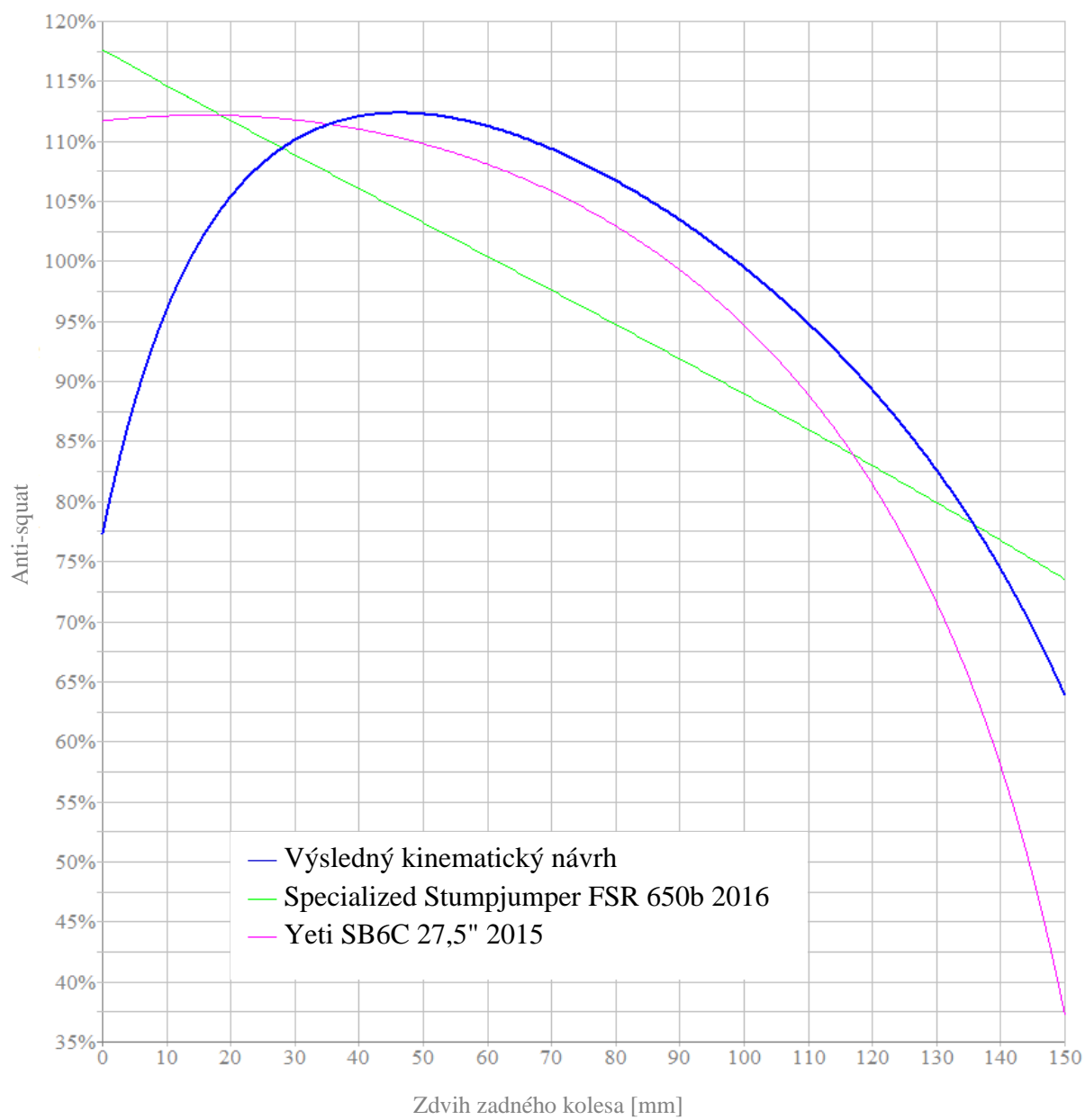


Obr. B.10 – Anti-squat charakteristika pre prevod 32/42

## Príloha C – Porovnanie anti-squat charakteristík

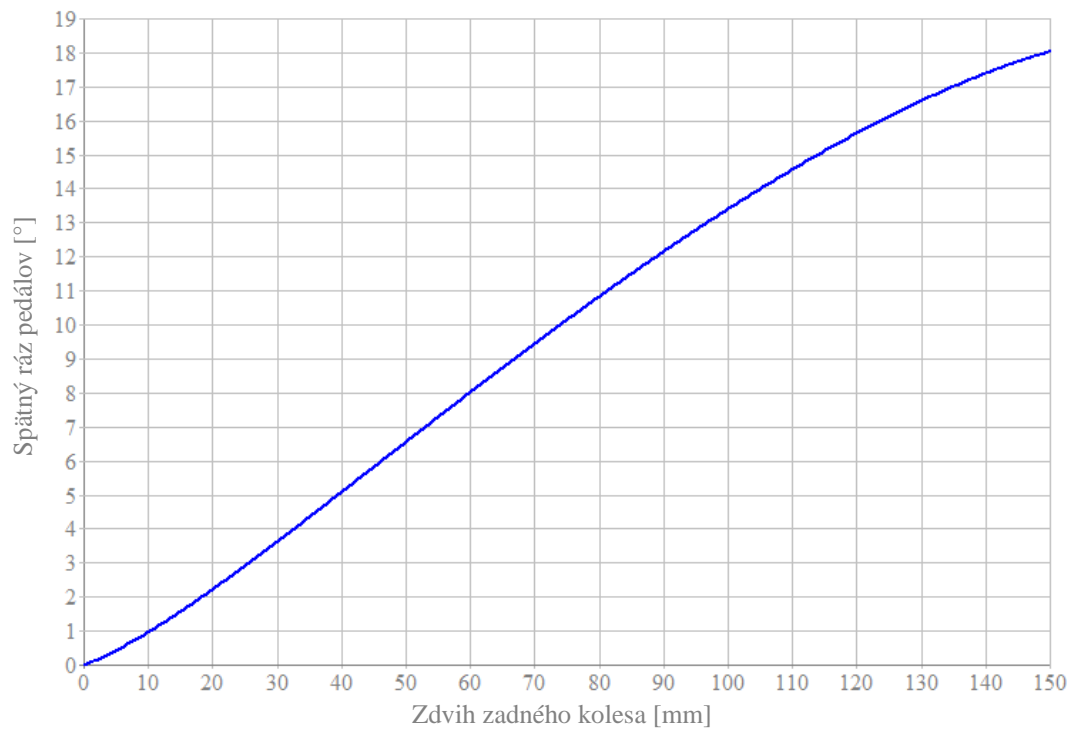


Obr. C.1 – Porovnanie anti-squat charakteristík pri prevode 32/10

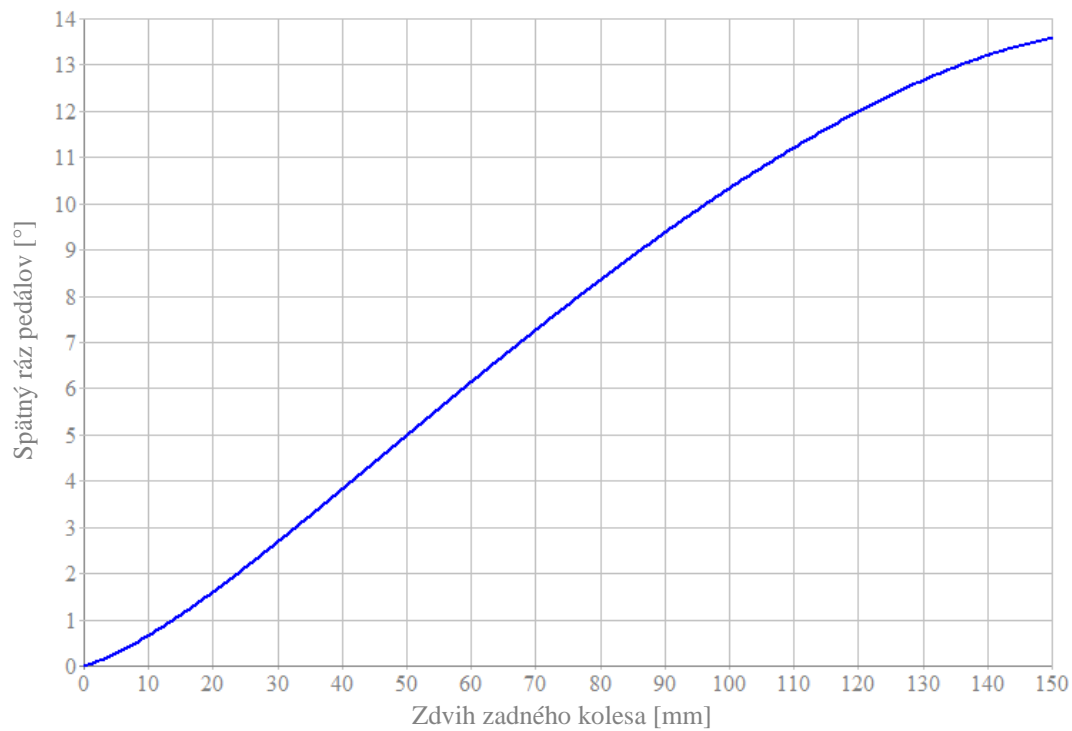


Obr. C.2 – Porovnanie anti-squat charakteristík pri prevode 32/42

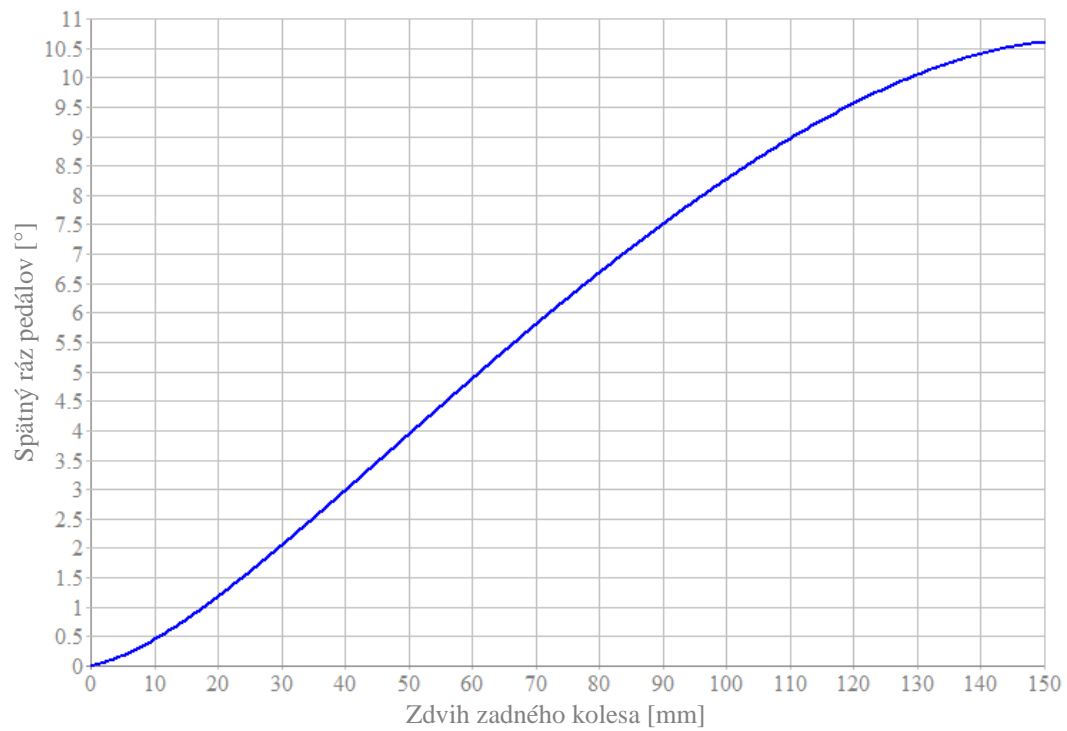
## Príloha D – Charakteristiky spätného rázu pedálov pre jednotlivé prevody



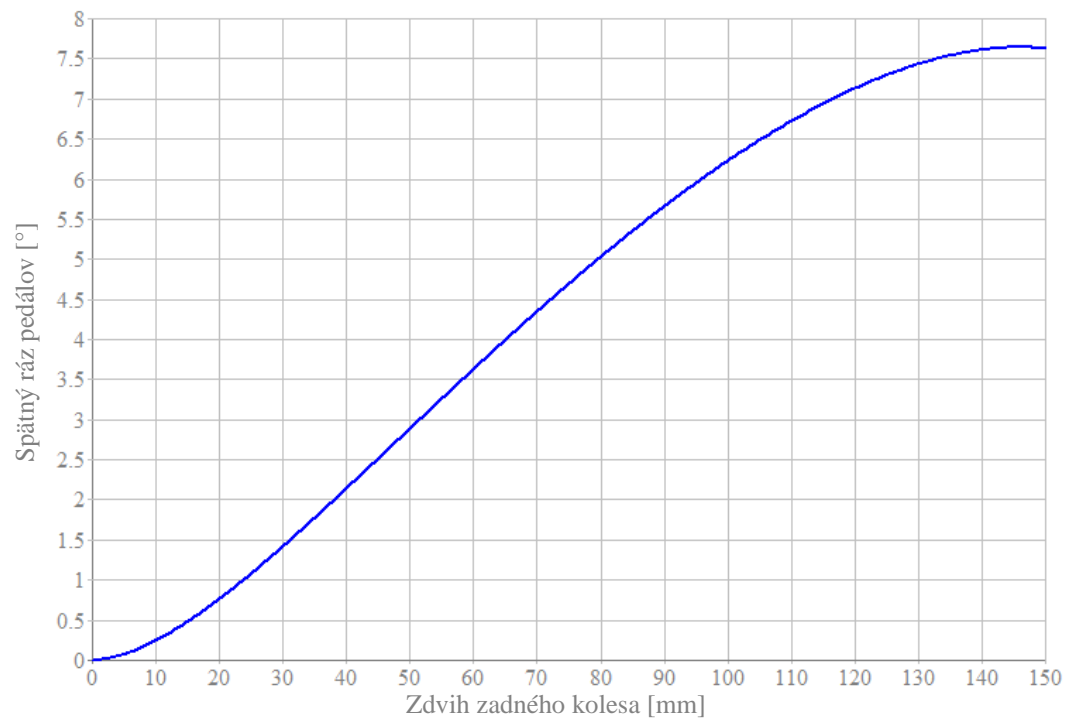
Obr. D.1 – Charakteristika spätného rázu pedálov pre prevod 32/42



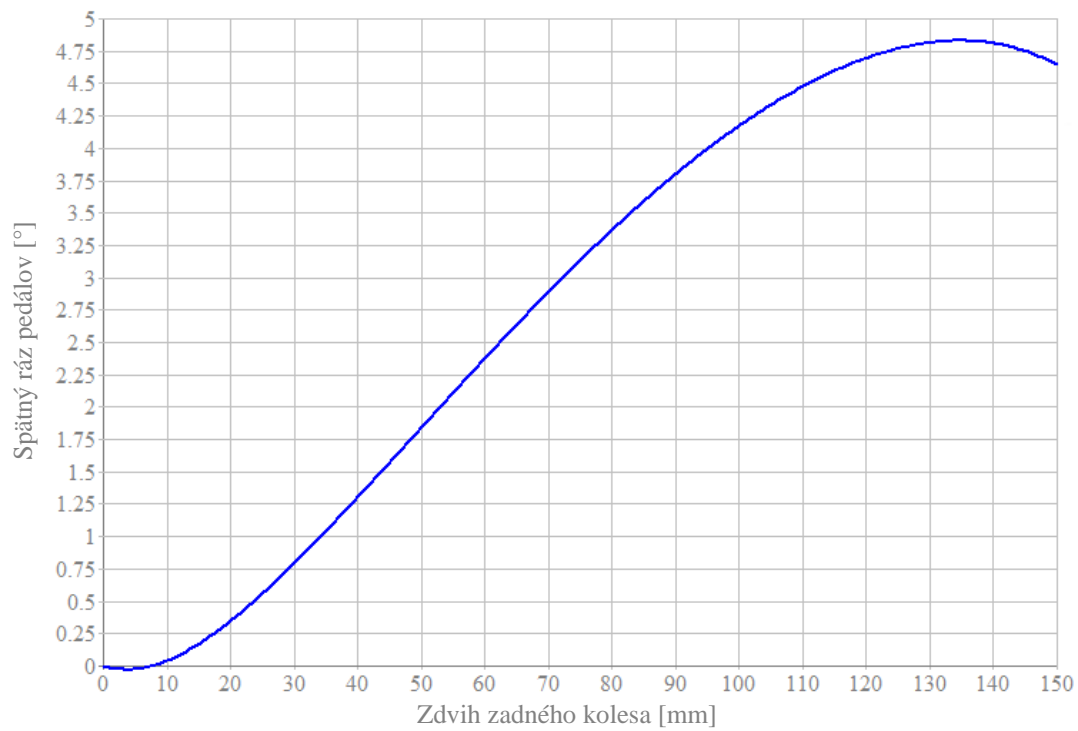
Obr. D.2 – Charakteristika spätného rázu pedálov pre prevod 32/36



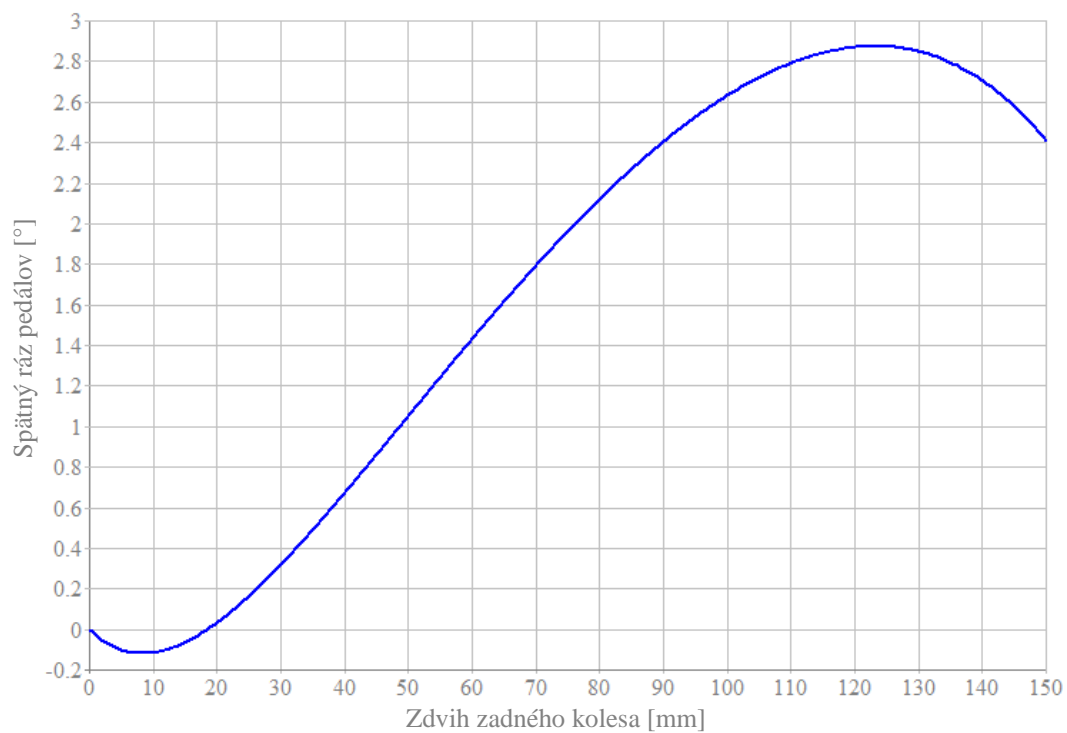
Obr. D.3 – Charakteristika spätňého rázu pedálov pre prevod 32/32



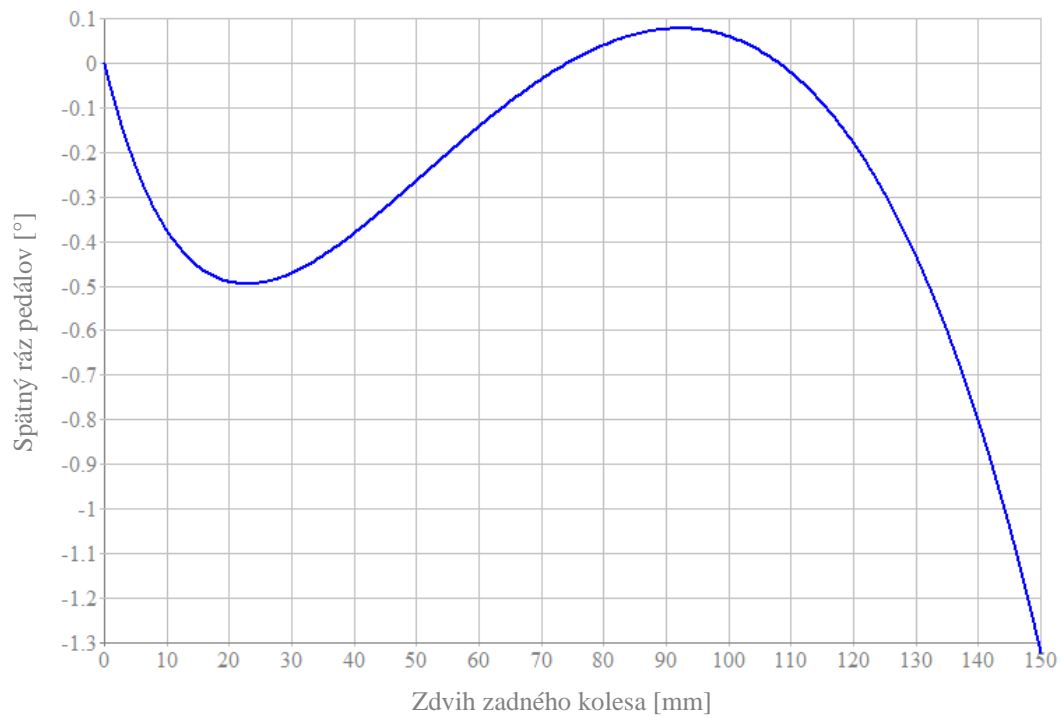
Obr. D.4 – Charakteristika spätňého rázu pedálov pre prevod 32/28



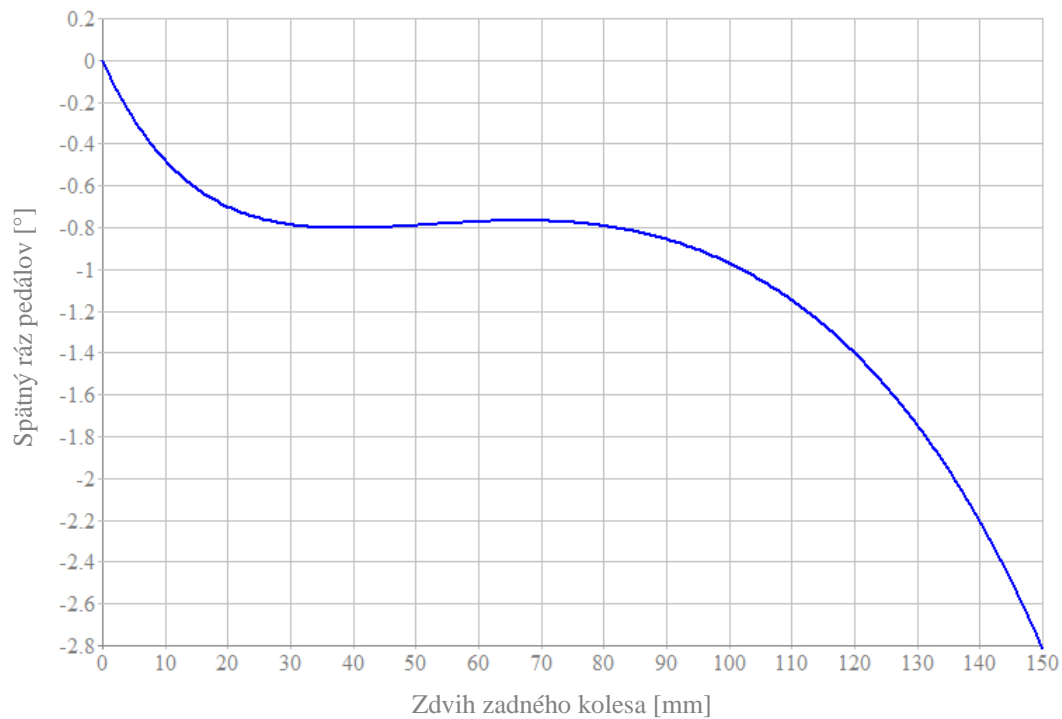
Obr. D.5 – Charakteristika spätňého rázu pedálov pre prevod 32/24



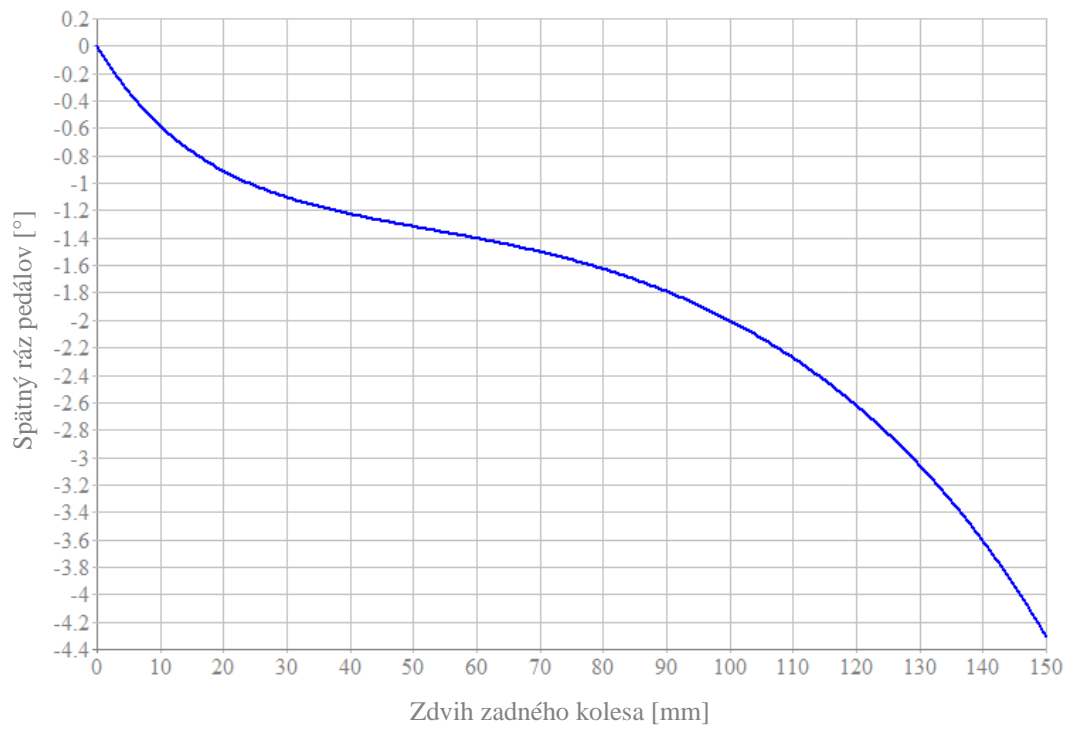
Obr. D.6 – Charakteristika spätňého rázu pedálov pre prevod 32/21



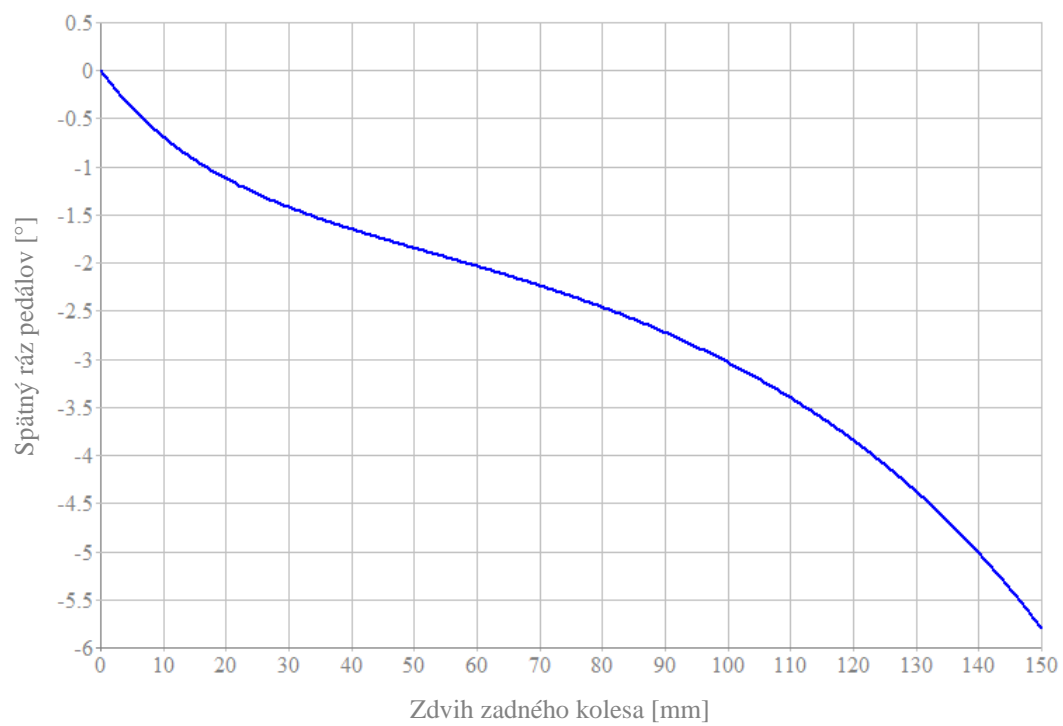
Obr. D.7 – Charakteristika spätného rázu pedálov pre prevod 32/16



Obr. D.8 – Charakteristika spätného rázu pedálov pre prevod 32/14

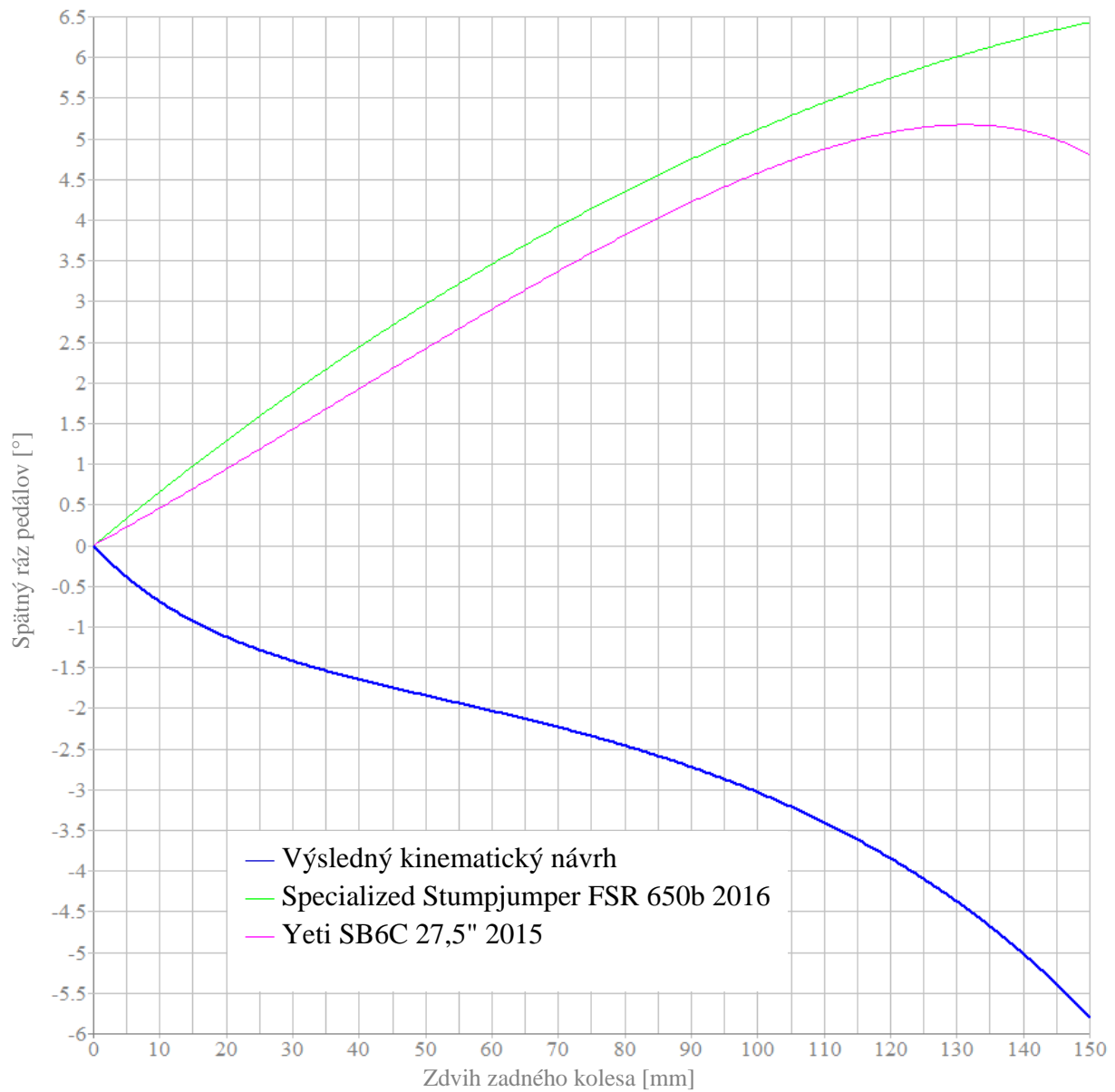


Obr. D.9 – Charakteristika spätného rázu pedálov pre prevod 32/12

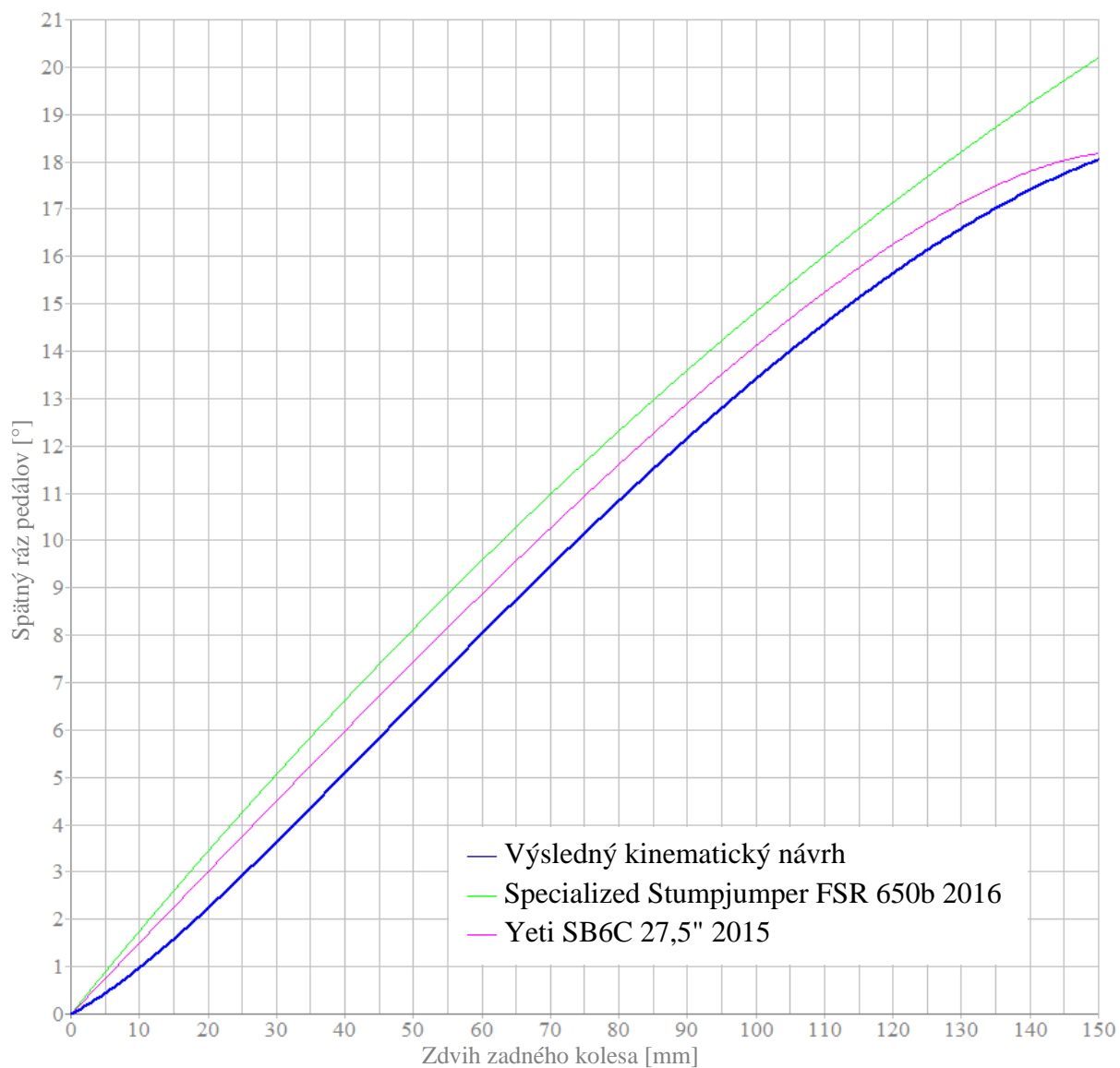


Obr. D.10 – Charakteristika spätného rázu pedálov pre prevod 32/10

## Príloha E – Porovnanie charakteristík spätného rázu pedálov



Obr. E.1 – Porovnanie charakteristík spätného rázu pedálov pre prevod 32/10



Obr. E.2 – Porovnanie charakteristík spätňého rázu pedálov pre prevod 32/42

## Príloha F – Vizualizácie



Obr. F.1 – Pohľad 1



Obr. F.2 – Pohľad 2



Obr. F.3 – Pohľad 3



Obr. F.4 – Detail vahadla a uchytenia tlmiča



Obr. F.5 – Detail prídavného reťazového kolieska