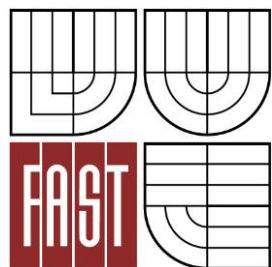




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ STATICKÉ TUHOSTI PODLOŽEK POD PATU KOLEJNICE

EVALUATION OF STATIC STIFFNESS MEASUREMENTS OF RAIL PADS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADIM TOMAN

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MIROSLAVA HRUZÍKOVÁ, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav železničních konstrukcí a staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Radim Toman

Název Vyhodnocení měření statické tuhosti podložek
pod patu kolejnice

Vedoucí bakalářské práce Ing. Miroslava Hruzíková, Ph.D.

**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2015

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....
doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

naměřená data

průběžné zprávy projektu CESTI

ČSN EN 13146-9+A1 Železniční aplikace – Kolej – Metody zkoušení systémů upevnění – Část 9: Stanovení tuhosti, 2012

OTP Pružné podložky pod patu kolejnice v bezpodkladnicovém upevnění, č. j. 57 045/95-S13, 2001

OTP Pružné podložky pod patu kolejnice v podkladnicovém upevnění, č. j. 60 789/99-O13, 2001

Zásady pro vypracování

Zpracujte data z měření statické tuhosti podložek pod patu kolejnice podle metodiky dle OTP a ČSN EN 13 146-9. Spočítejte statickou tuhost podložek, průběh zatlačení podložky a pracovní diagram. Prověřte možnost stanovení korelačního vztahu mezi výsledky (statickou tuhostí) dle OTP a ČSN EN.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).
- 3.

.....
Ing. Miroslava Hruzíková, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Podložky pod patu kolejnice jsou součástí uzlu upevnění a hrají důležitou roli v oblasti namáhání koleje. Hlavní sledovanou charakteristikou je statická a dynamická tuhost podložky. Pro stanovení statické tuhosti platí v současné době dva standardy – národní Obecné technické podmínky (OTP) a norma ČSN EN 13 146-9. Metodika stanovení statické tuhosti je však odlišná, což způsobuje rozdílné hodnoty výsledné tuhosti. V OTP jsou předepsány požadované hodnoty statických tuhostí pro použití podložek do podkladnicového nebo bezpodkladnicového systému upevnění. Tyto požadavky však nelze s ohledem na jinou metodiku měření aplikovat na tuhosti stanovené dle ČSN EN. Úkolem práce, která vychází z požadavku Správy železniční dopravní cesty, státní organizace, je změření statických tuhostí podložek podle obou metodik a prověření možností nalezení převodního vztahu mezi uvedenými metodikami.

Klíčová slova

podložky pod patu kolejnice, statická tuhost, bezpodkladnicové upevnění, podkladnicové upevnění, korelační analýza

Abstract

Rail pads are a part of rail fastening and have an important role for track strain. The main observed characteristics are a static stiffness and a dynamic stiffness of rail pad. At the moment there are two standards for determining static stiffness - the national document General technical conditions (Obecné technické podmínky - OTP) and the european norm ČSN EN 13 146-9. However, the methodology of static stiffness measuring is different. It means different values of rail pads static stiffness. In the OTP there are required values of static stiffneses for baseplate and baseplateless rail fastening. These requirements can't be applied on the static stiffness set by ČSN EN due to different measurement methodology. The aim of this thesis is to measure static stiffness of rail pads according to both methodologies and to check relation between the methodologies. The thesis proceeds from requirements of Správa železniční dopravní cesty - the national organization.

Key words

rail pads, static stiffness, baseplateless fastening, baseplate fastening, correlation analysis

Bibliografická citace VŠKP

Radim Toman *Vyhodnocení měření statické tuhosti podložek pod patu kolejnice*. Brno, 2016. 54 s., 56 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce Ing. Miroslava Hruzíková, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 18.5.2016

.....
podpis autora
Radim Toman

Poděkování:

Moje poděkování patří vedoucí bakalářské práce Ing. Miroslavě Hruzíkové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, energii a čas, který mně a mé práci věnovala. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petře Rozehnalové, Ph.D. za pomoc s matematickou statistikou.

Rád bych také poděkoval rodině a své přítelkyni za podporu a trpělivost.

V Brně dne 18.5.2016

.....
podpis autora
Radim Toman

OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	PODLOŽKY POD PATU KOLEJNICE	10
2.1	BEZPODKLADNICOVÉ UPEVNĚNÍ.....	11
2.2	PODKLADNICOVÉ UPEVNĚNÍ.....	15
3	ZATĚŽOVACÍ SOUSTAVA	18
3.1	USPOŘÁDÁNÍ ZKOUŠKY	18
3.2	MĚŘENÍ POSUNŮ.....	20
4	METODY STATICKÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY.....	22
4.1	USPOŘÁDÁNÍ ZKOUŠKY DLE OTP.....	22
4.1.1	POSTUP ZATĚŽOVÁNÍ.....	22
4.2	USPOŘÁDÁNÍ ZKOUŠKY DLE ČSN EN	23
4.2.1	POSTUP ZATĚŽOVÁNÍ.....	23
5	VYHODNOCENÍ	24
5.1	VYHODNOCENÍ DLE OTP	24
5.2	VYHODNOCENÍ DLE ČSN EN 13 146-9.....	28
6	KORELAČNÍ ANALÝZA.....	31
6.1	ANALÝZA ROZPTYLU.....	33
6.1.1	TEORETICKÝ POPIS METODIKY	33
6.1.2	APLIKACE NA VÝSLEDKY	35
6.2	CELKOVÉ SHRNUTÍ	44
7	ZÁVĚR.....	47
8	POUŽITÁ LITERATURA.....	48
	SEZNAM TABULEK	49
	SEZNAM OBRÁZKŮ	50
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	52
	SEZNAM PŘÍLOH.....	54

1 ÚVOD

Úkolem bakalářské práce je vyhodnocení statických tuhostí podložek pod patu kolejnice, které jsou součástí systémů upevnění, kde snižují dynamické namáhání jízdní dráhy, intenzitu vibrací a hluk od kolejové dopravy. Podložky pod patu kolejnice snižují tuhost jízdní dráhy, přičemž se kolové síly roznášejí na delším úseku koleje. Na jeden pražec pak připadá menší část kolové síly. Podložky se vkládají mezi patu kolejnice a podkladnici, resp. mezi patu kolejnice a úložnou plochu pražce.

Požadavky na vlastnosti podložek pod patu kolejnice vychází z Obecných technických podmínek (dále OTP), ve kterých je požadavek na statickou tuhost. OTP jsou národním dokumentem, který platí od roku 1996 se změnou v roce 2001. V roce 2012 byla vydána evropská norma ČSN EN 13 146-9 (dále ČSN EN), která rovněž předepisuje požadavek na statickou tuhost pryžových podložek. Uspořádání statické zkoušky se však u obou standardů liší, přičemž změny mají významný vliv na výsledné statické tuhosti. V současné době jsou oba standardy platné, a proto dodavatelé musí dokládat statickou tuhost změřenou oběma metodikami.

Bakalářská práce vychází z požadavku Správy železniční dopravní cesty, státní organizace (SŽDC). Úkolem práce je vyhodnotit statické tuhosti podložek pod patu kolejnice podle metodiky dle OTP a ČSN EN a dále posoudit závislost mezi změřenými hodnotami. Cílem práce je prověřit převodní vztah mezi výsledky dle OTP a dle ČSN EN.

2 PODLOŽKY POD PATU KOLEJNICE

Pryžové podložky se vkládají mezi patu kolejnice a úložnou plochu pražce (bezpodkladnicového systému upevnění) nebo mezi patu kolejnice a podkladnici (podkladnicového systému upevnění), kde mají za úkol redukovat dynamické účinky a vibrace od kolejové dopravy. Dalším důležitým faktorem je snížení hluku šířícího se do prostředí. Podložky pod patu kolejnice se vyrábějí z pružných materiálů, nejčastěji z pryže, které musí splňovat technické a fyzikálně - mechanické vlastnosti.

Fyzikálně - mechanické vlastnosti:

- odolnost proti dynamickému zatěžování
- odolnost proti povětrnostním vlivům
- odolnost proti účinkům ropných produktů
- odolnost proti pesticidům a herbicidům

Naopak samotná podložka nesmí zapříčinit korozi u ostatních betonových či kovových materiálů.

Technické požadavky na podložky:

- označování
- rozměry
- materiál
- vliv na životní prostředí
- provedení a vzhled
- rozsah tuhosti
- odpor proti podélnému posunu
- životnost

Výrobky musí být značeny z výroby, kde musí definovat výrobce, datum výroby, tvar a materiál. Místa pro popis jsou umístěna na vyčnívajících rozích podložky nebo uvnitř kruhového vtisku. [4]

Rozměry a tloušťka pryžové podložky se liší podle druhu upevnění. Tloušťky podložek mohou být 5 mm, 6 mm nebo 7 mm, případně 11,5 mm pro upevnění Pandrol FastClip. Tolerance kolísání tloušťky na jedné podložce je 0,5 mm.

Povrch pryžových podložek se různě upravuje. Nejčastěji to mohou být jednostranně či oboustranně rýhované podložky. Dále se na povrchu vytvářejí vtisky nebo oválné výstupky. [5]

Rozměry používaných podložek jsou k dohledání ve služební rukověti SR 103/3 (S) „Výkresy materiálu pro železniční svršek - kolej“.



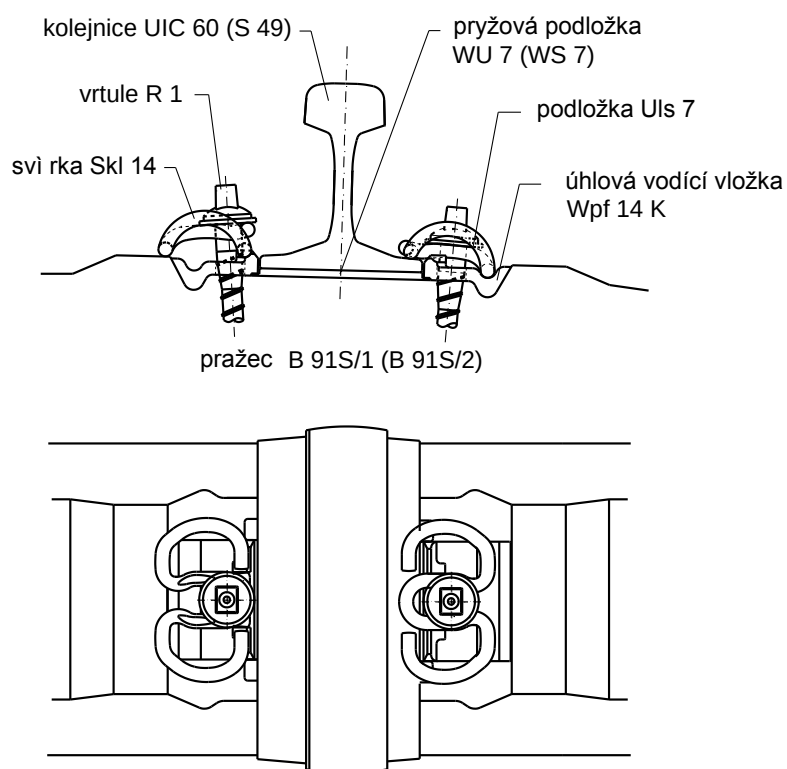
Obr. 1 - Příklady pryžových podložek pod patou kolejnice

2.1 BEZPODKLADNICOVÉ UPEVNĚNÍ

V síti SŽDC se používá bezpodkladnicové upevnění firem Vossloh a Pandrol. Nejrozšířenější typ upevnění firmy Vossloh používaný v ČR je W 14 s pružnými svěrkami typu Skl 14. Používané podložky pod patu kolejnice v upevnění W 14 jsou WU 7 a WS 7, podle tvaru kolejnice (podle šířky paty kolejnice). Přehled sestavy upevnění W 14 je v *Obr. 2*. Na *Obr. 6* až *Obr. 8* jsou přehledy sestav upevnění E 14, W 14NT a S 15 s podložkami pod patu kolejnice Zw 693, Zw 900NT a Zw 402

Upevnění Pandrol používá v bezpodkladnicovém upevnění spony FastClip, které jsou zasouvány do kotev zabetonovaných v pražci (*Obr. 4* a *Obr. 5*). Upevnění se dělí podle zajištění (FC II) nebo nezajištění (FC I) druhotné tuhosti spony. V tomto systému upevnění se vkládají podložky 6530. [9]

V bakalářské práci byly zkoušeny podložky pro upevnění W 14.



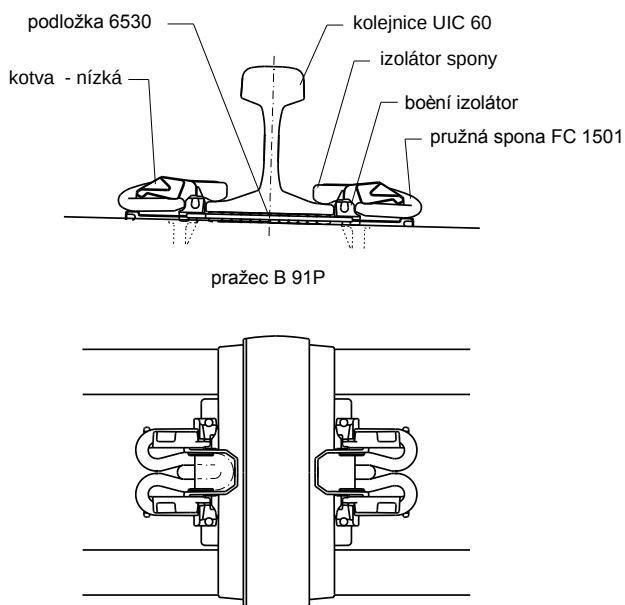
Obr. 2 - Upevnění W 14 [9]



Obr. 3 - Upevnění W 14 bez kolejnice [8]

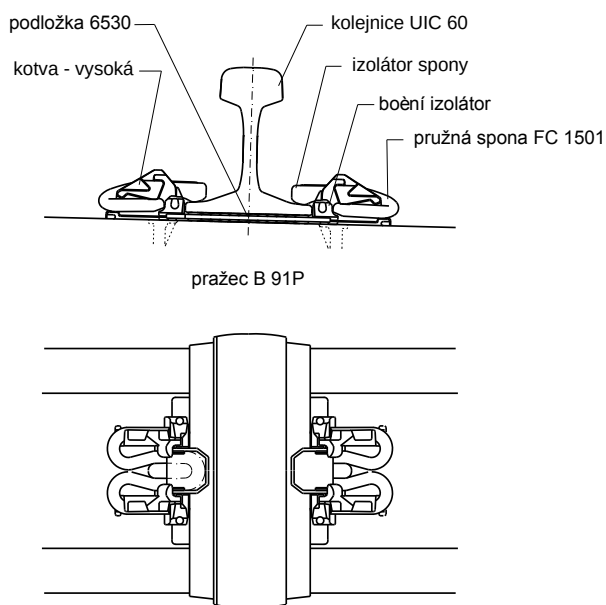
Další schválené systémy bezpodkladnicové upevnění, dle předpisu SŽDC (ČD) S3 „Železniční svršek“ díl VII [9] - v účinnosti od 1. října 2008:

- upevnění FC I: kolejnice 60E2, pražce B 91P, pružné spony FC bez zajištění druhotné tuhosti



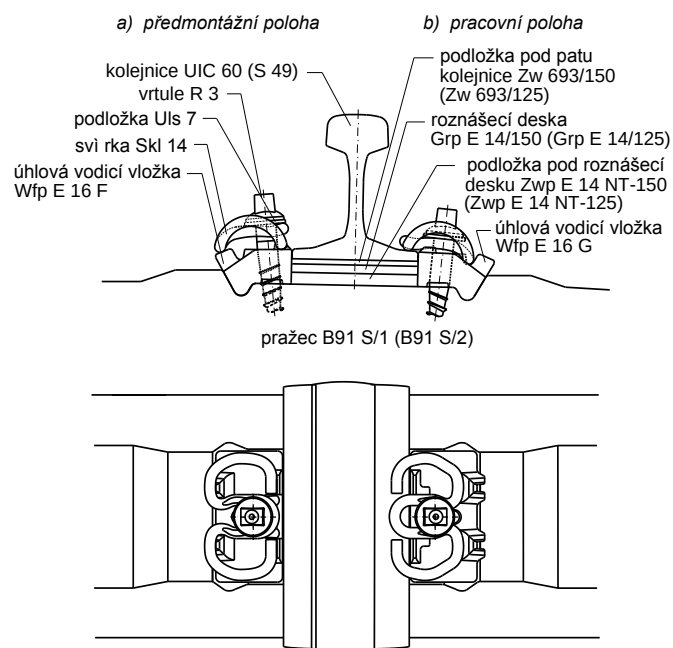
Obr. 4 - Upevnění FC I

- upevnění FC II: kolejnice 60E2, pražce B91P, pružné spony FC se zajištěním druhotné tuhosti



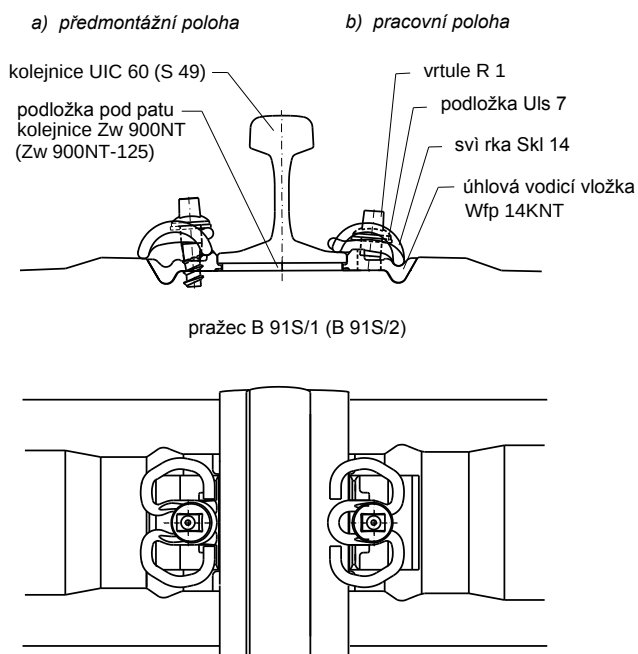
Obr. 5 - Upevnění FC II

- upevnění E 14: kolejnice 60E2 (49E1), pražce B91S/1 (B91S/2), pružné svěrky Skl 14 se zvýšenou svislou pružností



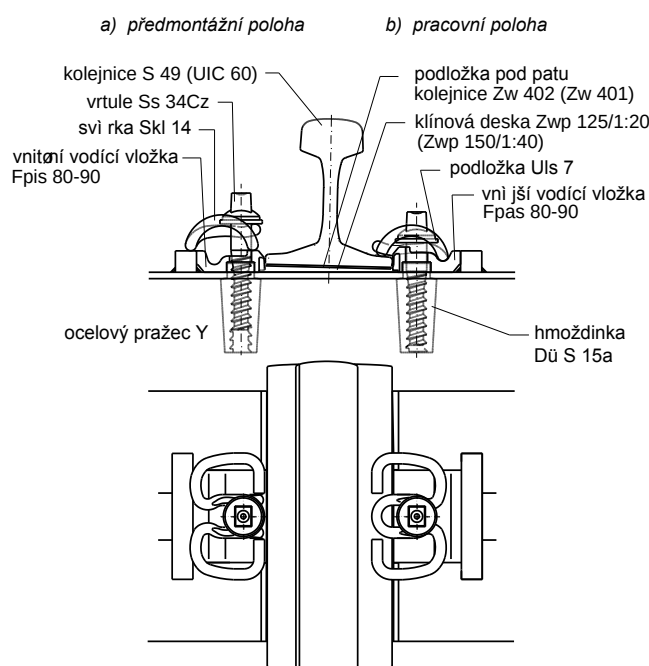
Obr. 6 - Upevnění E 14

- upevnění W 14NT: kolejnice 60E2 (49E1), pražce B91S/1 (B 91S/2), pružné svěrky Skl 14



Obr. 7 - Upevnění W 14NT

- upevnění S 15: kolejnice 49E1 (60E2), pražce Y, pružné svěrky Skl 14



Obr. 8 - Upevnění S 15

2.2 PODKLADNICOVÉ UPEVNĚNÍ

V tomto upevnění se používají ocelové podkladnice. Vyrábějí se ploché i v úklonu 1:20. Použití podkladnic umožňuje roznos zatížení na větší plochu pražce, což je přínosné pro životnost celého upevnění. Upevnění podkladnic k pražci je nejčastěji pomocí čtyř vrtulí. Používají se jak pružné podložky pod patu kolejnice, tak polyetylenové podložky pod podkladnice. Podkladnice se dělí na klínové, rozponové a žebrové.

Klínové podkladnice, označovány T 1, T 2 a T 3, byly přímo upevňovány pomocí vrtulí T 1. Vrtule procházely skrz otvory v podkladnici a kolejnici držely částí hlavy. K uchycení kolejnice se používaly dvě, popřípadě tři vrtule.

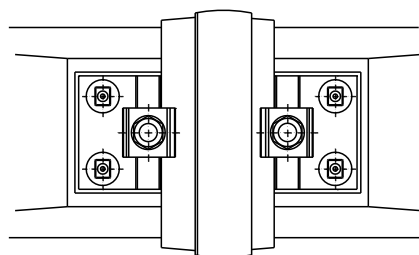
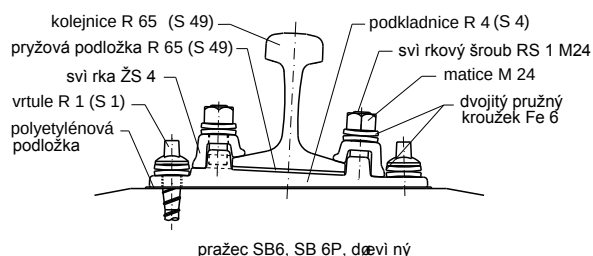
Dalším druhem jsou podkladnice rozponové se svěrkami typu T 5, T 6 nebo R 1. Typy rozponových podkladnic T 5, TR 5, T 6, T 7, T 8, se používají s ohledem na typ pražců a kolejnic nebo podle použití v mostních konstrukcích. Nevýhodou rozponových podkladnic je, že sami o sobě nevymezují polohu kolejnice a při uvolněných upevňovacích tak může dojít ke změně rozchodu koleje. Předpisem SŽDC S3/2 je také omezeno její použití v bezстыkové koleji. Tento typ podkladnice se do kolejí nově nekládá. Pro podkladnicové upevnění se preferují podkladnice žebrové.

Žebrové podkladnice vymezují polohu kolejnice dvěma žebry, které doplňují tuhé nebo pružné svěrky či spony. Pro tuhé upevnění je schváleno použití svěrek ŽS 4. Pružné svěrky mají označení Skl 24 (nahradily svěrky Skl 12) systému Vossloh a pružné spony v systému Pandrol „e“. Žebrové podkladnice mají výhodu oproti rozponovým v tom, že pokud se uvolní svěrky, tak kolejnice je dále držena pomocí žebrové, které zamezují změně rozchodu.

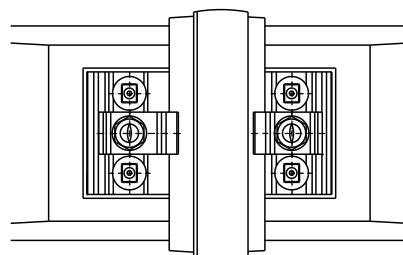
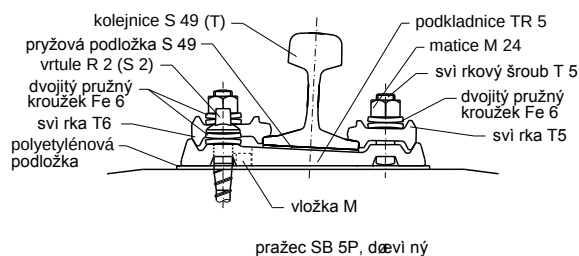
Pro podkladnicové upevnění se používají podložky pod patu kolejnice typu R 65 nebo S 49.

[5]

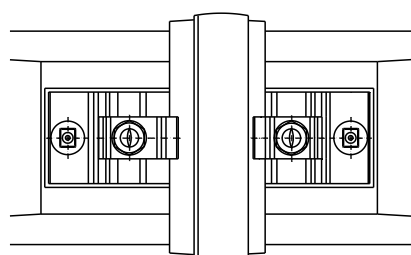
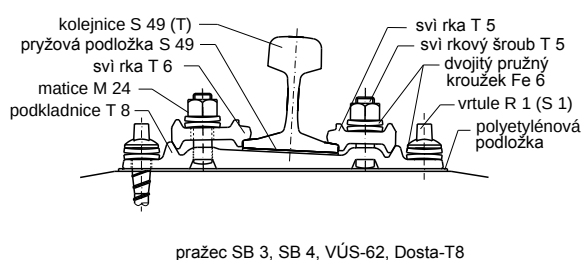
Ukázka vybraných sestav pro podkladnicové upevnění dle předpisu SŽDC (ČD) S3 „Železniční svršek“ díl VII [9] - v účinnosti od 1. října 2008:



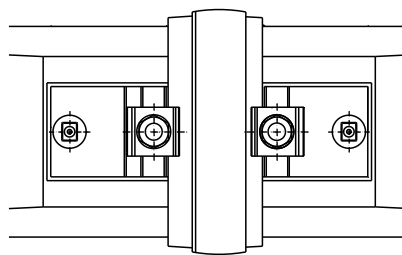
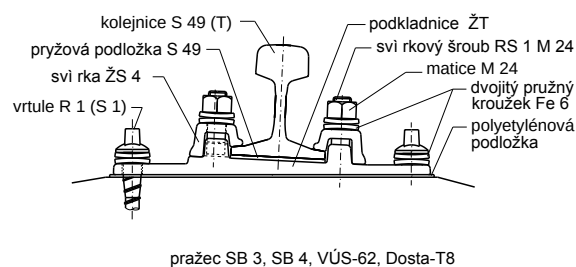
Obr. 9 - Žebrová podkladnice R 4 (S 4)



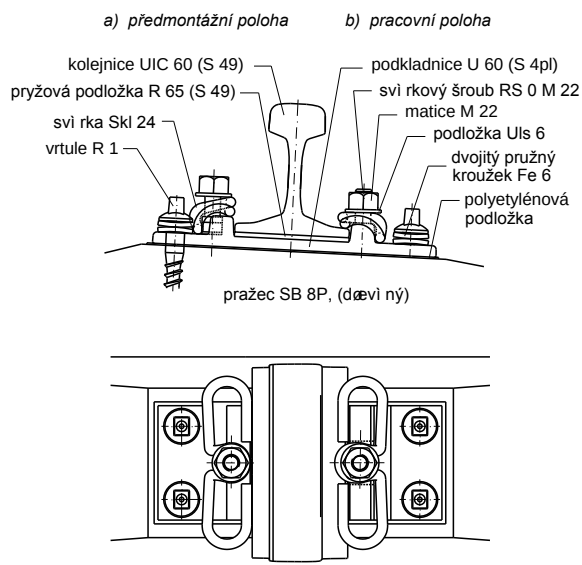
Obr. 10 - Rozponová podkladnice TR 5 pro kolejnice 49E1



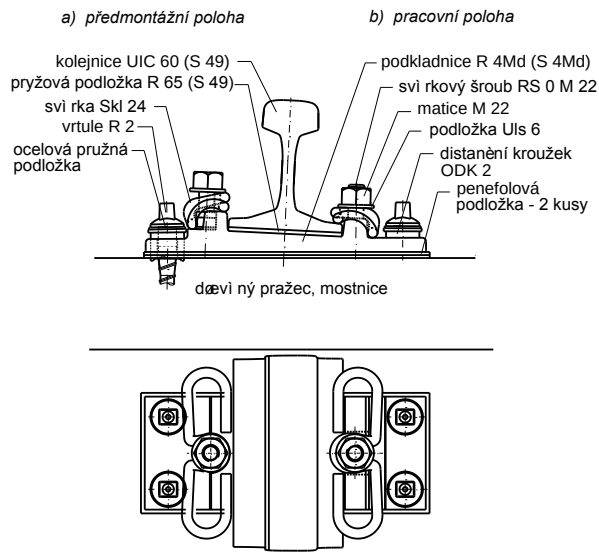
Obr. 11 - Rozponové podkladnice T 8



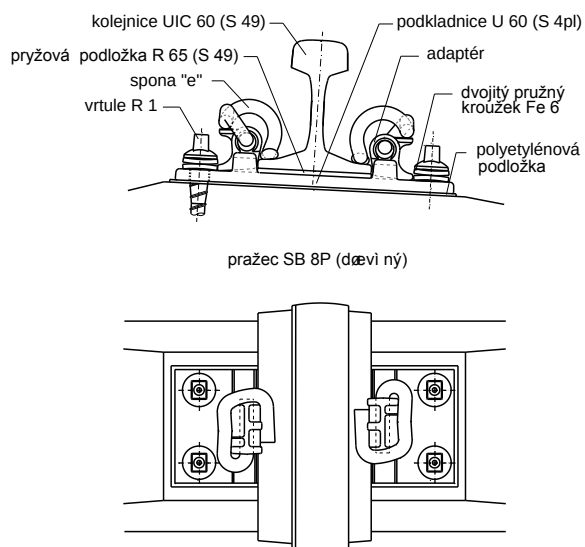
Obr. 12 - Žebrová podkladnice ŽT



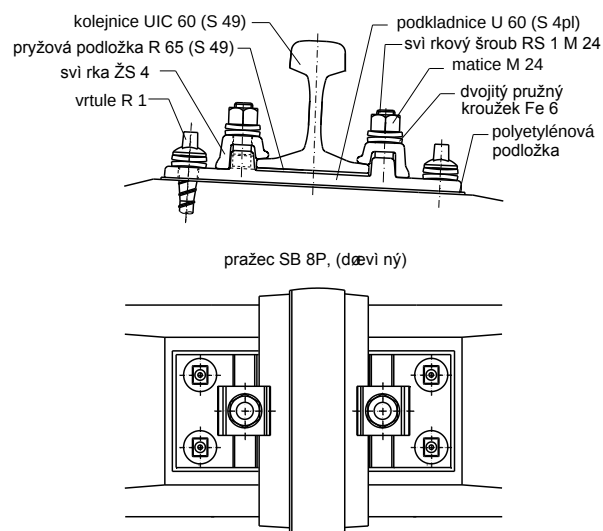
Obr. 13 - Upevnění KS, svěrka Skl 24



Obr. 14 - Upevnění KSd, svěrka Skl 24,
podkladnice R 4Md (S 4Md)



Obr. 15 - Upevnění Ke, spony „e“



Obr. 16 - Upevnění K, svěrky ŽS 4

3 ZATĚŽOVACÍ SOUSTAVA

Hydraulická zatěžovací souprava se skládá z hlavní plošiny, ke které je upevněn kovový rám s hydraulickým válcem. Zatěžovací zařízení je řízeno pomocí počítače. Pod vodorovnou částí rámu se vysouvá hydraulický válec, který dosedá a zatěžuje sestavu.

Statická tuhost podložek pod patu kolejnice byla měřena v prostorách Fakulty stavební VUT v Brně pomocí hydraulické zatěžovací soustavy FA 120 - 2000 M01 s maximální silou lisu 120 kN.



Obr. 17 - Zatěžovací zařízení

Zkušební prostor pro provádění statické zkoušky podložek pod patu kolejnice musí splňovat předepsanou teplotu 23°C, od které se nesmí lišit o více jak 2 °C. [4]

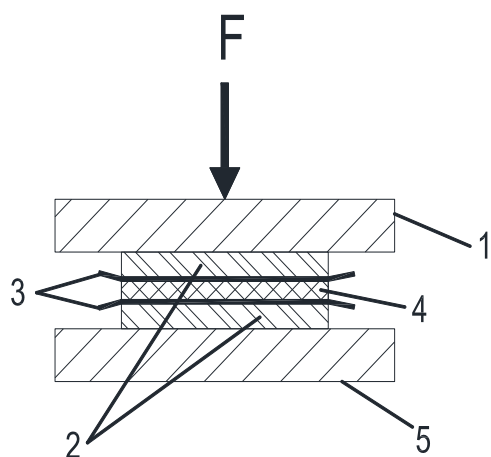
3.1 USPOŘÁDÁNÍ ZKOUŠKY

Zatěžovací sestava se skládá z ocelových desek a zkoušené podložky. Nejspodnější deskou je základna, která zajišťuje, že celá soustava bude ve vodorovné rovině. Dále musí být dostatečně tuhá, aby nedocházelo k deformacím, které by ovlivnily výsledky měření. Základna by měla být řádně upevněna proti možným vodorovným posunům. Dále základna nese spodní a horní desky roznášející zatížení, které mají pravoúhlý průřez se zaoblenými hranami.

Jedna roznášecí deska simuluje kolejnici, tzn. její šířka odpovídá šířce paty kolejnice (125 mm pro kolejnici 49E1 nebo 150 mm pro kolejnici 60E2, resp. R 65). Druhá roznášecí deska v zatěžovací soustavě supluje podkladnici. Šířka této desky je 150 mm, což odpovídá šířce podkladnice. V případě bezpodkladnicového upevnění má roznášecí deska půdorysné rozměry větší než samotný rozměr podložky tak, aby byla podložka podepřena v celé ploše. Délka roznášecích desek vyplývá z požadavků ČSN EN 13 146-4 a má hodnotu 210 mm. [2]

Tloušťka desek byla volena tak, aby byly desky dostatečně tuhé a nevykazovaly žádné deformace, které by zkreslily výsledky zkoušky. Pro kontrolu byla sestava desek bez podložky zkušebně zatížena. Celková deformace soustavy byla 0 mm. Tloušťka roznášecích desek je 40 mm.

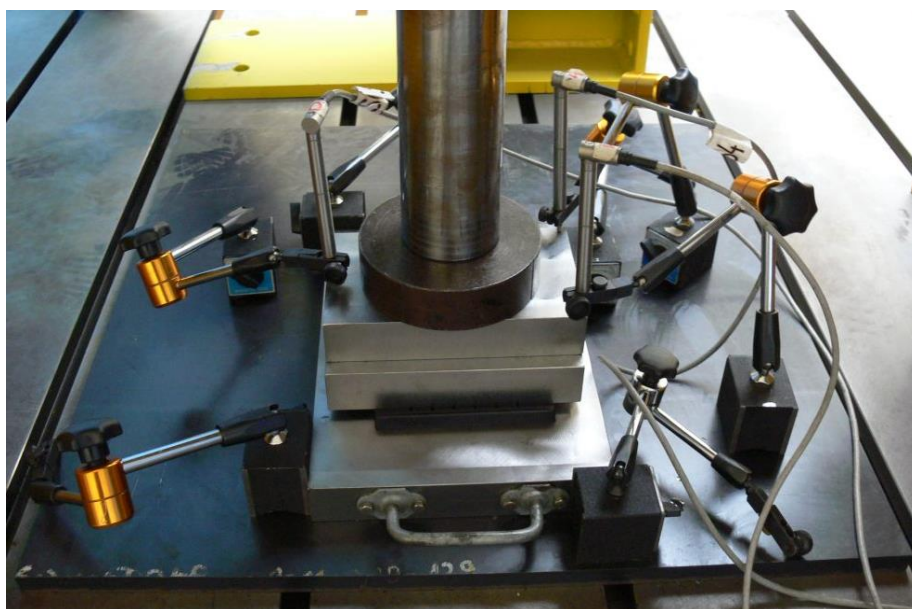
Mezi desky roznášející zatížení se vloží zkoušená podložka. Pokud se zatěžuje podle normy ČSN EN 13 146-9, tak se mezi podložku a roznášecí desku vloží brusné plátno, které je vždy orientováno hrubou stranou k podložce. Brusné plátno musí splňovat minimální rozměry, což jsou rozměry zkoušené podložky. Nad všemi deskami je umístěna tuhá kovová deska, ke které jsou připojeny snímače posunů. [2]



Legenda:

- 1 kovová deska
- 2 desky roznášející zatížení
- 3 brusné plátno pro ČSN EN 13 146-9
- 4 podložka pod patu kolejnice
- 5 základna

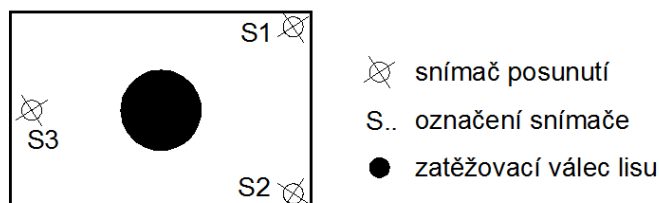
Obr. 18 - Schéma uspořádání



Obr. 19 - Zatěžovací sestava

3.2 MĚŘENÍ POSUNŮ

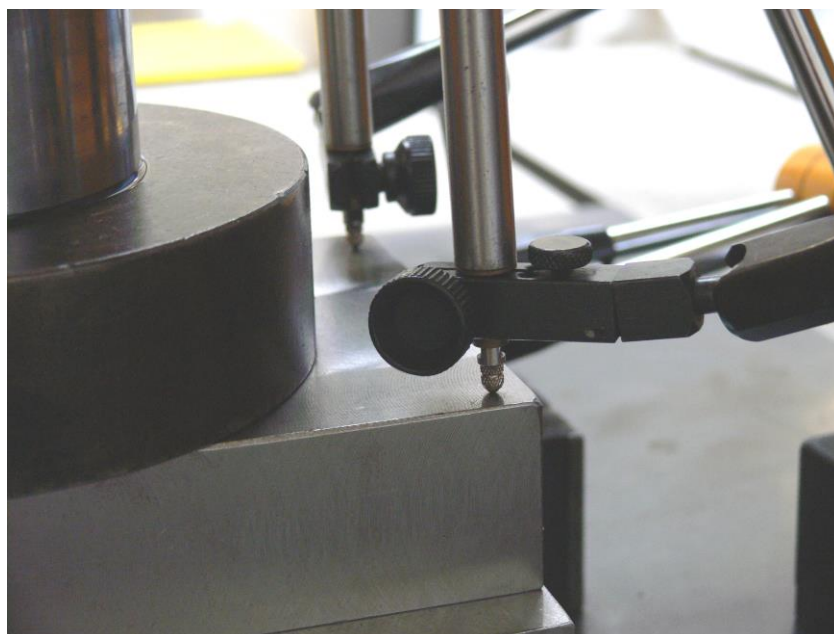
Přístroje pro měření posunů se rozmístí po kovové desce a to tak, aby vyhovovaly příslušné metodě zatěžování. Pro metodu OTP jsou povinné minimálně 2 mechanické snímače uložené na protějších stranách [4]. Norma ČSN EN 13 146-9 požaduje minimálně 3 nezávislé snímače [2]. Snímače byly umístěny do dvou rohů kratší strany kovové desky a na protější stranu uprostřed.



Obr. 20 - Rozmístění snímačů

Požadavek na počet snímačů posunutí vychází z požadavku na kontrolu osového zatěžování podložky. V případě, že by byla podložka nerovnoměrně zatlačována, což by se projevilo na výrazných rozdílech naměřených posunutí na jednotlivých snímačích, musí se dané měření vyřadit z hodnocení. Posouzení nerovnoměrného zatlačování podložky je zavedeno také do vyhodnocení měření v ČSN EN 13 146-9 [2].

Při měření byly použity indukčnostní snímače typu WA-10-T. Snímače byly na zatěžovací sestavu osazeny pomocí magnetických úchytek s kloubovými rameny. Rozsah použitých snímačů je 10 mm. Důležité bylo nastavení snímačů tak, aby nebyl vyčerpán samotný rozsah snímače, který by znehodnotil výsledek statické zkoušky. Použité snímače automaticky zaznamenávají hodnoty posunů.



Obr. 21 - Osazení snímačů



Obr. 22 - Indukční snímač posunutí

4 METODY STATICKÉ ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠKY

Podstatou zkoušek je zatěžovat podložky svislou silou kolmo na plochu zkoušené podložky, na které se měří přetvoření pomocí snímačů.

Celý proces zatěžování je digitálně zaznamenán pomocí záznamového zařízení, které graficky zobrazuje přetvoření a hodnotu působícího zatížení.

4.1 USPOŘÁDÁNÍ ZKOUŠKY DLE OTP

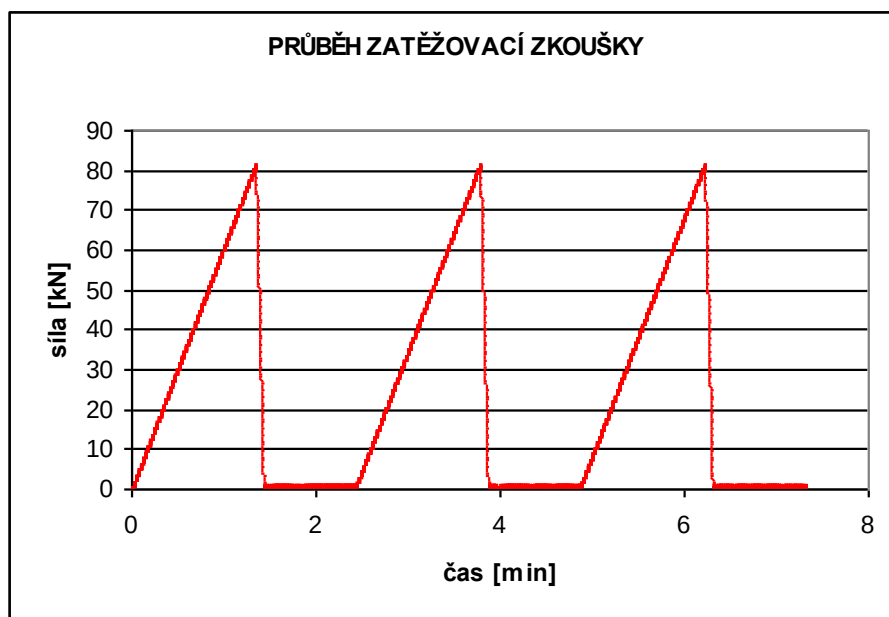
Zkoušení podložek na statickou tuhost vychází z Obecných technických podmínek pro pružné podložky pod patu kolejnice v bezpodkladnicovém upevnění W 14 č. j. 57045/96-S13, které nabývají platnosti 15.7.1996 nebo z Obecných technických podmínek pro pružné podložky pod patu kolejnice v podkladnicovém upevnění č. j. 60789/99-O13 včetně změny č. 1 s účinností od 1.9.2001.

Podložky pro bezpodkladnicové upevnění W 14 se zatěžují na funkční části, což je plocha bez bočních výstupků, které se využívají pro označování podložek.

Princip zatěžovací zkoušky je u bezpodkladnicového i podkladnicového upevnění podle OTP totožný, a proto následující postup zatěžování popisuje obě metodiky.

4.1.1 POSTUP ZATĚŽOVÁNÍ

Samotný vzorek i ostatní součásti zatěžovací soustavy se očistí od povrchových nečistot a uloží se v předepsaném pořadí (zmíněné v kapitole 3.1) pod zatěžovací válec hydraulického lisu. Na horní roznášecí desku se osadí tři snímače. Podložka se přitíží na 1 kN. Následně se zatěžuje do maximální hodnoty 80 kN. Interval zatěžování 1 - 80 kN probíhá rychlostí 1 kN.s^{-1} . Po dosažení 80 kN se podložka odtíží cca do 10 s zpět na 1 kN. Celkově je podložka zatížena třemi zatěžovacími cykly, mezi kterými jsou minutové prodlevy, které slouží k relaxaci materiálu. Celková doba zatěžovací zkoušky trvá přibližně 7,5 minuty. [3][4]



Obr. 23 - Časový průběh síly u zatěžovací zkoušky dle OTP

4.2 USPOŘÁDÁNÍ ZKOUŠKY DLE ČSN EN

Postup pro zkoušení podložek pod patu kolejnice vychází z ČSN EN 13 146-9+A1 s názvem Železniční aplikace - Kolej - Metody zkoušení systémů upevnění - Část 9: Stanovení tuhosti s účinností o 1.6.2012. Hodnoty zatěžování vychází z ČSN EN 13 481-1 a ČSN EN 13 481-2.

4.2.1 POSTUP ZATĚŽOVÁNÍ

Zatěžovací sestava včetně vzorku musí být v případě potřeby zbavena nečistot stejně jako u OTP. Pryžová podložka se umístí mezi desky roznášející zatížení tak, jak je uvedeno v kapitole 3.1 a zároveň, aby se působilo na aktivní plochu podložky. Důležité je vložení dvou brusných plátů s hrubým povrchem orientovaným k pryžové podložce. Soustava je přitížena na sílu 18 kN. Zatěžovací cykly probíhají v rozsahu sil od $F_{SP1} = 18$ kN (odpovídá teoretické svěrné síle svěrek) do $F_{SPmax} = 85$ kN. Rychlost zatěžování i odlehčování je (120 ± 10) kN.min⁻¹. Podložka je takto zatížena celkem čtyřmi cykly. Celková doba zatěžovací zkoušky trvá přibližně 5 minut. [2]



Obr. 24 - Časový průběh sil u zatěžovací zkoušky dle ČSN EN

5 VYHODNOCENÍ

Celkově bylo realizováno 97 zkoušek statické tuhosti podložek pod patu kolejnice, z toho 49 zkoušek dle OTP a 48 zkoušek dle ČSN EN. Celkově jsem tedy vyhodnotil 97 měření.

Metodou dle OTP:

- 21x pro bezpodkladnicové upevnění W 14
- 28x pro podkladnicové upevnění

Metodou dle ČSN EN:

- 27x pro bezpodkladnicové upevnění W 14
- 21x pro podkladnicové upevnění

Uspořádání zkoušek statické tuhosti podložek pod patu kolejnice je u OTP a ČSN EN jiné. Rozdíly v uspořádání a zatížení jsou natolik významné, že mají podstatný vliv na hodnotu výsledné tuhosti. Popis vyhodnocení statické tuhosti je uveden v následujících kapitolách. Příklad vyhodnocení byl proveden na konkrétním měření.

5.1 VYHODNOCENÍ DLE OTP

Při výpočtu statické tuhosti podložky pod patu kolejnice dle OTP se postupuje stejně jak u bezpodkladnicového upevnění W 14, tak u podkladnicového upevnění. Samotný výpočet vychází ze třetí zatěžovací větve. Statická tuhost je vyčíslena jako sečná tuhost pro rozsah zatížení 20 - 70 kN. Hodnoty posunů ze tří snímačů se zprůměrují a do výpočtu se uvažuje rozdíl posunů odpovídající silám 70 kN a 20 kN.

Výsledná statická tuhost se vypočítá podle vzorce:

$$k = \frac{F_{70} - F_{20}}{d} \text{ [kN.mm}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

k statická tuhost [kN.mm⁻¹]

F_{70}, F_{20} síla pro výpočet statické tuhosti $F_{70} = 70$ kN a $F_{20} = 20$ kN [kN]

d průměrná hodnota stlačení podložky, $d = d_{70} - d_{20}$ [mm]

d_{70} průměrné posunutí při působícím zatížení 70 kN [mm]

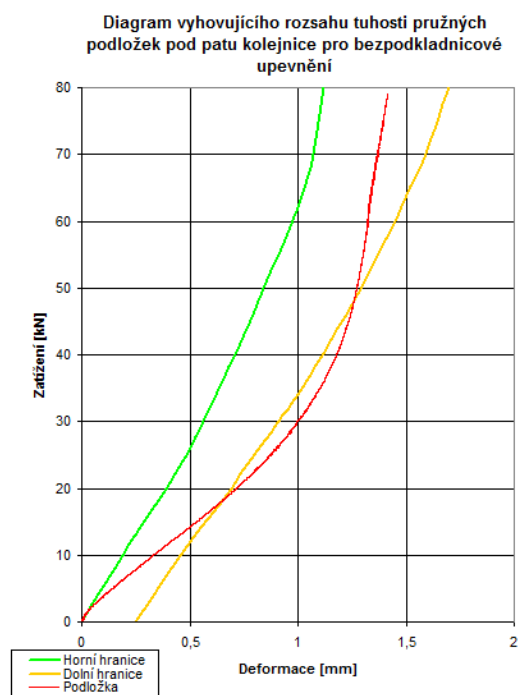
d_{20} průměrné posunutí při působícím zatížení 20 kN [mm]

Vyhodnocení jsem dále doplnil výpočtem statické tuhosti z hodnot stlačení podložky pro každý jednotlivý snímač zvlášť (viz Obr. 25). Snímače jsem označil Y_1 , Y_2 a Y_3 .

Dle požadavku OTP musí hodnota statické tuhosti odpovídat rozsahu 55 - 75 kN.mm⁻¹ pro upevnění bezpodkladnicové W 14 a rozsahu 90 - 120 kN.mm⁻¹ pro upevnění podkladnicové. Zároveň musí třetí zatěžovací větev deformační křivky podložky ležet mezi limitními křivkami v diagramu vyhovujícího rozsahu tuhosti. Tento diagram je přílohou v příslušných OTP a je pro oba typy upevnění jiný. [3] [4]

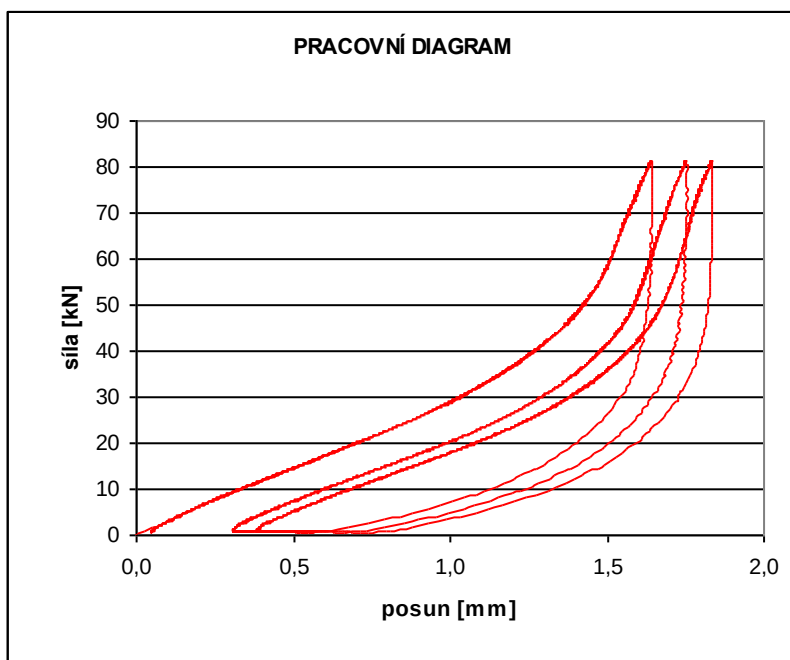
Průměr			
F ₇₀ [kN]	70,013		
F ₂₀ [kN]	19,993		
d [mm]	0,859		
k [kN/mm]	(F ₇₀ -F ₂₀)/d=	58,232 kN/mm	
	Y ₁	Y ₂	Y ₃
F ₇₀ -F ₂₀ [kN]	50,020	50,020	50,020
d _{70,i} [mm]	2,851	2,133	2,000
d _{20,i} [mm]	1,932	1,260	1,215
d _i [mm]	0,919	0,873	0,785
k _i [kN/mm]	54,435	57,309	63,702
Ověření trvalé deformace [mm]			
< 0,25 mm		0,020	
Ověření statické tuhosti podložek [kN/mm]			
k ∈ (55;75)		Vyhovuje	

Obr. 25 - Výpočet statické tuhosti dle OTP

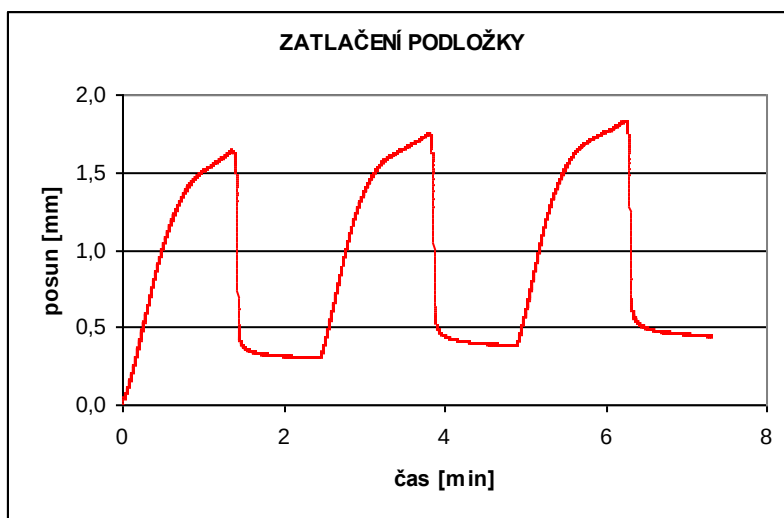


Obr. 26 - Diagram rozsahu tuhosti dle OTP definovaný limitními křivkami

Na Obr. 26 je vidět poloha 3. zatěžovací větve pracovního diagramu vůči limitním křivkám definovaným v OTP. Na Obr. 27 je pak zobrazen kompletní pracovní diagram, ze kterého jsou patrné tři zatěžovací cykly. Jednotlivé cykly jsou vůči sobě posunuté, což je důsledek trvalé deformace podložky.



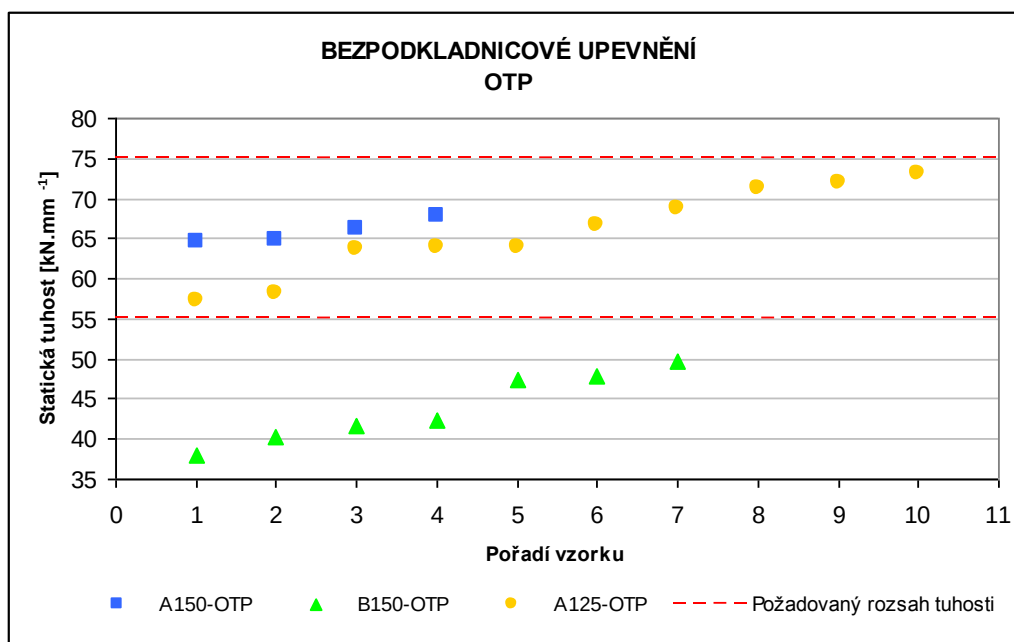
Obr. 27 - Pracovní diagram podložky pod patu kolejnice z laboratorní zkoušky dle metodiky OTP



Obr. 28 - Zatlačení podložky dle OTP

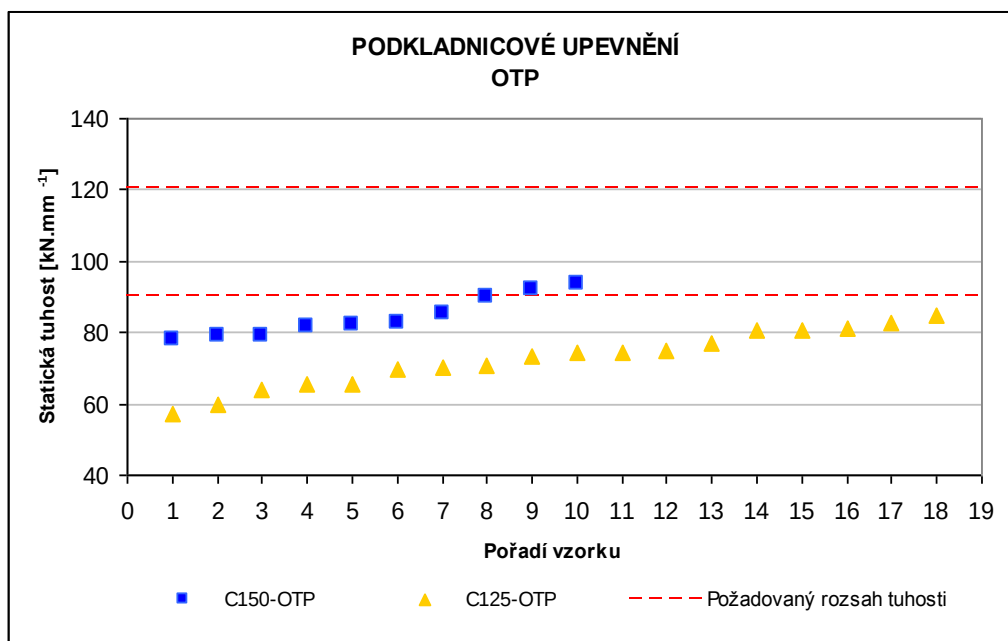
Kromě ověření statické tuhosti se kontroluje trvalá deformace, která se stanovuje jako rozdíl hodnot posunutí na konci celého zatěžování (jednu minutu po odlehčení posledního cyklu) a těsně před začátkem třetí zatěžovací větve. Tato deformace musí být menší nebo rovna 0,25 mm. [3] Všechny měřené podložky požadavek trvalé deformace splňovaly.

Vyhodnocení statických tuhostí dle OTP je uvedeno v *Příloze 1*. Grafické znázornění pracovního diagramu, zatlačení podložky a vyhovujícího rozsahu tuhosti limitními křivkami je uvedeno v *Příloze 3*.



Obr. 29 - Bezpodkladnicové upevnění - požadovaný rozsah tuhosti dle OTP

Vyhodnocením podložek pod patu kolejnice metodou dle OTP v bezpodkladnicovém upevnění (Obr. 29) pro 21 měření bylo zjištěno, že 14 (66,67 %) podložek vyhovělo stanovenému rozsahu statické tuhosti $55 - 75 \text{ kN} \cdot \text{mm}^{-1}$. Požadavek na průběh třetí zatěžovací větve splnilo 11 podložek (52,38 %). Obě podmínky dodrželo 8 podložek (38,10 %).



Obr. 30 - Podkladnicové upevnění - požadovaný rozsah tuhosti dle OTP

Z vyhodnocení dle OTP v podkladnicovém upevnění (Obr. 30) vychází horší výsledky. Samotný rozsah statické tuhosti $90 - 120 \text{ kN} \cdot \text{mm}^{-1}$ splnily pouze 3 podložky (10,71 %) z celkového počtu 28 měření. Průběh zatěžovací větve vyhověl ve 4 případech (14,29 %). Obě podmínky splnila pouze jediná podložka (3,57 %).

Tab. 1 - Základní statistika pro hodnoty dle OTP v kN.mm⁻¹

	A150-OTP	B150-OTP	A125-OTP	C150-OTP	C125-OTP
Střední hodnota	65,9	43,9	65,9	84,4	72,6
Medián	65,5	42,4	65,3	82,2	73,7
Směr. odchylka	1,6	4,4	5,5	5,7	8,0
Minimum	64,5	38,0	57,4	77,8	57,0
Maximum	67,9	49,7	73,1	93,8	84,9

5.2 VYHODNOCENÍ DLE ČSN EN 13 146-9

Výpočet statické tuhosti se provádí ze čtvrté zatěžovací větve pro rozsah zatížení 18 kN až 68 kN. Hodnota stlačení d_{SP} se stanoví jako rozdíl posunutí při zatížení 68 kN a 18 kN. Posunutí se stanoví jako průměrná hodnota ze všech tří snímačů.

Výpočet statické tuhosti podle vzorce:

$$k_{SP} = \frac{F_{SP2} - F_{SP1}}{d_{SP}} [\text{kN.mm}^{-1}] \quad (2)$$

k_{SP} statická tuhost [kN.mm⁻¹]

F_{SP2}, F_{SP1} síla pro výpočet statické tuhosti $F_{SP1} = 18$ kN a $F_{SP2} = 68$ kN [kN]

d_{SP} hodnota stlačení podložky, $d_{SP} = d_{SP2} - d_{SP1}$ [mm]

d_{SP1} průměrné posunutí při působícím zatížení F_{SP1} [mm]

d_{SP2} průměrné posunutí při působícím zatížení F_{SP2} [mm]

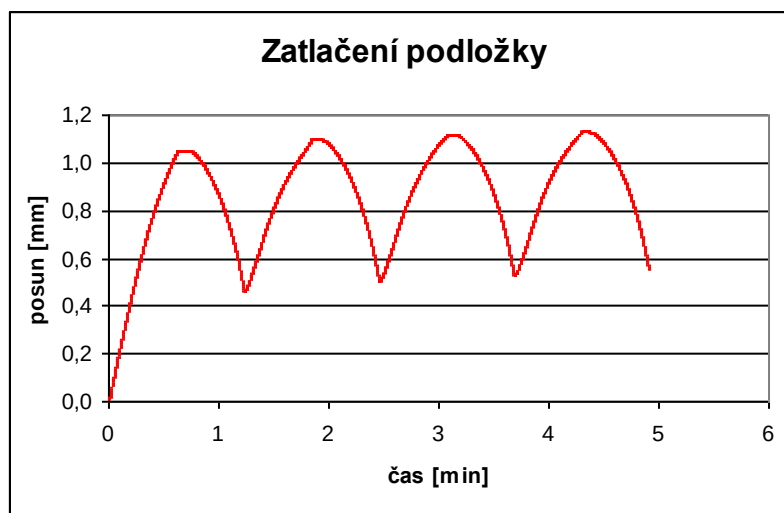
<i>Průměr</i>			
F_{SP2} [kN]	67,986		
F_{SP1} [kN]	18,094		
d_{SP} [mm]	0,546		
k_{SP} [kN/mm]	$(F_{SP2}-F_{SP1})/d_{SP}=$	91,436 kN/mm	
	Y_1	Y_2	Y_3
$F_{SP2}-F_{SP1}$ [kN]	49,893	49,893	49,893
$d_{SP2,i}$ [mm]	1,175	1,053	1,052
$d_{SP1,i}$ [mm]	0,581	0,528	0,534
$d_{SP,i}$ [mm]	0,594	0,525	0,518
$k_{SP,i}$ [kN/mm]	84,012	94,996	96,339
<i>Ověření působení síly ve středu podložky [mm]</i>			
20% $d_{SP,i,max}$	0,119		
$d_{SP} \pm 20\%$	max	0,664	
	min	0,427	
Výsledek	max	Vyhovuje	
	min	Vyhovuje	

Obr. 31 - Vypočet statické tuhosti dle ČSN EN

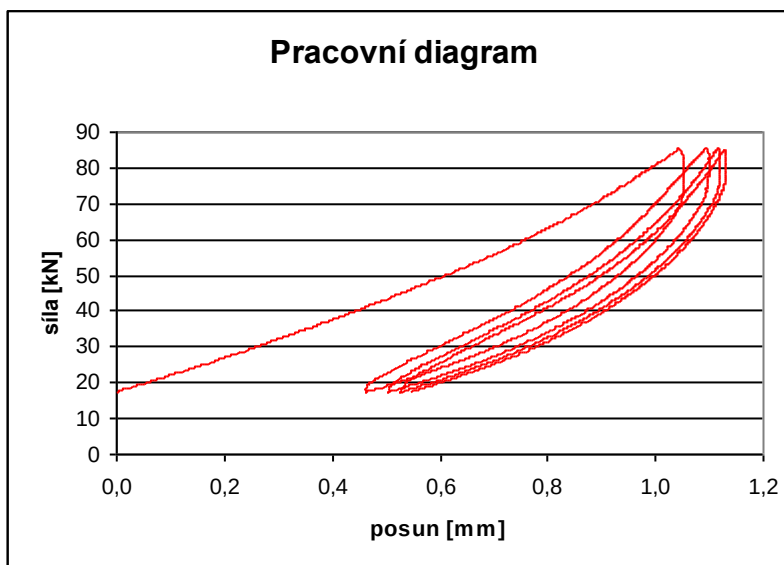
Norma ČSN EN 13 146-9 nepředepisuje konkrétní hodnoty statické tuhosti tak jako metoda OTP.

Hlavním požadavkem je kontrola rovnoměrného (centrického) zatlačování podložky, která se kontroluje tak, že hodnota posunutí každého snímače se nesmí lišit od střední hodnoty posunutí o více jak 20% maximální hodnoty posunutí. Pokud nevyhovuje, tak se cyklus měření opakuje. [2]

Grafické znázornění zatlačení podložky a pracovní diagram je na *Obr. 32* a *Obr. 33*.

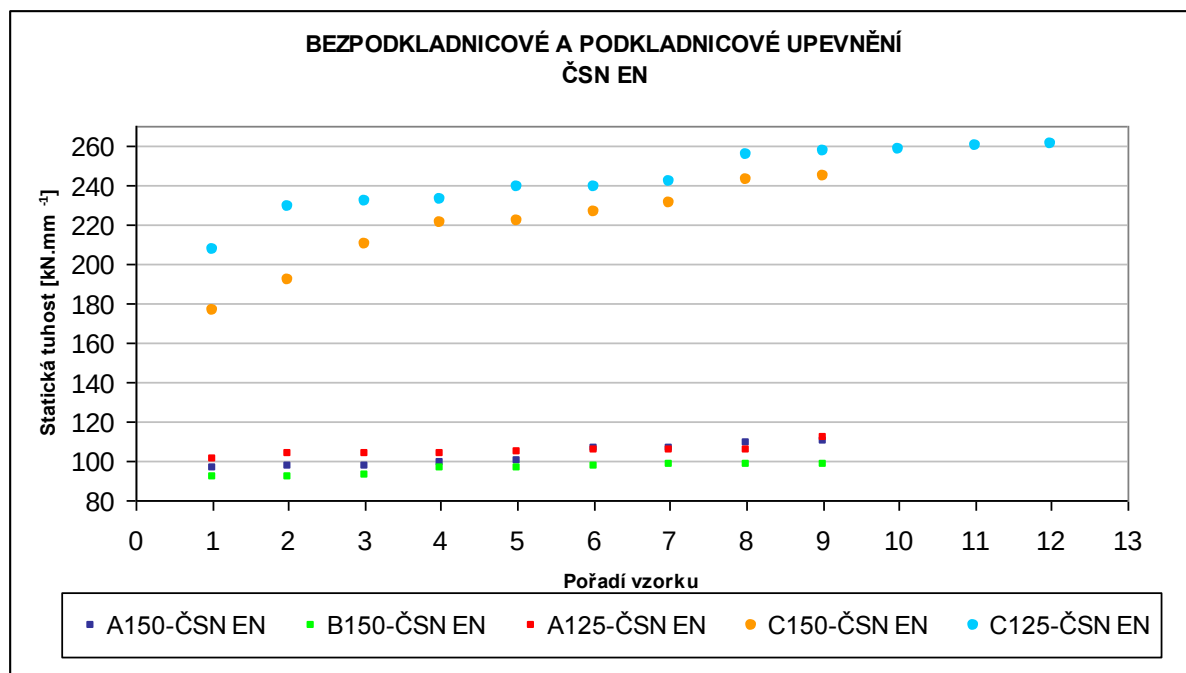


Obr. 32 - Průběh zatlačení podložky dle ČSN EN



Obr. 33 - Pracovní diagram podložky pod patu kolejnice z laboratorní zkoušky dle metodiky ČSN EN

Přehled vyhodnocených statických tuhostí dle ČSN EN je uveden v *Příloze 1*. Grafické znázornění pracovního diagramu a zatlačení podložky v *Příloze 2*.



Obr. 34 - Přehled statických tuhostí dle ČSN EN

Tab. 2 - Základní statistika pro hodnoty dle ČSN EN v $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$

	A150 ČSN EN	B150 ČSN EN	A125 ČSN EN	C150 ČSN EN	C125 ČSN EN
Střední hodnota	102,5	95,6	104,9	218,4	242,7
Medián	99,9	96,3	104,9	222,2	240,5
Směr. odchylka	5,4	2,7	3,0	22,4	16,3
Minimum	96,6	91,4	100,7	176,6	207,4
Maximum	109,8	98,1	111,8	244,3	261,2

6 KORELAČNÍ ANALÝZA

Dalším úkolem práce je prověřit převodní vztah mezi statickými tuhostmi dle OTP a ČSN EN.

Jako nejjednodušší řešení se nabízí stanovit korelační součinitel pouhým poměrem průměrných tuhostí jednotlivých typů podložek. Viz *Tab. 3* a *Tab. 4*.

Tab. 3 - Přepočtení vztah výrobce pro bezpodkladnicové upevnění

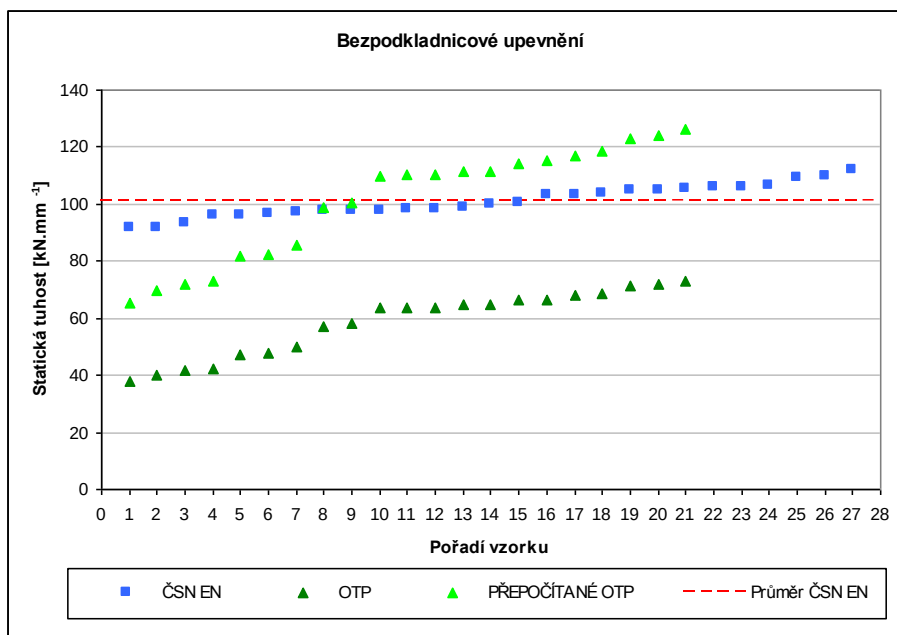
	ČSN EN k_{SP} [kN.mm ⁻¹]	OTP k [kN.mm ⁻¹]	PODÍL [-]
A150	102,455	65,852	1,556
B150	95,562	43,929	2,175
A125	104,950	65,885	1,593
VŠECHNA MĚŘENÍ	100,989	58,560	1,725

U výrobce A si lze všimnout velice podobného korelačního součinitele statických tuhostí podložek jak pro rozměr paty kolejnice 150 mm, tak pro 125 mm.

Tab. 4 - Přepočtení vztah výrobce pro podkladnicové upevnění

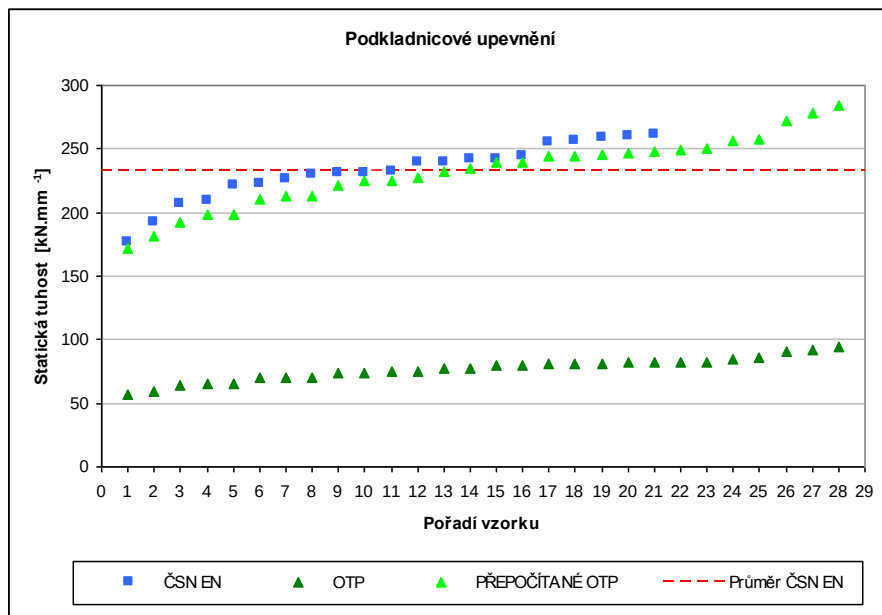
	ČSN EN k_{SP} [kN.mm ⁻¹]	OTP k [kN.mm ⁻¹]	PODÍL [-]
C150	218,360	84,387	2,588
C125	242,742	72,568	3,345
VŠECHNA MĚŘENÍ	232,293	76,789	3,025

Pro grafické znázornění se použije podíl ze všech měření pro každý typ upevnění zvlášť. Roznásobením dílčích statických tuhostí dle OTP číslem 1,725 nebo 3,025 se dostane přepočítaných hodnot (v grafech označeno „přepočítané OTP“), které se porovnají s průměrnou hodnotou z metody ČSN EN.



Obr. 35 - Bezpodkladnicové upevnění - přepoččet hodnotou 1,725

Minimální přepočítaná hodnota z Obr. 35 se liší o 35,486 kN.mm⁻¹ od průměru ČSN EN, což je největší rozdíl. Celkově se přepočítané hodnoty moc nepohybují kolem statických tuhostí dle ČSN EN. Rozsah přepočítaných hodnot se pohybuje mezi 65 - 126 kN.mm⁻¹.



Obr. 36 - Podkladnicové upevnění - přepoččet hodnotou 3,025

Největší rozdíl od průměrné hodnoty v Obr. 36 vychází 59,958 kN.mm⁻¹ v minimální přepočítané hodnotě. Celkově však přepočítané hodnoty kopírují trend dle ČSN EN. Přepočítané tuhosti nabývají hodnot přibližně od 172 kN.mm⁻¹ do 284 kN.mm⁻¹.

Pro vhodnější přepoččet byla použita metoda, které je věnována kapitola 6.1.

6.1 ANALÝZA ROZPTYLU

6.1.1 TEORETICKÝ POPIS METODIKY

Pro sofistikovanější vyhodnocení možného vztahu mezi oběma standardy byla použita analýza rozptylu, která umožní ověřit významnost rozdílu mezi průměry většího počtu výběrů. Dále umožňuje posoudit vliv různých faktorů. [10]

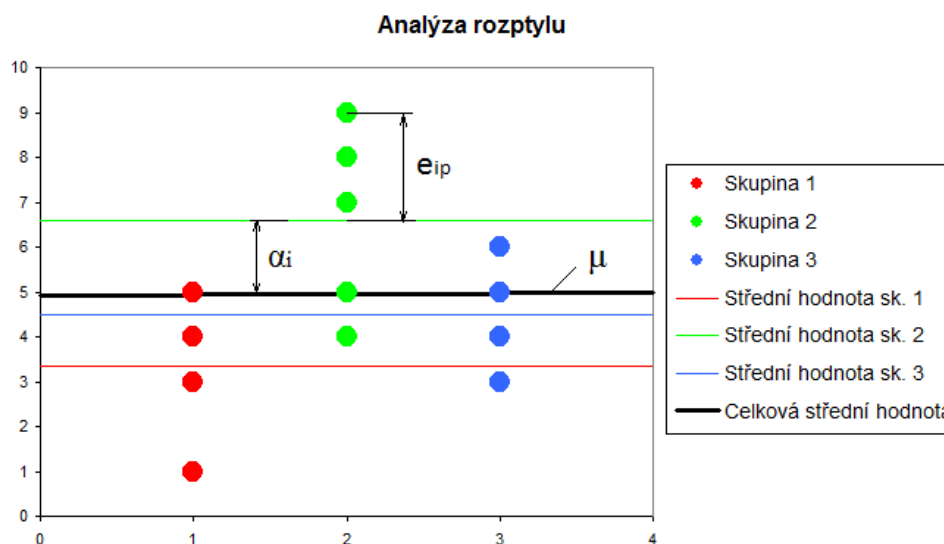
Analýza rozptylu byla vybrána, protože nejvhodněji popisuje zkoumaný vztah, zohledňující různé počty měření. Použití jednoduchého třídění je z důvodu porovnávání skupin hodnot podle jednoho faktoru.

Testujeme nulovou hypotézu $H_0: \mu_1 = \dots = \mu_I$, přičemž parametr σ^2 není znám.

Předpoklady:

- máme nezávislé výběry z rozdělení $N(\mu_1, \sigma^2), \dots, N(\mu_I, \sigma^2)$
- máme náhodné veličiny s rozdělením $N(0, \sigma^2)$
- skupiny mají stejné rozptyly

Z předpokladů můžeme vyjádřit vztah: $Y_{ip} = \mu + \alpha_i + e_{ip}$, kde $p = 1, \dots, n_i$; $i = 1, \dots, I$.



Obr. 37 - Zobrazení analýzy rozptylu

Y_{ip} naměřená hodnota

μ celková střední hodnota

α_i hodnota rozdílu střední hodnoty třídy od celkové střední hodnoty

e_{ip} chyby měření

σ^2 rozptyl

Celková analýza rozptylu je zaznamenána v Tab. 5.

Tab. 5 - Analýza rozptylu jednoduchého třídění

Zdroj měnlivosti	Součet čtverců SS	Počet stupňů volnosti df	Podíl MS = SS / df	Testovaná statistika F = MS / s ²
Skupiny	S _A	f _A = I - 1	S _A / f _A	F = S _A / (s ² f _A)
Reziduální	S _e	f _e = n - I	s ² = S _e / f _e	-
Celkový	S _T	f _T = n - 1	-	-

S_A.....součet čtverců odchylek mezi skupinami

S_esoučet čtverců odchylek uvnitř jednotlivých skupin

S_T.....součet čtverců odchylek od celkového průměru

I.....počet skupin

n.....celkový počet měření

F_A.....hodnota kritéria

Je-li výsledná hodnota testovaného kritéria F_A větší jak kritická hodnota Fisherova rozdělení na hladině významnosti α , tak zamítáme nulovou hypotézu H₀. Běžně se výsledky porovnávají na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. [1]

F - Distribution ($\alpha = 0.05$ in the Right Tail)

df ₂ \ df ₁		Numerator Degrees of Freedom								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Denominator Degrees of Freedom	1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54
	2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.330	19.353	19.371	19.385
	3	10.128	9.5521	9.2766	9.1172	9.0135	8.9406	8.8867	8.8452	8.8123
	4	7.7086	7.9443	6.5914	6.3882	6.2561	6.1631	6.0942	6.0410	6.9988
	5	6.6079	5.7861	5.4095	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759	4.8183	4.7725
	6	5.9874	5.1433	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2067	4.1468	4.0990
	7	5.5914	4.7374	4.3468	4.1203	3.9715	3.8660	3.7870	3.7257	3.6767
	8	5.3177	4.4590	4.0662	3.8379	3.6875	3.5806	3.5005	3.4381	3.3881
	9	5.1174	4.2565	3.8625	3.6331	3.4817	3.3738	3.2927	3.2296	3.1789
	10	4.9646	4.1028	3.7083	3.4780	3.3258	3.2172	3.1355	3.0717	3.0204
	11	4.8443	3.9823	3.5874	3.3567	3.2039	3.0946	3.0123	2.9480	2.8962
	12	4.7472	3.8853	3.4903	3.2592	3.1059	2.9961	2.9134	2.8486	2.7964
	13	4.6672	3.8056	3.4105	3.1791	3.0254	2.9153	2.8321	2.7669	2.7144
	14	4.6001	3.7389	3.3439	3.1122	2.9582	2.8477	2.7642	2.6987	2.6458
	15	4.5431	3.6823	3.2874	3.0556	2.9013	2.7905	2.7066	2.6408	2.5876
	16	4.4940	3.6337	3.2389	3.0069	2.8524	2.7413	2.6572	2.5911	2.5377
	17	4.4513	3.5915	3.1968	2.9647	2.8100	2.6987	2.6143	2.5480	2.4943
	18	4.4139	3.5546	3.1599	2.9277	2.7729	2.6613	2.5767	2.5102	2.4563
	19	4.3807	3.5219	3.1274	2.8951	2.7401	2.6283	2.5435	2.4768	2.4227
	20	4.3512	3.4928	3.0984	2.8661	2.7109	2.5990	2.5140	2.4471	2.3928
	21	4.3248	3.4668	3.0725	2.8401	2.6848	2.5727	2.4876	2.4205	2.3660
	22	4.3009	3.4434	3.0491	2.8167	2.6613	2.5491	2.4638	2.3965	2.3419
	23	4.2793	3.4221	3.0280	2.7955	2.6400	2.5277	2.4422	2.3748	2.3201
	24	4.2597	3.4028	3.0088	2.7763	2.6207	2.5082	2.4226	2.3551	2.3002
	25	4.2417	3.3852	2.9912	2.7587	2.6030	2.4904	2.4047	2.3371	2.2821
	26	4.2252	3.3690	2.9752	2.7426	2.5868	2.4741	2.3883	2.3205	2.2655
	27	4.2100	3.3541	2.9604	2.7278	2.5719	2.4591	2.3732	2.3053	2.2501
	28	4.1960	3.3404	2.9467	2.7141	2.5581	2.4453	2.3593	2.2913	2.2360
	29	4.1830	3.3277	2.9340	2.7014	2.5454	2.4324	2.3463	2.2783	2.2229
	30	4.1709	3.3158	2.9223	2.6896	2.5336	2.4205	2.3343	2.2662	2.2107
	40	4.0847	3.2317	2.8387	2.6060	2.4495	2.3359	2.2490	2.1802	2.1240
	60	4.0012	3.1504	2.7581	2.5252	2.3683	2.2541	2.1665	2.0970	2.0401
	120	3.9201	3.0718	2.6802	2.4472	2.2899	2.1750	2.0868	2.0164	1.9588
	∞	3.8415	2.9957	2.6049	2.3719	2.2141	2.0986	2.0096	1.9384	1.8799

Obr. 38 - Fisherovo rozdělení [6]

6.1.2 APLIKACE NA VÝSLEDKY

Jednoduché třídění (analýza rozptylu) bylo aplikováno na vyhodnocená měření, kdy se porovnávaly průměrné hodnoty statických tuhostí podložek pod patu kolejnice. Průměrné statické tuhosti byly rozděleny do tabulky podle výrobců podložek, šířky paty kolejnice a podle standardů OTP a ČSN EN. Metoda analýzy rozptylu byla použita zvlášť na bezpodkladnicové upevnění a zvlášť na podkladnicové upevnění. Pro všechny varianty platí společná testovaná hypotéza, zda průměrné hodnoty statických tuhostí podložek pod patu kolejnice se rovnají. Tedy zda směs podložek nezávisí na výsledné statické tuhosti.

6.1.2.1 BEZPODKLADNICOVÉ UPEVNĚNÍ

Závislost hodnot tuhostí se prověřuje pomocí regresní přímky, která je stanovena z průměrných hodnot sledovaných podložek (viz Tab. 6).

VARIANTA A

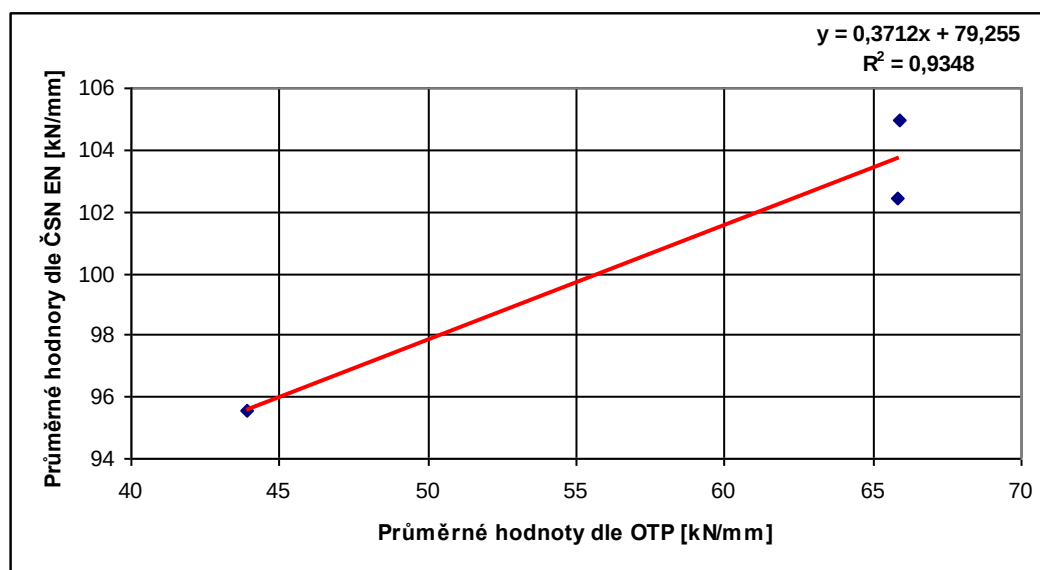
Tab. 6 - Přehled průměrných hodnot statických tuhostí v $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$ pro bezpodkladnicové upevnění

	ČSN EN	OTP
A150	102,455	65,852
B150	95,562	43,929
A125	104,950	65,885

A,Bpracovní označení pro výrobce podložek

150, 125šířka paty kolejnice v mm

Pomocí rovnice regresní přímky se přepočítaly jednotlivé hodnoty statických tuhostí z OTP do metody ČSN EN.



Obr. 39 - Regresní přímka pro analýzu rozptylu

Hodnoty změřených statických tuhostí dle ČSN EN a změřené statické tuhosti dle OTP přepočítané přes rovnici regrese na hodnoty ČSN EN (v tabulce označeny jako OTP) jsou shrnuty v Tab. 7. Tyto hodnoty jsou vstupem do dalších výpočtů.

Tab. 7 - Statické tuhosti pro bezpodkladnicové upevnění pro analýzu rozptylu rozdělením do šesti skupin

Kombinace	A150 ČSN EN	A150 OTP	B150 ČSN EN	B150 OTP	A125 ČSN EN	A125 OTP
Hodnoty statických tuhostí [kN.mm ⁻¹]	96,594	103,212	91,436	93,350	100,743	100,550
	97,463	103,296	91,768	94,231	103,370	100,871
	97,480	103,820	93,176	94,756	103,448	102,887
	98,887	104,468	96,188	95,000	103,928	102,958
	99,917		96,310	96,878	104,885	102,969
	106,198		97,335	97,015	105,055	104,009
	106,749		97,746	97,700	105,440	104,784
	109,048		98,012		105,901	105,734
	109,760		98,089		111,779	105,946
						106,406
y_i [kN.mm ⁻¹]	102,455	103,699	95,562	95,562	104,950	103,711
n_i	9	4	9	7	9	10

y_i průměr ve skupině

n_i počet hodnot ve skupině

Z uvedených hodnot se vypočítají součty čtverců odchylek a stupně volnosti podle vzorců uvedených v [1].

Z Tab. 7 vyplývá:

počet skupin $I = 6$

počet hodnot $n = 48$

celkový průměr ze všech hodnot statických tuhostí $y_{..} = 100,991 \text{ kN.mm}^{-1}$

Tab. 8 sestavíme dosazením výše uvedených hodnot do Tab. 5.

Tab. 8 - Analýza rozptylu dat bezpodkladnicového upevnění

Zdroj měnlivosti	Součet čtverců SS	Počet stupňů volnosti df	Podíl MS = SS / df	Testovaná statistika F = MS / s ²
Skupiny	731,351	$f_A = 6 - 1 = 5$	146,270	14,745*
Reziduální	416,637	$f_e = 48 - 6 = 42$	9,920	-
Celkový	1147,989	$f_T = 48 - 1 = 47$	-	-

Výsledek analýzy rozptylu $F_A = 14,745$ se porovná s kritickou hodnotou $F_{5,42}(0,05) = 2,4414$, která se dohledá v tabulce - Obr. 38.

Protože $F_A = 14,745 \geq F_{5,42}(0,05) = 2,4414$ zamítá se na hladině 0,05 hypotéza, že průměrná statická tuhost podložek pod patu kolejnice v bezpodkladnicovém systému upevnění nezávisí na výrobní směsi podložek.

VARIANTA B

Postup je obdobný, ale vychází se ze čtyř skupin (výrobce A a B pro šířku paty kolejnice 150 mm). Řešení vychází ze stejné regresní přímky jako varianta A

Z rovnice regresní přímky se přepočítají hodnoty z měření OTP na hodnoty ČSN EN (Tab. 9), vypočítá se výsledek testované statistiky (Tab. 10) a porovná se s příslušnou hodnotou Fisherova rozdělení.

Tab. 9 - Statické tuhosti pro bezpodkladnicové upevnění pro analýzu rozptylu podložek pro šířku paty kolejnice 150 mm

Kombinace	A150 ČSN EN	A150 OTP	B150 ČSN EN	B150 OTP	I = 4
Hodnoty statických tuhostí [kN.mm ⁻¹]	96,594	103,212	91,436	93,350	
	97,463	103,296	91,768	94,231	
	97,480	103,820	93,176	94,756	
	98,887	104,468	96,188	95,000	
	99,917		96,310	96,878	
	106,198		97,335	97,015	
	106,749		97,746	97,700	
	109,048		98,012		
	109,760		98,089		
y_i [kN.mm ⁻¹]	102,455	103,699	95,562	95,562	$y_{..} = 98,824$
n_i	9	4	9	7	$n = 29$

Tab. 10 - Analýza rozptylu pro šířku paty kolejnice 150 mm

Zdroj měnlivosti	Součet čtverců SS	Počet stupňů volnosti df	Podíl MS = SS / df	Testovaná statistika F = MS / s ²
Skupiny	381,627	3	127,209	10,329*
Reziduální	307,892	25	12,316	-
Celkový	689,520	28	-	-

Výsledek $F_A = 10,329 \geq F_{3,25}(0,05) = 2,9912$ zamítá se hypotéza, že průměrná statická tuhost podložek pod patu kolejnice (pro rozměr 150 mm) nezávisí na výrobní směsi.

VARIANTA C

Porovnání hodnot statických tuhostí od jednoho výrobce (A) pro šířku paty kolejnice 150 mm a 125 mm.

Tab. 11 - Statické tuhosti pro bezpodkladnicové upevnění pro analýzu rozptylu výrobce A

Kombinace	A150 ČSN EN	A150 OTP	A125 ČSN EN	A125 OTP	I=4
Hodnoty statických tuhostí [kN.mm ⁻¹]	96,594	103,212	100,743	100,550	
	97,463	103,296	103,370	100,871	
	97,480	103,820	103,448	102,887	
	98,887	104,468	103,928	102,958	
	99,917		104,885	102,969	
	106,198		105,055	104,009	
	106,749		105,440	104,784	
	109,048		105,901	105,734	
	109,760		111,779	105,946	
				106,406	
y_i [kN.mm ⁻¹]	102,455	103,699	104,950	103,711	$y_{..} = 103,705$
n_i	9	4	9	10	$n = 32$

Tab. 12 - Analýza rozptylu pro výrobce A

Zdroj měnlivosti	Součet čtverců SS	Počet stupňů volnosti df	Podíl MS = SS / df	Testovaná statistika F = MS / s ²
Skupiny	27,686	3	9,229	0,755
Reziduální	342,233	28	12,223	-
Celkový	369,919	31	-	-

Výsledek $F_A = 0,755 < F_{3,28}(0,05) = 2,9467$ přijímá se hypotéza, že průměrná statická tuhost podložek pod patu kolejnice pro výrobce A nezávisí na rozměru paty kolejnice.

VARIANTA D

Statické tuhosti se porovnají u výrobce A pro rozměr paty kolejnice 150 mm.

Tab. 13 - Statické tuhosti pro bezpodkladnicové upevnění pro analýzu rozptylu výrobce A o rozměru paty kolejnice 150 mm

Kombinace	A150 ČSN EN	A150 OTP	I = 2
Hodnoty statických tuhostí [kN.mm ⁻¹]	96,594	103,212	
	97,463	103,296	
	97,480	103,820	
	98,887	104,468	
	99,917		
	106,198		
	106,749		
	109,048		
	109,760		
y_i [kN.mm ⁻¹]	102,455	103,699	$y_{..} = 102,838$
n_i	9	4	$n = 13$

Tab. 14 - Analýza rozptylu výrobce A pro rozměr paty kolejnice 150 mm

Zdroj měnlivosti	Součet čtverců SS	Počet stupňů volnosti df	Podíl MS = SS / df	Testovaná statistika F = MS / s ²
Skupiny	4,288	1	4,288	0,202
Reziduální	233,488	11	21,226	-
Celkový	237,776	12	-	-

Výsledek $F_A = 0,202 < F_{1,11}(0,05) = 4,8443$ přijímá se hypotéza, že průměrná statická tuhost podložek pod patu kolejnice o rozměru 150 mm pro výrobce A nezávisí na výrobní směsi.

VARIANTA E

Hypotéza se testuje na hodnotách u výrobce B pro rozměr paty kolejnice 150 mm.

Tab. 15 - Statické tuhosti pro bezpodkladnicové upevnění pro analýzu rozptylu výrobce B o rozměru paty kolejnice 150 mm

Kombinace	B150 ČSN EN	B150 OTP	I = 2
Hodnoty statických tuhostí [kN.mm ⁻¹]	91,436	93,350	
	91,768	94,231	
	93,176	94,756	
	96,188	95,000	
	96,310	96,878	
	97,335	97,015	
	97,746	97,700	
	98,012		
	98,089		
y_i [kN.mm ⁻¹]	95,562	95,562	$y_{..} = 95,562$
n_i	9	7	$n = 16$

Tab. 16 - Analýza rozptylu výrobce B pro rozměr paty kolejnice 150 mm

Zdroj měnlivosti	Součet čtverců SS	Počet stupňů volnosti df	Podíl MS = SS / df	Testovaná statistika F = MS / s ²
Skupiny	0,000	1	0,000	0,000
Reziduální	74,011	14	5,287	-
Celkový	74,011	15	-	-

Výsledek $F_A = 0,000 < F_{1,14}(0,05) = 4,6001$ přijímá se hypotéza, že průměrná statická tuhost podložek pod patu kolejnice o rozměru 150 mm pro výrobce B nezávisí na výrobní směsi.

V tomto případě se průměrné hodnoty skupiny 1 a skupiny 2 rovnají, a proto vyšel součet čtverců odchylek mezi skupinami $S_A = 0$. Z toho vyplývá, že hodnota testované statistiky $F_A = 0$, což představuje nejlepší možný výsledek pro testované hodnoty. Tím pádem se hodnoty OTP přepočítávají velice přesně pomocí rovnice regrese.

VARIANTA F

Testujeme hodnoty výrobce A pro rozměr paty kolejnice 125 mm.

Tab. 17 - Hodnoty výrobce A pro rozměr paty kolejnice 125 mm

Kombinace	A125 ČSN EN	A125 OTP	I = 2
Hodnoty statických tuhostí [kN.mm ⁻¹]	100,743	100,550	
	103,370	100,871	
	103,448	102,887	
	103,928	102,958	
	104,885	102,969	
	105,055	104,009	
	105,440		
	105,901		
	111,779		
y_i [kN.mm ⁻¹]	104,950	103,711	$y_{..} = 104,298$
n_i	9	10	$n = 19$

Tab. 18 - Analýza rozptylu výrobce A pro rozměr paty kolejnice 125 mm

Zdroj měnlivosti	Součet čtverců SS	Počet stupňů volnosti df	Podíl MS = SS / df	Testovaná statistika F = MS / s ²
Skupiny	7,266	1	7,266	1,136
Reziduální	108,745	17	6,397	-
Celkový	116,010	18	-	-

Výsledek $F_A = 1,136 < F_{1,17}(0,05) = 4,4513$ přijímá se hypotéza, že průměrná statická tuhost podložek pod patu kolejnice o rozměru 150 mm pro výrobce B nezávisí na výrobní směsi.

6.1.2.2 PODKLADNICOVÉ UPEVNĚNÍ

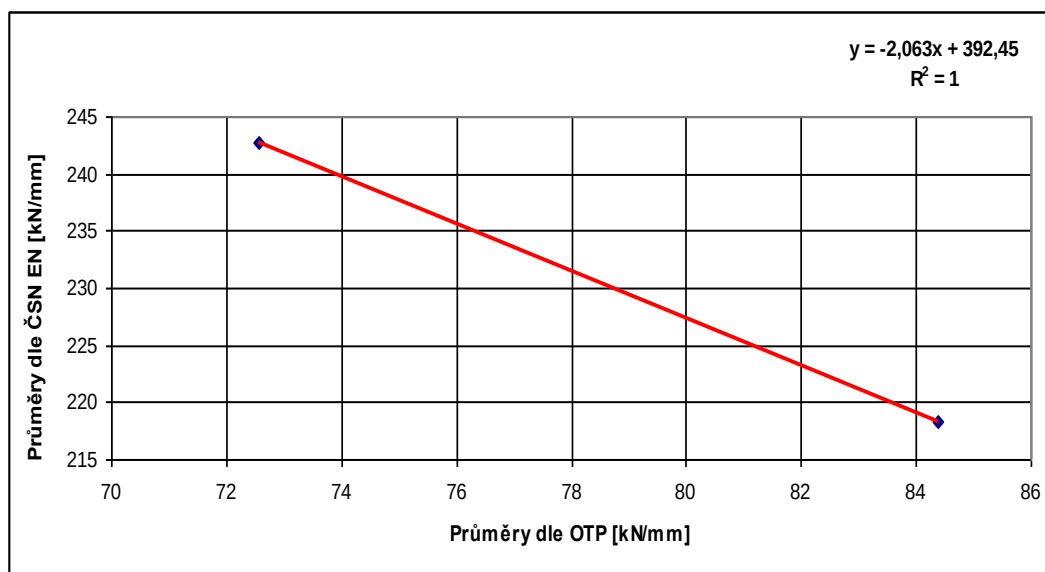
Postupuje se stejně jako u bezpodkladnicového upevnění. Pro přepočítání statických tuhostí z metody OTP do metody ČSN EN se využije regresní přímky. Jelikož se srovnávají hodnoty jen od jednoho výrobce (C), tak máme přímku určenou právě dvěma body.

VARIANTA A

Tab. 19 - Přehled průměrných hodnot statických tuhostí v $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$ pro podkladnicové upevnění

	ČSN EN	OTP
C125	242,742	72,568
C150	218,360	84,387

Cpracovní označení pro výrobce podložky



Obr. 40 - Přímka pro podkladnicové upevnění

Opět se zaznamenají statické tuhosti dle ČSN EN a přepočítané tuhosti z metody OTP do Tab. 20. Vypočítá se hodnota testované statistiky v Tab. 21.

Tab. 20 - Statické tuhosti pro podkladnicové upevnění pro analýzu rozptylu výrobce C

Kombinace	C150 ČSN EN	C150 OTP	C125 ČSN EN	C125 OTP	I = 4
Hodnoty statických tuhostí [kN.mm ⁻¹]	176,632	198,844	207,421	217,243	
	191,963	202,577	229,249	221,607	
	209,814	206,510	231,486	225,146	
	220,774	216,444	232,733	225,941	
	222,221	222,175	239,137	226,209	
	226,017	223,385	239,462	233,881	
	231,157	223,844	241,601	237,441	
	242,393	228,908	255,326	238,949	
	244,270	228,921	256,958	239,252	
		231,994	258,489	241,466	
			259,850	246,918	
			261,195	247,398	
				248,603	
				256,981	
				257,540	
				260,924	
				268,932	
				274,921	
y _i [kN.mm ⁻¹]	218,360	218,360	242,742	242,742	y _{..} = 233,288
n _i	9	10	12	18	n = 49

Tab. 21 - Analýza rozptylu statických tuhostí v podkladnicovém upevnění

Zdroj měnlivosti	Součet čtverců SS	Počet stupňů volnosti df	Podíl MS = SS / df	Testovaná statistika F = MS / s ²
Skupiny	6909,463	3	2303,154	8,082*
Reziduální	12823,087	45	284,957	-
Celkový	19732,550	48	-	-

Výsledek $F_A = 8,082 \geq F_{3,45}(0,05) = 2,8186$ zamítá se hypotéza, že průměrná statická tuhost podložek pod patu kolejnice v podkladnicovém systému upevnění nezávisí na rozměru paty kolejnice.

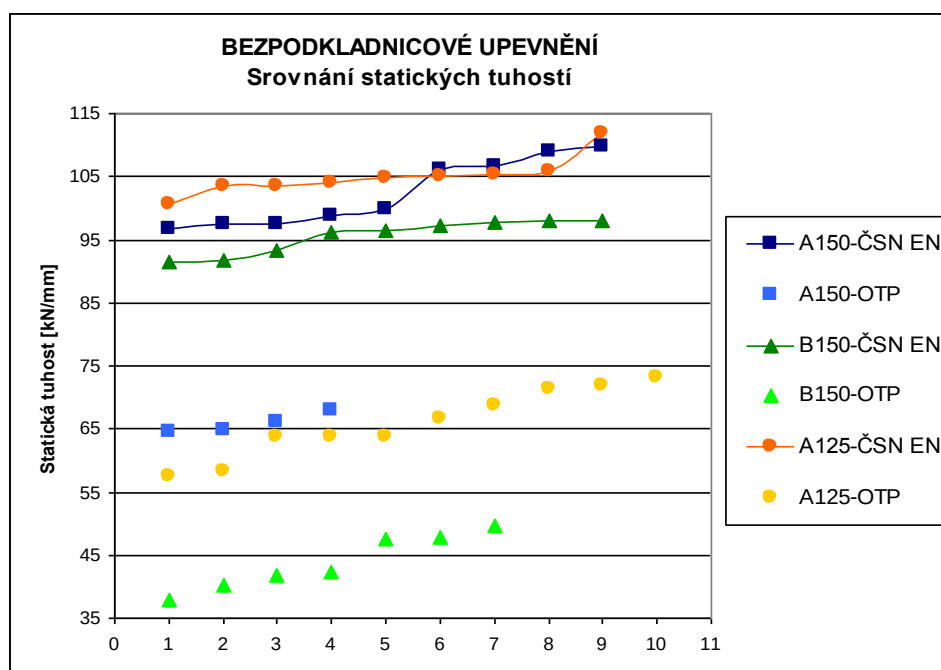
VARIANTA B a C

Pokud se porovnají hodnoty statických tuhostí výrobce C pro rozměr paty kolejnice 150 mm (skupina 1 a 2 v *Tab. 20*), tak se dojde ke stejnému závěru jako v případě varianty E bezpodkladnicového systému upevnění. Hodnota testované statistiky vyjde rovna nule a nulová hypotéza by byla splněna.

Totožný výsledek vychází pro variantu C podkladnicového systému upevnění pro rozměr paty kolejnice 125 mm (skupina 3 a 4 v *Tab. 20*).

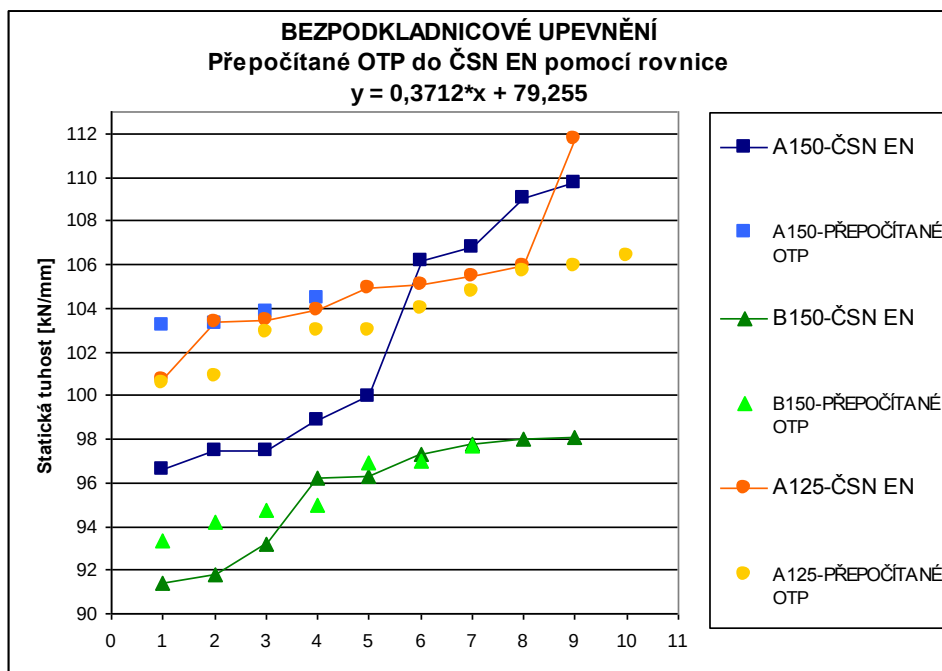
6.2 CELKOVÉ SHRNU TÍ

Pro lepší představu byly hodnoty statických tuhostí vyneseny do grafu, pro obě upevnění zvlášť. Výsledky z metody ČSN EN se porovnaly jak s hodnotami z metody OTP, tak s přepočítanými hodnotami dle OTP pomocí rovnice přímky.



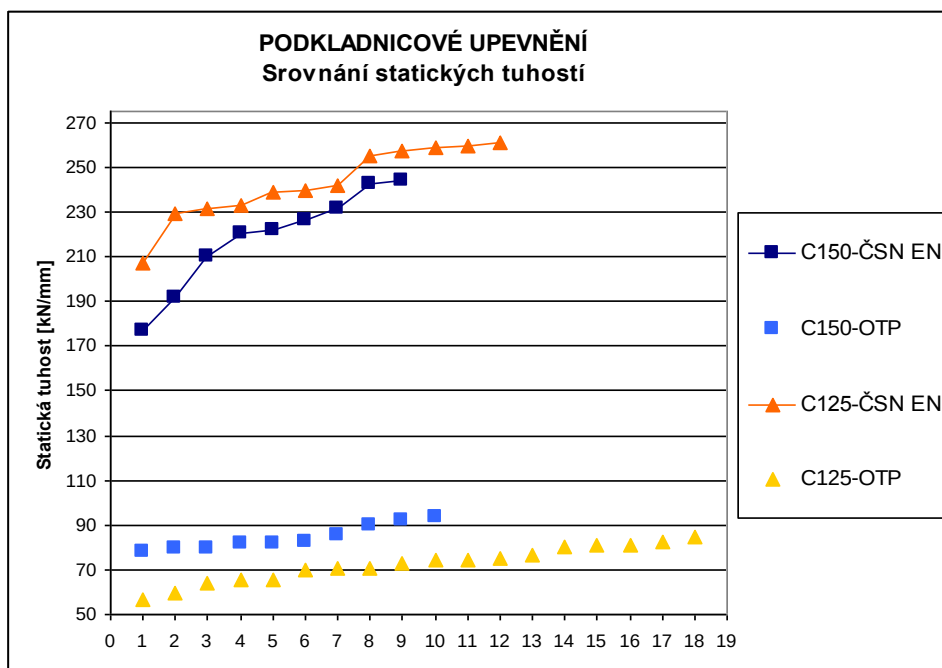
Obr. 41 - Statické tuhosti dle ČSN EN a OTP (bez přepočtu) v bezpodkladnicovém upevnění

Z *Obr. 41* je patrné, že hodnoty z metody ČSN EN mají stabilnější výsledky, pohybují se přibližně v rozmezí 91 - 112 $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$ (v rozsahu 21 $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$). Naopak hodnoty z metody OTP jsou přibližně v rozmezí 38 - 73 $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$ (v rozsahu 35 $\text{kN}\cdot\text{mm}^{-1}$). Výsledek však ovlivňují podložky pod patu kolejnice B150-OTP, které nesplnily požadavek rozsahu tuhosti dle OTP (viz *Příloha 1*).



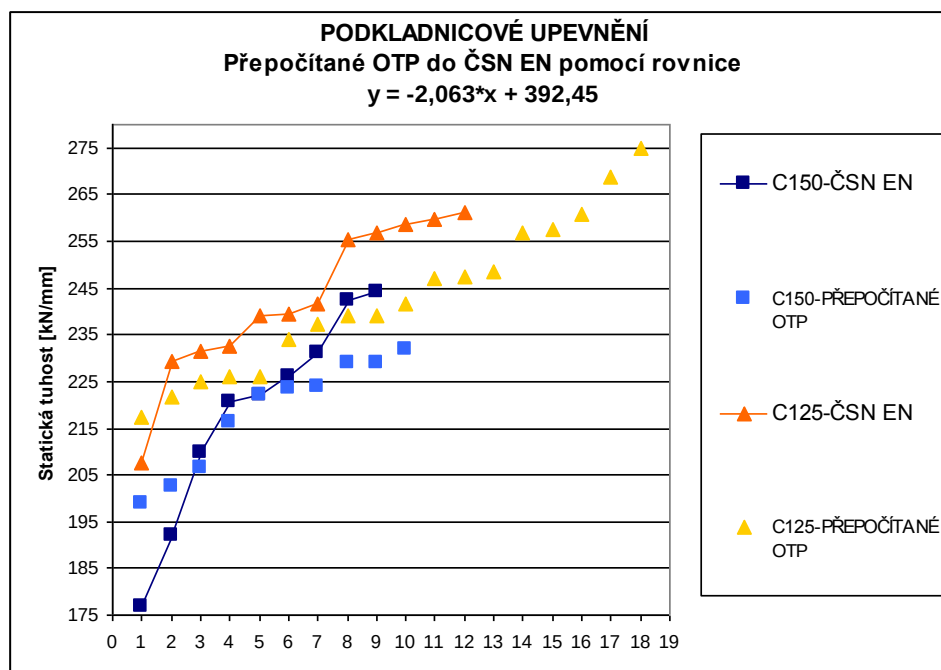
Obr. 42 - Statické tuhosti dle ČSN EN a přepočítané dle OTP v bezpodkladnicovém upevnění

V Obr. 42 si lze všimnout, že všechny přepočítané hodnoty z metody OTP zapadají do zmíněného rozsahu $91 - 112 \text{ kN.mm}^{-1}$, což je přijatelné s ohledem na poměrně malý rozsah tuhostí (ve druhém typu upevnění je rozsah čtyřnásobný).



Obr. 43 - Statické tuhosti dle ČSN EN a OTP (bez přepočtu) v podkladnicovém upevnění

V Obr. 43 se rozsah statických tuhostí značně změnil ve srovnání s bezpodkladnicovým upevněním, protože hodnoty dle ČSN EN dosahují rozsahu 84 kN.mm^{-1} . Hodnoty z metody OTP vychází v rozsahu 57 kN.mm^{-1} .



Obr. 44 - Statické tuhosti dle ČSN EN a přepočítané dle OTP v podkladnicovém upevnění

Na Obr. 44 si lze všimnout, že i přes velký rozsah statických tuhostí pro metodu ČSN EN, se přepočítané hodnoty z metody OTP dostaly mimo tento rozsah.

Celkově se dá říci, že v bezpodkladnicovém upevnění dosahují oba typy upevnění menšího rozsahu. Rozdíl maximální a minimální hodnoty statické tuhosti dle ČSN EN v podkladnicovém upevnění je $84 \text{ kN} \cdot \text{mm}^{-1}$, což je značný rozdíl v porovnání s bezpodkladnicovým upevněním.

7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vyhodnotit měření statických tuhostí podložek pod patu kolejnice a prověřit převodní vztah mezi metodami dle ČSN EN a OTP.

Celkem bylo realizováno 49 zkoušek dle OTP a 48 zkoušek dle ČSN EN. Vyhodnoceno bylo tedy 97 měření.

Při srovnání statických tuhostí podložek bylo zjištěno, že hodnoty dle ČSN EN v bezpodkladnicovém upevnění jsou průměrně 1,725x větší jak hodnoty dle OTP a v podkladnicové upevnění průměrně 3,025x větší.

Z měření statické tuhosti podložek pod patu kolejnice vyplynuly následující poznatky:

- v metodice OTP není jasně stanovena rychlost odtěžování - doporučuji do OTP doplnit
- v OTP jsou předepsány limitní křivky pro průběh třetí zatěžovací větve, pro posouzení průběhu je však potřeba přesunout poslední zatěžovací větev do počátku [0,0] - doporučuji posunutí větve v OTP zdůraznit
- pro měření stlačení podložky nelze využít snímače zabudovaného v ose lisu, poněvadž se do naměřených hodnot promítne deformace rámu lisu - doporučuji do OTP tuto skutečnost zmínit a vyžadovat změření deformace podložky externími snímači posunutí
- při měření se osvědčilo použití tří snímačů posunutí pro sledování nerovnoměrného zatlačení podložky (v případě necentrického zatížení), při použití dvou snímačů nelze postihnout tento jev

Podložky pod patu kolejnice v upevnění bezpodkladnicovém mají průměrnou statickou tuhost dle metodiky ČSN EN $101,0 \text{ kN.mm}^{-1}$ s minimální hodnotou $91,4 \text{ kN.mm}^{-1}$ a maximální hodnotou $111,8 \text{ kN.mm}^{-1}$. Dle metodiky OTP je průměrná statická tuhost ze všech měření rovna $58,6 \text{ kN.mm}^{-1}$ s minimem v $38,0 \text{ kN.mm}^{-1}$ a maximem v $73,1 \text{ kN.mm}^{-1}$.

V podkladnicovém upevnění při použití metody dle ČSN EN je průměrná statická tuhost $232,3 \text{ kN.mm}^{-1}$ s hodnotami od $176,6 \text{ kN.mm}^{-1}$ do $261,2 \text{ kN.mm}^{-1}$ (rozsah odpovídající 36 % průměrné hodnoty). Metodou dle OTP vychází statická tuhost průměrně $76,8 \text{ kN.mm}^{-1}$ v rozmezí 57,0 až $93,8 \text{ kN.mm}^{-1}$ (odpovídající 48 % průměrné hodnoty).

Metodou analýzy rozptylu při užším výběru hodnot se vztah mezi metodami v některých variantách prokázal, ale při celkovém zohlednění všech měření se ani v jednom typu upevnění neprokázal vztah mezi metodami. Z tohoto důvodu by bylo vhodné rozšířit počet vzorků, které by zvýšily statickou významnost dat, ale podle mého názoru vztah nebude nalezen i přes větší počet měření, protože statické tuhosti nabývají velkých rozsahů.

Pokud by se však rozsah hodnot dle ČSN EN uvažoval za přijatelný, tak v bezpodkladnicovém upevnění přepočítané hodnoty odpovídají stejnému rozsahu jako hodnoty dle ČSN EN, dokonce rozsah hodnot je menší. V podkladnicovém upevnění se však přepočítané hodnoty OTP dostávají přes rozsah daný hodnotami dle ČSN EN, který je v porovnání s bezpodkladnicovým upevněním čtyřnásobný.

Převodní vztah mezi metodami nebyl nalezen z výše uvedených důvodů.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ANDĚL, Jiří. *Základy matematické statistiky*. 1. Praha: MATFYZPRESS, 2005. ISBN 80-86732-40-1.
- [2] ČSN EN 13146-9+A1 *Železniční aplikace - Kolej - Metody zkoušení systémů upevnění - Část 9: Stanovení tuhosti*. 2012.
- [3] OTP *Pružné podložky pod patu kolejnice v bezpodkladnicovém upevnění*, č. j. 57 045/95-S13. 2001.
- [4] OTP *Pružné podložky pod patu kolejnice v podkladnicovém upevnění*, č. j. 60 789/99-O13. 2001.
- [5] PLÁŠEK, Otto, Pavel ZVĚŘINA, Richard SVOBODA a Vojtěch LANGER. *Železniční stavby II: Základní součásti železničního svršku, Modul 4*. Brno, 2006.
- [6] Stanford medicine. *F-Distribution Table* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://mips.stanford.edu/courses/stats_data_analys/lesson_5/234_8_1.html>.
- [7] SŽDC s.o. Běžná kolej (2. část). *Szdc.cz* [online]. ©2009-2012 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <<http://www.szdc.cz/o-nas/zeleznice-cr/historie-zeleznice/zeleznici-svrsek/bezna-kolej-2.html>>.
- [8] SŽDC s.o. Běžná kolej (3. část). *Szdc.cz* [online]. ©2009-2012 [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <<http://www.szdc.cz/o-nas/zeleznice-cr/historie-zeleznice/zeleznici-svrsek/bezna-kolej-3.html>>.
- [9] SŽDC s.o. *Předpis S3 Železniční svršek*, 2008.
- [10] Ústav fyziky a materiálového inženýrství. *Analýza rozptylu* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/prakt_stat/ps5.pdf>.

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 - Základní statistika pro hodnoty dle OTP v kN.mm^{-1}	28
Tab. 2 - Základní statistika pro hodnoty dle ČSN EN v kN.mm^{-1}	30
Tab. 3 - Přepočetni vztah výrobců pro bezpodkladnicové upevnění	31
Tab. 4 - Přepočetni vztah výrobce pro podkladnicové upevnění	31
Tab. 5 - Analýza rozptylu jednoduchého třídění	34
Tab. 6 - Přehled průměrných hodnot statických tuhostí v kN.mm^{-1} pro bezpodkladnicové upevnění	35
Tab. 7 - Statické tuhosti pro bezpodkladnicové upevnění pro analýzu rozptylu rozdělením do šesti skupin	36
Tab. 8 - Analýza rozptylu dat bezpodkladnicového upevnění	36
Tab. 9 - Statické tuhosti pro bezpodkladnicové upevnění pro analýzu rozptylu podložek pro šířku paty kolejnice 150 mm	37
Tab. 10 - Analýza rozptylu pro šířku paty kolejnice 150 mm	37
Tab. 11 - Statické tuhosti pro bezpodkladnicové upevnění pro analýzu rozptylu výrobce A	38
Tab. 12 - Analýza rozptylu pro výrobce A	38
Tab. 13 - Statické tuhosti pro bezpodkladnicové upevnění pro analýzu rozptylu výrobce A o rozměru paty kolejnice 150 mm	39
Tab. 14 - Analýza rozptylu výrobce A pro rozměr paty kolejnice 150 mm	39
Tab. 15 - Statické tuhosti pro bezpodkladnicové upevnění pro analýzu rozptylu výrobce B o rozměru paty kolejnice 150 mm	40
Tab. 16 - Analýza rozptylu výrobce B pro rozměr paty kolejnice 150 mm	40
Tab. 17 - Hodnoty výrobce A pro rozměr paty kolejnice 125 mm	41
Tab. 18 - Analýza rozptylu výrobce A pro rozměr paty kolejnice 125 mm	41
Tab. 19 - Přehled průměrných hodnot statických tuhostí v kN.mm^{-1} pro podkladnicové upevnění	42
Tab. 20 - Statické tuhosti pro podkladnicové upevnění pro analýzu rozptylu výrobce C	43
Tab. 21 - Analýza rozptylu statických tuhostí v podkladnicovém upevnění	43

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 - Příklady pryžových podložek pod patou kolejnice.....	11
Obr. 2 - Upevnění W 14 [9]	12
Obr. 3 - Upevnění W 14 bez kolejnice [8]	12
Obr. 4 - Upevnění FC I.....	13
Obr. 5 - Upevnění FC II	13
Obr. 6 - Upevnění E 14	14
Obr. 7 - Upevnění W 14NT.....	14
Obr. 8 - Upevnění S 15.....	15
Obr. 9 - Žebrová podkladnice R 4 (S 4).....	16
Obr. 10 - Rozponová podkladnice TR 5 pro kolejnice 49E1	16
Obr. 11 - Rozponové podkladnice T 8	16
Obr. 12 - Žebrová podkladnice ŽT.....	16
Obr. 13 - Upevnění KS, svěrka Skl 24	17
Obr. 14 - Upevnění KSd, svěrka Skl 24, podkladnice R 4Md (S 4Md).....	17
Obr. 15 - Upevnění Ke, spony „e“	17
Obr. 16 - Upevnění K, svěrky ŽS 4.....	17
Obr. 17 - Zatěžovací zařízení	18
Obr. 18 - Schéma uspořádání	19
Obr. 19 - Zatěžovací sestava	19
Obr. 20 - Rozmístění snímačů.....	20
Obr. 21 - Osazení snímačů	20
Obr. 22 - Indukčnostní snímač posunutí	21
Obr. 23 - Časový průběh síly u zatěžovací zkoušky dle OTP	22
Obr. 24 - Časový průběh sil u zatěžovací zkoušky dle ČSN EN	23
Obr. 25 - Výpočet statické tuhosti dle OTP	25
Obr. 26 - Diagram rozsahu tuhosti dle OTP definovaný limitními křivkami	25
Obr. 27 - Pracovní diagram podložky pod patu kolejnice z laboratorní zkoušky dle metodiky OTP	26
Obr. 28 - Zatlačení podložky dle OTP	26
Obr. 29 - Bezpodkladnicové upevnění - požadovaný rozsah tuhosti dle OTP	27
Obr. 30 - Podkladnicové upevnění - požadovaný rozsah tuhosti dle OTP	27
Obr. 31 - Výpočet statické tuhosti dle ČSN EN.....	28
Obr. 32 - Průběh zatlačení podložky dle ČSN EN	29

Obr. 33 - Pracovní diagram podložky pod patu kolejnice z laboratorní zkoušky dle metodiky ČSN EN.....	29
Obr. 34 - Přehled statických tuhostí dle ČSN EN	30
Obr. 35 - Bezpodkladnicové upevnění - přepočet hodnotou 1,725.....	32
Obr. 36 - Podkladnicové upevnění - přepočet hodnotou 3,025.....	32
Obr. 37 - Zobrazení analýzy rozptylu	33
Obr. 38 - Fisherovo rozdělení [6].....	34
Obr. 39 - Regresní přímka pro analýzu rozptylu.....	35
Obr. 40 - Přímka pro podkladnicové upevnění	42
Obr. 41 - Statické tuhosti dle ČSN EN a OTP (bez přepočtu) v bezpodkladnicovém upevnění	44
Obr. 42 - Statické tuhosti dle ČSN EN a přepočítané dle OTP v bezpodkladnicovém upevnění	45
Obr. 43 - Statické tuhosti dle ČSN EN a OTP (bez přepočtu) v podkladnicovém upevnění..	45
Obr. 44 - Statické tuhosti dle ČSN EN a přepočítané dle OTP v podkladnicovém upevnění	46

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČD	České dráhy
ČR	Česká republika
ČSN	česká státní norma
EN	evropská norma
OTP	Obecné technické podmínky
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
VUT	Vysoké učení technické
A	pracovní označení pro výrobce podložek
α_i	hodnota rozdílu střední hodnoty třídy od celkové střední hodnoty
B	pracovní označení pro výrobce podložek
C	pracovní označení pro výrobce podložek
d	průměrná hodnota stlačení podložky [mm]
df	počet stupňů volnosti
d_{SP}	hodnota stlačení podložky [mm]
d_{SP1}	průměrné posunutí při působícím zatížení F_{SP1} [mm]
d_{SP2}	průměrné posunutí při působícím zatížení F_{SP2} [mm]
d_{20}	průměrné posunutí při působícím zatížení 20 kN [mm]
d_{70}	průměrné posunutí při působícím zatížení 70 kN [mm]
e_{ip}	chyby měření
F_A	hodnota kritéria
F_{SP2}, F_{SP1}	síla pro výpočet statické tuhosti $F_{SP1} = 18$ kN a $F_{SP2} = 68$ kN [kN]
F_{70}, F_{20}	síla pro výpočet statické tuhosti $F_{70} = 70$ kN a $F_{20} = 20$ kN [kN]
H_0	nulová hypotéza
I	počet skupin
k	statická tuhost [kN.mm ⁻¹]
k_{SP}	statická tuhost [kN.mm ⁻¹]
μ	celková střední hodnota
n	celkový počet měření
n_i	počet hodnot ve skupině
S_A	součet čtverců odchylek mezi skupinami
S_e	součet čtverců odchylek uvnitř jednotlivých skupin
σ^2	rozptyl

SS	součet čtverců
S_T	součet čtverců odchylek od celkového průměru
y_i	průměr ve skupině
Y_{ip}	naměřená hodnota
$y_{..}$	celkový průměr ze všech hodnot statických tuhostí
Y_1, Y_2, Y_3	označení snímačů posunutí
150, 125	šířka paty kolejnice [mm]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 - Přehled statických tuhostí dle ČSN EN a dle OTP

Příloha č. 2 - Pracovní diagramy a zatlačení podložek dle ČSN EN

Příloha č. 3 - Pracovní diagramy, zatlačení podložek a diagramy vyhovujícího rozsahu statické tuhosti definované limitními křivkami dle OTP

PŘÍLOHA Č. 1

Přehled statických tuhostí dle ČSN EN a dle OTP

OBSAH

Seznam statických tuhostí dle ČSN EN - bezpodkladnicové upevnění	4
Seznam statických tuhostí dle ČSN EN - podkladnicové upevnění.....	5
Seznam statických tuhostí dle OTP - bezpodkladnicové upevnění.....	6
Seznam statických tuhostí dle OTP - podkladnicové upevnění	7

Seznam statických tuhostí dle ČSN EN - bezpodkladnicové upevnění

Č.	Podložka	Statická tuhost [kN.mm ⁻¹]	U všech měření vyhovuje kontrola působení síly do středu podložky
1	A01-150	98,887	
2	A02-150	109,760	
3	A03-150	97,480	
4	A04-150	96,594	
5	A05-150	99,917	
6	A06-150	97,463	
7	A01-150 (2.)	106,198	
8	A02-150 (2.)	109,048	
9	A03-150 (2.)	106,749	
10	B01-150	98,012	
11	B02-150	91,768	
12	B03-150	93,176	
13	B04-150	91,436	
14	B05-150	96,310	
15	B06-150	97,746	
16	B01-150 (2.)	97,335	
17	B02-150 (2.)	96,188	
18	B03-150 (2.)	98,089	
19	A01-125	103,928	
20	A02-125	105,440	
21	A03-125	103,448	
22	A04-125	105,901	
23	A05-125	105,055	
24	A06-125	103,370	
25	A01-125 (2.)	100,743	
26	A02-125 (2.)	111,779	
27	A03-125 (2.)	104,885	

Seznam statických tuhostí dle ČSN EN - podkladnicové upevnění

Č.	Podložka	Statická tuhost [kN.mm ⁻¹]	U všech měření vyhovuje kontrola působení síly do středu podložky
1	C01-150	191,963	
2	C02-150	226,017	
3	C03-150	209,814	
4	C04-150	220,774	
5	C05-150	244,270	
6	C06-150	176,632	
7	C01-150 (2.)	222,221	
8	C02-150 (2.)	242,393	
9	C03-150 (2.)	231,157	
10	C01-125	259,850	
11	C02-125	255,326	
12	C03-125	241,601	
13	C04-125	239,137	
14	C05-125	239,462	
15	C06-125	229,249	
16	C01-125 (2.)	261,195	
17	C02-125 (2.)	256,958	
18	C03-125 (2.)	258,489	
19	C20-125	232,733	
20	C21-125	231,486	
21	C22-125	207,421	

Seznam statických tuhostí dle OTP - bezpodkladnicové upevnění

Č.	Podložka	Statická tuhost [kN.mm ⁻¹]	Kontrola rozmezí statické tuhosti 55 - 75 kN.mm ⁻¹	U žádného z měření nepřekročila hodnota trvalé deformace hranici 0,25 mm
1	A07-150	64,765	Splňuje	
2	A08-150	64,541	Splňuje	
3	A09-150	66,177	Splňuje	
4	A10-150	67,924	Splňuje	
5	B01-150	49,689	Nesplňuje	
6	B02-150	47,476	Nesplňuje	
7	B03-150	47,846	Nesplňuje	
8	B07-150	37,973	Nesplňuje	
9	B08-150	40,346	Nesplňuje	
10	B09-150	41,759	Nesplňuje	
11	B12-150	42,416	Nesplňuje	
12	A01-125	63,664	Splňuje	
13	A07-125	58,232	Splňuje	
14	A08-125	66,685	Splňuje	
15	A09-125	71,334	Splňuje	
16	A10-125	68,775	Splňuje	
17	A11-125	73,144	Splňuje	
18	A12-125	71,905	Splňuje	
19	A07-125 (2.)	57,369	Splňuje	
20	A08-125 (2.)	63,886	Splňuje	
21	A09-125 (2.)	63,855	Splňuje	

Seznam statických tuhostí dle OTP - podkladnicové upevnění

Č.	Podložka	Statická tuhost [kN.mm ⁻¹]	Kontrola rozmezí statické tuhosti 90 - 120 kN.mm ⁻¹	U žádného z měření nepřekročila hodnota trvalé deformace hranici 0,25 mm
1	C07-150	81,951	Nesplňuje	
2	C08-150	85,316	Nesplňuje	
3	C09-150	79,268	Nesplňuje	
4	C10-150	77,778	Nesplňuje	
5	C11-150	93,847	Splňuje	
6	C12-150	82,538	Nesplňuje	
7	C22-150	81,728	Nesplňuje	
8	C07-150 (2.)	90,131	Splňuje	
9	C08-150 (2.)	92,037	Splňuje	
10	C09-150 (2.)	79,274	Nesplňuje	
11	C07-125	56,970	Nesplňuje	
12	C08-125	70,544	Nesplňuje	
13	C09-125	73,187	Nesplňuje	
14	C10-125	81,097	Nesplňuje	
15	C11-125	76,863	Nesplňuje	
16	C12-125	80,582	Nesplňuje	
17	C23-125	70,311	Nesplňuje	
18	C24-125	69,727	Nesplňuje	
19	C25-125	65,666	Nesplňuje	
20	C30-125	59,873	Nesplňuje	
21	C31-125	65,395	Nesplňuje	
22	C32-125	63,755	Nesplňuje	
23	C36-125	74,407	Nesplňuje	
24	C37-125	75,137	Nesplňuje	
25	C38-125	74,260	Nesplňuje	
26	C07-125 (2.)	80,712	Nesplňuje	
27	C08-125 (2.)	84,928	Nesplňuje	
28	C09-125 (2.)	82,813	Nesplňuje	

PŘÍLOHA Č. 2

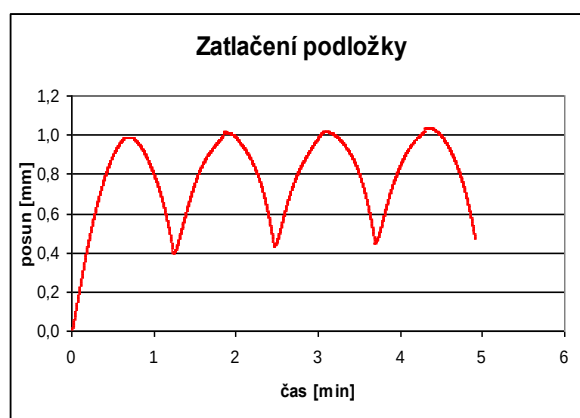
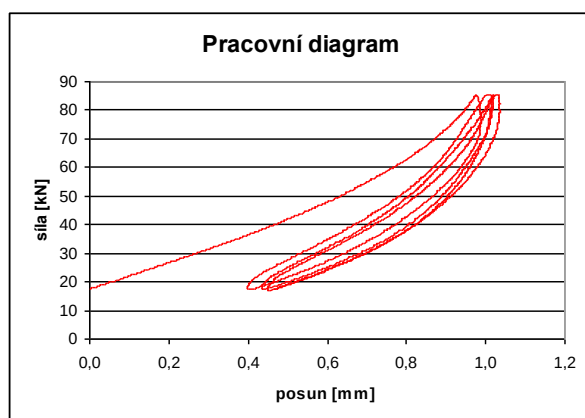
Pracovní diagramy a zatlačení podložek dle ČSN EN

OBSAH

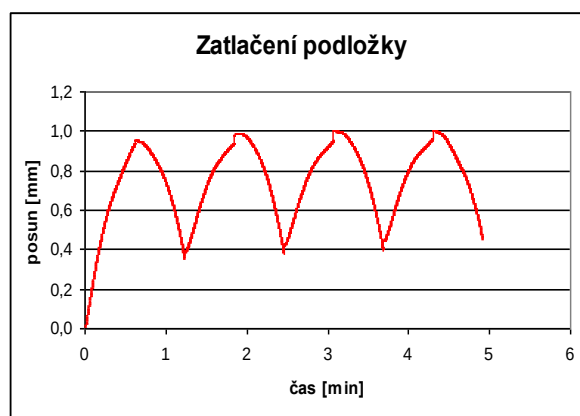
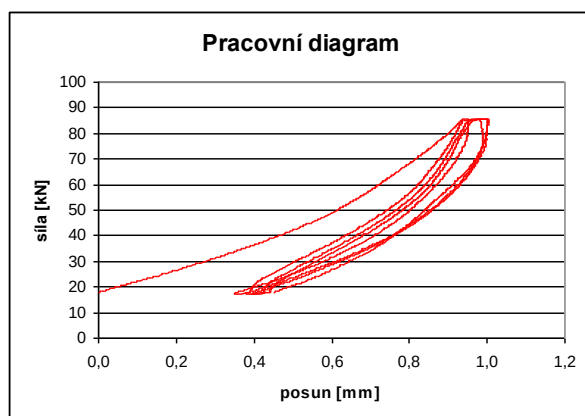
A01-150.....	5
A02-150.....	5
A03-150.....	5
A04-150.....	6
A05-150.....	6
A06-150.....	6
A01-150 (2.).....	7
A02-150 (2.).....	7
A03-150 (2.).....	7
B01-150.....	8
B02-150.....	8
B03-150.....	8
B04-150.....	9
B05-150.....	9
B06-150.....	9
B01-150 (2.).....	10
B02-150 (2.).....	10
B03-150 (2.).....	10
A01-125.....	11
A02-125.....	11
A03-125.....	11
A04-125.....	12
A05-125.....	12
A06-125.....	12
A01-125 (2.).....	13
A02-125 (2.).....	13
A03-125 (2.).....	13
C01-150.....	14
C02-150.....	14
C03-150.....	14
C04-150.....	15
C05-150.....	15
C06-150.....	15

C01-150 (2.)	16
C02-150 (2.)	16
C03-150 (2.)	16
C01-125	17
C02-125	17
C03-125	17
C04-125	18
C05-125	18
C06-125	18
C01-125 (2.)	19
C02-125 (2.)	19
C03-125 (2.)	19
C20-125	20
C21-125	20
C22-125	20

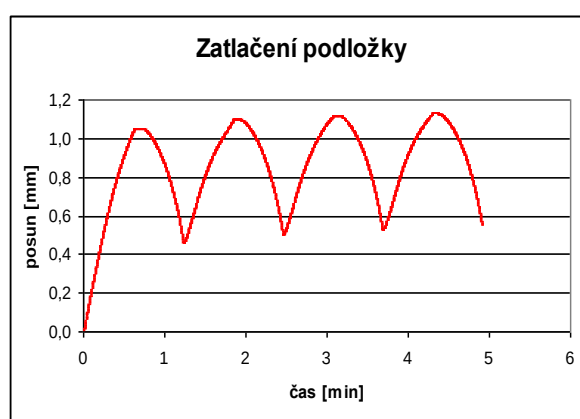
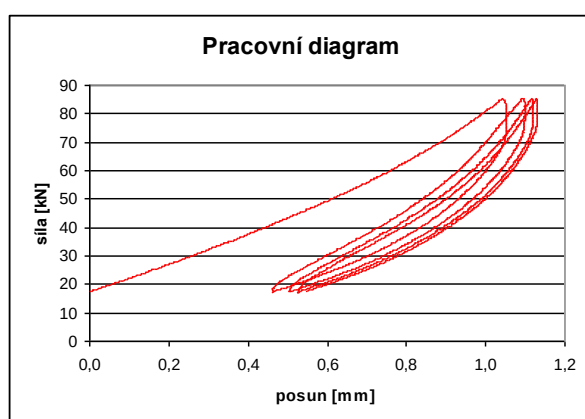
A01-150



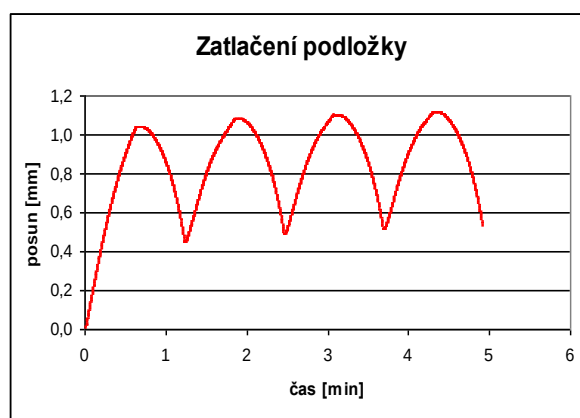
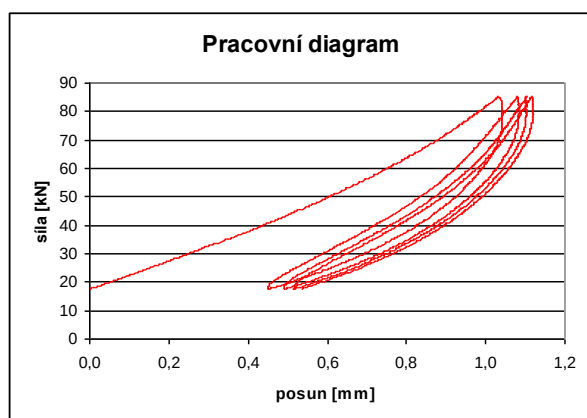
A02-150



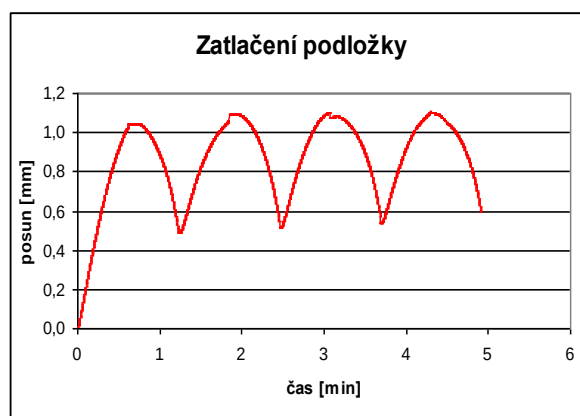
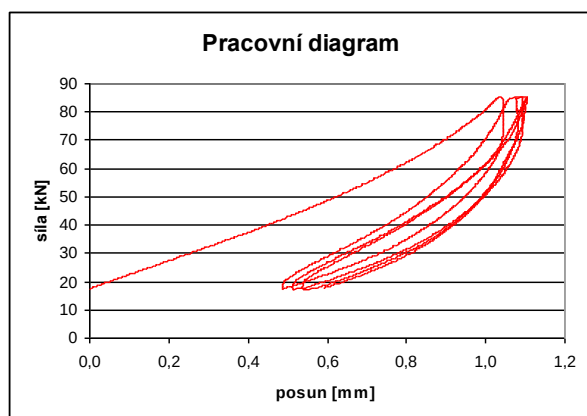
A03-150



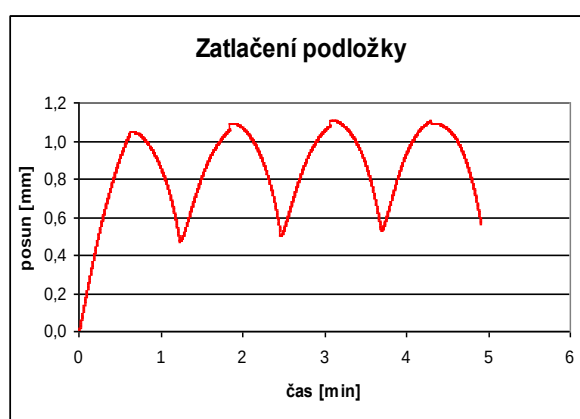
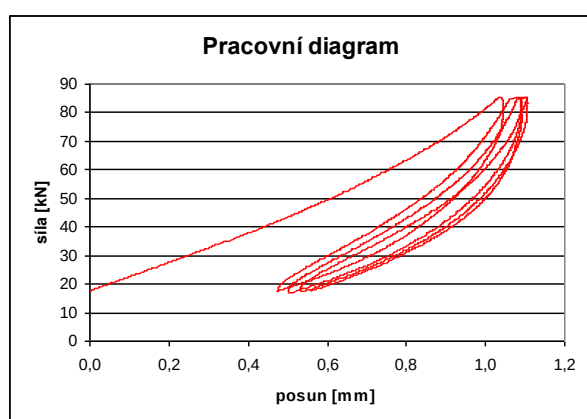
A04-150



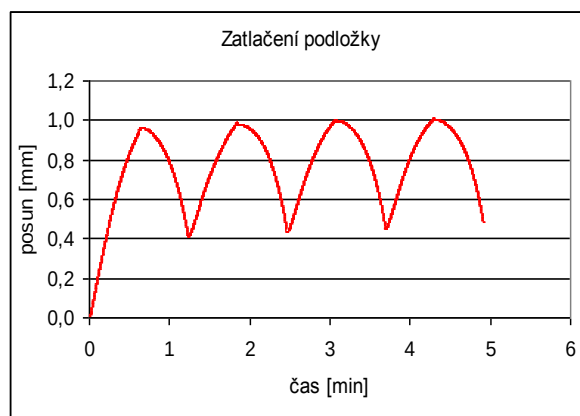
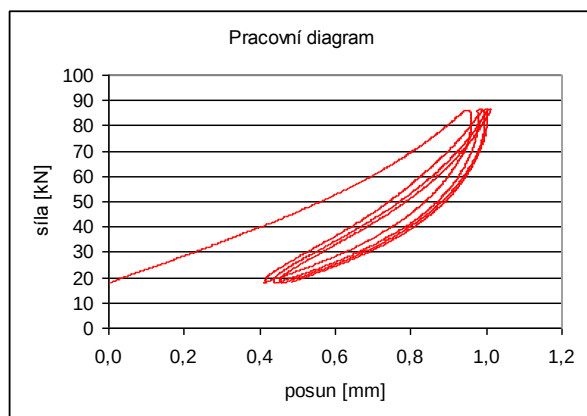
A05-150



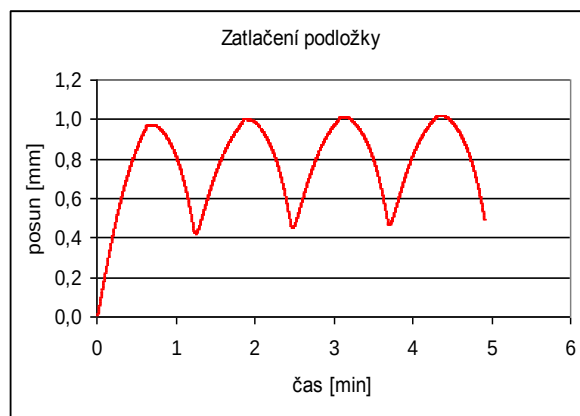
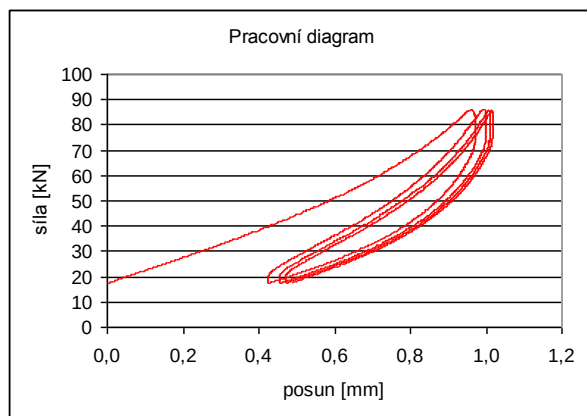
A06-150



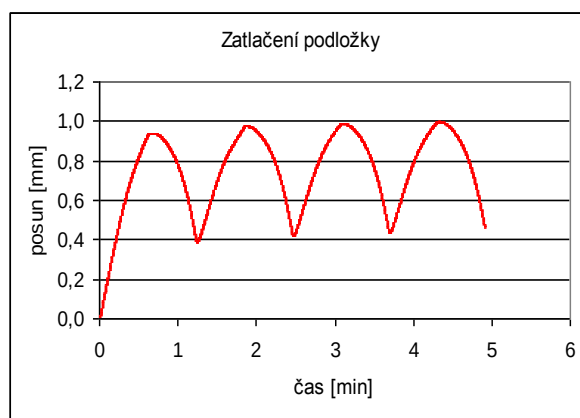
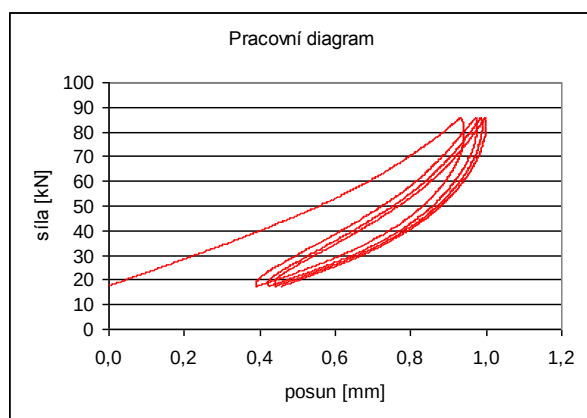
A01-150 (2.)



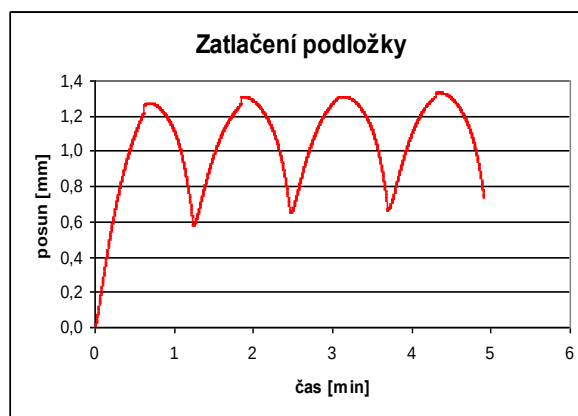
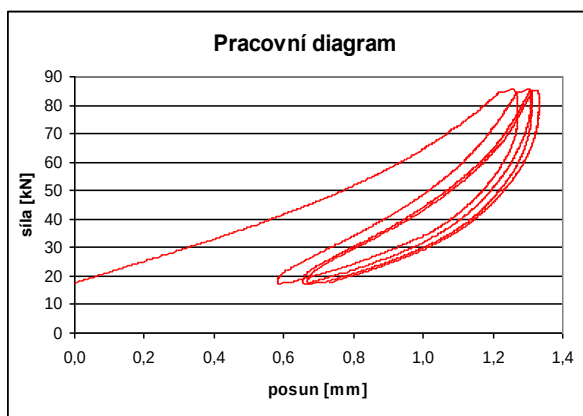
A02-150 (2.)



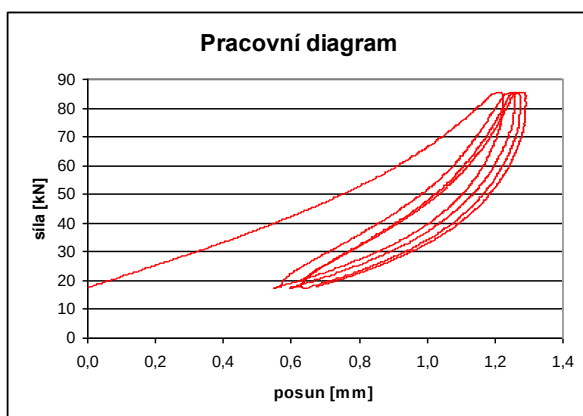
A03-150 (2.)



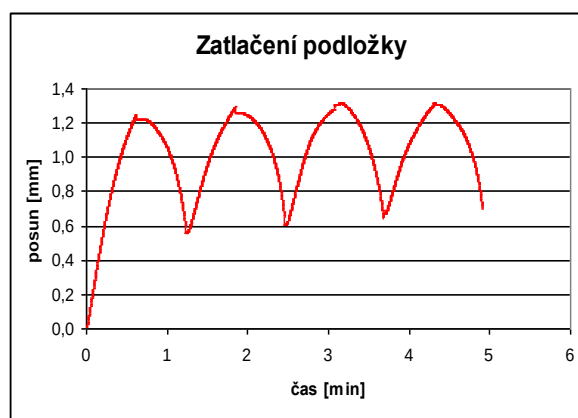
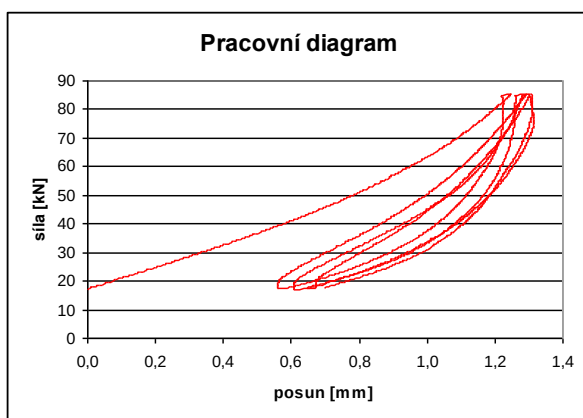
B01-150



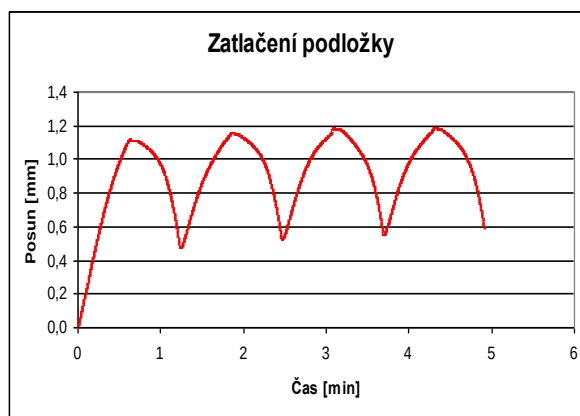
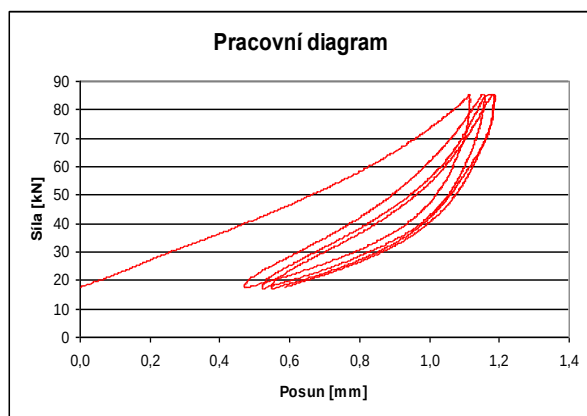
B02-150



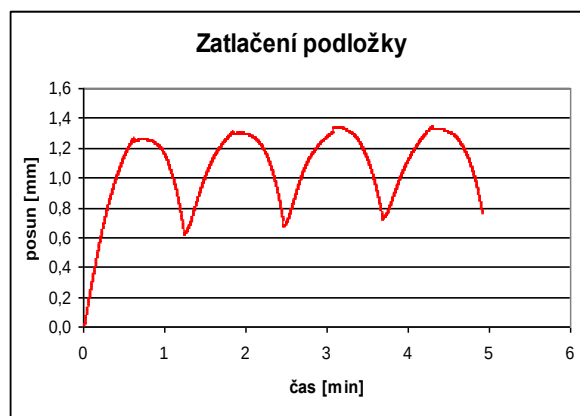
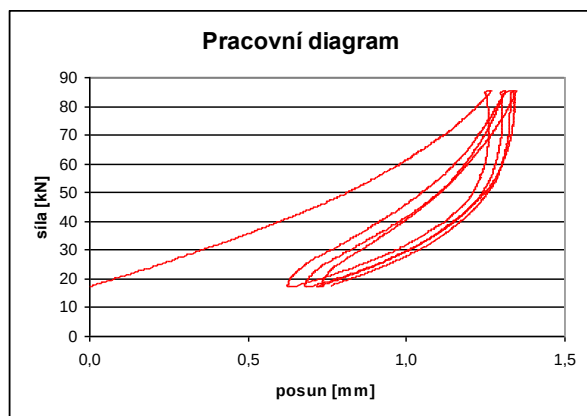
B03-150



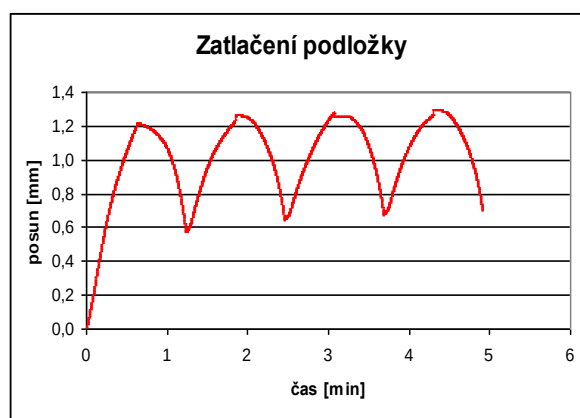
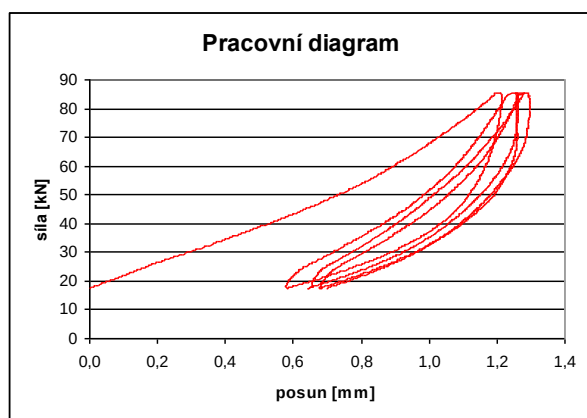
B04-150



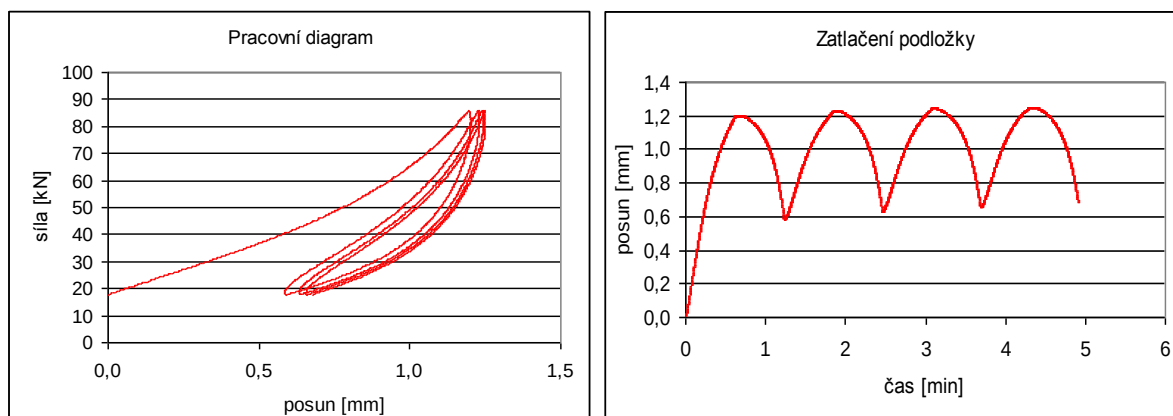
B05-150



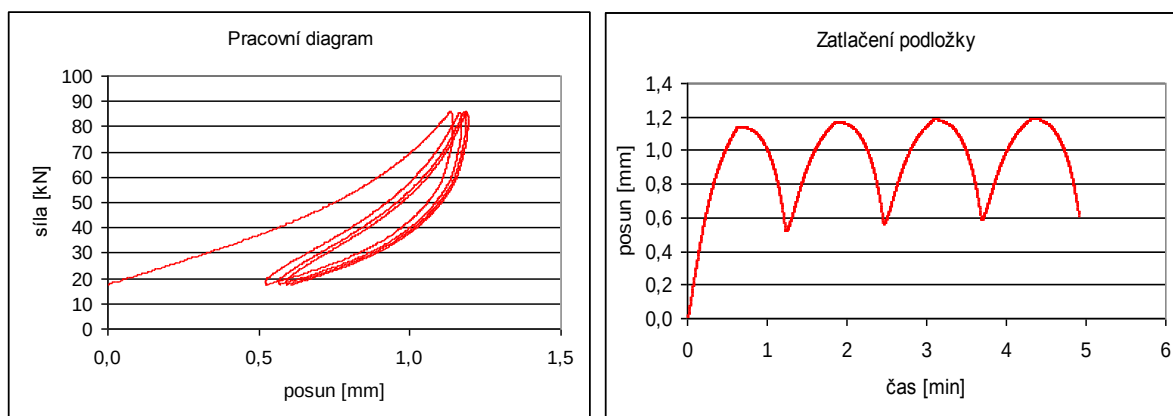
B06-150



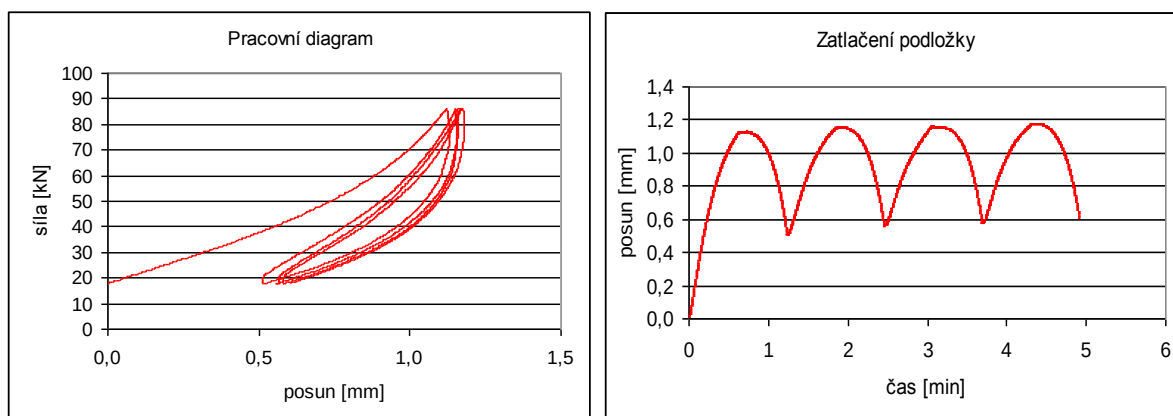
B01-150 (2.)



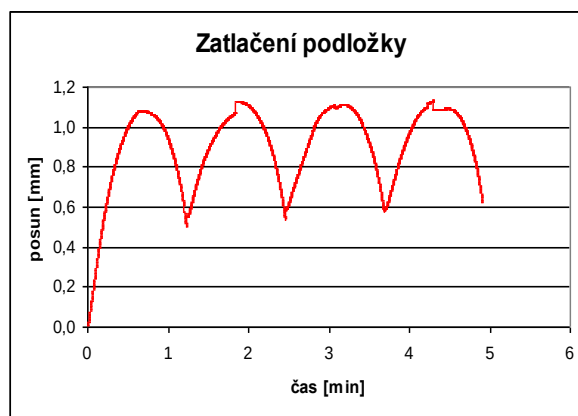
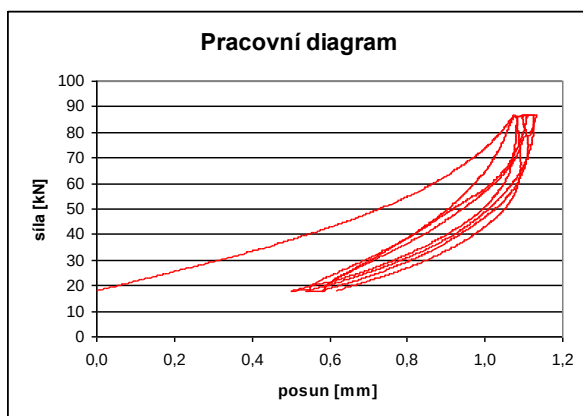
B02-150 (2.)



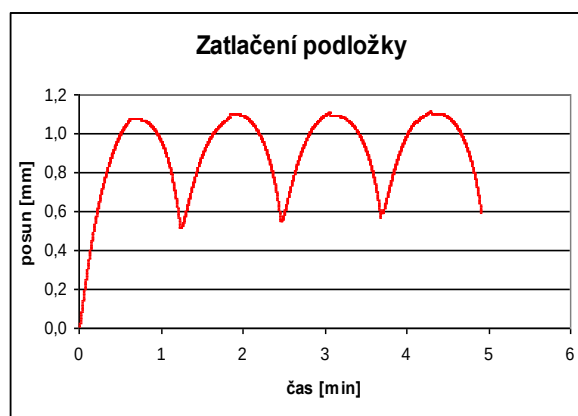
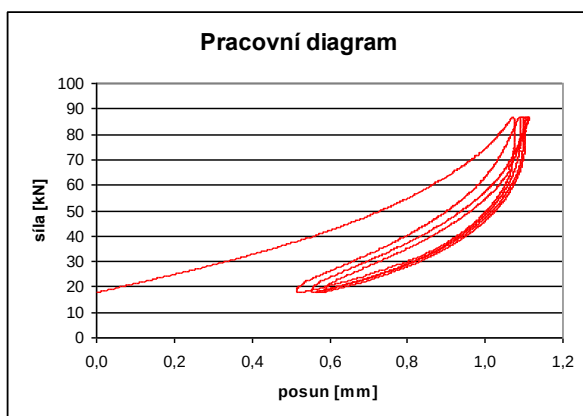
B03-150 (2.)



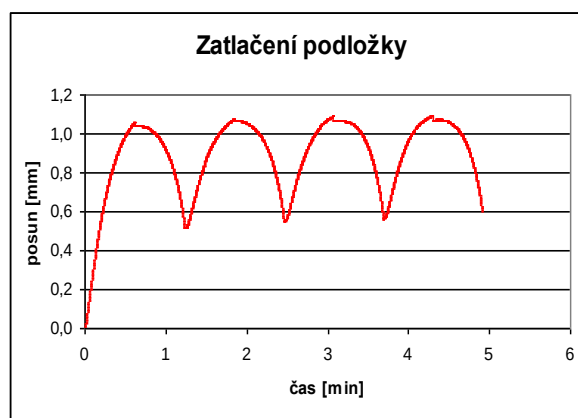
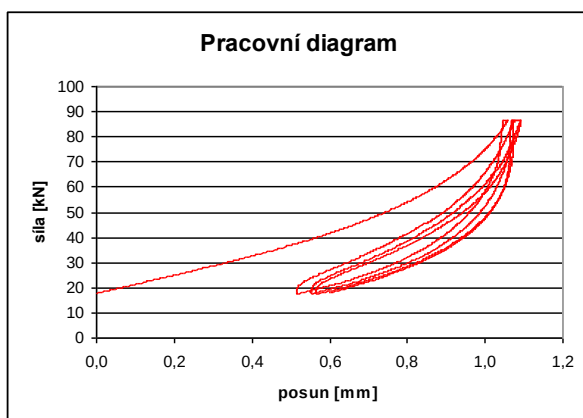
A01-125



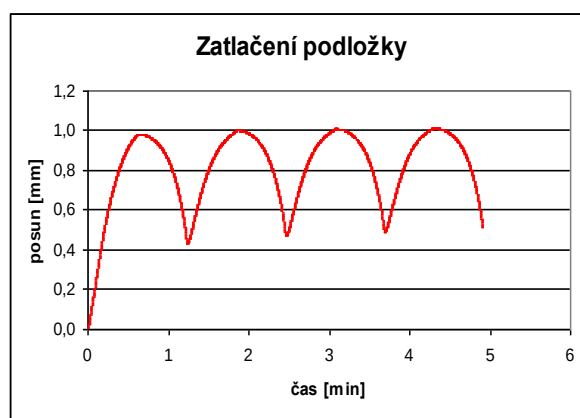
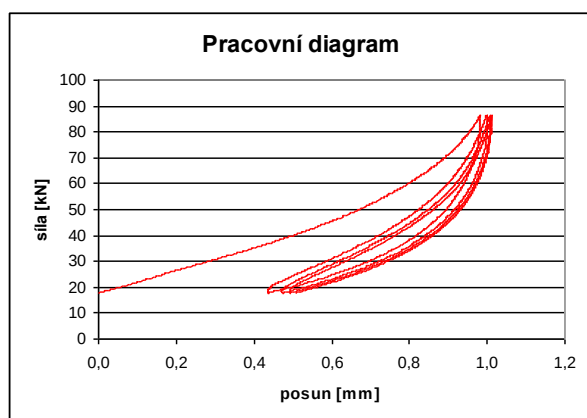
A02-125



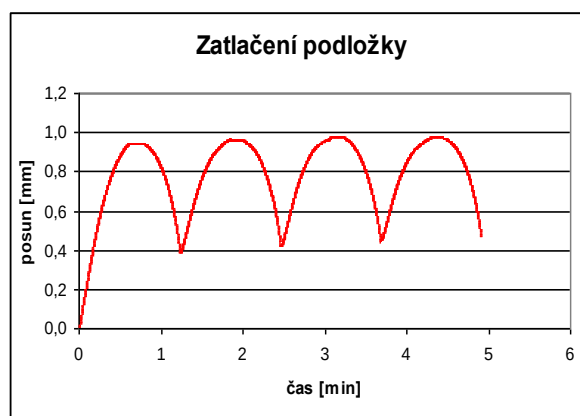
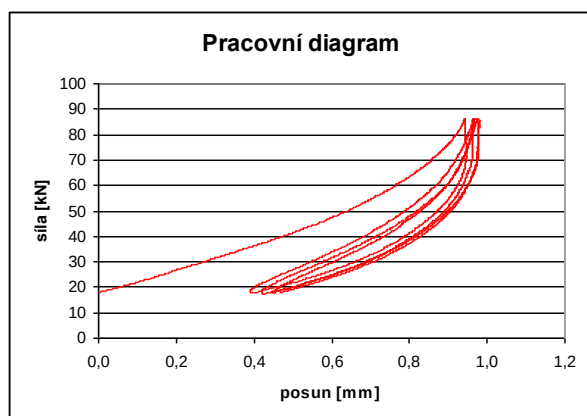
A03-125



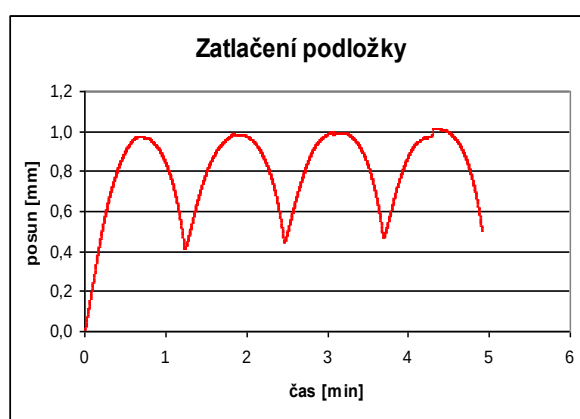
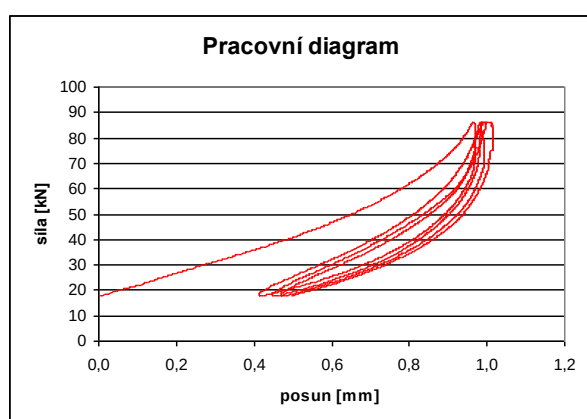
A04-125



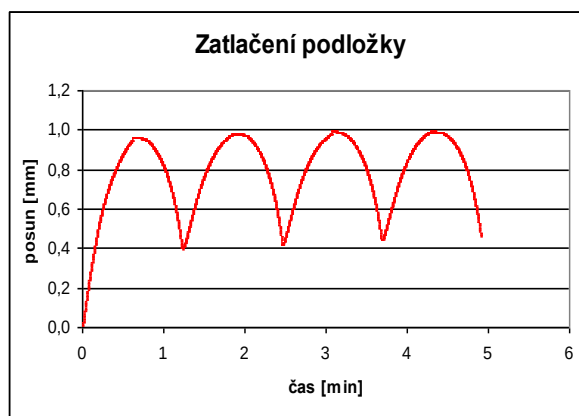
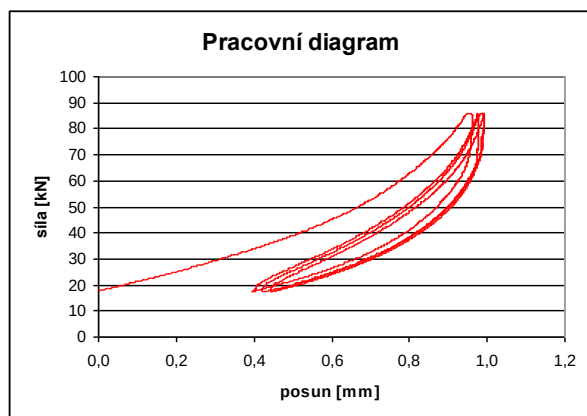
A05-125



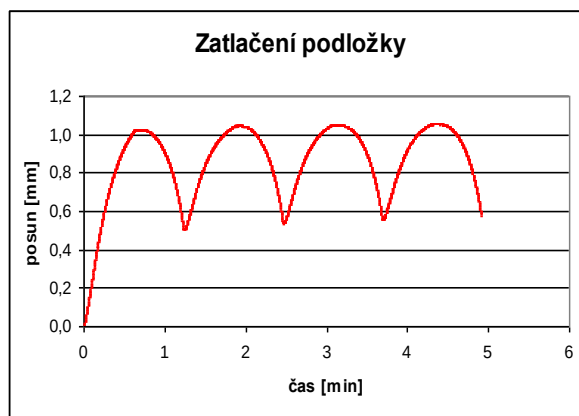
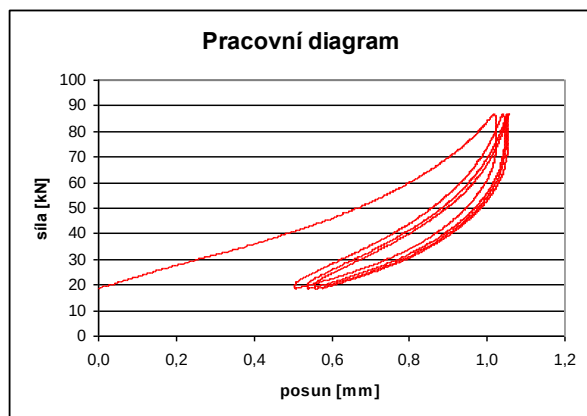
A06-125



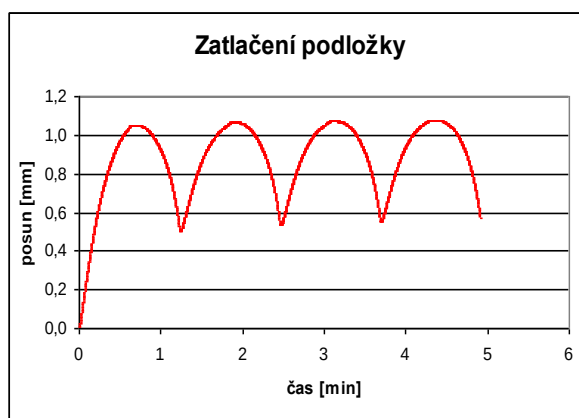
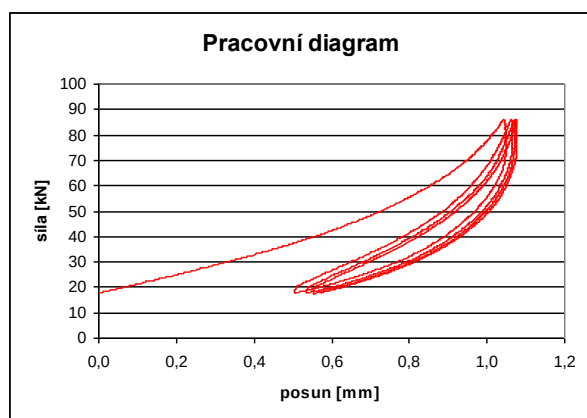
A01-125 (2.)



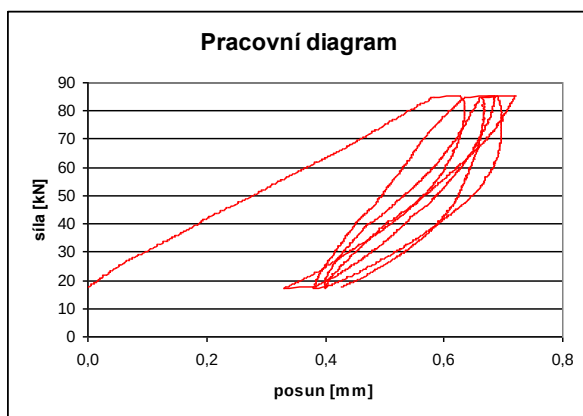
A02-125 (2.)



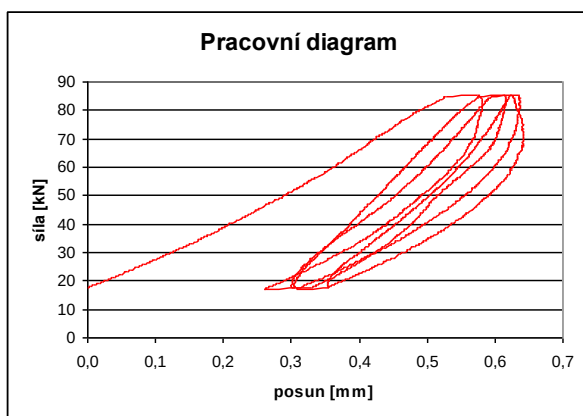
A03-125 (2.)



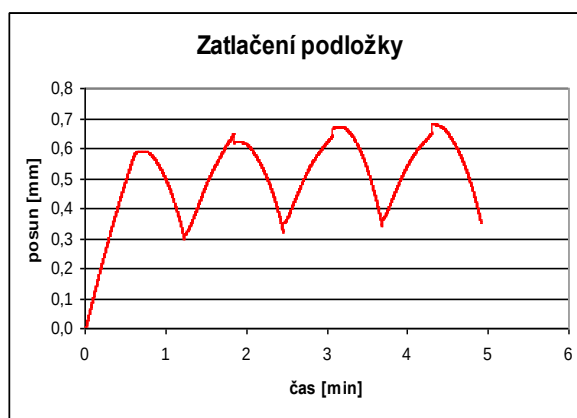
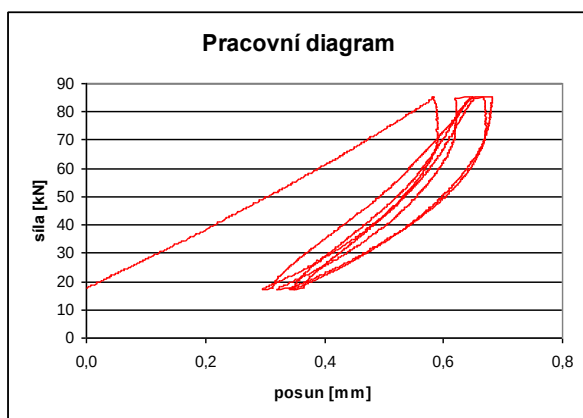
C01-150



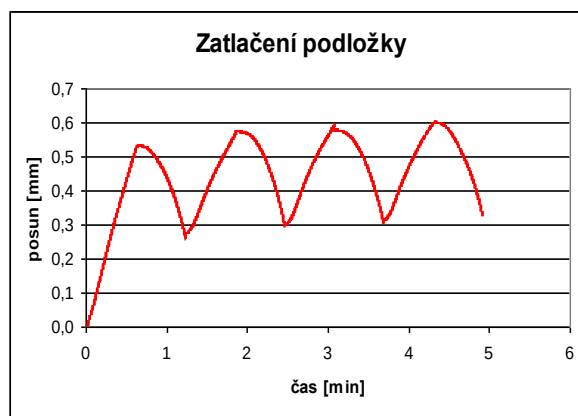
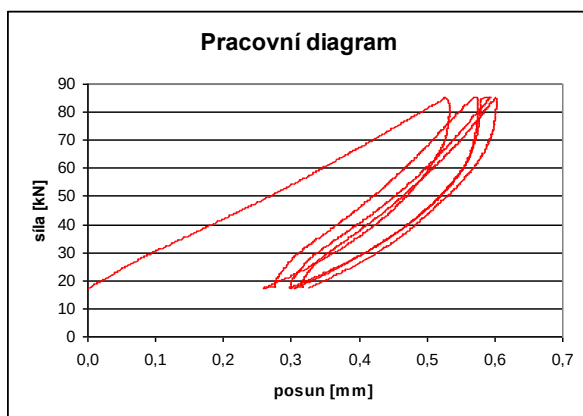
C02-150



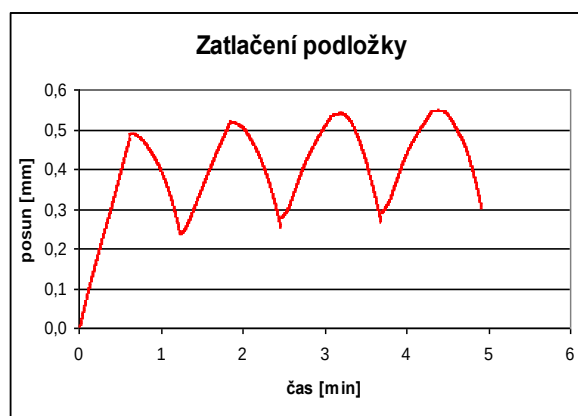
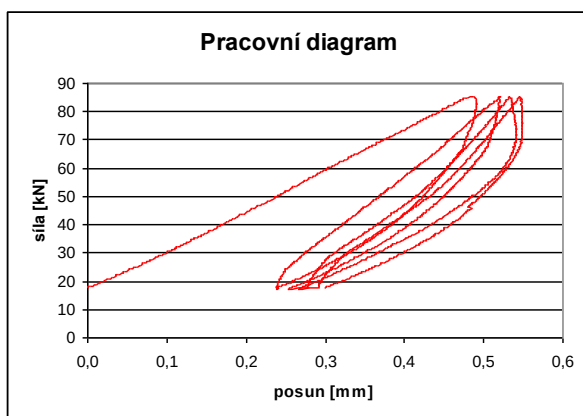
C03-150



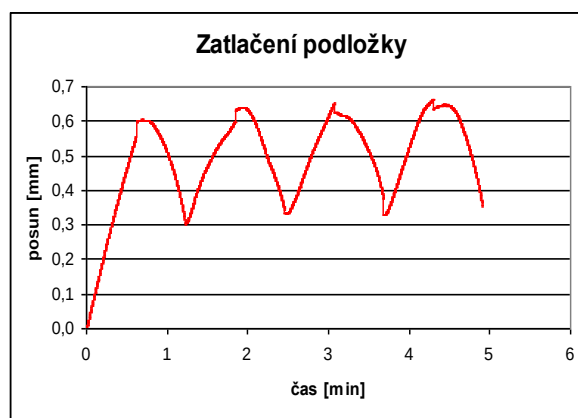
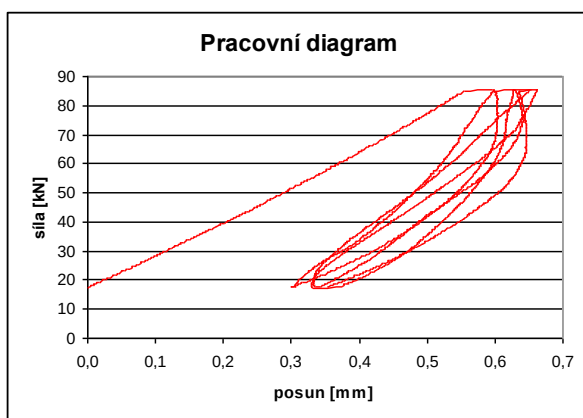
C04-150



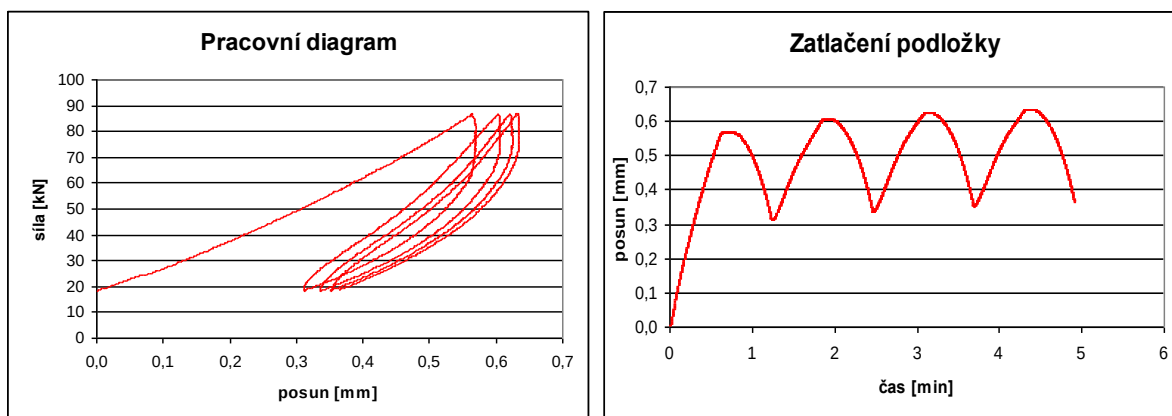
C05-150



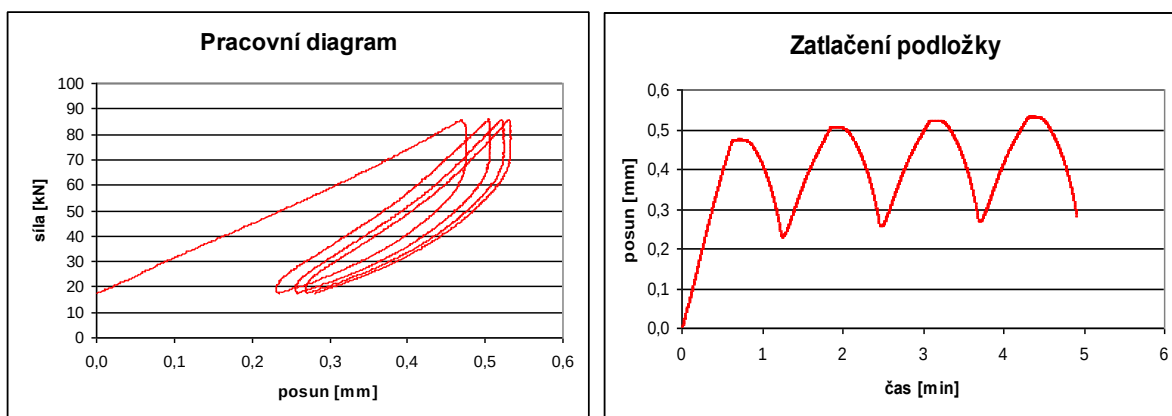
C06-150



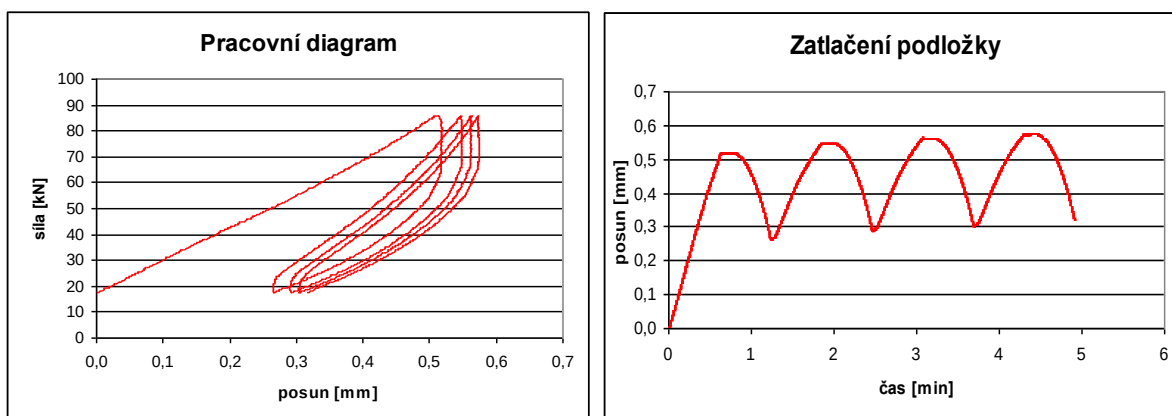
C01-150 (2.)



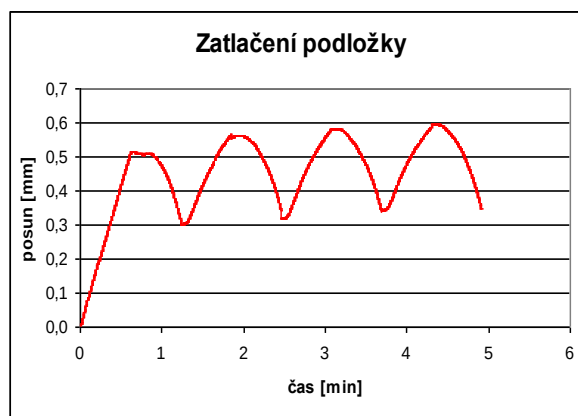
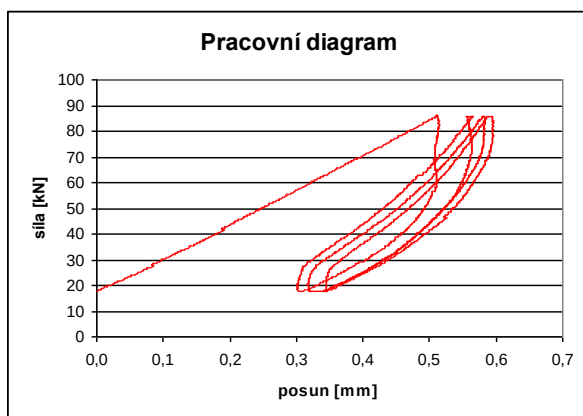
C02-150 (2.)



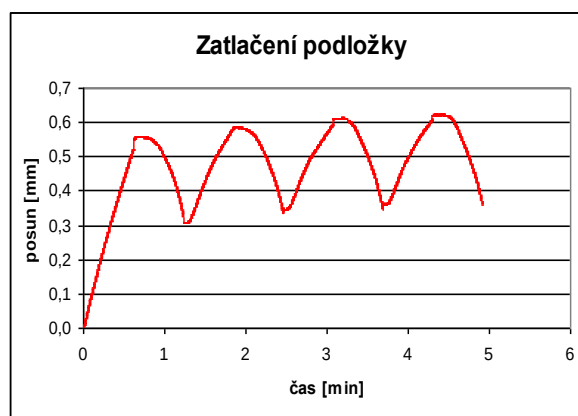
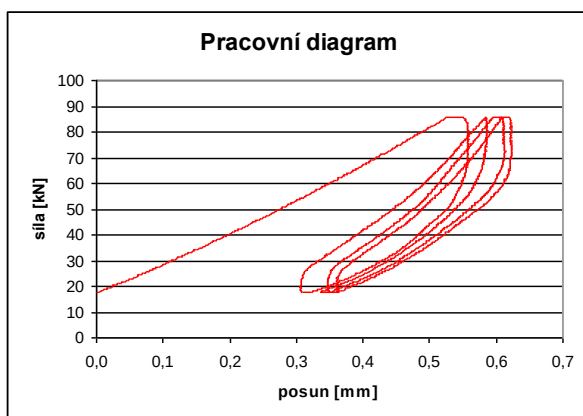
C03-150 (2.)



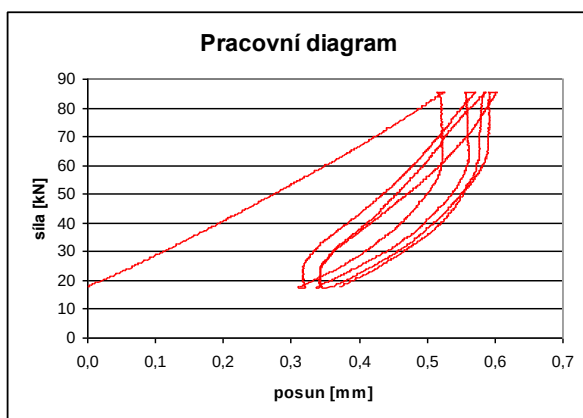
C01-125



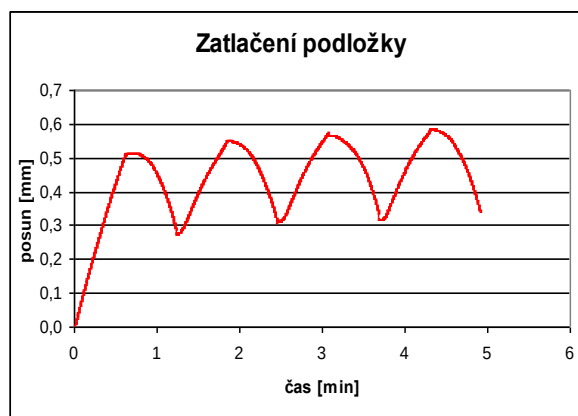
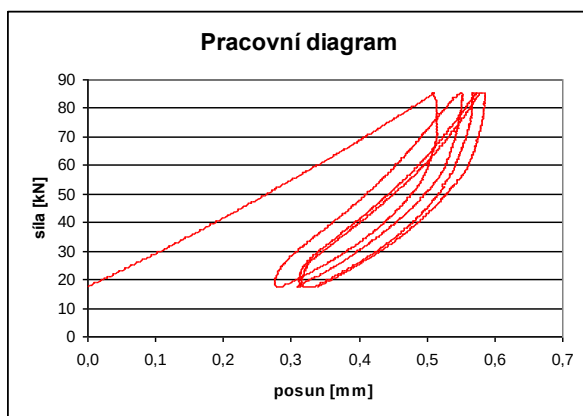
C02-125



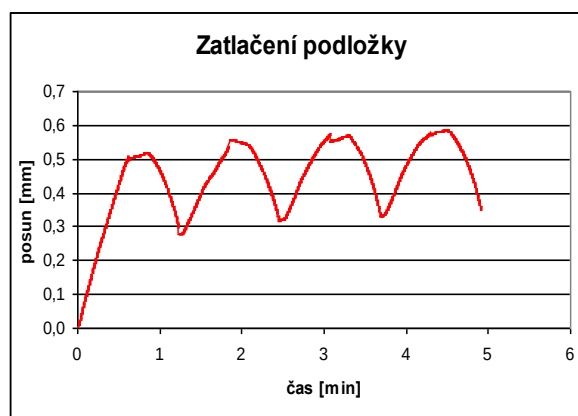
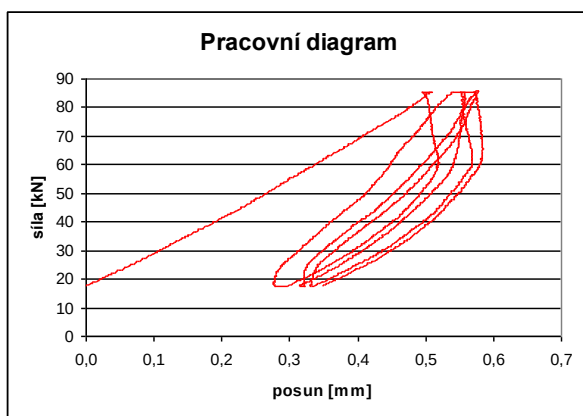
C03-125



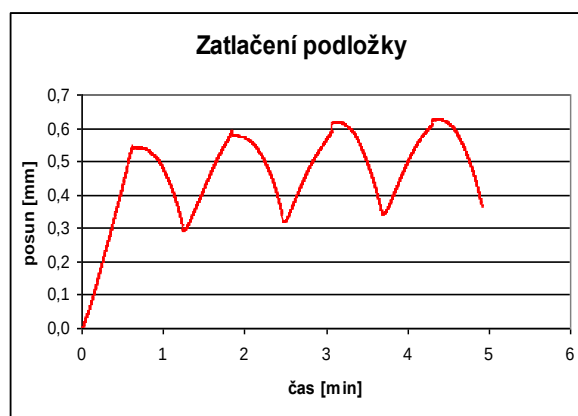
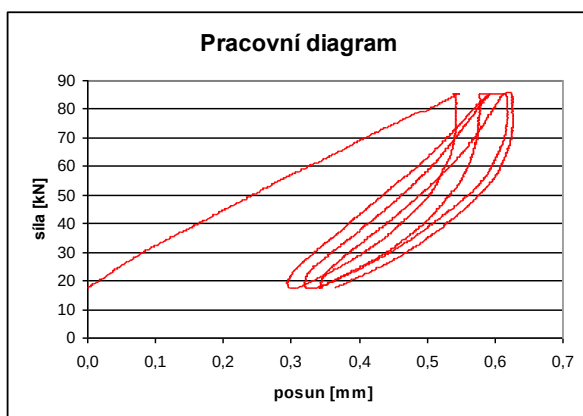
C04-125



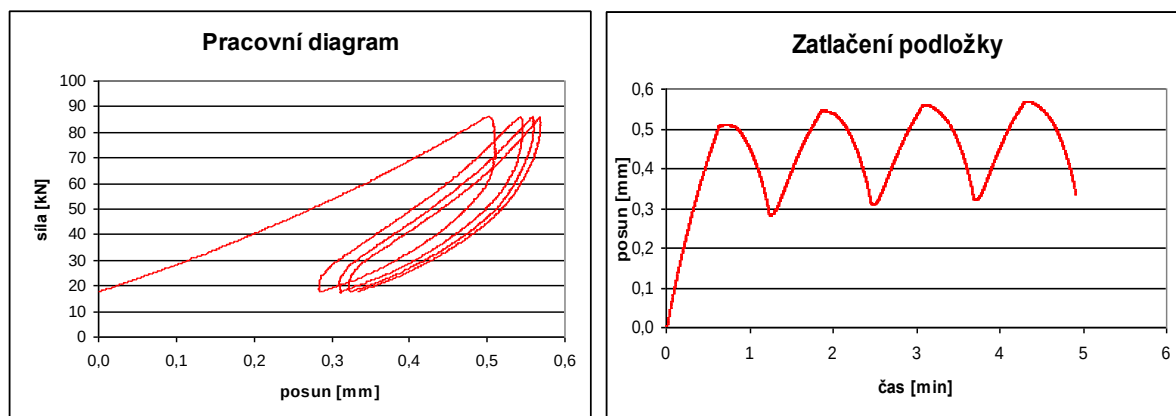
C05-125



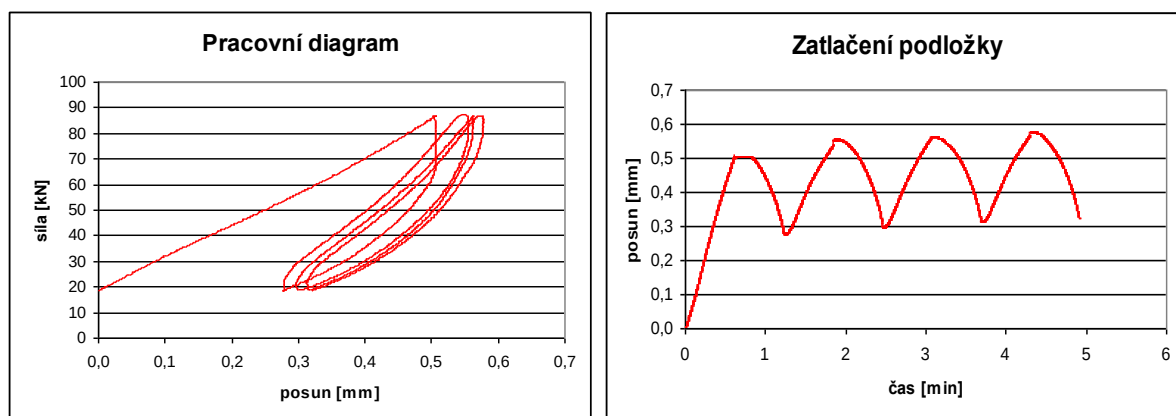
C06-125



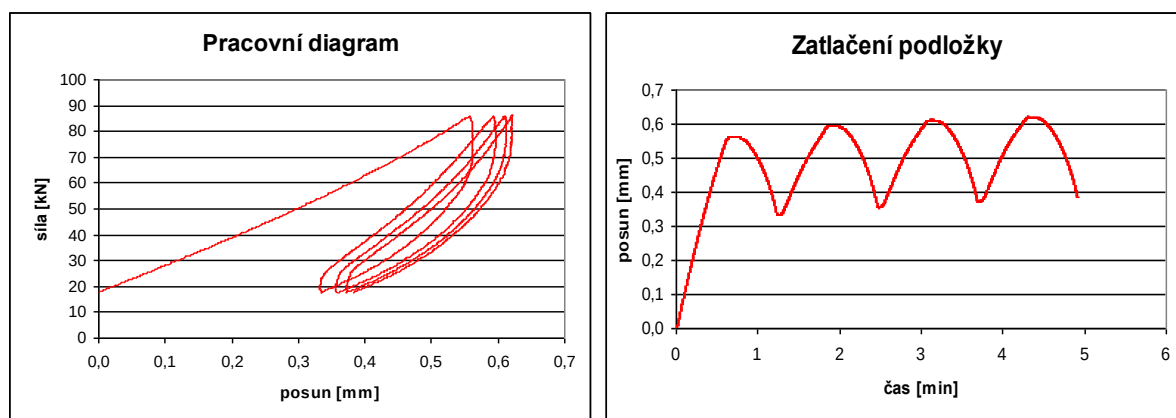
C01-125 (2.)



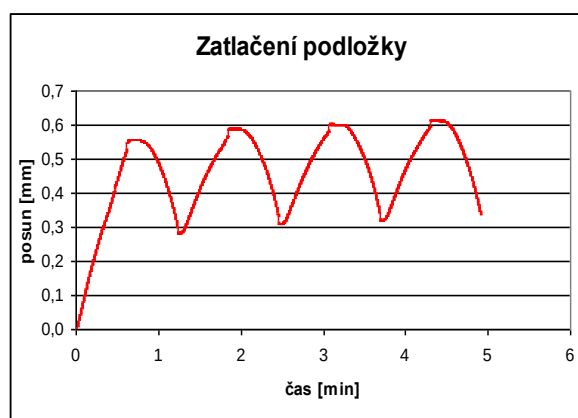
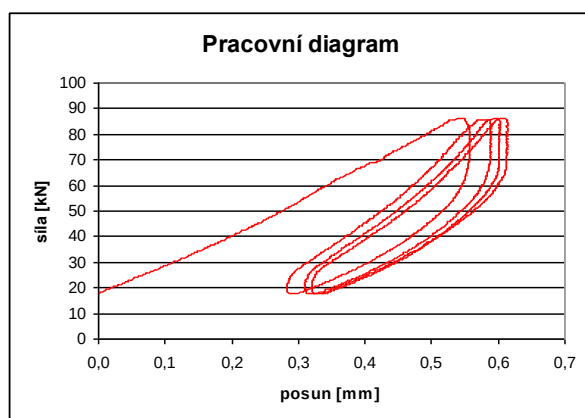
C02-125 (2.)



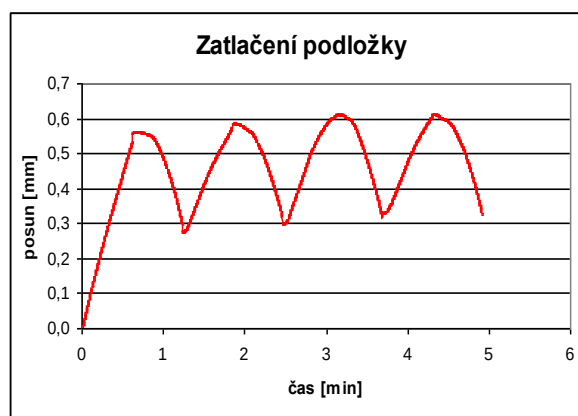
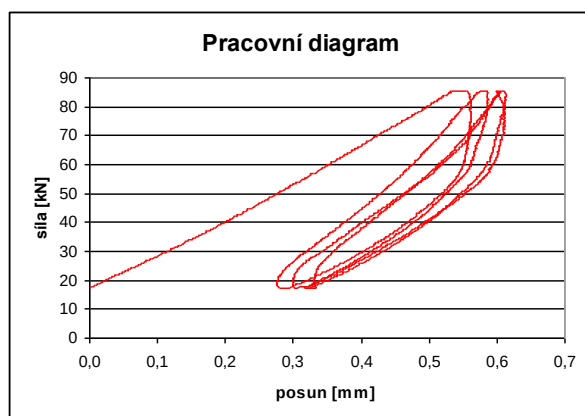
C03-125 (2.)



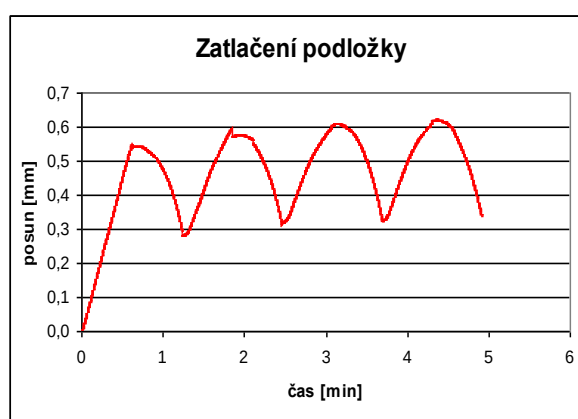
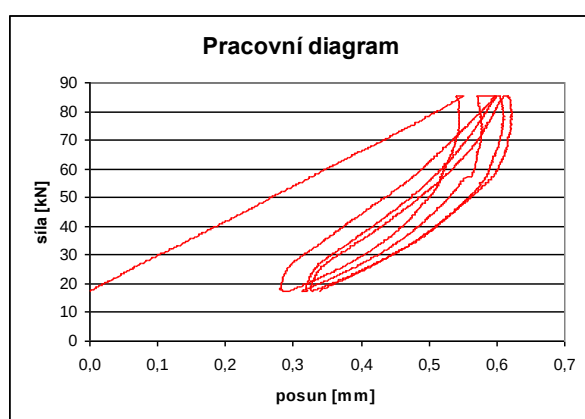
C20-125



C21-125



C22-125



PŘÍLOHA Č. 3

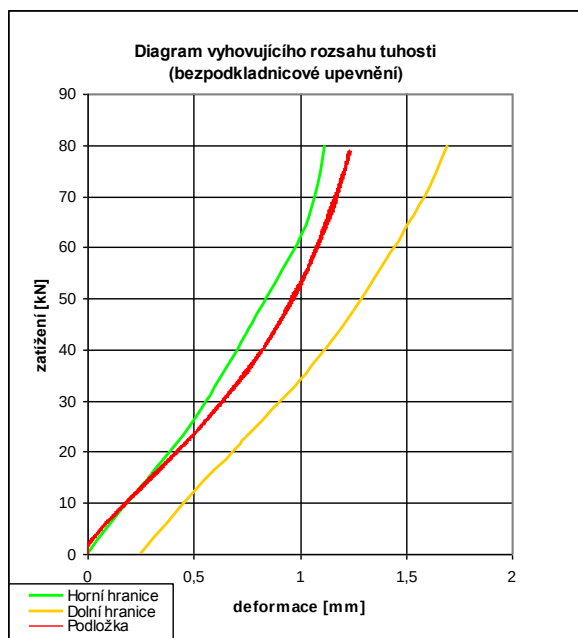
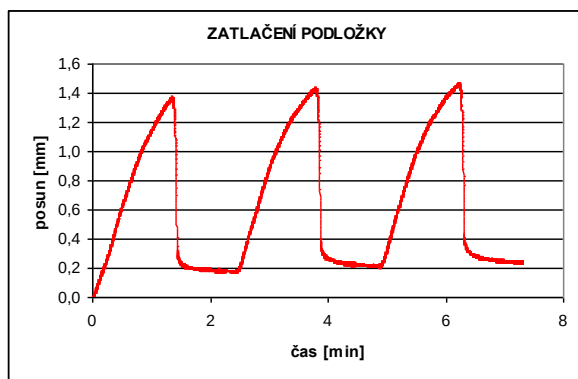
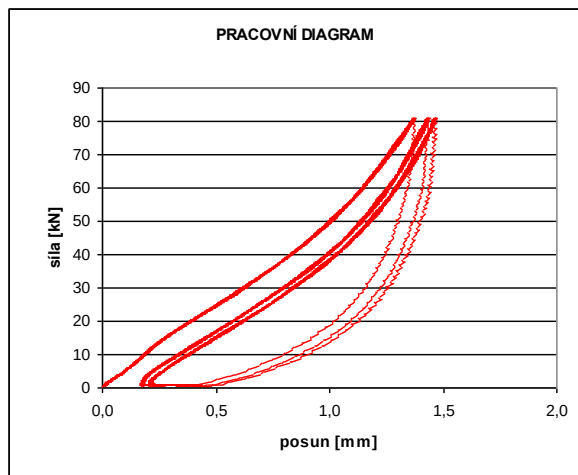
Pracovní diagramy, zatlačení podložek a diagramy vyhovujícího rozsahu statické tuhosti definované limitními křivkami dle OTP

OBSAH

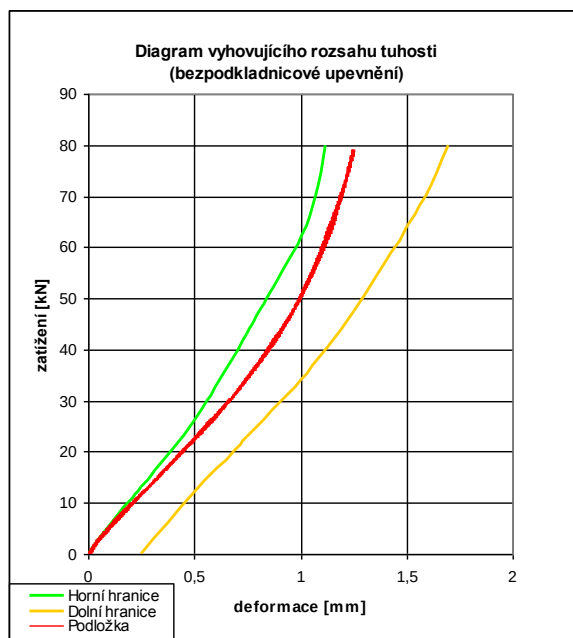
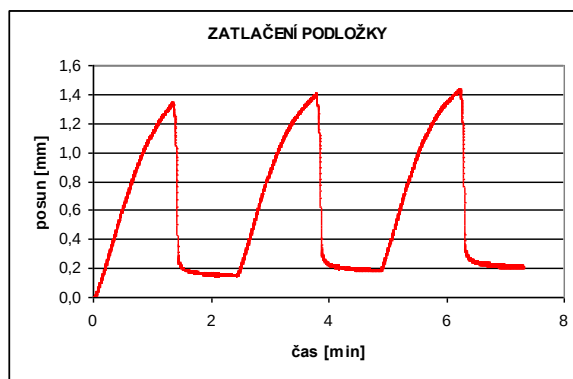
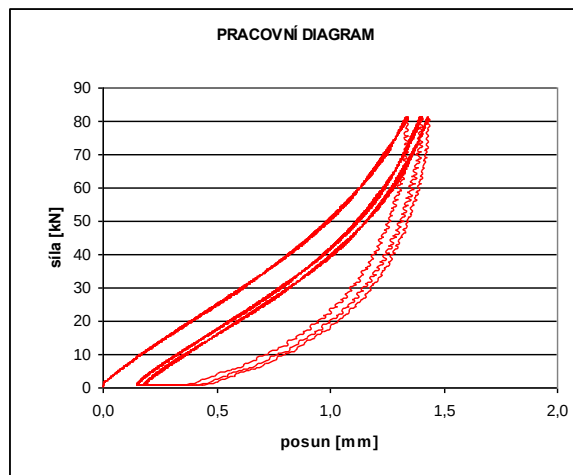
A07-150.....	5
A08-150.....	5
A09-150.....	6
A10-150.....	6
B01-150.....	7
B02-150.....	7
B03-150.....	8
B07-150.....	8
B08-150.....	9
B09-150.....	9
B12-150.....	10
A01-125.....	10
A07-125.....	11
A08-125.....	11
A09-125.....	12
A10-125.....	12
A11-125.....	13
A12-125.....	13
A07-125 (2.).....	14
A08-125 (2.).....	14
A09-125 (2.).....	15
C07-150.....	15
C08-150.....	16
C09-150.....	16
C10-150.....	17
C11-150.....	17
C12-150.....	18
C22-150.....	18
C07-150 (2.).....	19
C08-150 (2.).....	19
C09-150 (2.).....	20
C07-125.....	20
C08-125.....	21

C09-125.....	21
C10-125.....	22
C11-125.....	22
C12-125.....	23
C23-125.....	23
C24-125.....	24
C25-125.....	24
C30-125.....	25
C31-125.....	25
C32-125.....	26
C36-125.....	26
C37-125.....	27
C38-125.....	27
C07-125 (2.).....	28
C08-125 (2.).....	28
C09-125 (2.).....	29

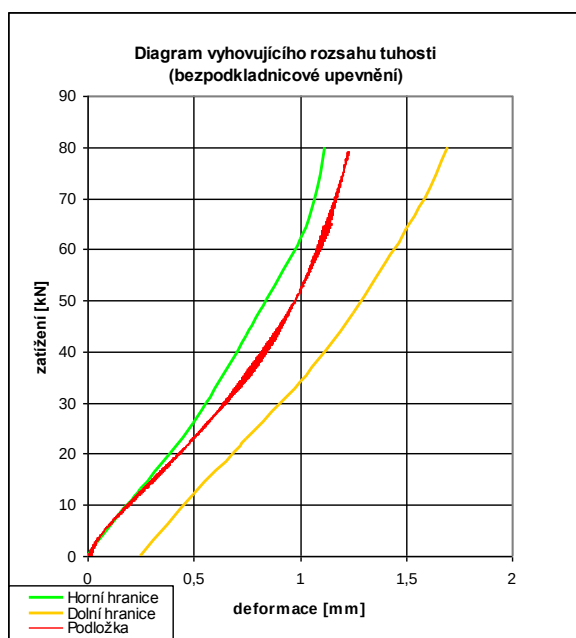
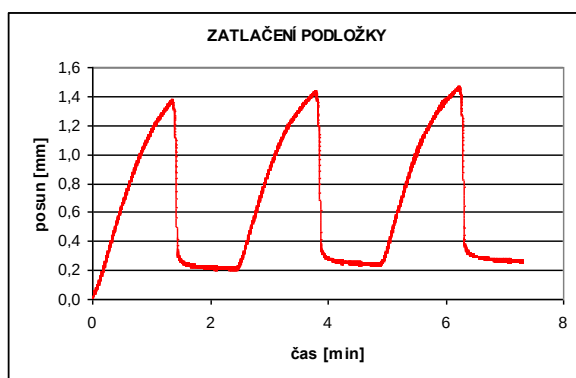
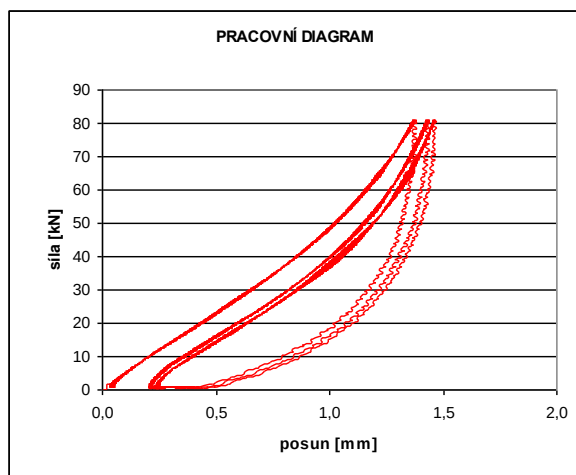
A07-150



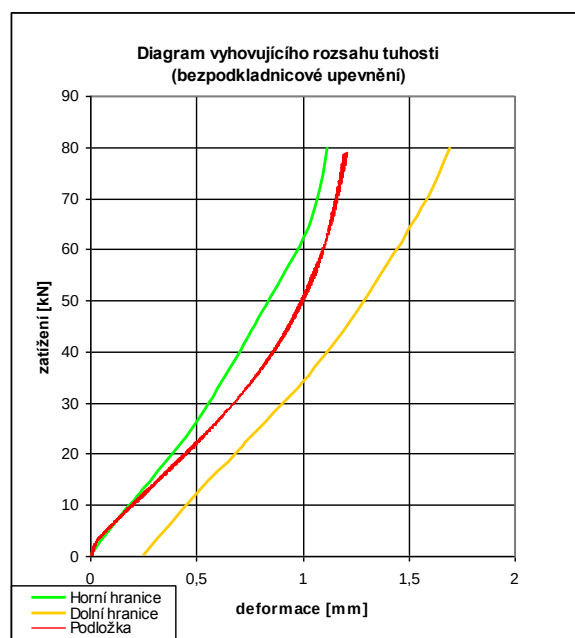
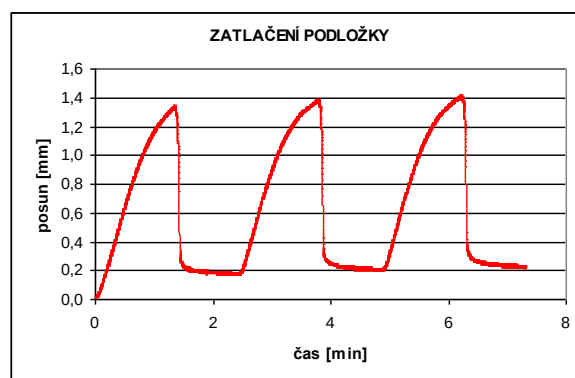
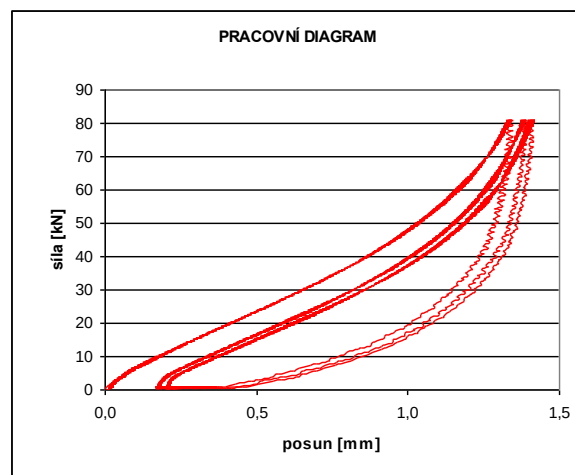
A08-150



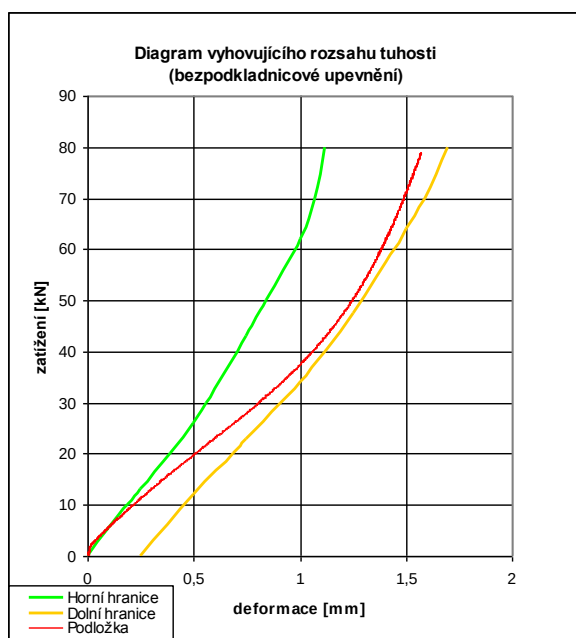
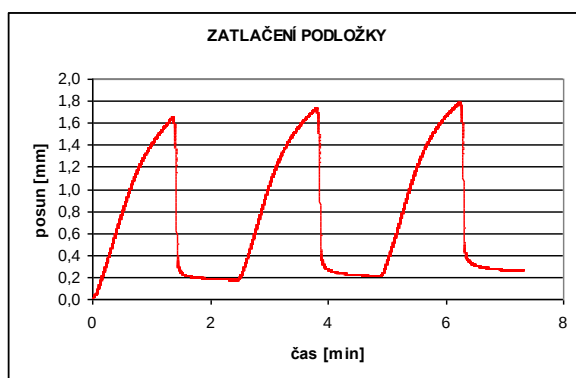
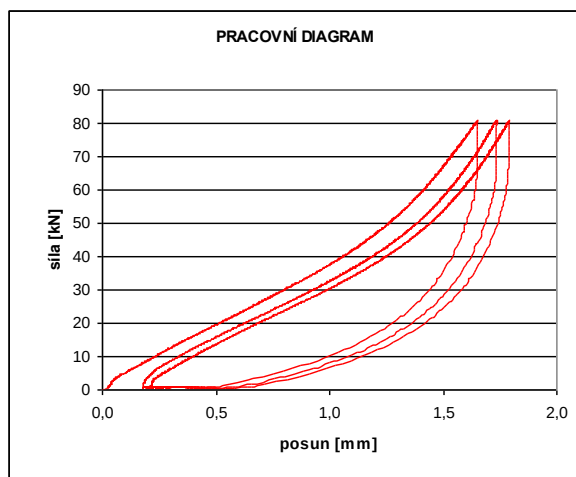
A09-150



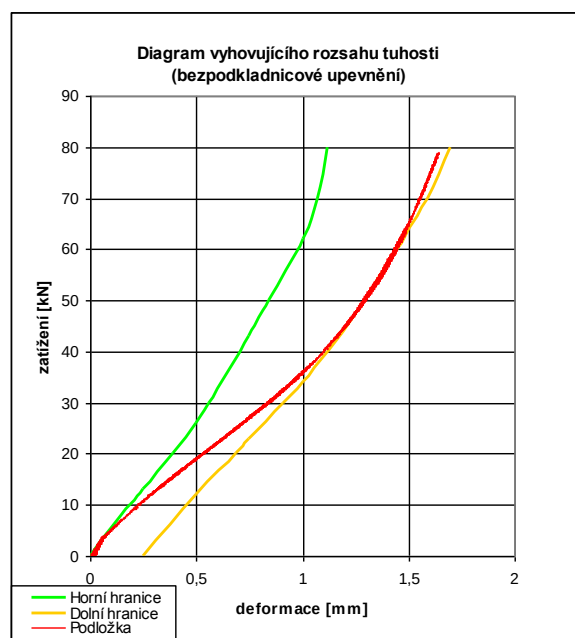
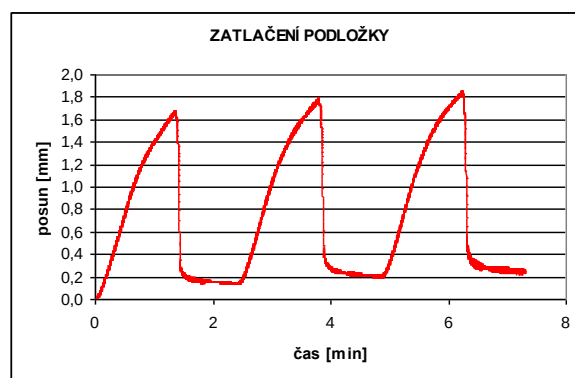
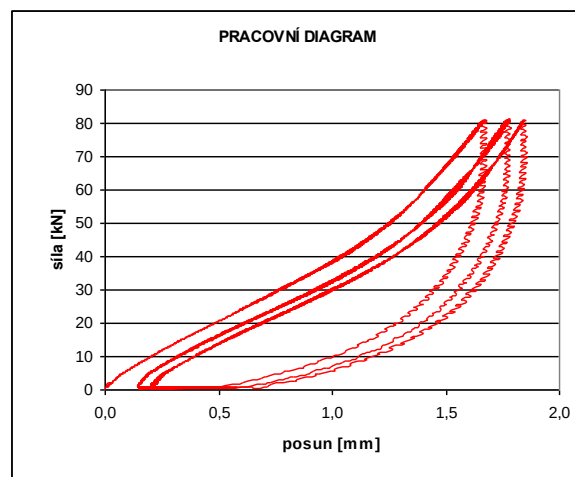
A10-150



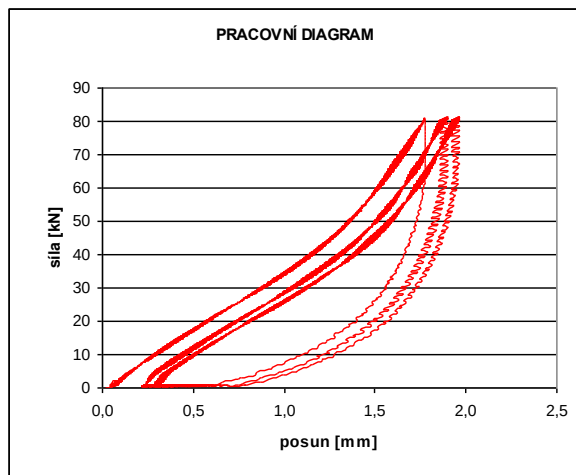
B01-150



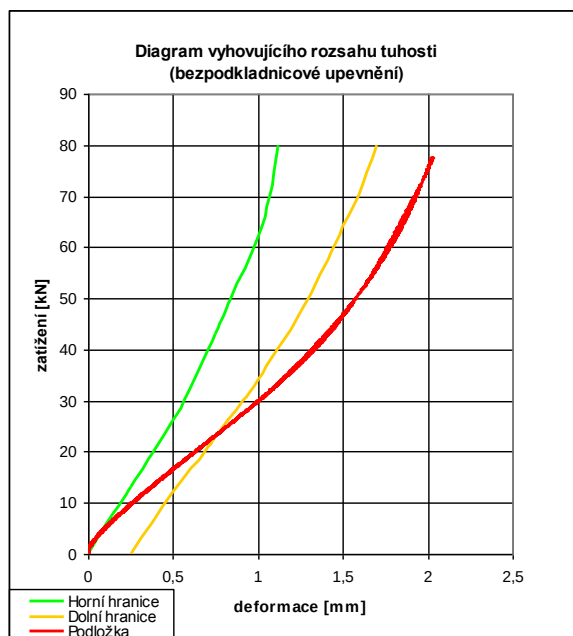
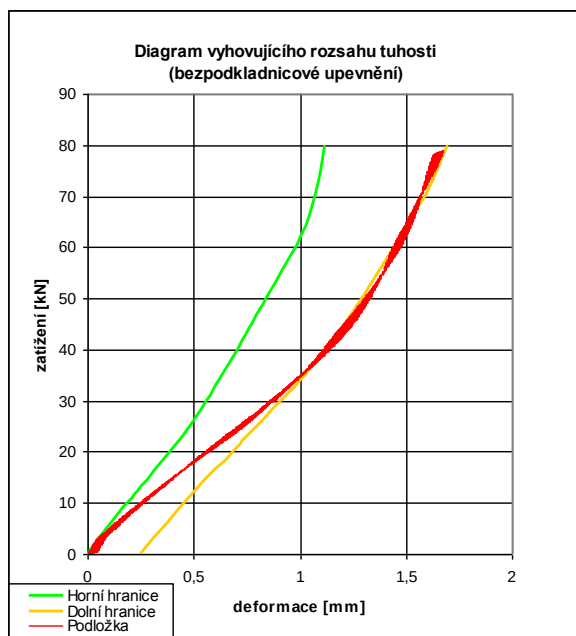
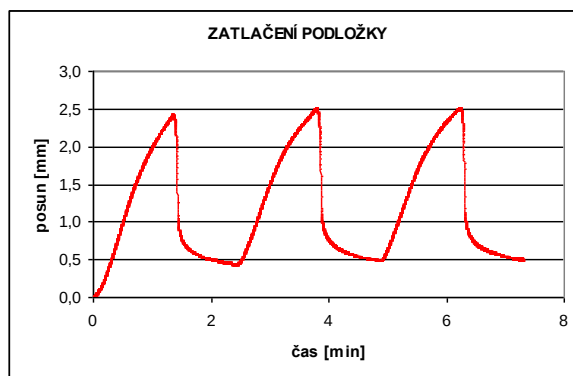
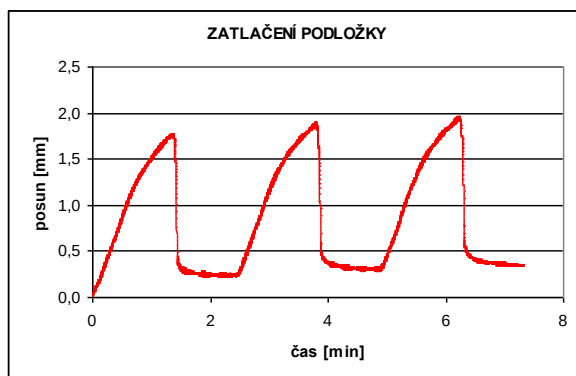
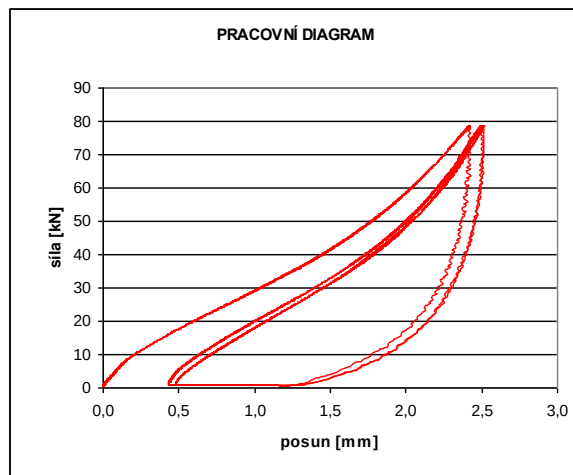
B02-150



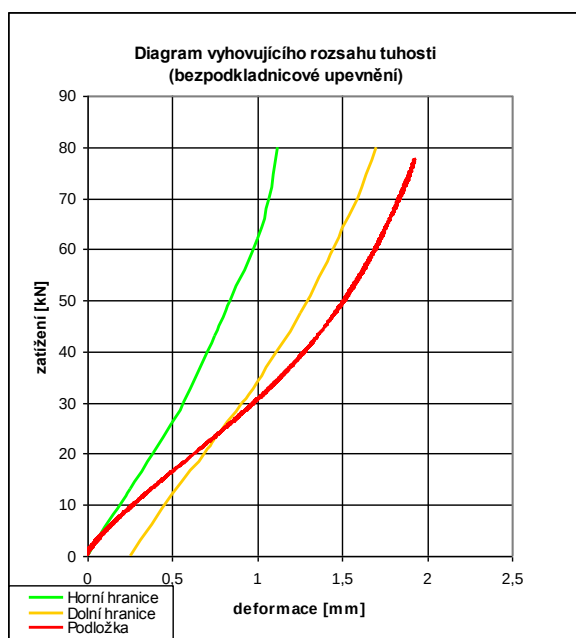
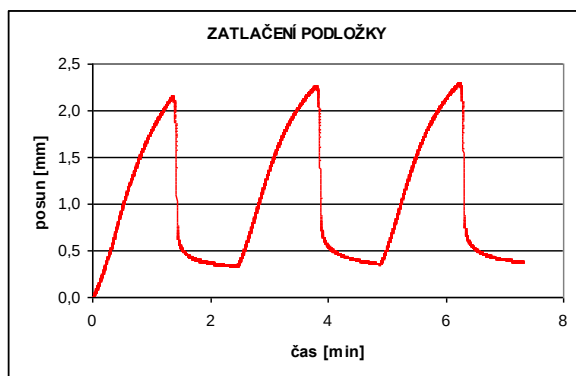
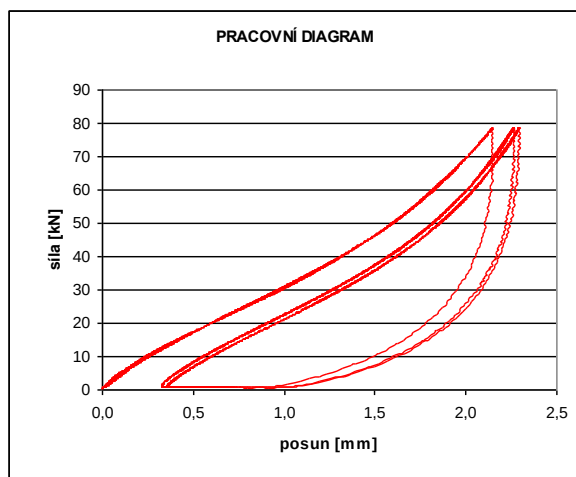
B03-150



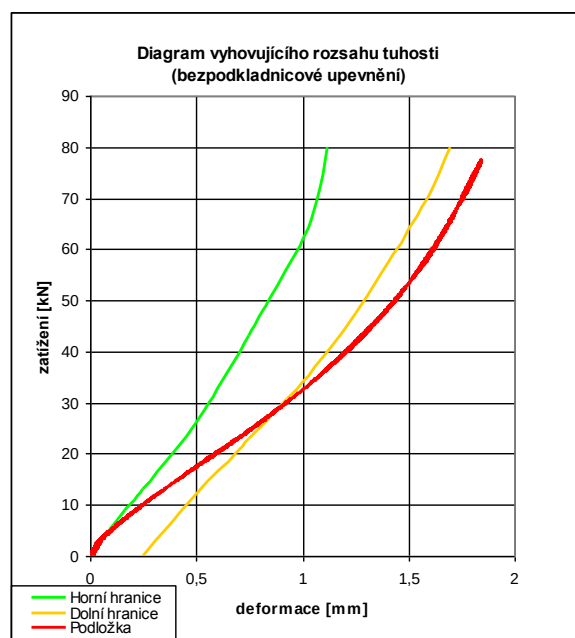
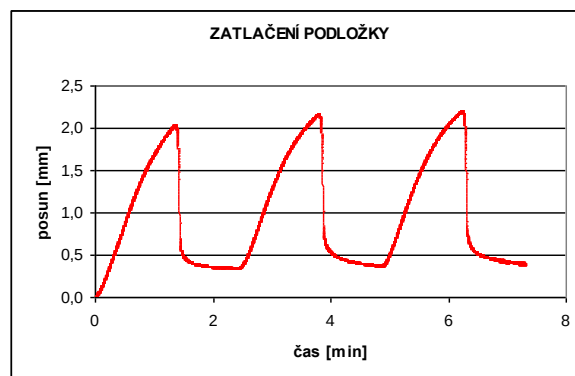
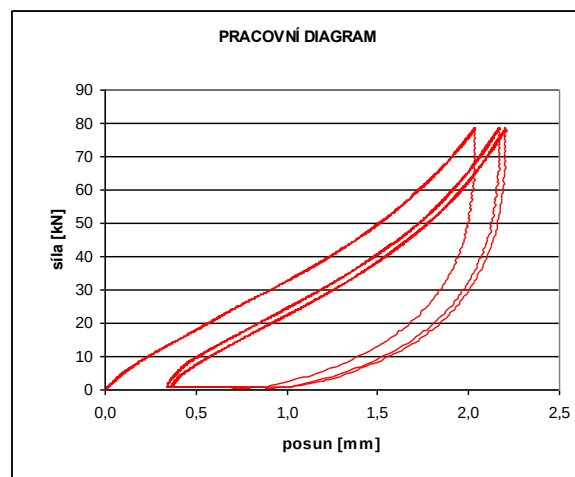
B07-150



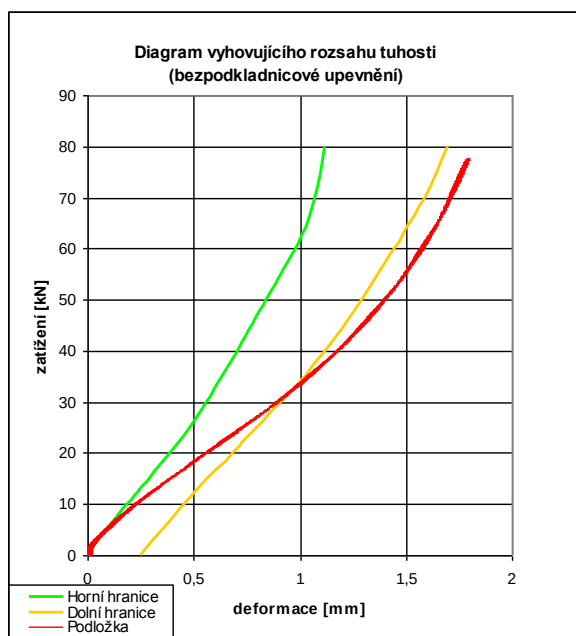
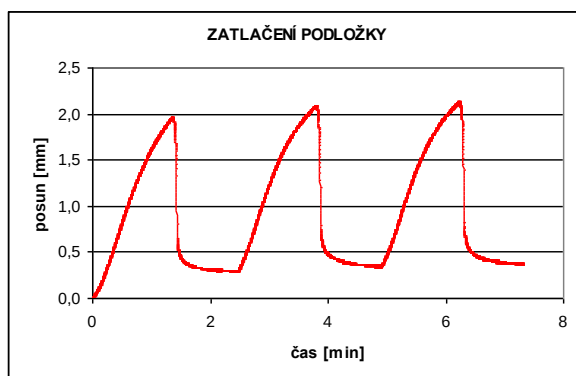
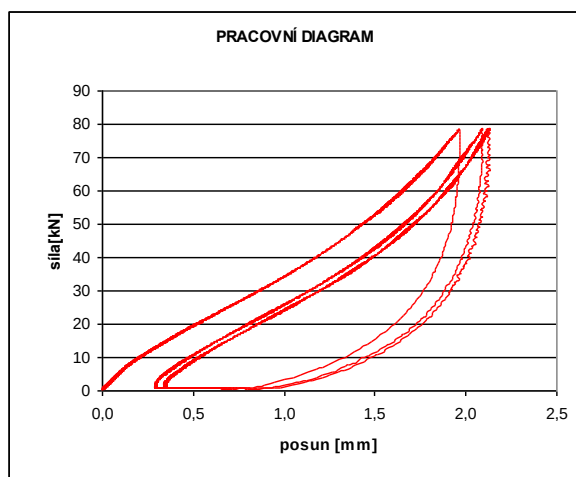
B08-150



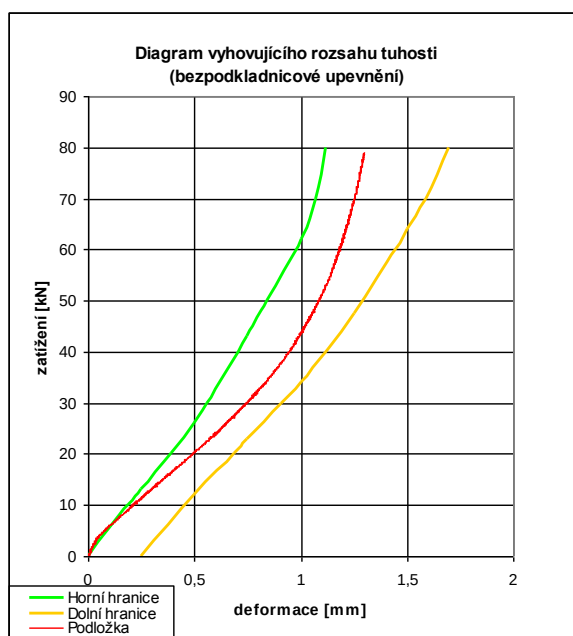
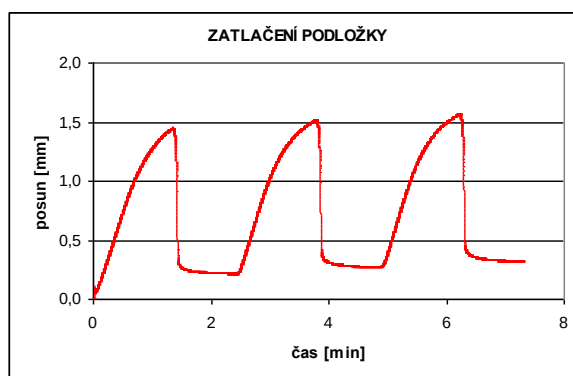
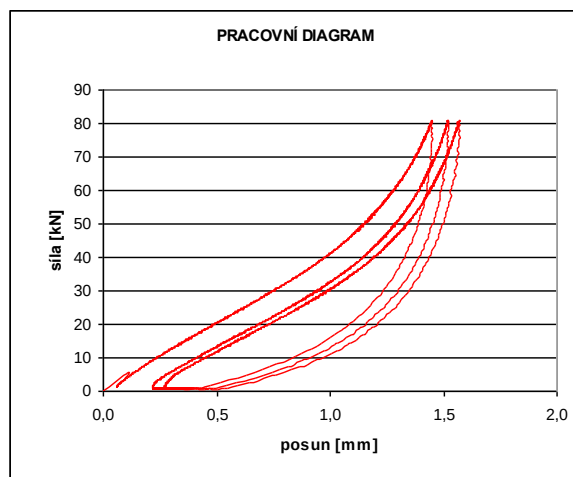
B09-150



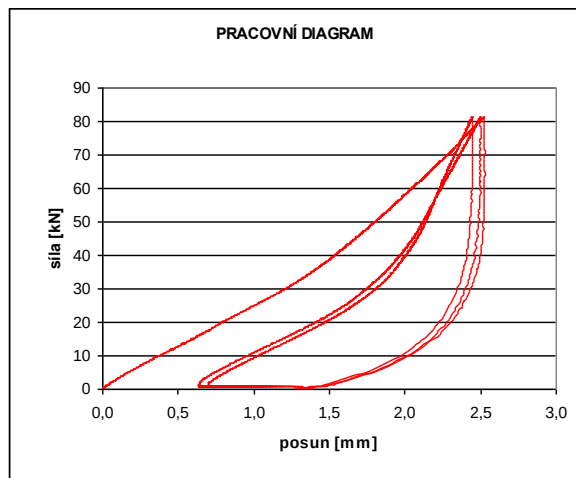
B12-150



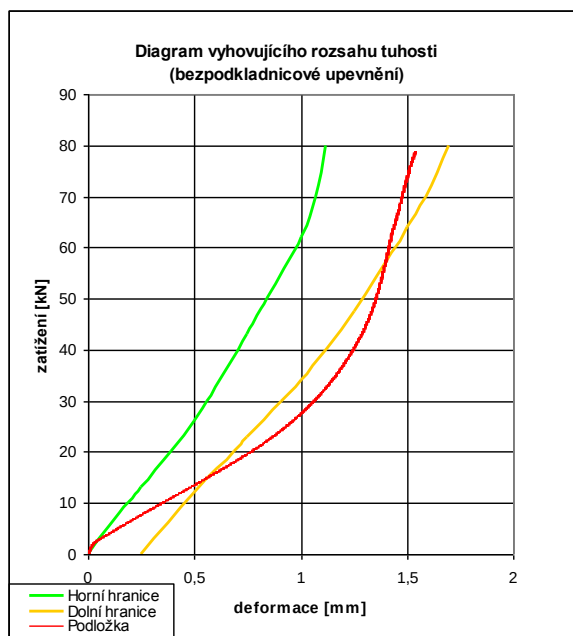
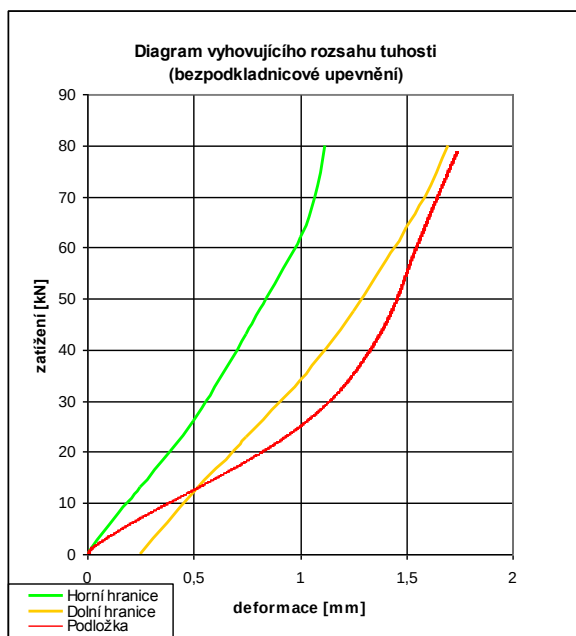
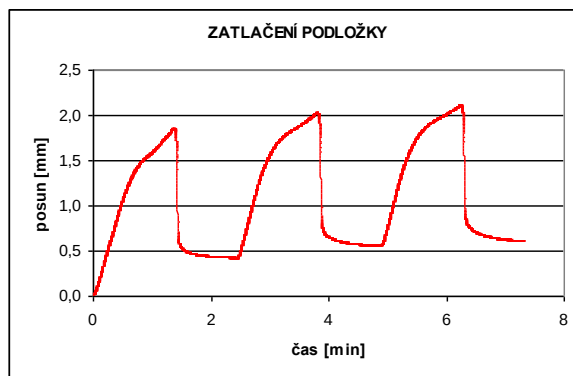
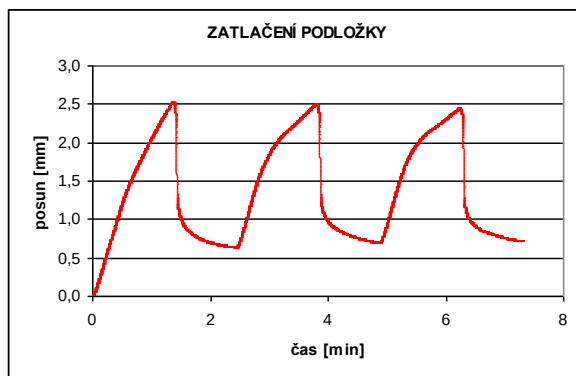
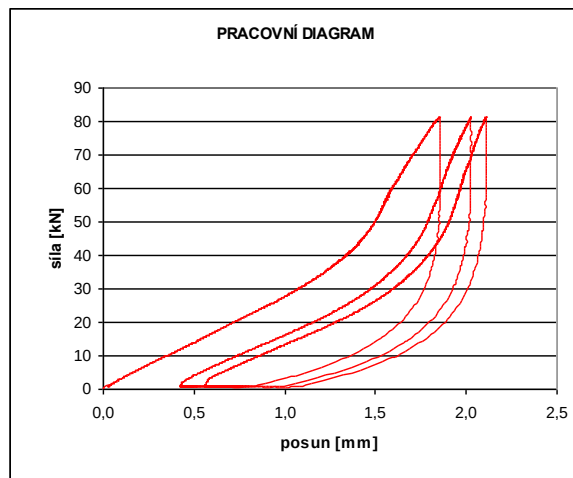
A01-125



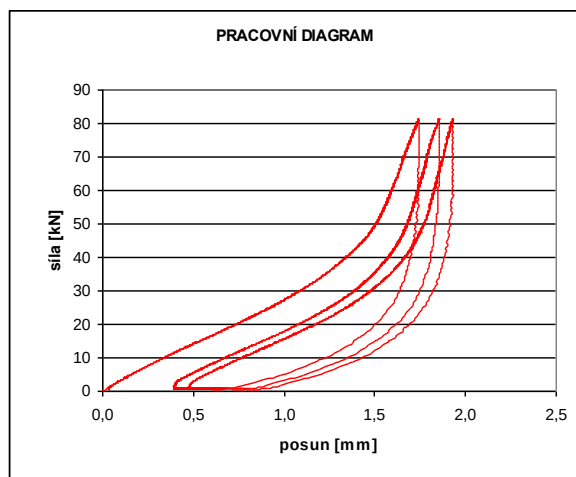
A07-125



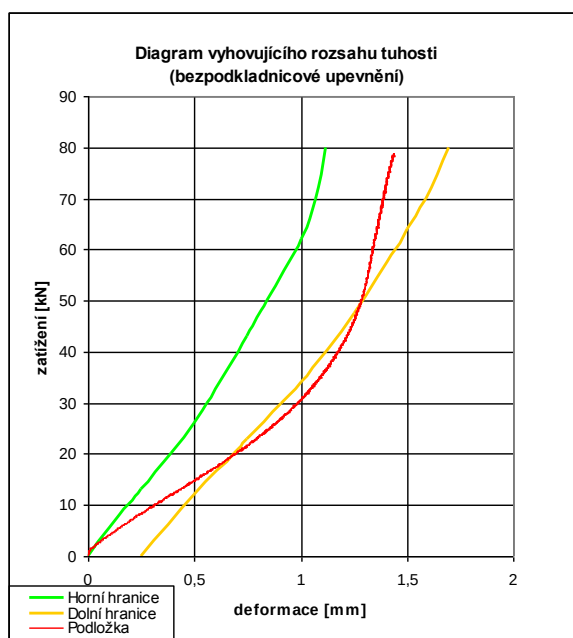
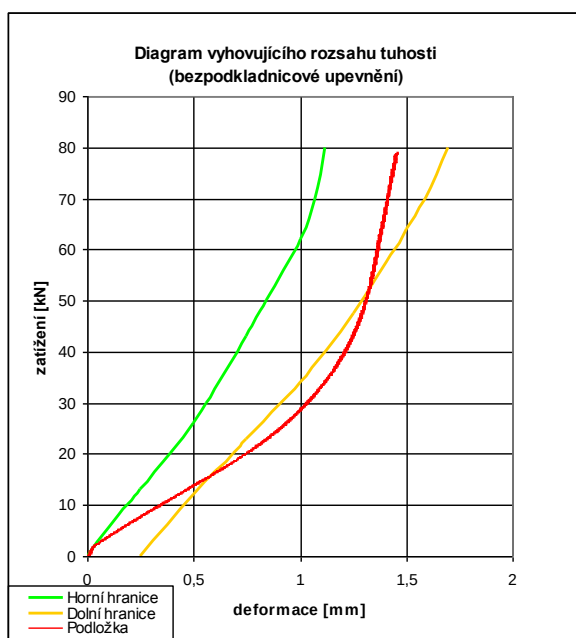
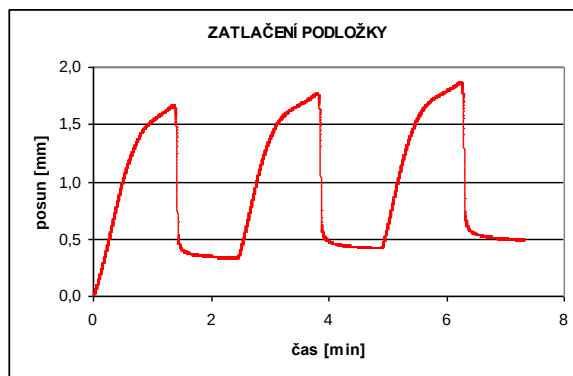
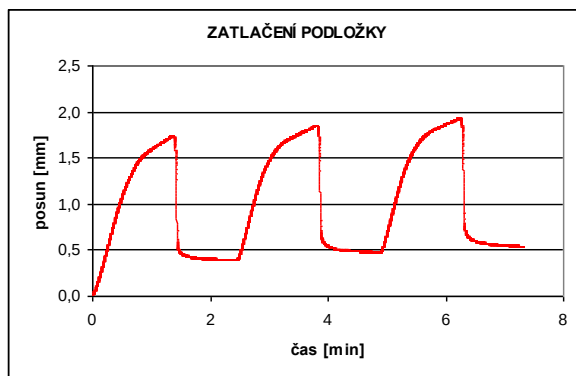
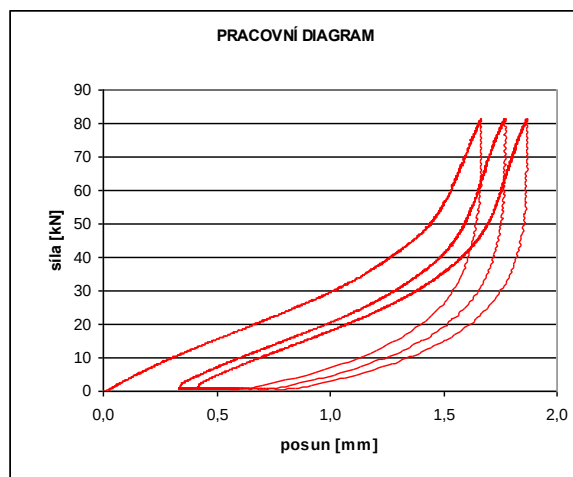
A08-125



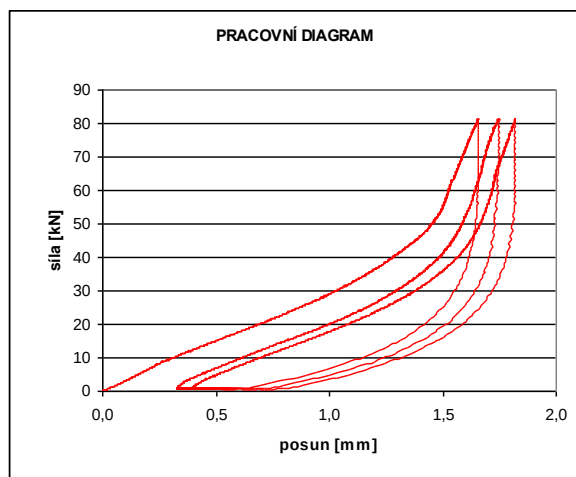
A09-125



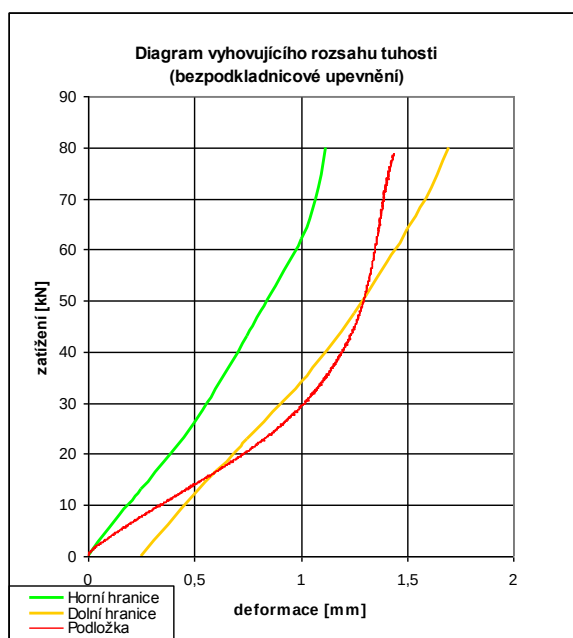
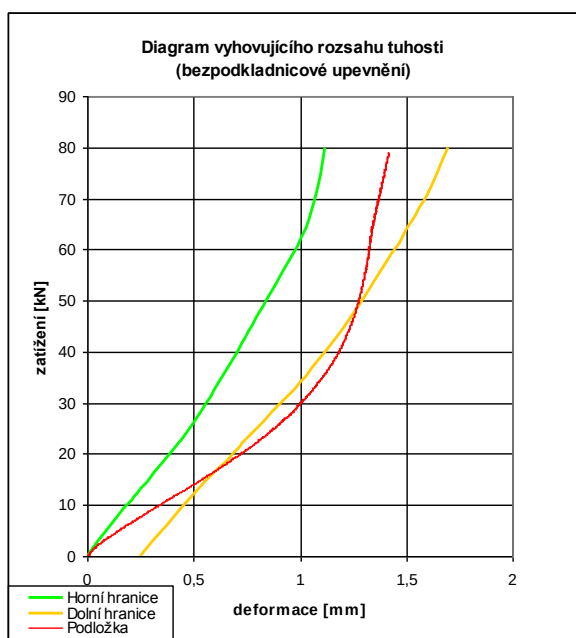
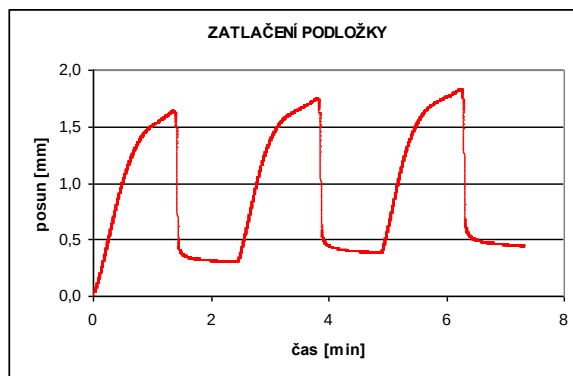
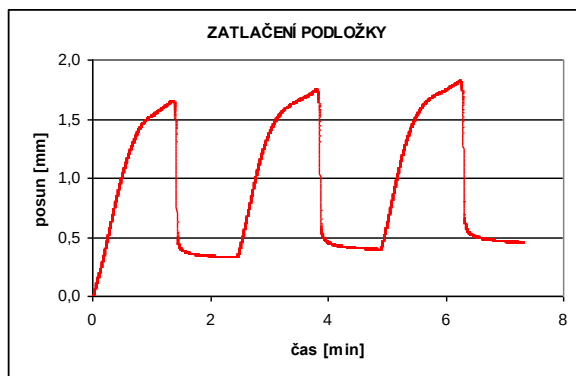
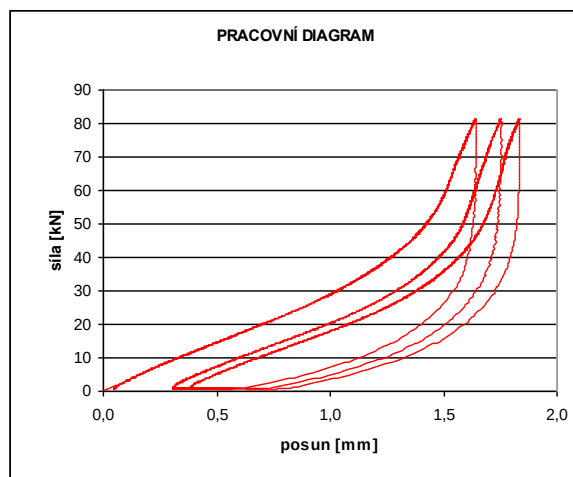
A10-125



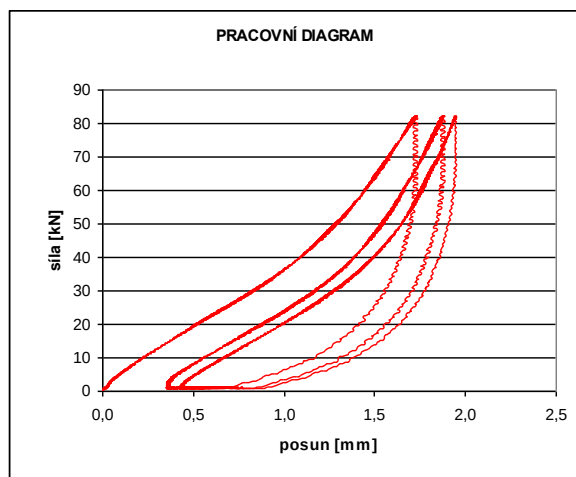
A11-125



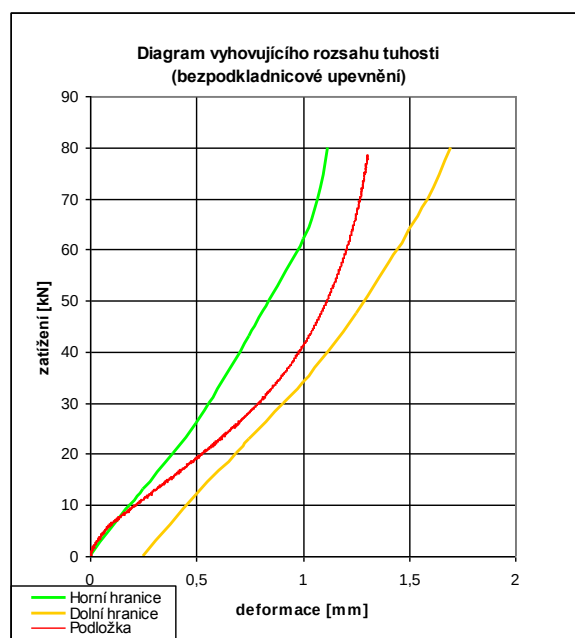
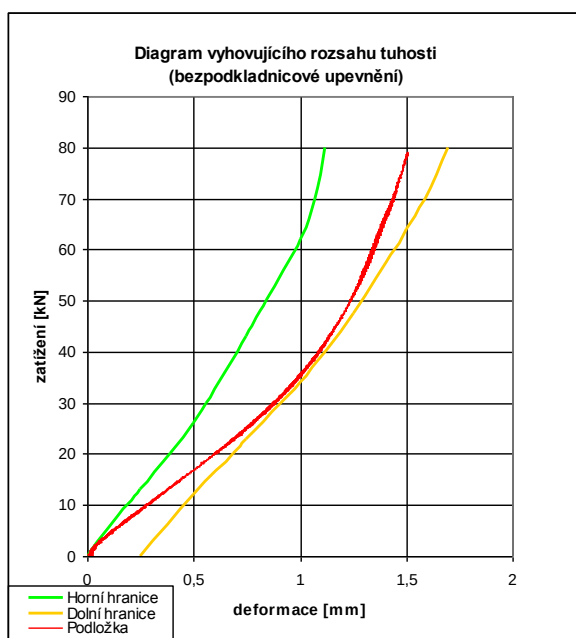
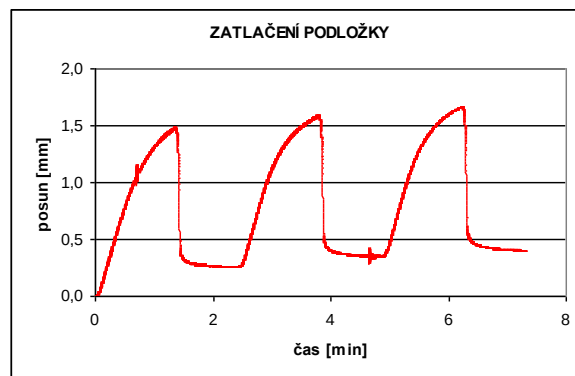
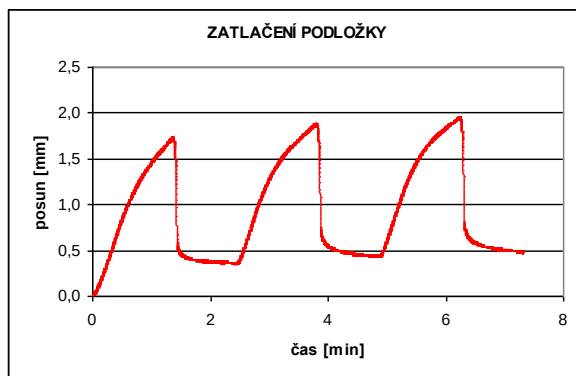
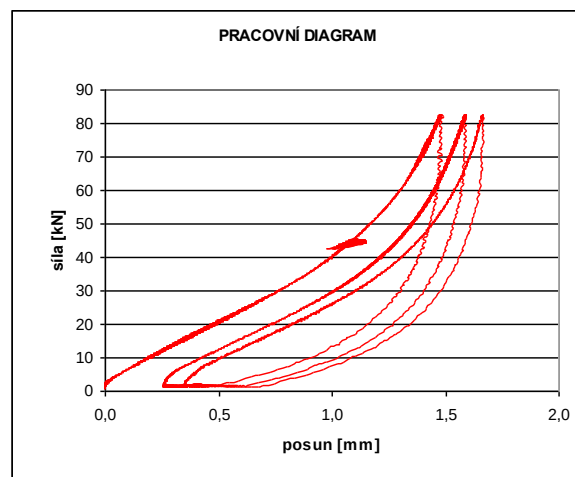
A12-125



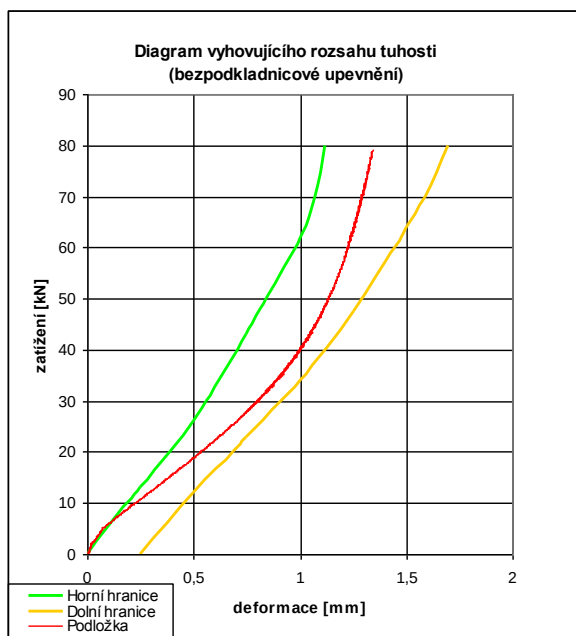
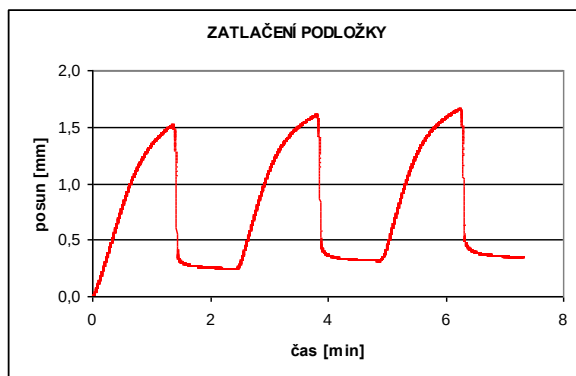
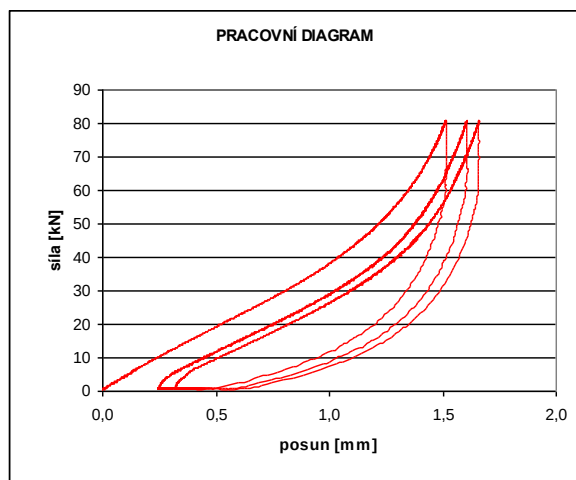
A07-125 (2.)



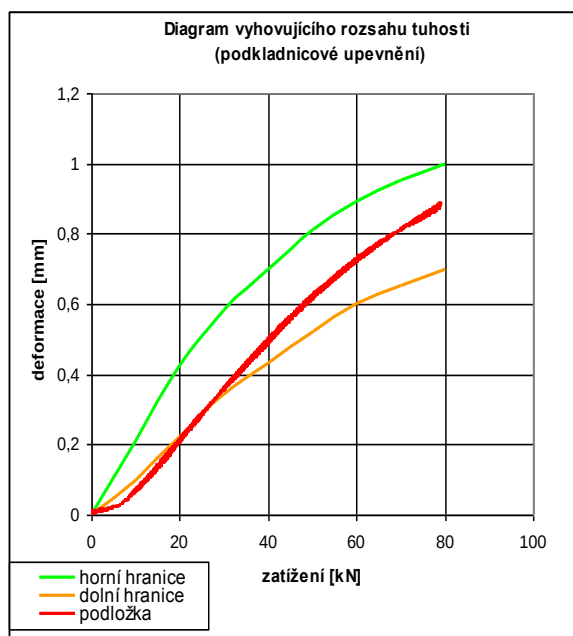
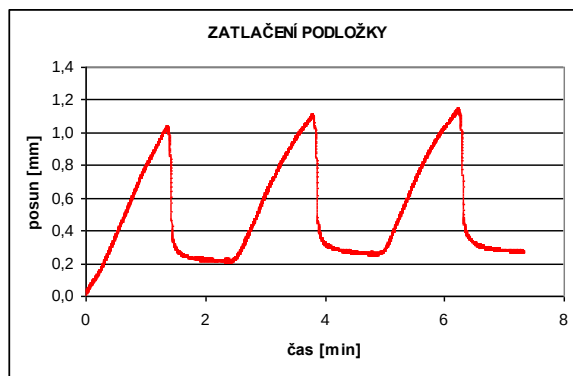
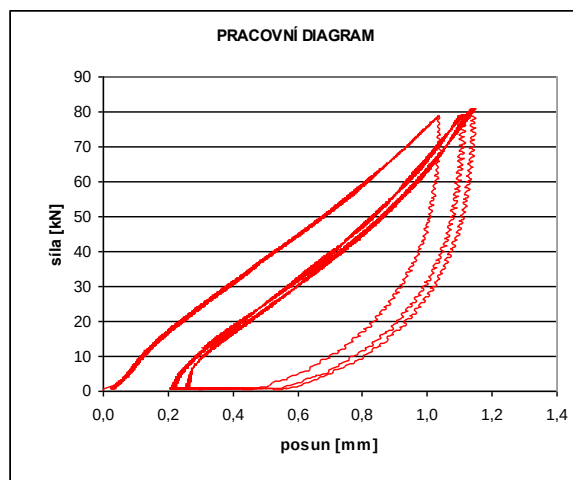
A08-125 (2.)



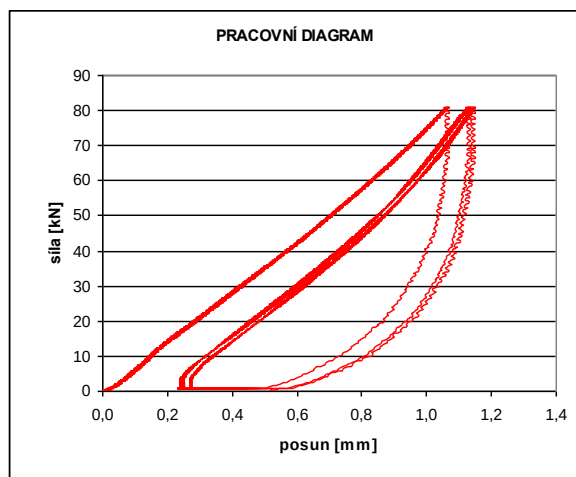
A09-125 (2.)



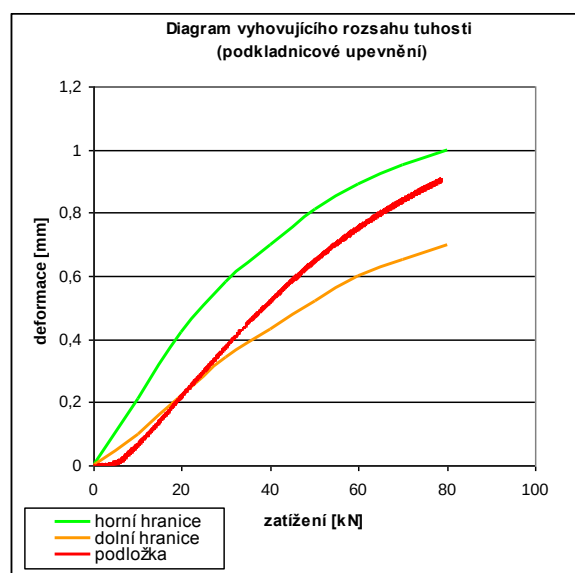
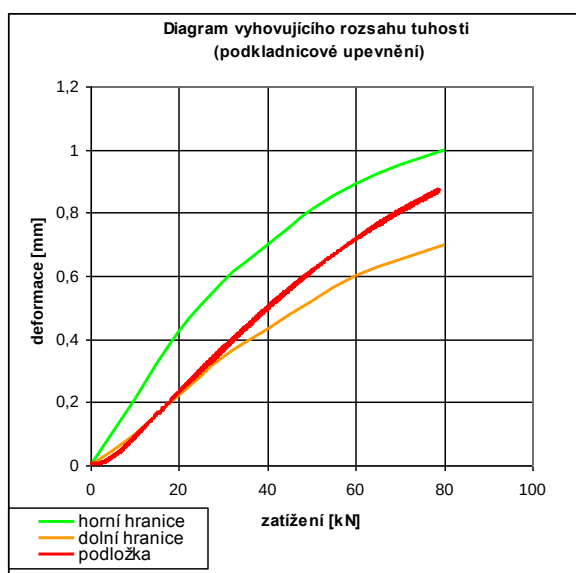
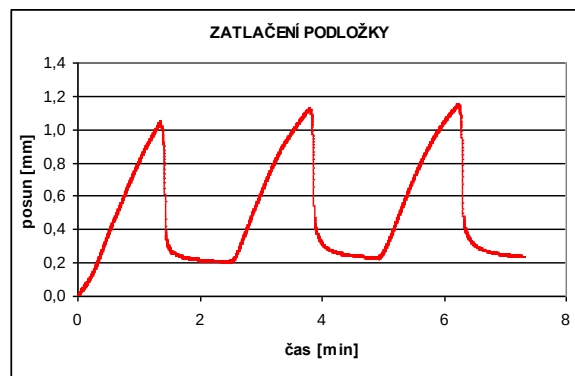
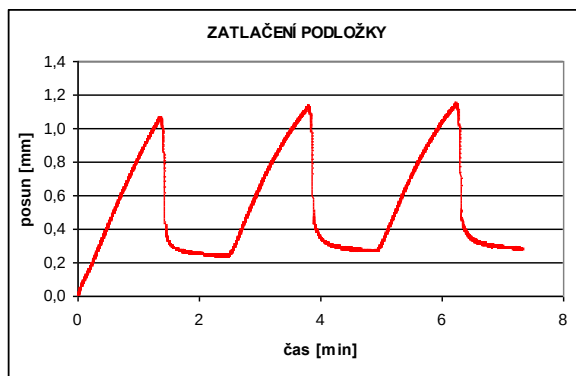
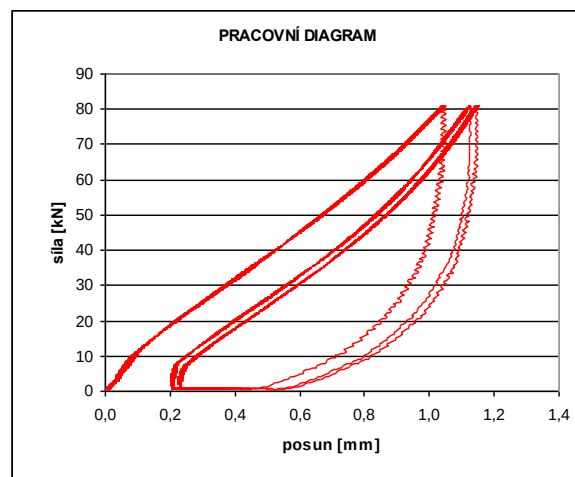
C07-150



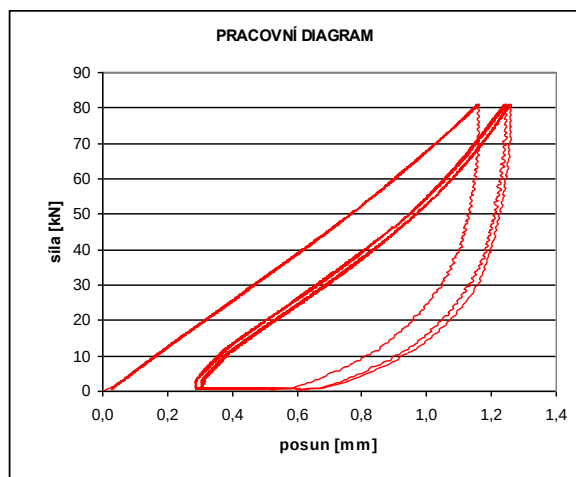
C08-150



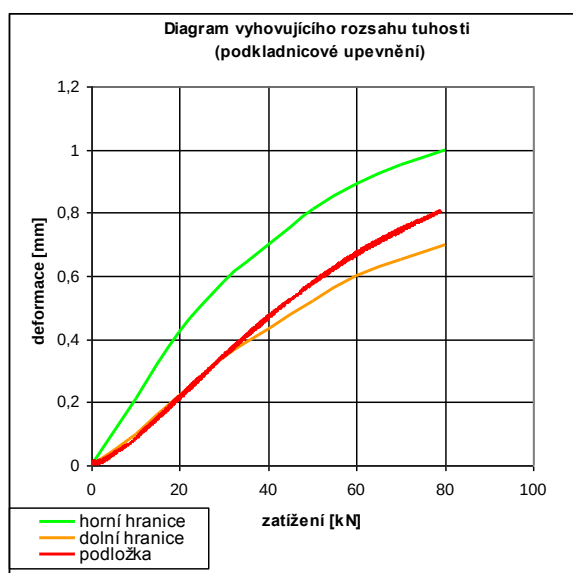
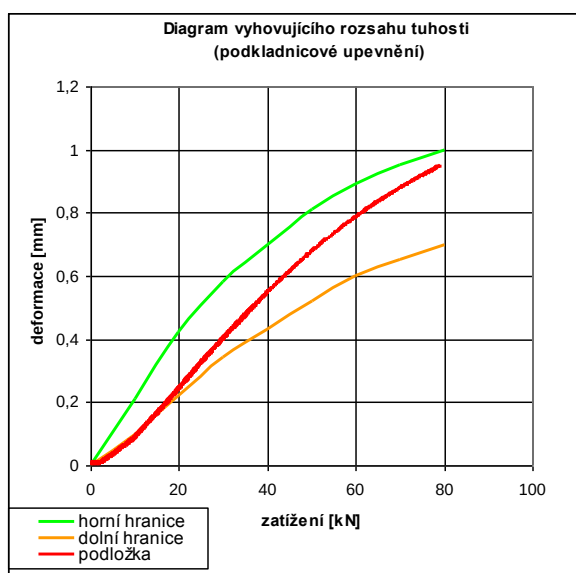
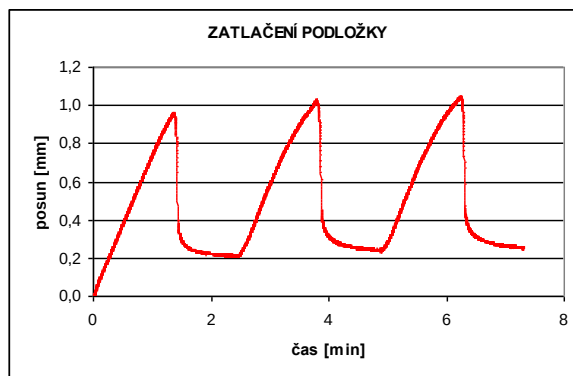
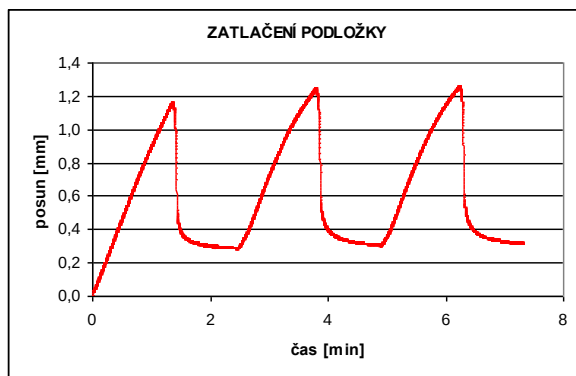
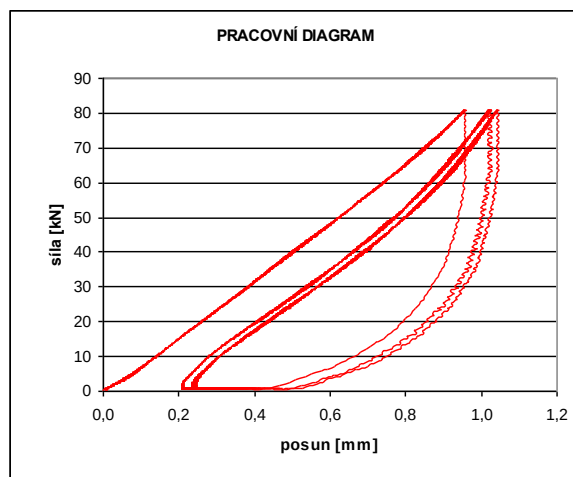
C09-150



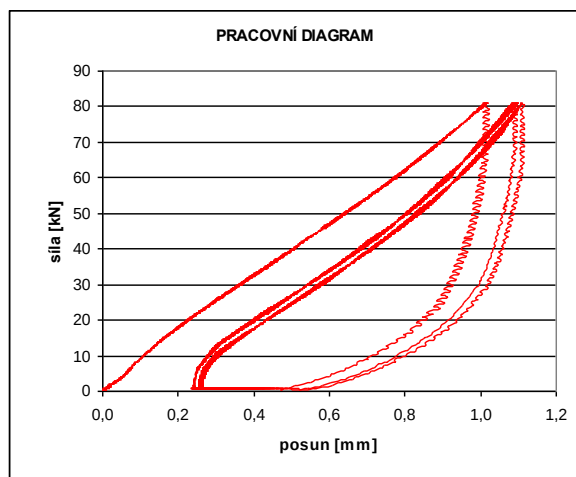
C10-150



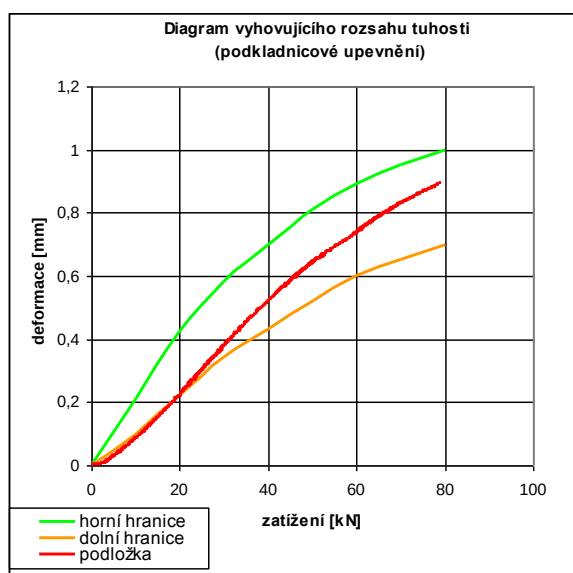
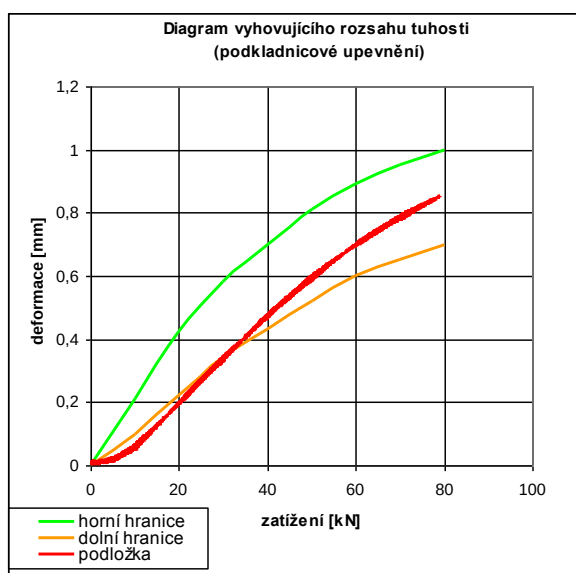
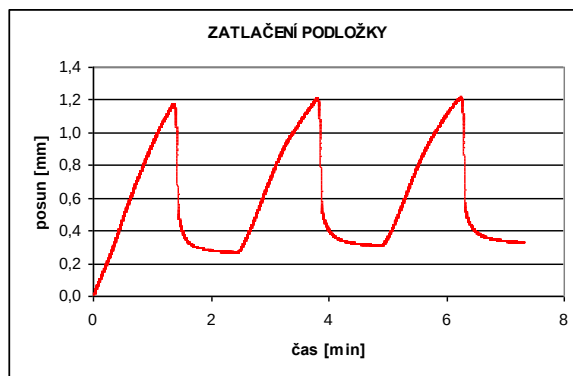
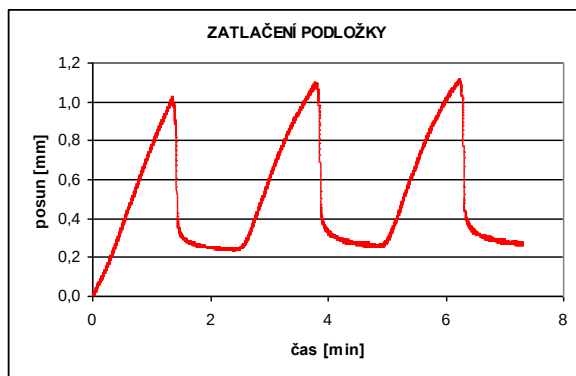
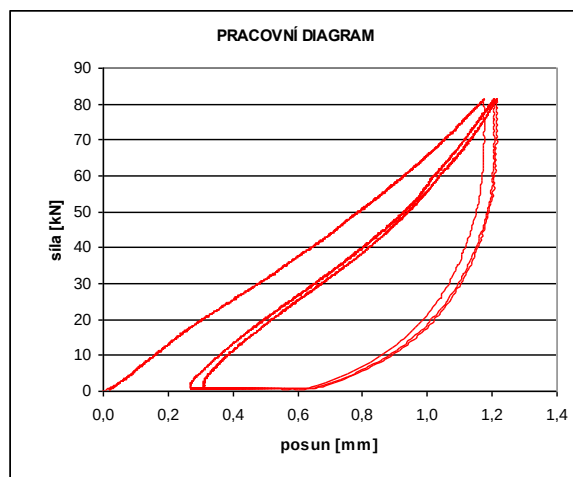
C11-150



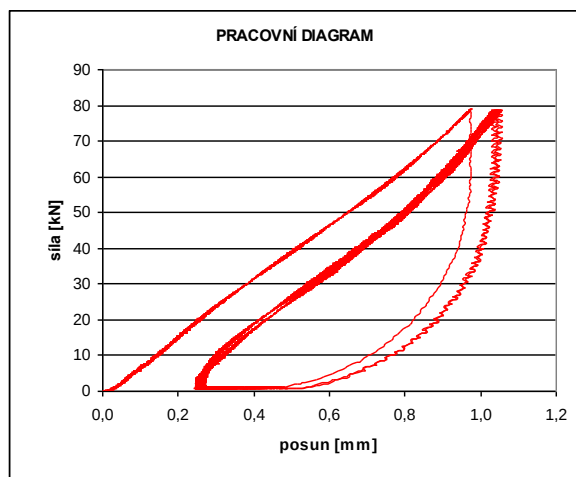
C12-150



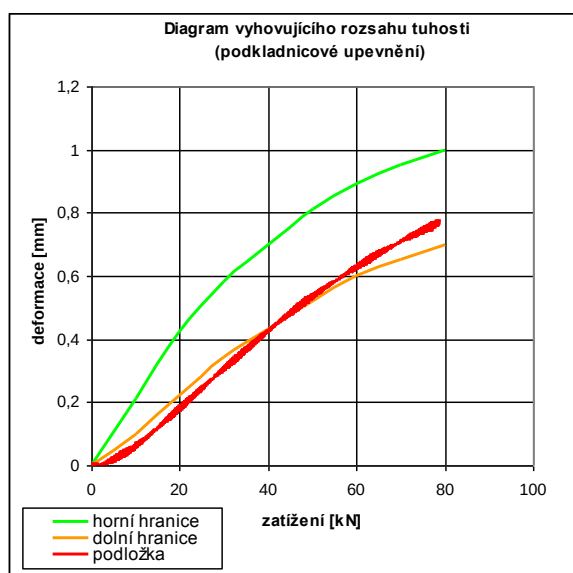
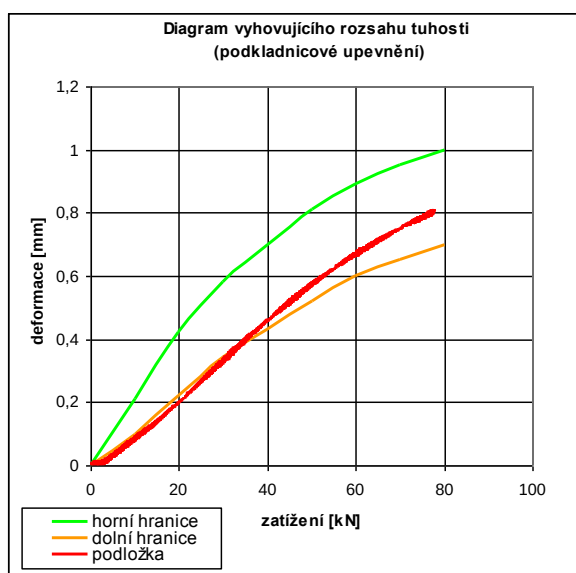
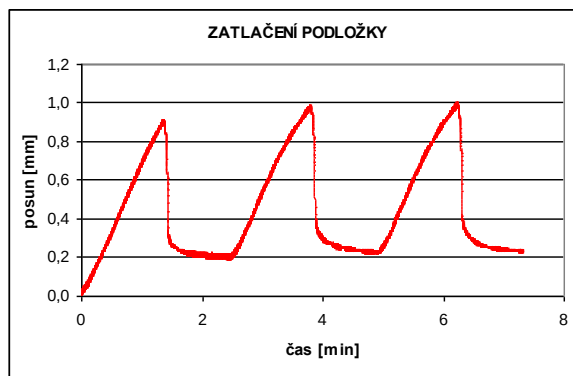
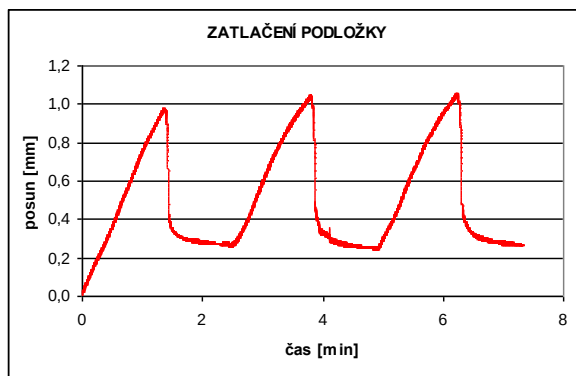
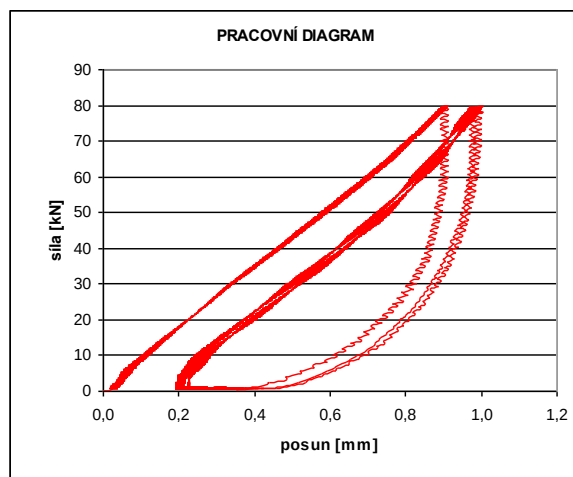
C22-150



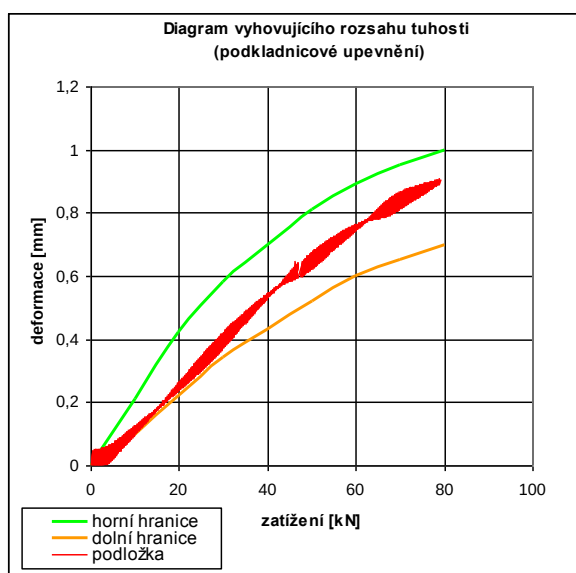
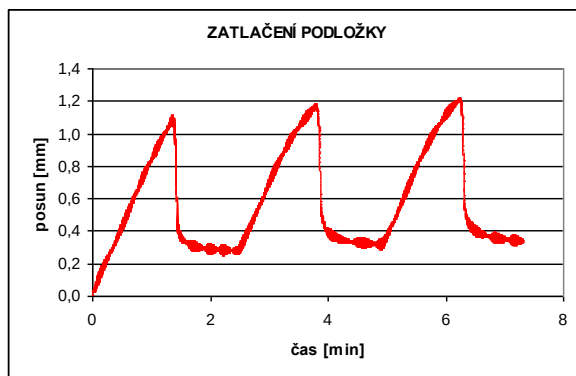
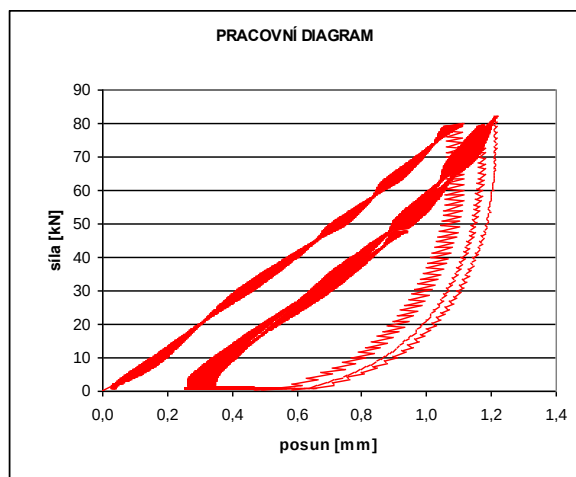
C07-150 (2.)



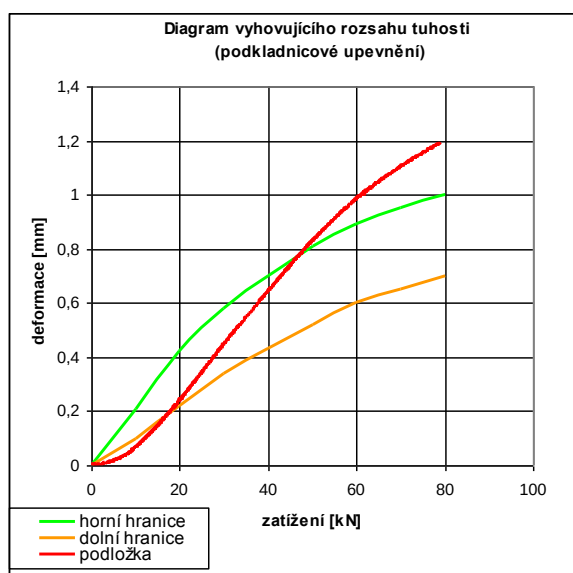
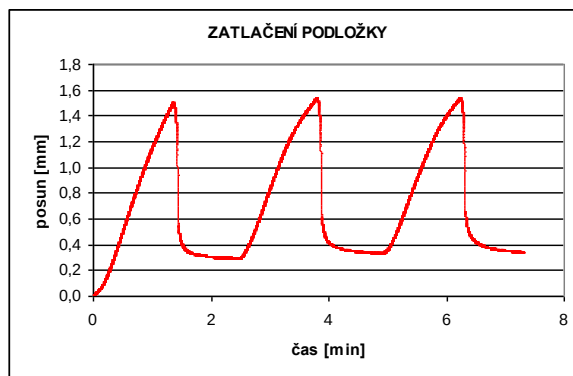
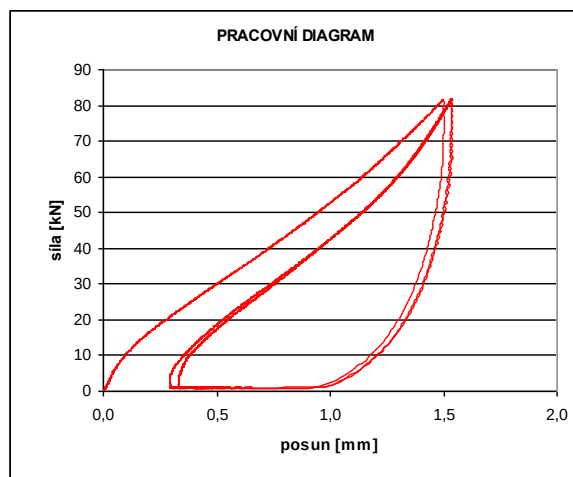
C08-150 (2.)



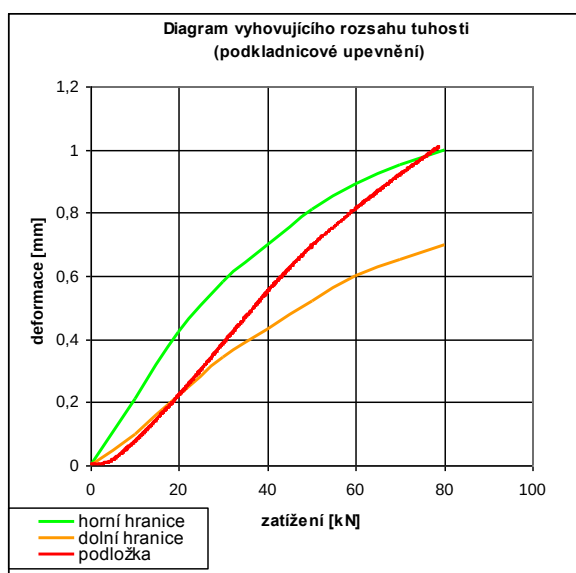
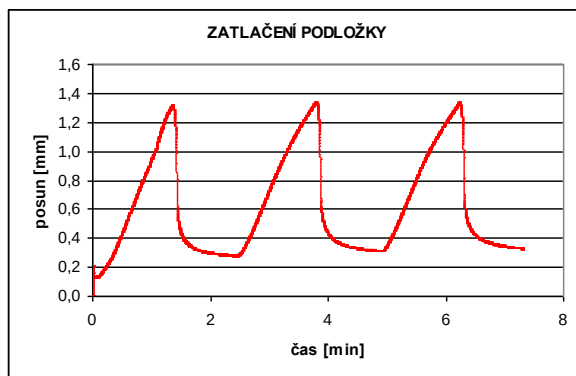
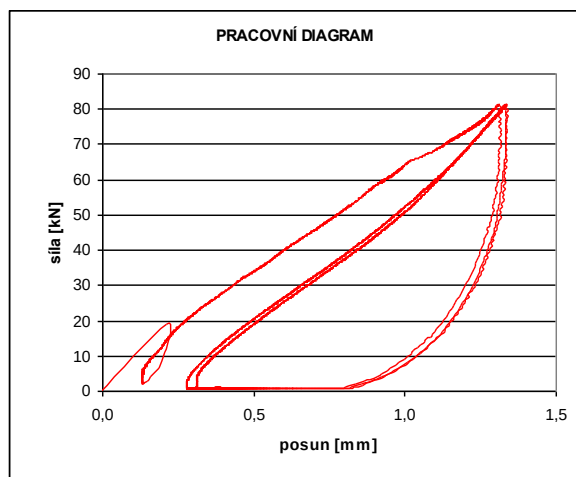
C09-150 (2.)



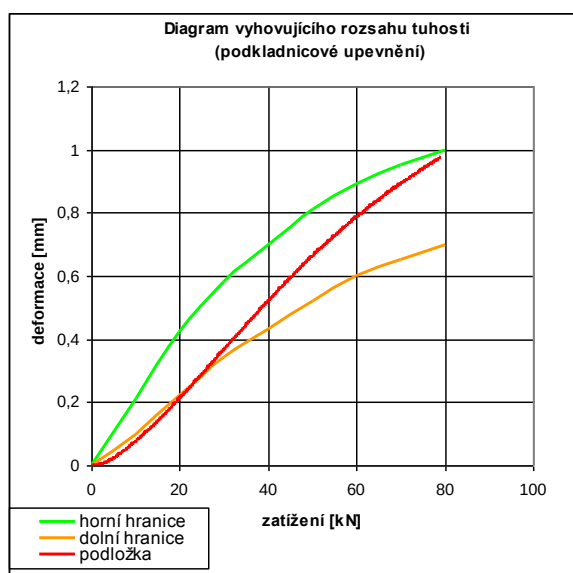
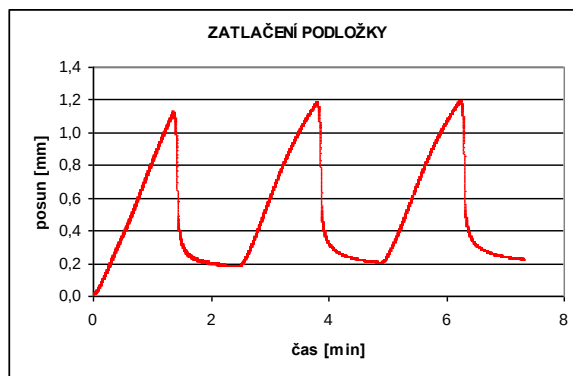
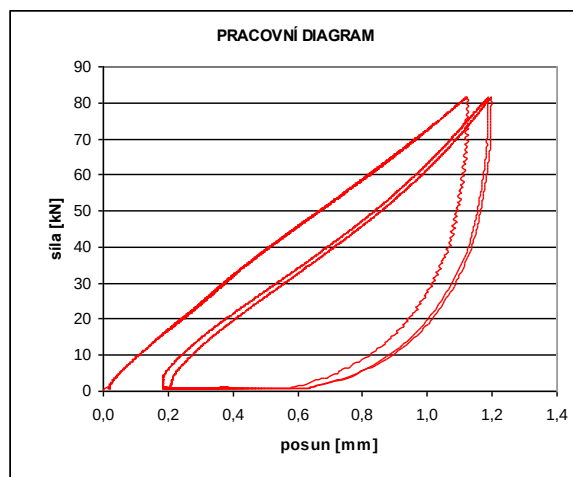
C07-125



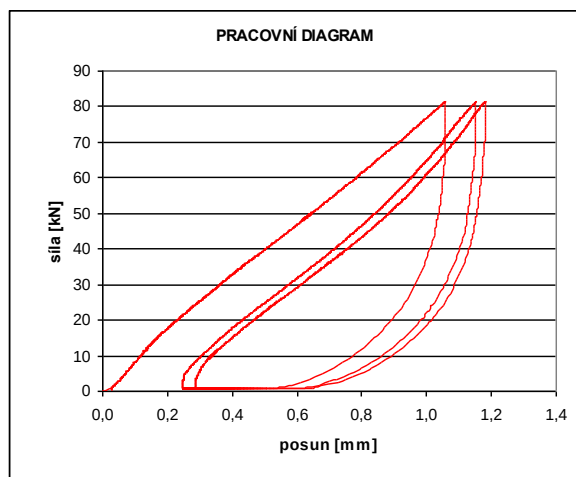
C08-125



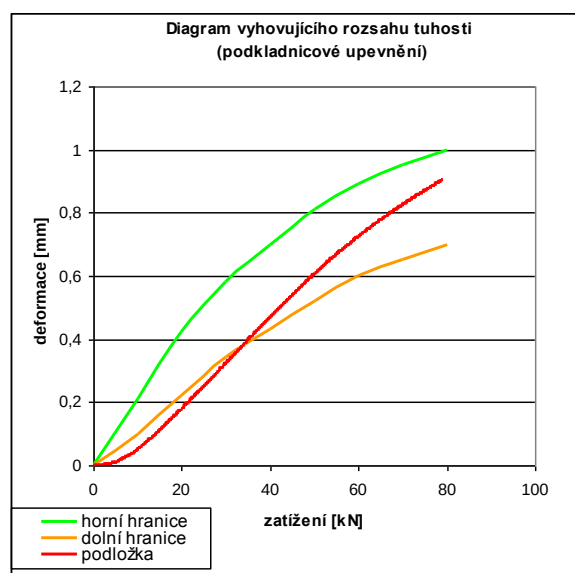
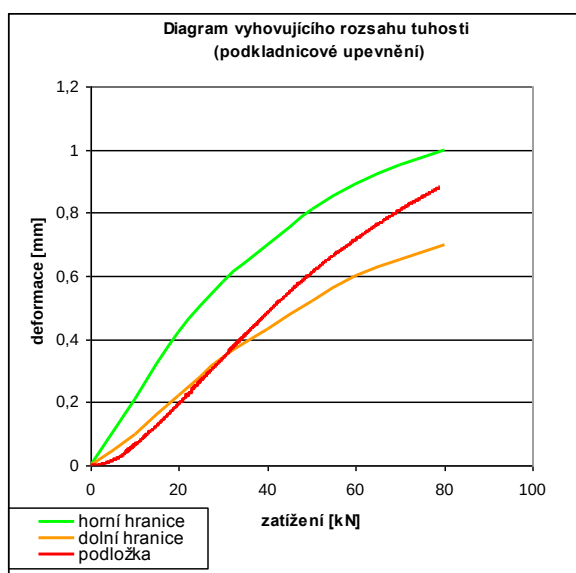
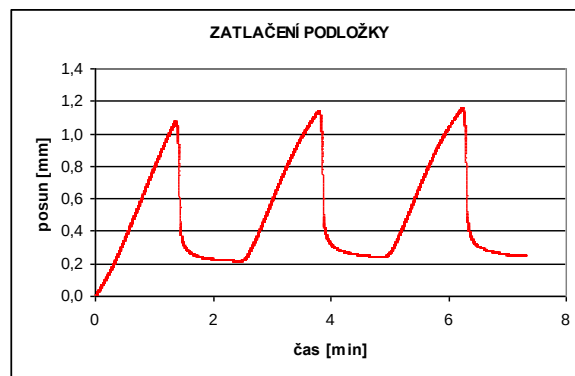
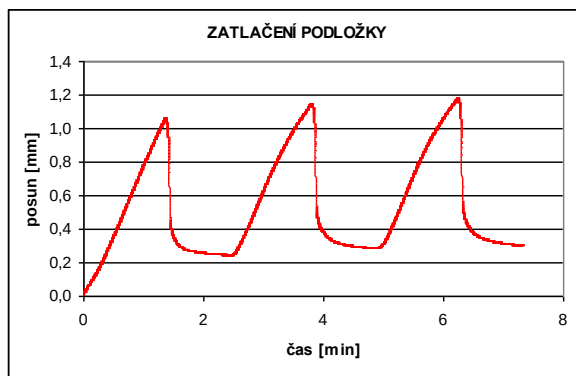
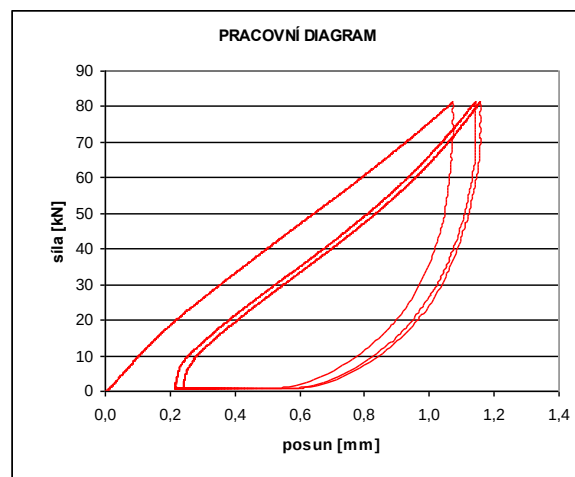
C09-125



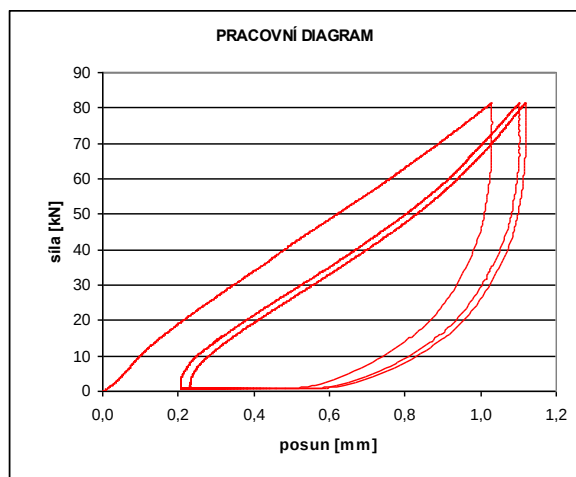
C10-125



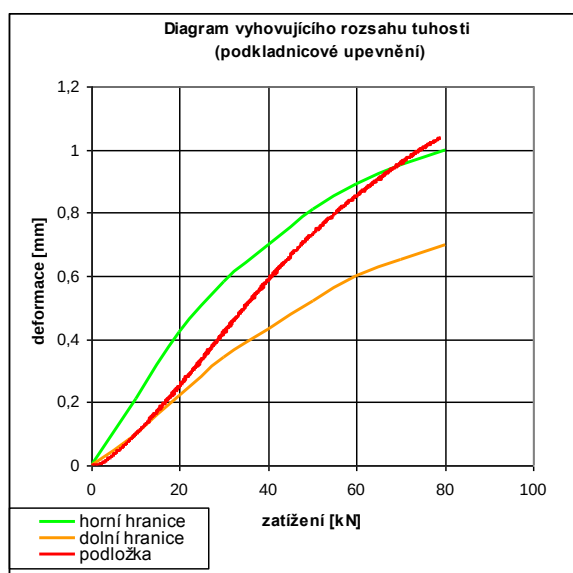
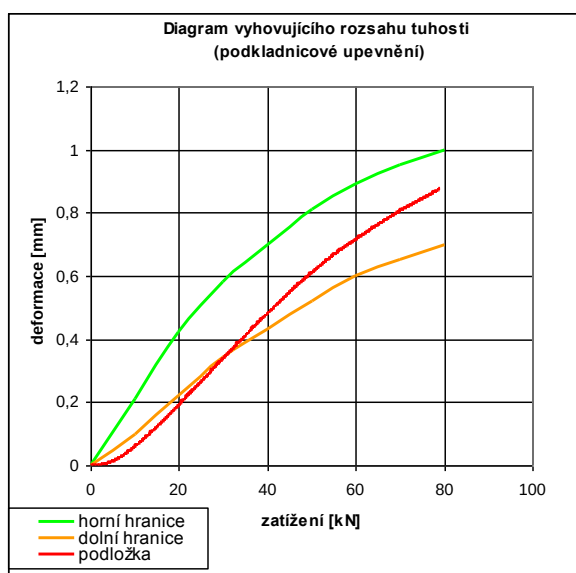
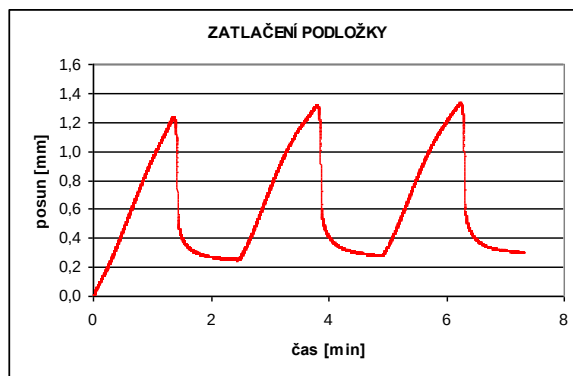
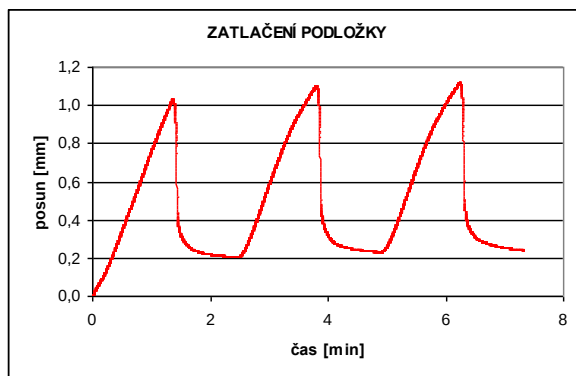
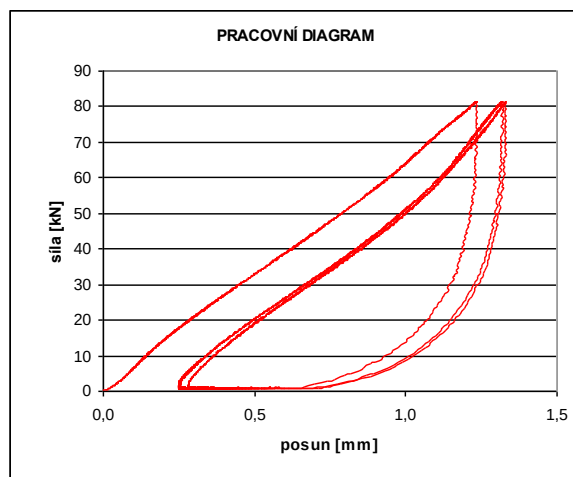
C11-125



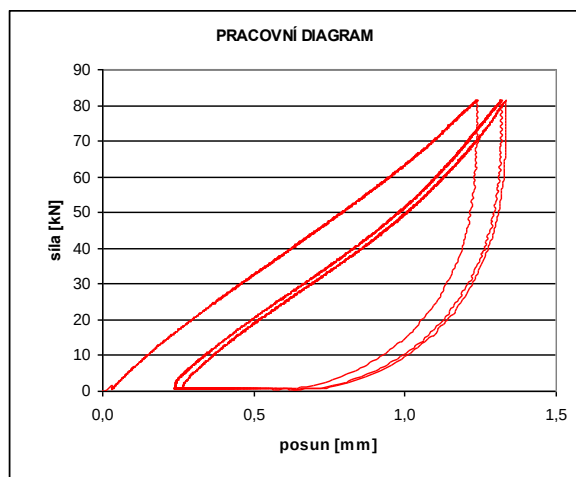
C12-125



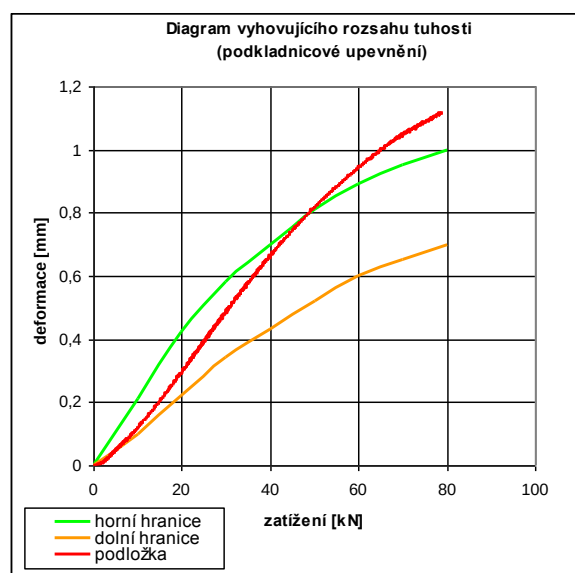
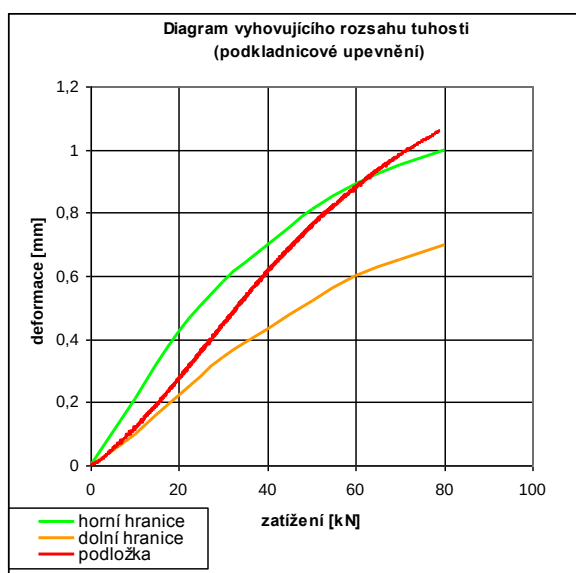
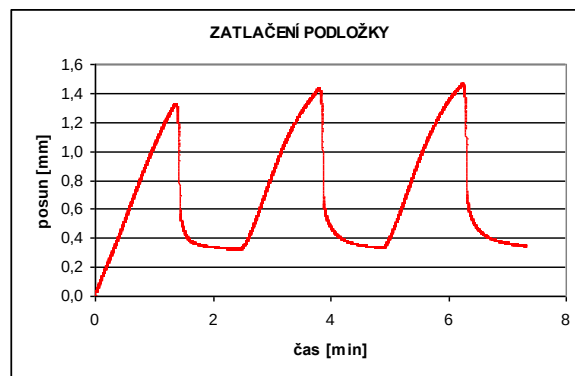
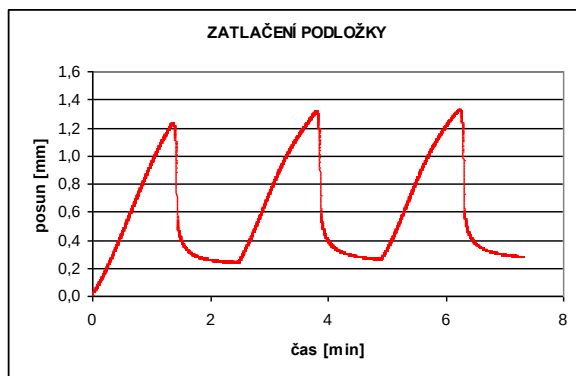
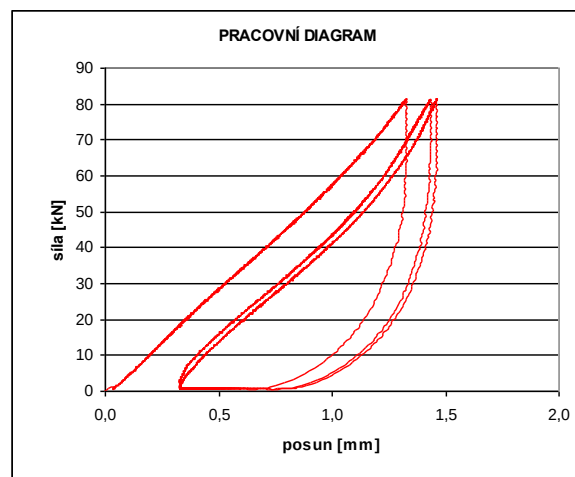
C23-125



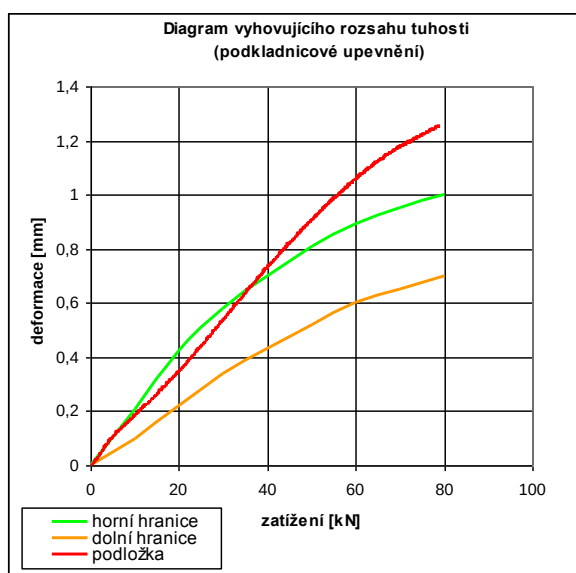
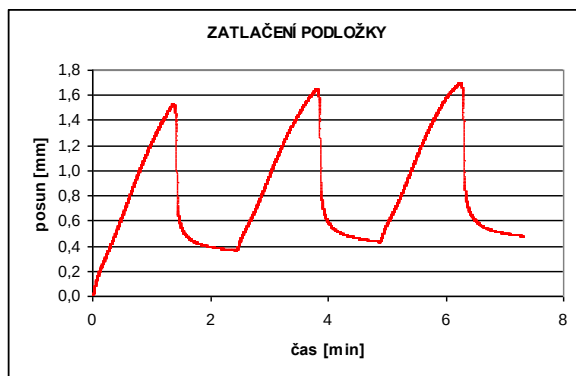
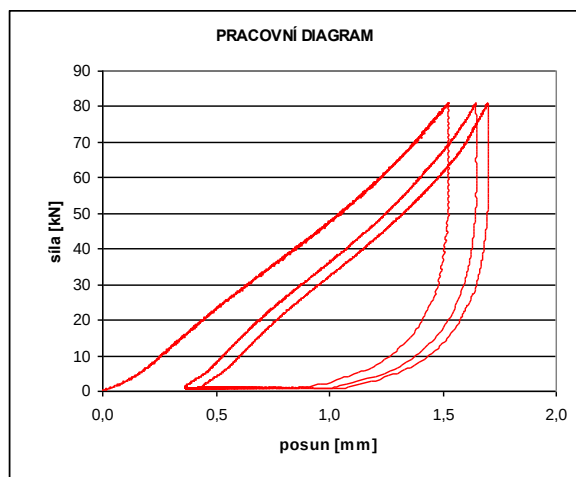
C24-125



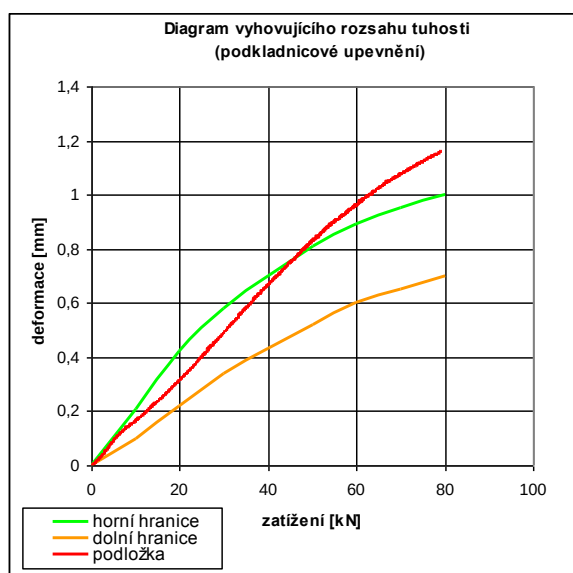
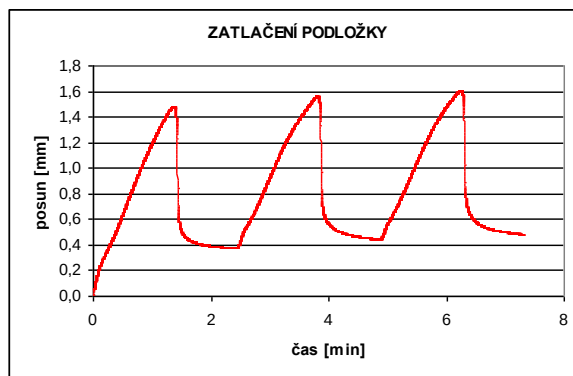
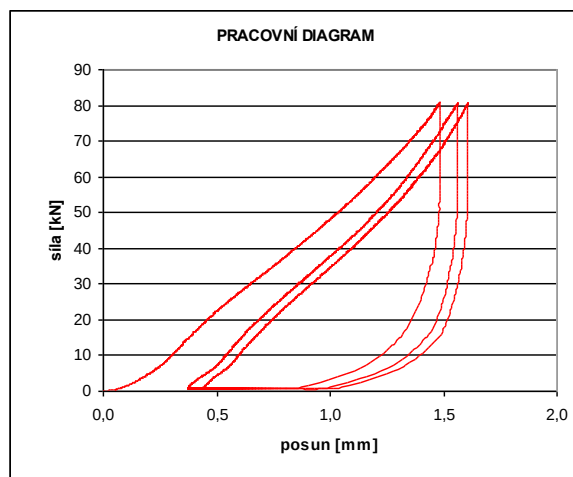
C25-125



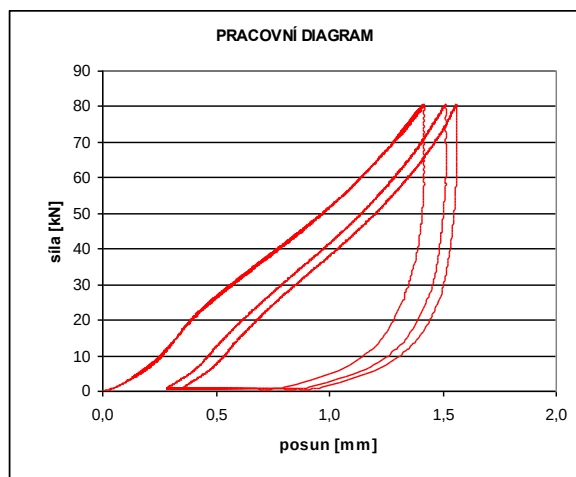
C30-125



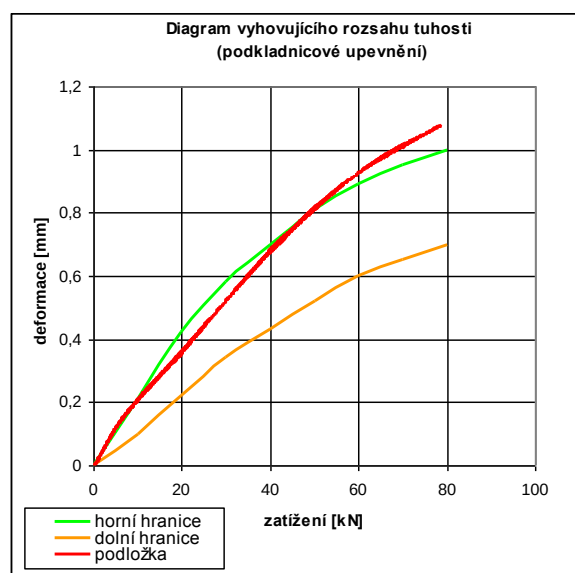
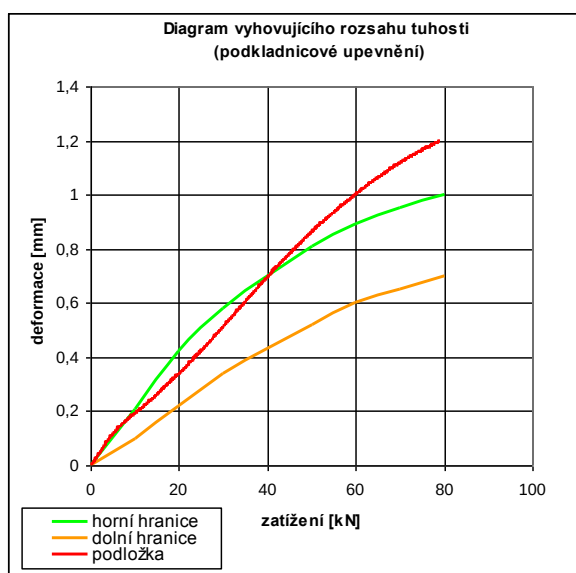
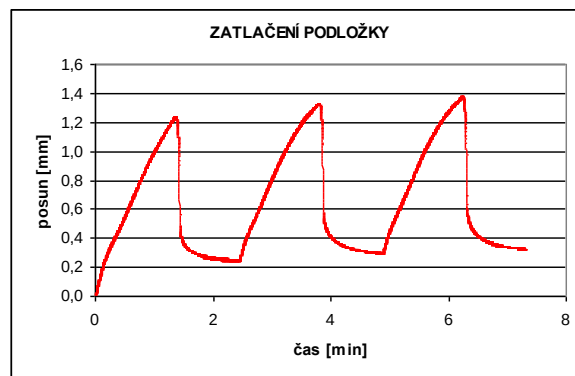
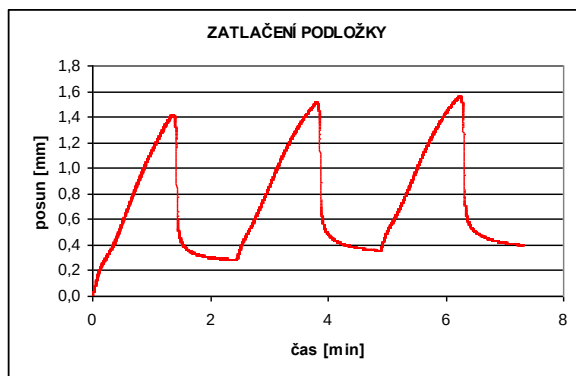
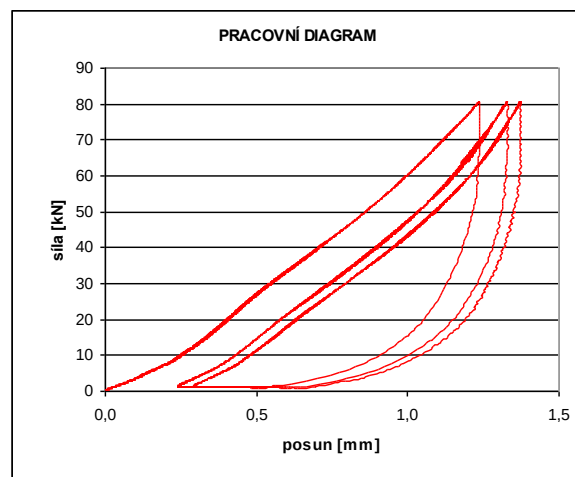
C31-125



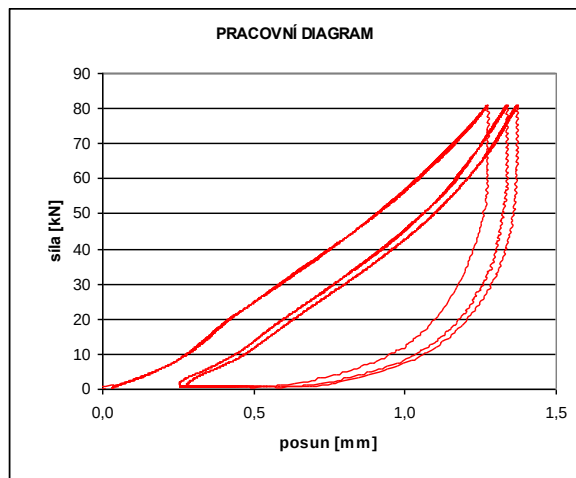
C32-125



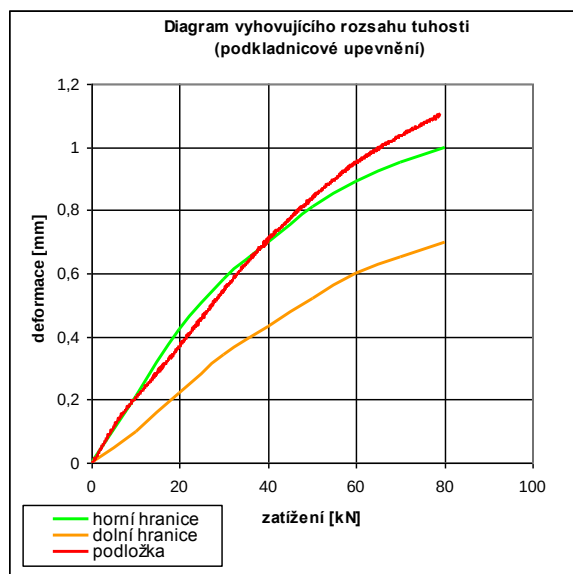
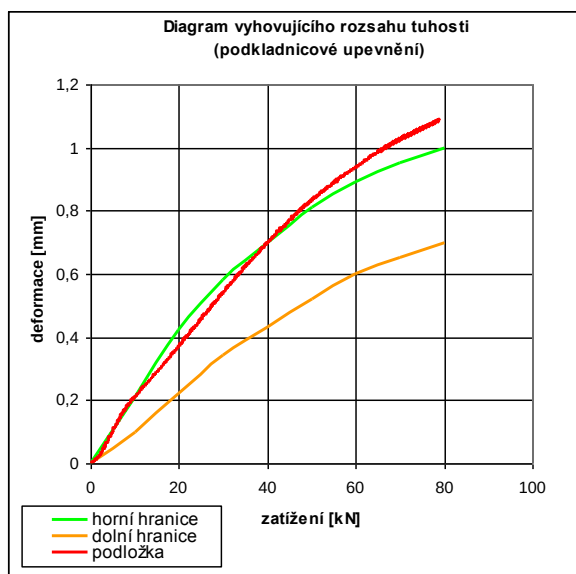
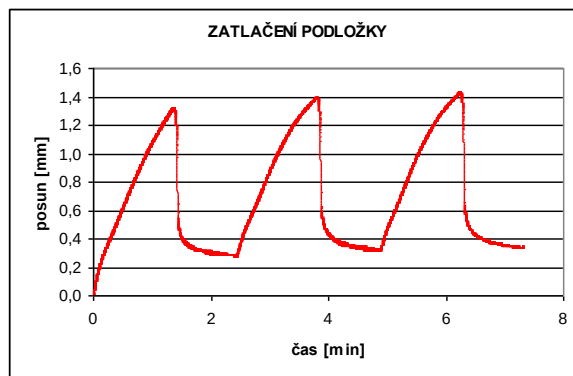
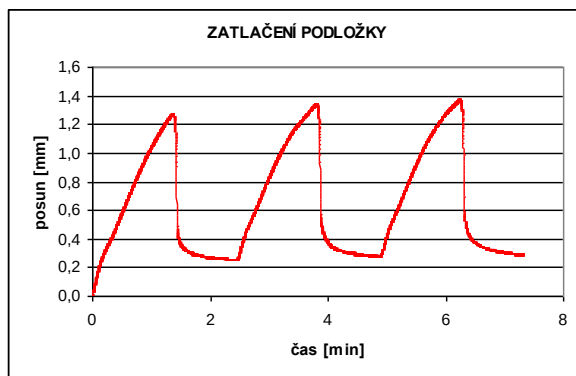
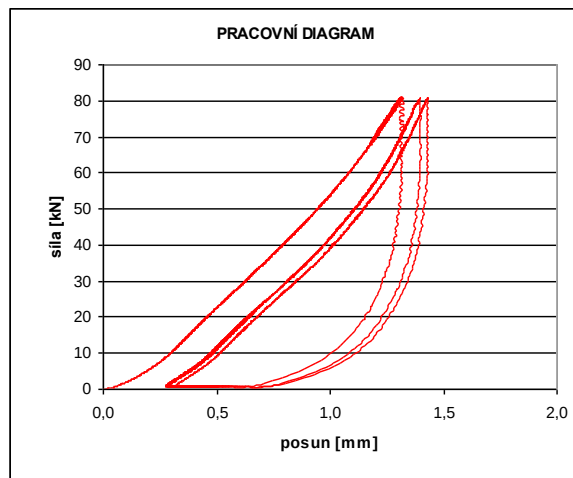
C36-125



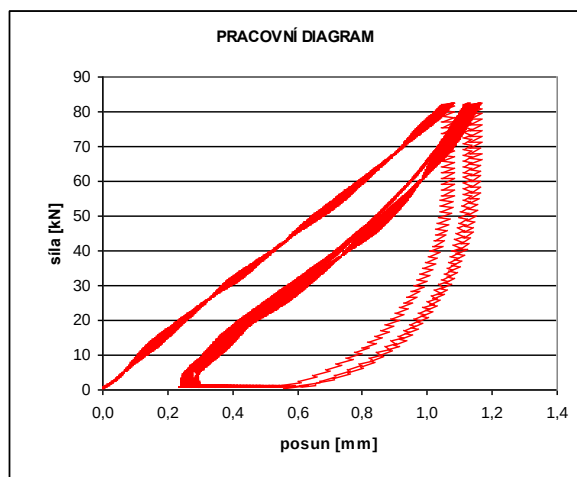
C37-125



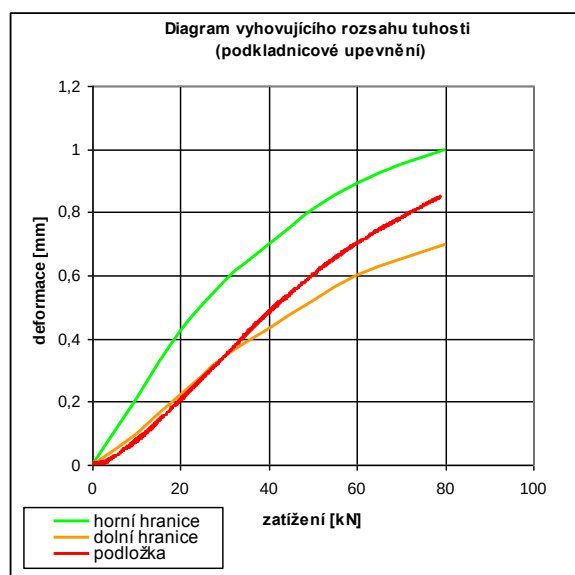
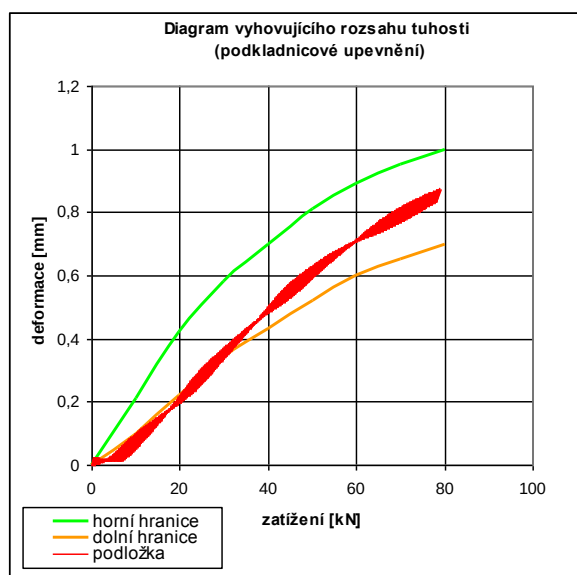
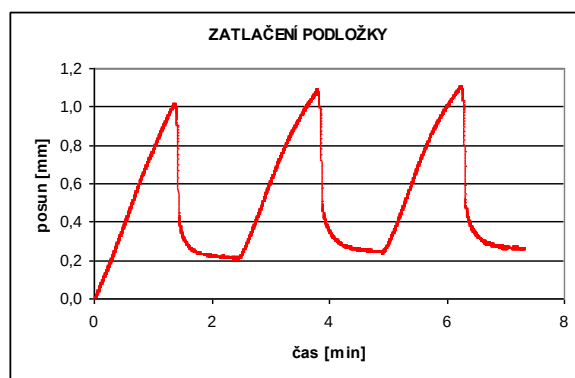
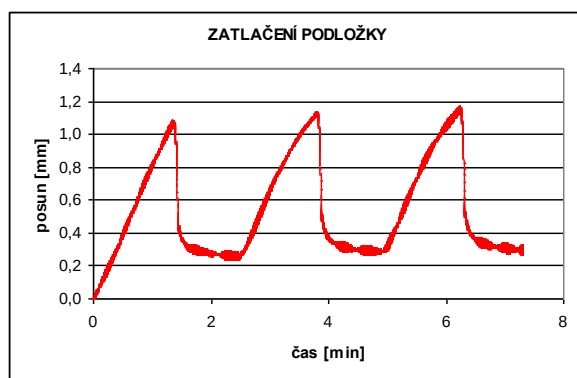
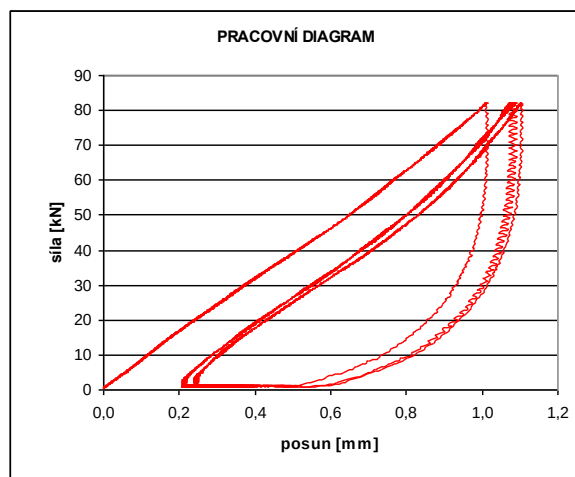
C38-125



C07-125 (2.)



C08-125 (2.)



C09-125 (2.)

