

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



Pavel Jirásek

**BRŽDĚNÍ PLECHU PŘI TAŽENÍ VÝLISKŮ
NEPRAVIDELNÝCH TVARŮ**

Diplomová práce

1998

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Obor 23 - 07 - 08

Strojírenská technologie

zaměření:

tváření kovů a plastů

Katedra tváření kovů a plastů

BRŽDĚNÍ PLECHU PŘI TAŽENÍ VÝLISKŮ **NEPRAVIDELNÝCH TVARŮ**

Pavel Jirásek

KPT - 651

Vedoucí diplomové práce: prof. ing. Viktor Mikeš, CSc., TU v Liberci

Konzultant: Ing. Martin Kadlec, ŠKODA a.a.s. Mladá Boleslav

Rozsah práce a příloh:

Počet stran 67

Počet tabulek 7

Počet obrázků 37

Počet příloh 20

Datum: 29.5.1998

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra : tváření a plastů

Školní rok : 1997/98

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro **Pavla J i r á s k a**

obor **strojírenská technologie**

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č.172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci :

Název tématu : Brzdění plechu při tažení výlisků nepravidelných tvarů.

Zásady pro vypracování :

1. Seznámení s problematikou tažení výlisků nepravidelných tvarů karosářského typu.
2. Popis metod řízeného brzdění posuvů plechu v oblasti přidržovače a tažné hrany tažnice v podmínkách automobilové a.s. ŠKODA.
3. Návrh metodiky experimentálního hodnocení brzdícího účinku při uplatnění vybraných variant
 - a) konstrukčního řešení nástroje
 - b) zpracovávaného materiálu (plechu)
 - c) použitého maziva
4. Experimentální část
5. Rozbor získaných poznatků a doporučení pro jejich využití v a.a.s. ŠKODA.

Rozsah grafických prací :

Rozsah průvodní zprávy : 50 stran

Seznam odborné literatury :

- /1/ KÁBRT, P.: Vliv okrajových podmínek na proces tažení plechů, sledování a předvídání deformací. Disertační práce, ČVUT Praha 1997.
- /2/ TMĚJ, J.: Brzdění plechu při tažení výlisků nepravidelných tvarů. Strojírenská výroba č.4, 1972.
- /3/ Podnikové podklady a.a.s. ŠKODA Mladá Boleslav

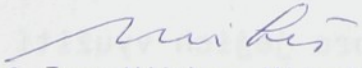
Vedoucí diplomové práce : Prof. Ing. Viktor Mikeš, CSc.

Konzultant : Ing. Martin Kadlec, ŠKODA a.a.s.

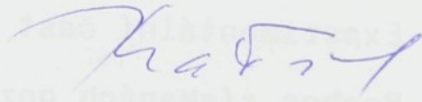
Zadání diplomové práce : 31.10.1997

Termín odevzdání diplomové práce : 29.5.1998




Prof. Ing. Viktor Mikeš, CSc.

Vedoucí katedry


Doc. Ing. Ludvík Prášil, CSc.

Děkan

V Liberci dne 30.10.1997

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra tváření a plastů

Obor: Strojírenská technologie

Školní rok: 1997/98

Diplomant: Pavel Jirásek

Téma práce: Brždění plechu při tažení výlisků nepravidelných tvarů

Číslo diplomové práce: 651

Vedoucí diplomové práce: prof. ing. Viktor Mikeš, CSc., TU v Liberci

Konzultant: Ing. Martin Kadlec, ŠKODA a.a.s. Mladá Boleslav

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá problematikou brzdícího účinku brzdící lišty při tažení. Sleduje vliv změny rádiusu drážky v přidržovači a nastavení mezery mezi tažnicí a přidržovačem na tažnou sílu. Velikost brzdícího účinku lišty bylo experimentálně zjišťováno u materiálu s povrchem elektrolyticky zinkovaným Fe P05 ZE 75/75 (VA), elektrolyticky zinkovaným a fosfátovaným Fe P05 ZE 75/75 PH (VA) a žárově zinkovaným St06 Z 100MB (S). Pro tyto materiály byly testovány dvě mazadla. Nejprve se testovalo mazadlo ANTICORIT PL 3802-39Lv (prací) a v druhém případě byl materiál přimazáván technologickým mazadlem AP 257/38.

Výsledky těchto experimentů mohou usnadnit konstruktérům práci, při navrhování tažných nástrojů, nebo mohou být i využity jako vstupy pro programy simulující tažení plechu.

ANOTATION

This presented work deal with problem of braking bar during drawing. Try to estimate influence of radius change of groove in blank holder and gap adjustment between blank holder and drawing die on the tractive force. The magnitude of brake effects were experimentally carried out on the material electrolytical zinc coating surface Fe P05 ZE 75/75 (VA), electrolytical zinc coating + phosphating surface Fe P05 ZE 75/75 PH (VA), and on the refractory zinc coating surface St06 Z 100MB (S). These materials were examined altogether with oil lubricants. Former one was lubricant name ANTICORIT PL 3802-39Lv, the latter one was used ANTICORIT PL 3802-39Lv + AP 257/38.

The results of the previous experiments can simplify design of forming tools as well as can be used as entry for draw simulation programs.

Úvodem své práce bych chtěl poděkovat prof. ing. Viktoru Mikešovi, CSc,
ing. Pavlu Solfronkovi a všem členům katedry, kteří mi pomohli při jejím vytváření.

Metodické problémy. Je jasná diplomová práce vypracovaná samostatně, s
pečlivou úvodní literaturou.

V Liberci 29.3.1978

Pavel Jurek

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím uvedené literatury.

Pavel Jirásek

V Liberci 29.5.1998

Pavel Jirásek

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

<u>1. ÚVOD</u>	str. 5
<u>2. SPECIFIKA TAŽENÍ SOUČÁSTÍ NEPRAVIDELNÝCH TVARŮ</u>	str. 7
2.1 <u>Požadavky kladené na výlisky</u>	str. 7
2.1.1 Technologičnost konstrukce	str. 8
2.1.2 Dodržení rozměru a tvaru	str. 8
2.1.3 Maximální jakost povrchu	str. 8
2.2 <u>Technologické zvláštnosti tažení</u>	str. 9
2.2.1 Tažení nepravidelných součástí	str. 9
2.2.2 Deformační síť	str. 10
2.3 <u>Ztráta stability tvárného procesu tažení</u>	str. 11
<u>3. TECHNOLOGICKÉ VLIVY URČUJÍCÍ STAVY NAPJATOSTI</u>	str. 13
3.1 <u>Základní technologické vlivy</u>	str. 13
3.1.1 Tvar a lisovací poloha výtažku	str. 13
3.1.2 Tvar pracovní plochy přidržovače	str. 14
3.2 <u>Doplňkové technologické vlivy</u>	str. 14
3.2.1 Celkové nebo místní zvyšování tlaku přidržovače	str. 15
3.2.2 Změna plochy nástřihu nebo hloubky tažení	str. 16
3.2.3 Použití brzdících lišt a tvarová úprava tažné hrany	str. 17
3.2.4 Celkové nebo místní snižování koeficientu tření mazáním	str. 18
<u>4. BRZDÍCÍ LIŠTY</u>	str. 20
4.1 <u>Navrhování a konstrukce brzdících lišt</u>	str. 20
4.2 <u>Umísťování brzdících lišt</u>	str. 21
4.3 <u>Doporučené tvary brzdících lišt</u>	str. 25
4.4 <u>Výpočet tažné a brzdící síly při tažení plechu přes zaoblenou brzdící lištu</u>	str. 28

<u>5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</u>	str. 35
5.1 <u>Měřicí zařízení</u>	str. 35
5.1.1 Nástroje na protahování pásků	str. 36
5.1.1.1 Geometrie nástroje	str. 38
5.2 <u>Příprava vzorků</u>	str. 39
5.2.1 Charakteristiky materiálů, použitých pro experimenty	str. 40
5.3 <u>Popis měření</u>	str. 41
5.4 <u>Výsledky měření a jejich vyhodnocení</u>	str. 43
5.4.1 Brzdící účinek lišty	str. 43
5.4.2 Vliv rychlosti tažení	str. 43
5.4.3 Vliv konstrukčního řešení nástroje	str. 46
5.4.4 Vliv materiálu	str. 52
5.4.5 Vliv mazadla	str. 57
5.4.6 Příklad použití naměřených hodnot	str. 62
5.5 <u>Diskuse z měření</u>	str. 64
<u>6. ZÁVĚR</u>	str. 64

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ:

ZEP	Fe P05 ZE 75/75 PH
ZE	Fe P05 ZE 75/75
Z	St06 Z 100MB
b [mm]	šířka taženého pásku
b_w [mm]	šířka brzdící lišty
b_w^* [mm]	šířka drážky v přidržovači
h [mm]	hloubka tažení
b_w [mm]	šířka lišty
E [MPa]	modul pružnosti v tahu
F_b [kN]	brzdící síla
$F_p(Q)$ [kN]	síla přidržovače, tj. přitlačná síla čelistí přípravku
F_{Rp} [kN]	třecí síla mezi povrchem pásku a plochými částmi přípravku
F_{RM} [kN]	třecí síla na rádiu tažné hrany
F_{RN} [kN]	třecí síla na rádiu hrany žlábků
F_{RW} [kN]	třecí síla na rádiu brzdící lišty
$F_t(P)$ [kN]	tažná síla při tažení plechového pásku přes zaoblenou brzdící lištu a výstupní rádius
F_{tw} [kN]	tažná síla potřebná pro tažení plechového pásku přes zaoblenou brzdící lištu
F_{tWA} [kN]	aktuální tažná síla
h_w [mm]	výška lišty
k [mm]	poloměr Mohrovy kružnice
k_p [MPa]	přetvárná pevnost
l [mm]	šířka příruby
L_0 [mm]	rozměr elementu deformační sítě před přetvořením
$L_{1,2}$ [mm]	rozměry elementu deformační sítě po přetvoření

m_p [mm]	mezera mezi pevnou čelistí a přitlačnou čelistí (přidržovačem)
M_{0PL} [Nmm]	ohybový moment pro materiál v plastické stavu
n [-]	exponent deformačního zpevnění
r [-]	koefficient normálové anizotropie
r_M [mm]	rádus tažné hrany (výstupní)
r_N [mm]	rádus hrany žlábků
r_W [mm]	rádus brzdící lišty
R_m [MPa]	mez pevnosti v tahu
$R_{p0,2}$ [MPa]	smluvní mez kluzu
s [mm]	tloušťka taženého pásu
v [mm/s]	rychlost tažení pásu plechu
α [°]	úhel opásání rádiusu hrany žlábků (rádiusu lišty) páskem plechu
β [°]	úhel opásání rádiusu tažné hrany páskem plechu
ε [%]	poměrná deformace
$\varphi_{1,2}$ [-]	skutečná (logaritmická) deformace ($\varphi_{1,2} = \ln L_{1,2} / L_0$)
φ_3 [-]	skutečná (logaritmická) deformace ($\varphi_3 = - \varphi_1 - \varphi_2$)
λ [-]	součinitel vyjadřující rovinnou deformaci ($\lambda = 1,15$)
μ [-]	součinitel tření
ζ [mm]	poloměr zakřivení střední vrstvy
σ [MPa]	normálové napětí
σ_K [MPa]	mez kluzu v tahu

1. ÚVOD

Převážná část strojírenských spotřebních předmětů dlouhodobého charakteru jako např. automobily, hromadné dopravní prostředky, domácí spotřebiče, prací, mycí a klimatizační zařízení náleží k typickým výrobkům z tenkého plechu. Proto je v oblasti zpracování tenkých plechů velice aktuální otázka technologie tažení výlisků nepravidelných tvarů.

Výlisky nepravidelných tvarů se vyznačují členitým povrchem a nerovnoměrnou hloubkou tažení. Jedná se o daleko složitější proces tažení oproti hlubokému tažení např. výlisků rotačního tvaru. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že při tažení velkorozměrných výlisků nepravidelných tvarů je celková plocha výlisku mnohem větší než plocha nacházející se pod přidržovačem. K plastickému přetvoření dochází na celé ploše výlisku. Pracovní části tažníku, tažnice a přidržovače jsou tvořeny složitými křivočarými plochami.

Na rozdíl od hlubokého tažení rotačních nádob, kde se snažíme snížit odpor materiálu proti jeho odebrání z oblasti přidržovače, je při tažení výlisků nepravidelných tvarů naopak nutné v zájmu rovnoměrného tvarování a tuhosti výlisku usilovat v oblasti přidržovače a tažné hrany o místní brždění plechu. Intenzitu brždění plechu získáme různými technologickými zásahy, které umožňují změnu podmínek vtahování tvářeného plechu do prostoru tažnice. V praxi se nejčastěji uplatňuje

- a) místní nebo celkové zvýšení tlaku přidržovače,
- b) změna tvaru nástřihu nebo zvětšení hloubky tažení,
- c) úprava tažné hrany tažnice,
- d) použití brzdících lišt.

K nejúčinnějším způsobům regulace intenzity brždění plechu patří používání brzdících lišt a úpravy tažné hrany.

I když dnes už existuje mnoho druhů softwarů, zaměřených na výpočtovou analýzu a simulaci při hlubokém tažení plechů, určení optimální geometrie a umístění brzdících lišt v tažném nástroji je i v dnešní době v lisovnách velkým problémem.

Stále je to věcí praktických zkušeností při seřizování vyrobeného nástroje. Tomu se zřejmě nikdy úplně nevyhneme. Pomoc praxi by jistě zlepšila známost přesného brzdícího účinku příslušné brzdící lišty. Znamená to měřením přesně určit brzdící účinek v závislosti na všech vstupních podmínkách.

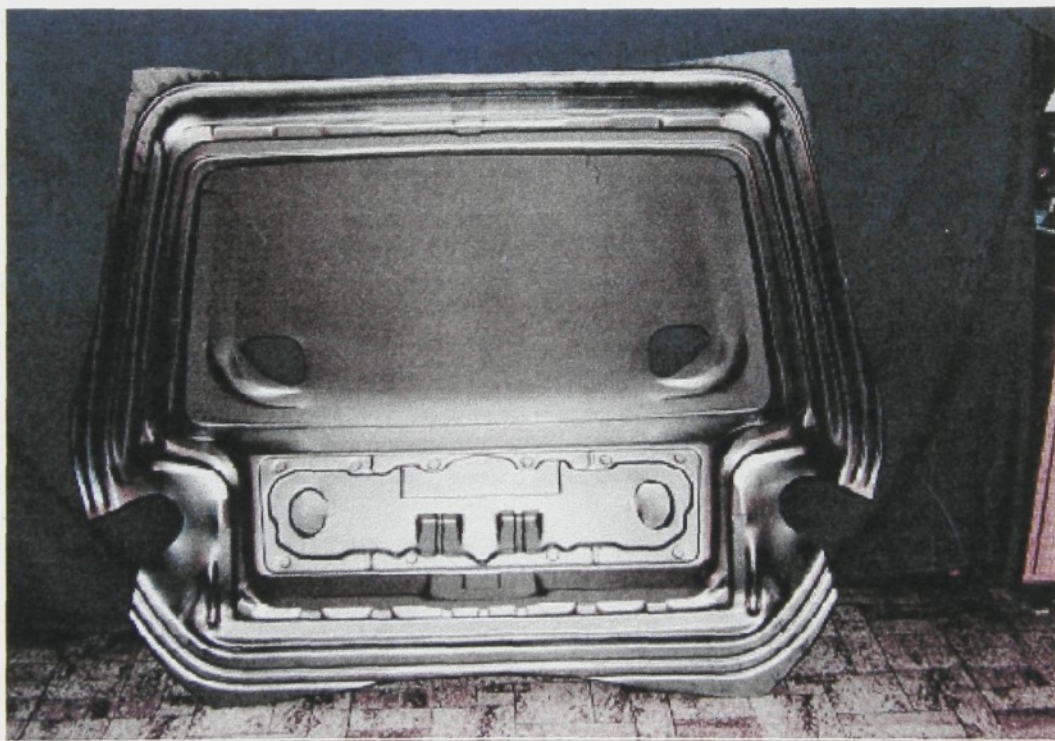
Při řešení této problematiky bylo ve spolupráci s podnikem Škoda a.a.s. Mladá Boleslav dohodnuto, že cílem této práce bude získávání experimentálních podkladů, které by měly sloužit zejména konstruktérům, navrhujícím tažné nástroje. S využitím těchto měření budou schopni efektivněji konstruovat tyto nástroje. Úkolem bylo tedy určení brzdícího účinku u různých materiálů a mazadel při konstrukčních změnách nástroje, kdy byl postupně měněn poloměr zaoblení drážky v přídržovači a mezera mezi tažnicí a přídržovačem.

2. SPECIFIKA TAŽENÍ SOUČÁSTÍ NEPRAVIDELNÝCH TVARŮ

2.1 Požadavky kladené na výlisky

Na nepravidelné výlisky karosářského typu vyskytující se v automobilovém, leteckém i spotřebním průmyslu jsou kladeny vysoké požadavky na:

1. technologičnost konstrukce
2. rozměrovou přesnost
3. jakost povrchu



Obr.1. Příklad výlisku nepravidelného tvaru karosářského typu (páté dveře osobního automobilu)

U výlisků karosářského typu dochází v důsledku nepravidelnosti tvaru a členitosti povrchu k nerovnoměrným stavům napjatosti a přetvoření v různých místech výtažku. Plocha polotovaru pod přidržovačem tažného nástroje je v porovnání s celkovou plochou výlisku malá. Přitom plastická deformace probíhá v celé ploše

tvářeného polotovaru, na rozdíl od tažení válcových nádob, kdy plastická deformace probíhá převážně v přírubě polotovaru. Pro tyto výlisky je specifické, že výsledného tvaru je dosahováno při současném uplatňování posuvů a vypínání plechu. Při tažení výlisků složitých tvarů je tady nutné brždění plechu v oblasti přidržovače a tažné hrany. Tím se vytvářejí příznivější stavy napjatosti a stupně přetvoření v kritických místech výlisku, čímž docílujeme vyššího využití tvárnosti daného materiálu a celkového zvýšení efektivity tažení.

2.1.1 Technologičnost konstrukce

Technologičnost konstrukce zkoumáme, abychom byli schopni výtažek vylisovat za optimálních podmínek tvarování. Snaha je tedy lisovat výtažek s co nejmenšími ztrátami plechu, prostředků a času.

2.1.2 Dodržení rozměru a tvaru

Hlavní podmínkou pro zabezpečení rozměru a tvaru výlisku jsou především správné rozměry a tvar pracovních částí nástroje. Protože vznikají pružné deformace jednak po odlehčení nástroje, ale především po odstřižení tažných přechodů, je nutné zajistit požadovaný tvar a dostatečnou tuhost lisovaného dílu pro zabezpečení rozměrové přesnosti.

Tuhost výtažku můžeme zvýšit:

- změnou tvaru výlisku
 - vytvořením prolisů nebo výztužných žebër,
 - zvýšeným stupněm tažení např. větší hloubkou tahu,
 - vhodným sdružováním výlisků,
- zvýšením tahových napětí a stupně přetvoření.

2.1.3 Maximální jakost povrchu

Jelikož na lakované ploše s vysokým leskem je patrná sebemenší nerovnost musí být povrch zcela hladký a rovný. Po vylisování se mohou na výliscích vyskytovat

různé povrchové vady. Pokud se vyskytnou na výlisku trhliny, výrazné vlny, promáčkliny nebo záhyby, nezbyvá nic jiného, nežli tento výlisek vyřadit jako zmetek.

Dosažení vysoké jakosti povrchu znamená předcházet výskytu těchto vad, a to lze zabezpečit:

1. Vhodným výběrem ocelových plechů.
2. Vytvořením takových podmínek při tažení, při nichž by charakter rozložení napětí a přetvoření odpovídal nutným podmínkám tvarováním. Je třeba v různých oblastech vznikající napětí vyrovnávat bržděním plechu.
3. Dodržením potřebné jakosti a drsnosti pracovních ploch nástroje.
4. Dodržením pracovních podmínek jako např. správné vkládání plechu do nástroje, seřízení stroje, čistoty a způsobu mazání, resp. praní.

2.2 Technologické zvláštnosti tažení

U tažení součástí z tenkého plechu mají hlavní úlohu tahová napětí, která při dosažení kritických hodnot způsobují trhání plechu. Maximální stupeň přetvoření bez porušení soudržnosti materiálu je obecně určen stavem napjatosti a materiálovými vlastnostmi plechu. Z tohoto hlediska je možno tažení rozdělit na tažení se ztenčením stěny výtažku, kde je tloušťka plechu ovlivňována geometrií nástroje a tažení bez ztenčení stěny výtažku.

2.2.1 Tažení nepravidelných součástí

Při tažení válcového výlisku, dochází v přírubě k napjatosti, při které vzniká ve směru radiálním hlavní napětí tahové a ve směru tečném hlavní napětí tlakové. Třetí hlavní napětí působící ve směru kolmém na tvar přidržovače, je v porovnání s dvěma dříve uvedenými malé. Při uvedeném způsobu tažení probíhá plastická deformace převážně v přírubě polotovaru s převládajícími posuvy.

Tažení nepravidelných výlisků karosářského typu probíhá za daleko složitějších podmínek než jaké jsou u tažení válcového výtažku. Jelikož se jedná o výlisky, které mají velké rozměry, členitý povrch a nerovnoměrnou hloubku tažení, lze

základní rozdíly tažení válcové nádoby oproti tažení nepravidelných součástí shrnout do několika bodů:

1. Na počátku tažného procesu je plocha polotovaru pod přidržovačem podstatně menší k celkové ploše nástřihu než při tažení výtažků válcového tvaru při první operaci. Přitom plastická deformace probíhá v celé ploše tvářeného polotovaru.
2. Výsledného tvaru výlisku je dosahováno při současném uplatňování posuvů a vypínání plechu.
3. Pracovní části tažníku, tažnice a přidržovače jsou tvořeny zborcenými plochami.
4. Vnitřní obrys tažnice je ve většině případů tvořen prostorovou křivkou.
5. Tažný nástroj je daleko složitější než nástroj k tažení válcových součástí.
6. Stav napjatosti a podmínky přetvoření u nepravidelných výlisků jsou rozdílné a musí se zjišťovat individuálně v závislosti na tvaru výlisku a zvolených technologických parametrech. Kdežto u rotačních výtažků jsou stavy napětí a deformace podobné a při stejných podmínkách vzájemně srovnatelné.
7. Na rozdíl od hlubokého tažení válcových výlisků je nutné u výlisků nepravidelného tvaru nerovnoměrně ovlivnit tok materiálu z oblasti přidržovače v závislosti na místním tvaru výtažku a podmínkách tažení.

2.2.2 Deformační síť

Zkoumání optimálního průběhu deformace za účelem získání praktických podkladů pro výrobu se zjišťuje vyhodnocováním stavů napjatosti a stupňů přetvoření. Pro vyjádření stavů napjatosti a stupňů přetvoření musíme znát skutečné hodnoty hlavních přetvoření φ_1 a φ_2 v každém jednotlivém místě výlisku. Tyto hodnoty lze zjistit nanesením deformačních sítí na plech určený k tažení a jejich vyhodnocením v jednotlivých stádiích tažení. Základním elementem deformační sítě může být čtverec nebo kružnice.

Hodnoty hlavních přetvoření φ_1 a φ_2 stanovíme ze vztahu

$$\varphi_{1,2} = \ln L_{1,2} / L_0 \quad (1)$$

a ze zákona stálosti objemu

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 \quad (2)$$

vypočteme hlavní přetvoření ve směru tloušťky

$$\varphi_3 = -\varphi_1 - \varphi_2 \quad (3)$$

Při nanášení deformačních sítí je nutné aby byly splněny následující požadavky:

1. Nanesení sítě musí být provedeno takovou technologií, aby nebyly ovlivněny mechanické vlastnosti materiálu nebo třecí poměry na povrchu výlisku.
2. Zvolit velikost sítě tak, aby v celé ploše elementu byla homogenní deformace.
3. Sít' musí být dostatečně elastická a odolná proti otěru.
4. Nanášení sítě by mělo být technologicky jednoduché a levné.

Způsobů jak nanášet deformační sítě je známá celá řada jako je např. potiskování, chemické nebo elektrolytické leptání, vyjiskřování a různé fotografické metody, či jejich kombinace. K nejpoužívanějším metodám nanášení deformačních sítí patří v současné době elektrochemické leptání.

2.3 Ztráty stability tvárného procesu tažení

K přesnému zjištění kritických míst je nutné znát stavy napjatosti a stupně přetvoření, při kterých dochází k místnímu ztenčení a může dojít k porušení stability tvárného procesu. U karosářských plechů může obecně dojít ke dvěma typům porušení stability, a to ke vzniku:

1. vln
2. trhlin

1. Vznik vln

Všechny druhy vln vznikají v důsledku zborcení plechu při určitých stavech napjatosti, a sice při kombinaci tah - tlak. Při tažení velkorozměrných nepravidelných výlisků karosářského typu se objevují nejčastěji dva typy vln, jejichž vznik je nežádoucí.

Jsou to vlny, které vznikají pod přídržovačem v důsledku nesprávného určení technologických vlivů např. špatný tvar brzdící lišty, chybné určení počátečního tlaku přídržovače nebo jeho nastavení atd. Tyto vlny mohou být příčinou trhání plechu a vzniku přehybů.

Druhým typem vln na povrchu výlisku jsou vlny, které vznikají v okrajových částech výlisku v důsledku nepříznivého stavu napjatosti. Vznik těchto vln je možné zamezit vhodnou volbou technologických zásahů a tím měnit intenzitu místního brždění plechu v oblasti přídržovače zvyšováním tahových napětí.

2. Trhání plechu

V oblasti extrémních přetvoření dochází ke ztrátě stability, která se vyznačuje místním zmenšením tloušťky plechu a tím dochází k trhání plechu. Ke ztrátě stability dochází v okamžiku dosažení meze pevnosti daného materiálu, kdy plech nestačí zpevňováním nahrazovat úbytek tloušťky.

Abychom byli schopni alespoň částečně těmto ztrátám stability předcházet, je možné použít tzv. diagramů mezních přetvoření (DMP). Jejich základní formou je pásmo bodů o souřadnicích $[\varphi_{1j}, \varphi_{2j}]$ představujících mezní přetvoření, kde $\varphi_{1,2}$ jsou definována jako logaritmická přetvoření, $j = 1, N$ je počet bodů v pásmu. DMP umožňují bezprostřední konfrontaci hodnot hlavních normálních přetvoření zjištěných v exponovaných místech výlisku s hodnotami mezními, reprezentovanými křivkami mezních přetvoření (KMP). KMP jsou získávány většinou modelováním různých stavů přetvoření, a to určováním mezních hodnot hlavních normálních přetvoření s použitím deformační sítě.

Výlisky s touto vadou se okamžitě vyřazují jako zmetky.

3. TECHNOLOGICKÉ VLIVY URČUJÍCÍ STAVY NAPJATOSTI

Mezi základní technologické vlivy, které zásadním způsobem rozhodují o vhodnosti navrženého nástroje a nákladech na přípravu uvažované operace patří především správná volba umístění výlisku do lisovací polohy, podle kterého se dále určuje geometrický tvar přidržovače. Tyto vlivy rozhodujícím způsobem zasahují do procesu tažení karosářských výlisků a podle nich se dále konstruuje a vyrábí celý tažný nástroj, který se dá jen nepatrně měnit, ale ne zásadně měnit.

Mezi další opatření jak vylepšit či ovlivnit stav napjatosti a stupeň deformace při tažení, které jsou označovány jako vlivy doplňkové, patří:

- předlisování polotovaru (např. technologické otvory)
- prolisy, které neovlivňují funkci výlisku
- celkové nebo místní zvýšení tlaku přidržovače
- změna plochy plechu pod přidržovačem nebo změna hloubky tažení
- umístování brzdících lišt
- úprava tažné hrany
- celkové nebo místní zvyšování koeficientu tření mazáním

Všechna tato doplňková opatření v podstatě eliminují některé nepříznivé důsledky ne zcela správných základních rozhodnutí, popřípadě i nepřesnosti při výrobě.

3.1 Základní technologické vlivy

3.1.1 Tvar a lisovací poloha výtažku

Tvar a lisovací poloha výlisku musí být zvolena tak, aby zajišťovaly tyto požadavky:

1. volný pohyb tažníku po celé délce zdvihu v prostoru tažnice

2. maximální plochu styku čela tažníku s lisovaným plechem v počátečním stádiu tažení
3. rovnoměrné vytahování plechu z oblasti přidržovače a tvarování reliéfu po celé ploše tažníku

Za účelem docílení optimálnějších podmínek tvarování a dosažení vhodnější lisovací polohy se také často provádí zdvojování nebo seskupování výlisků. S určením lisovací polohy úzce souvisí i další technologická rozhodnutí, zejména velikost a rozložení technologických přídavků a určení tvaru plochy přidržovače.

3.1.2 Tvar pracovní plochy přidržovače

Po stanovení lisovací polohy a velikosti technologických přídavků následuje určení tvaru pracovní plochy přidržovače. Plocha přidržovače při tažení nepravidelných součástí karosářského typu, na rozdíl od tažení symetrických výtažků, je tvořena ve většině případů zborcenou plochou. Tvar přidržovače musí být takový, aby se při procesu deformace pod přidržovačem netvořili vlny a přeložky. Tento požadavek je splněn tehdy, jestliže je možno ohnout rovinný plech do tvaru plochy přidržovače bez délkových deformací střední roviny. Při určování správného tvaru přidržovací plochy se bere ohled na celkovou technologii tažení, zejména pak velikost a rovnoměrnost hloubky tažení, rozložení technologických přídavků a návaznost dalších operací.

Abychom tedy byli schopni výlisek úspěšně vyrobit je nezbytně nutné splnit podmínku, že tvar povrchu pracovní plochy přidržovače musí tvořit rozvinutelnou plochu.

3.2 Doplnkové technologické vlivy

Základní technologické vlivy určené v podstatě konstrukcí nástroje nelze při zkoušení a dodatečné úpravě nástroje již měnit. Ovlivnit vhodným způsobem tok materiálu z prostoru přidržovače a tím i celkové tvarování výlisku lze pouze

technologickými zásahy, které je možno nazvat doplňkovými. Jejich správným použitím se může předejít vzniku jednotlivých ztrát stability v kritických místech výlisku.

Doplňkové technologické zásahy lze rozdělit:

1. Tvar a velikost technologických přídavek.
2. Vystřížení technologického otvoru nebo volba prolisu v menším rozsahu, který neovlivňuje funkci výlisku.
3. Brždění plechu v oblasti přidržovače.

Určení velikosti technologických přídavek má rozhodující vliv na spotřebě plechu, a proto je snahou volit tyto přídavky minimální. Technologické přídavky volíme podle členitosti výlisku, dále potom podle nutnosti ovlivnit tok materiálu během celého procesu tažení a podle možnosti provedení následných operací, a to především ostříhovacích.

Z hlediska nákladů na zkoušení nástroje a provádění jeho úprav má velký význam změna podmínek stavu napjatosti a stupňů přetvoření bržděním plechu v oblasti přidržovače, jehož lze docílit:

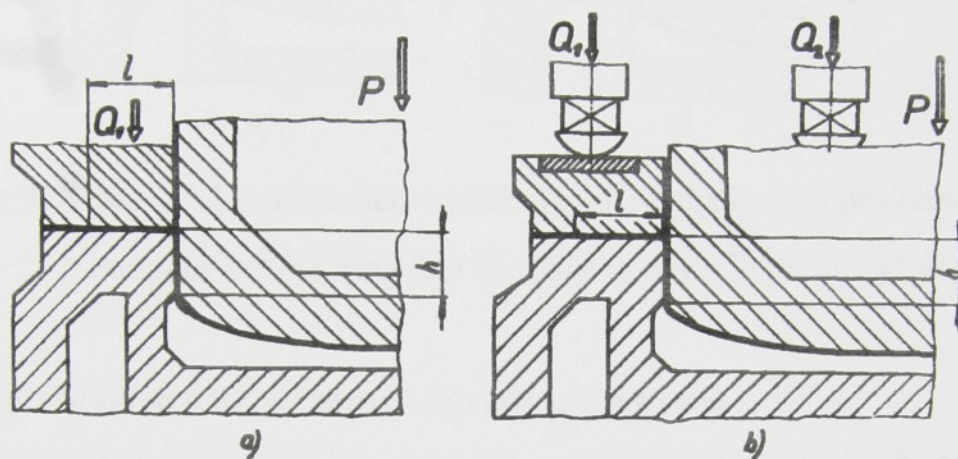
- a) celkovým nebo místním zvyšováním tlaku přidržovače (obr.2)
- b) změnou plochy nástřihu nebo hloubky tažení (obr.3)
- c) použitím brzdících lišt nebo tvarovou úpravou tažné hrany (obr.4)
- d) celkovým nebo místním snižováním koeficientu tření mazáním

3.2.1 Celkové nebo místní zvyšování tlaku přidržovače

Při tomto způsobu zvětšení tahové napjatosti tvářeného materiálu v jeho střední části v otvoru tažnice se uskutečňuje zvětšením tření na povrchu přidržovače.

Místního zvýšení tlaku přidržovače se docílí různými mechanickými úpravami pracovních ploch nebo místním mazáním. Z jednoduchých úprav se např. používá místní zdrsňení plochy přidržovače. Na obr.2.b je znázorněno místní zvyšování tlaku přidržovače, které se provádí prostřednictvím různě umístěných

přítlačných jednotek po obvodě tažnice. Jejich přítlačnou sílu lze po celém obvodu jednotlivě regulovat hydraulicky.



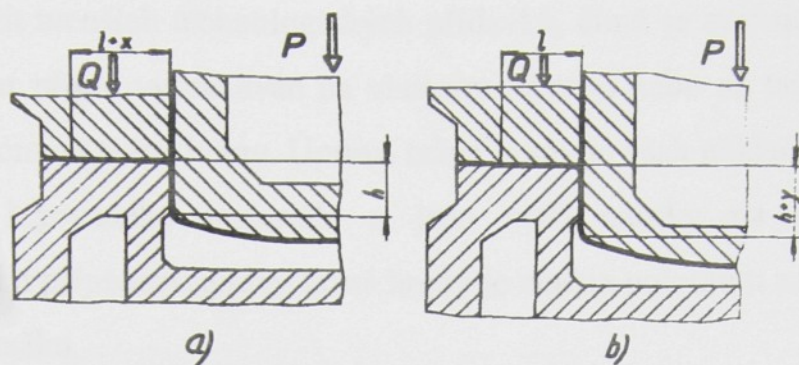
Obr.2. Schematické znázornění celkového zvýšení tlaku přidržovače (a) a místního zvýšení tlaku přidržovače (b) zvláštním uspořádáním při zachování šířky příruby "l" a hloubky tažení "h" [2]

Při tomto způsobu brždění plechu se vyskytuje problém rychlého opotřebení přítlačných ploch nástroje (tažnice a přidržovače), čímž se narušuje rovnoměrnost stlačení tvářeného polotovaru a na jeho povrchu se mohou tvořit vlny.

3.2.2 Změna plochy nástřihu nebo hloubky tažení

Jak je zřejmé z obr.3.a, zvětšení plochy plechu pod přidržovačem, za účelem zvětšení tahové napjatosti, se může provést pouze za cenu zvětšení nástřihu a tím i vyššího procenta odpadu. Tento způsob podstatně ovlivňuje podmínky tažení, a proto se poměrně často používá.

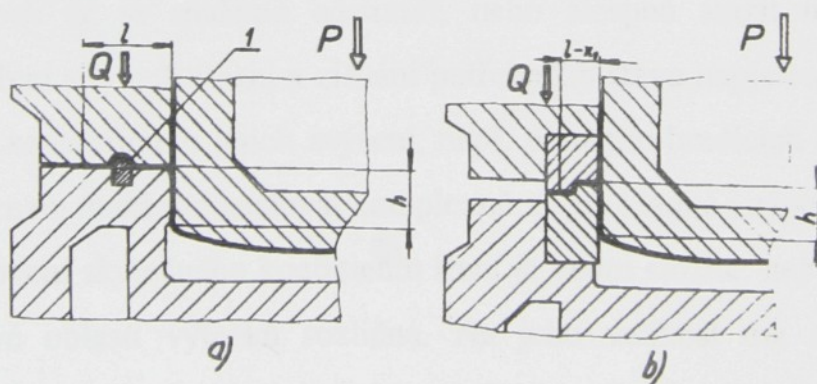
Zvětšování hloubky tažení (obr.3b) lze používat u velmi mělkých výlisků, aby nedocházelo ke ztrátě stability, a to především ke vzniku nežádoucích deformačních čar. Se zvětšující se hloubkou tažení se zvyšuje riziko vzniku trhlin. Nebezpečí vzniku trhlin je tím větší, čím je hloubka tažení v jednotlivých místech rozdílnější.



Obr.3. Schematické znázornění zvětšení plochy plechu pod přidržovačem o hodnotu "x" (a) a zvýšení hloubky tažení o hodnotu "y" (b) [2]

3.2.3 Použití brzdících lišt a tvarová úprava tažné hrany

Umístěním brzdících lišt (obr.4a) v pracovních plochách tažnice nebo přidržovače patří k nejúčinnějším způsobům jak zvyšovat intenzitu brždění plechu v oblasti přidržovače. Jejich funkce spočívá ve vytvoření vhodného stavu napjatosti a potřebného stupně přetvoření. Používají se především při tažení nepravidelných, velkorozměrných, mělkých a tvarově složitých výlisků.



Obr.4. Schematické znázornění umístění brzdící lišty (a) a úpravy tažné hrany při zachování hloubky tažení [2]

Tvarová úprava tažné hrany (obr.4b) má pro tažení nepravidelných výlisků karosářského typu stejný význam jako používání brzdících lišt s tím rozdílem, že se

používá k celkovému brždění, neboť se provádí po celém obvodu. Tato úprava dovoluje použít menších technologických přídavků, čímž se snižuje procento odpadu. Tím, že je tvar přímo vypracován na vlastním nástroji nebo na tažné vložce, odpadá nebezpečí vylomení tažné hrany. Úprava tažné hrany je však nákladnější, neboť vzniká větší odpad legovaného materiálu a jsou větší nároky na slícování nástroje. Nejjednodušším případem úpravy tažné hrany je změna poloměru zaoblení tažné hrany po obvodu výtažku.

Používáním brzdících lišt a úpravy tažných hran patří k nejefektivnějším technologickým zásahům, které slouží k ovlivňování stavu napjatosti a stupně přetvoření při tažení.

3.2.4 Celkové nebo místní snižování koeficientu tření mazáním

Vnější tření plechu při tažení ovlivňuje velikost tahových napětí. Při nerovnoměrném tření vznikají přídatná napětí v různých místech výlisku, která způsobují místní deformaci. Dochází tedy k místnímu ztenčení, snižuje se kvalita výlisku a zvyšuje se náchylnost ke vzniku trhlin. Těchto přídatných napětí lze ale také využít k odstraňování možnosti vzniku trhlin popřípadě i deformačních čar. Záleží totiž v jakém směru se uskutečňuje plastická deformace a změna tvaru výchozího polotovaru. V případě, že síly tření zabraňují žádané změně polotovaru a stupni deformace, pak se je snažíme odstranit, nebo alespoň snížit mazáním. Naopak, umožňují-li třecí síly deformaci a získání potřebného stavu napjatosti, neodstraňujeme je a případně se snažíme o jejich zvýšení, např. použitím brzdících lišt. Proto je nutné při tažení význam mazání posuzovat komplexně z jeho kladné i záporné stránky.

Stanovení skutečného koeficientu tření je velmi složité, neboť jeho hodnota je pro jednotlivé oblasti výtažků rozličná. Na jeho velikost má zároveň vliv druh materiálu nástroje, drsnost plechu, rychlost tažení, teplota, velikost tlaku přidržovače, ale k jeho změně dochází i během procesu tváření.

Celkovým snižováním koeficientu tření mazáním mezi povrchem nástroje a plechu docílujeme

- snížení otěru nástroje, a tím zvýšení jeho životnosti,

- snížení tažné síly a spotřeby energie,
- rovnoměrnější rozložení napjatosti i deformace zejména ve směru tloušťky,
- zvýšení jakosti povrchu vylisku.

Na maziva pro hluboké tažení jsou kladeny tyto základní požadavky[1]:

- a)schopnost vytvořit pevný souvislý film,
- b)schopnost udržení na třecích plochách,
- c)chemická stálost a netečnost,
- d)tepelná stálost a odolnost,
- e)snadné nanesení na výchozí materiál a následné odstranění,
- f)ekologická nezávadnost,
- g)ekonomická výhodnost.

Při tažení vylisků se používá velká množství maziv, která se zřetelem na měnící se podmínky tváření, složitost mechanismu tření a řadu dalších činitelů ovlivňujících vlastnost samotných maziv, se musí určit samostatně pro každý jednotlivý technologický postup. Mají-li plnit svou funkci dokonale, je nezbytné, aby byla vybírána velice pečlivě, stejně jako materiál nástroje.

4. BRZDÍCÍ LIŠTY

Pod pojmem brzdící lišta rozumíme žebro vytvořené pod přidržovačem za účelem přibrždění tvářeného materiálu [4]. Brzdící lišty jsou součástí téměř každého tažného nástroje určeného pro lisování velkých nesymetrických výlisků. Používají se k řízení toku plechu do tažnice v průběhu tažení, zabráňují zvlnění plechu na výliscích a účelně snižují sílu (tlak) přidržovače.

4.1 Navrhování a konstrukce brzdících lišt

Z přehledu o vlivu technologických zásahů je zřejmé, že brzdící lišty patří k nejúčinnějším způsobům jak zvyšovat intenzitu brždění plechu v oblasti přidržovače, a tím měnit podmínky stavu napjatosti a stupně přetvoření v jednotlivých místech výlisku. Vzhledem k tomu, že neexistují zdůvodněné podklady, které by vymezovali použití vhodných tvarů, počtu a umístění brzdících lišt, popřípadě braly v úvahu i další vlivy z hlediska konstrukce, výroby nástroje i ovlivňování mechanických vlastností tvářeného plechu, existují spory o tom, kdy a zdali je vůbec vhodné brzdících lišt při tažení používat.

Brzdících lišt používáme převážně u mělkých velkorozměrných výlisků nepravidelných tvarů. U těchto nepravidelných výlisků je nutné v jednotlivých místech po obvodě tažné hrany brzdit plech tak, aby se na velkých plochách netvořily vlny. U hlubokých výlisků je nevhodné používat brzdících lišt, protože lišty brání klouzání materiálu a často dochází k trhání plechu.

Výhody brzdících lišt

1. U mělkých nepravidelných výlisků dovolují získat v jednotlivých místech potřebný stav napjatosti a stupeň přetvoření za účelem maximálního využití plasticity plechu a dokonalého tvarování plechu.
2. Různým tvarem, uspořádáním a počtem brzdících lišt lze docílit široký

rozsah intenzity brždění.

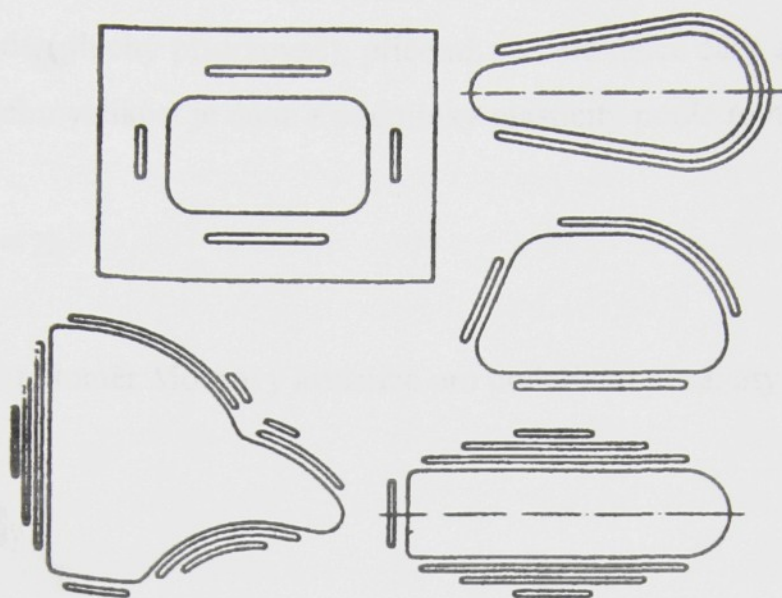
3. U dvojčinných lisů dovolují zvyšovat interval nastavení polohy přidržovače.
4. U složitých zborcených ploch dovolují snižovat nároky na přesnost obrobení povrchu tažnice a přidržovače tažného nástroje.
5. Umístění brzdících lišt činí celý proces stabilnější. Zvyšuje se životnost plochy tažnice a přidržovače, čímž se předchází vzniku vln.

Nevýhody brzdících lišt

1. V důsledku intenzivního brždění plechu a velké citlivosti na zvyšování tahových napětí dochází k místnímu zpevňování plechu a vyčerpání plasticity.
2. Tvar, velikost, počet a umístění brzdících lišt se provádí experimentálně při zkoušení nástroje, což je značně nákladné.
3. Nesprávné umístění lišt nepříznivě ovlivňuje konečný tvar výlisku, zejména rozměrovou přesnost po odstřižení přídavků.

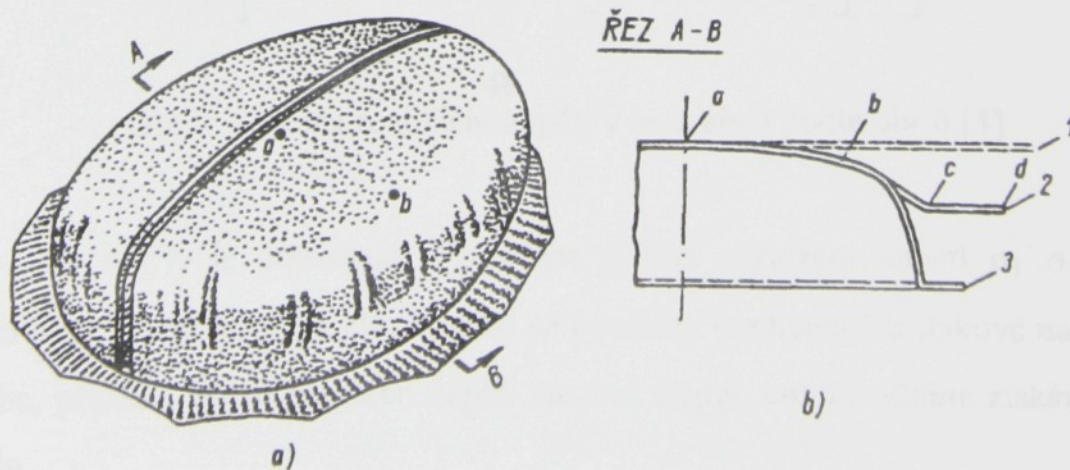
4.2 Umíst'ování brzdících lišt

Při tažení velkých nepravidelných výlisků vzniká na zaoblených částech a v rozích otvoru tažnice tlakové napětí a tvářený materiál je mnohem intenzivněji sevřen, než na rovných částech, kde se během tažení polotovaru prakticky pouze ohýbá přes zaoblenou hranu tažnice. Při tažení na dvojčinném lisu, u kterého se neseřizuje jen tlak přidržovače, ale i mezera mezi tažnicí a přidržovačem, může způsobit zvětšení tloušťky příruby v rozích porušení výtažku. Abychom tomu v takovém případě předešli, zvětšíme mezeru mezi tažnicí a přidržovačem. Takové místní zvětšení mezery v rozích tažnice snižuje velikost sevření polotovaru v těchto místech a vytváří vhodné podmínky pro vtažení přebytečného materiálu do tažnice. To však často vede ke vzniku vln a někdy i přeložek na povrchu tažené součásti. Proto k vyrovnání velikosti přibrždění pod přidržovačem v rozích a na rovných úsecích tažnice je třeba na rovných úsecích použít brzdících lišt. Příklady uspořádání brzdících lišt jsou na obr.5.



Obr.5. Uspořádání brzdících lišt u různých tvarů výtažků [1]

Při nedostatečném přibrždění tvářeného materiálu pod přidržovačem se na povrchu výlisku tvoří vlny - podobné jako na obr.6.a. Tvoření vln je možné zamezit zvýšením intenzity brždění, a sice použitím dvěma i třemi brzdícími lištami viz obr.5. Na obr.6.b. je schéma průběhu tažení, vysvětlující funkci brzdících lišt.



Obr.6. Výtažek nádoby s utvořením vln [4]

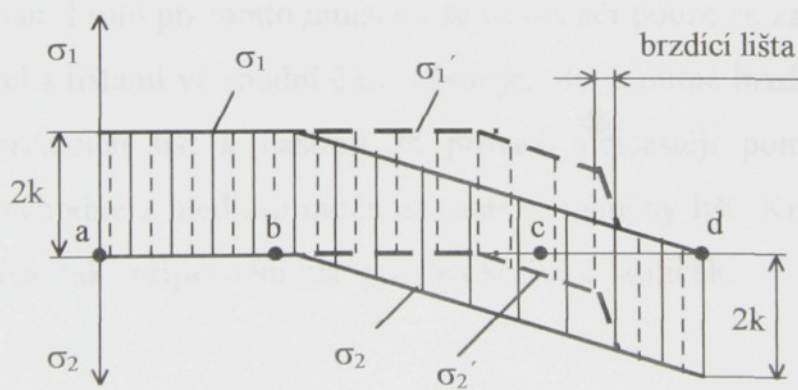
Příslušná napětí jsou uvedena na obr.7. Plnou čarou je znázorněno rozložení tahového napětí σ_1 a tlakového napětí σ_2 v řezu výtažku na obr.7. podle čáry abcd v klasickém případě (plochý přidržovač), přičemž po celé délce čáry abcd zůstává rozdíl napětí stejný a jeho velikost je dána z podmínky plasticity podle rovnice

$$\sigma_1 - \sigma_2 = 2k \tag{4}$$

kde k je poloměr Mohrovy kružnice pro podmínku plasticity a je roven

$$k = \frac{\sigma_K}{2} \tag{5}$$

Přítomnost tlakového napětí σ_2 v části bc vyvolává ztrátu stability polotovaru a působí tvoření vln.



Obr.7. Schéma rozložení napětí v řezu abcd podle obr.6 [4]

Na obr.7. je čárkovaně vyznačena změna rozložení napětí σ_1', σ_2' vlivem brzdící lišty. Jak je patrné z obr.7., sníží se použitím brzdících lišt tlakové napětí σ_2' v části bc, přičemž rozdíl hlavních napětí zůstává stejný, což umožňuje získání výlisků bez vln.

Je velmi složité předem říci, o jak velký brzdící účinek (brzdící sílu) bychom měli usilovat, a je tedy rovněž obtížné navrhnout optimální umístění brzdících lišt. Počet a rozložení brzdících lišt se při konstrukci tažidla dříve obvykle určovalo orientačně odhadem. Dodatečně se poté provedla úprava podle provedených zkoušek a seřízení nástroje. Tedy optimální řešení se hledalo tím způsobem, že byl vyroben nástroj, který se postupně upravoval (rádiusy tažníku a tažnice, tvar a umístění brzdících lišt, atd.). Dnes je možné již použít různé softwary, které dovolují simulaci tohoto problému.

Umísťování brzdících lišt z hlediska polohy vůči přidržovači záleží na druhu lisu, zda-li jde o jednočinný nebo dvojčinný lis. U jednočinných lisů se doporučuje umístění brzdících lišt v tažnici podle obr.8.a. V tomto případě však na menším poloměru brzdící lišty dochází k zadírání plechu v důsledku místního vzrůstu měrného tlaku, který je způsoben vytlačováním mazadla. To má za následek vznik rýh, které znehodnocují povrch výlisku. Proto u dílů, kde se vyžaduje kvalitní povrch, doporučuje se umístění lišty v přidržovači podle obr.8.b. U nástrojů pro dvojčinné lisy se dává přednost umístění lišt v přidržovači, čímž ale vzniká nebezpečí uvolnění lišty během zdvihu lisu. Proto při tomto umístění se nevystačí pouze se zalisováním jako se používá u tažidel s lištami ve spodní části nástroje, ale je nutné brzdící lištu připevnit. Připevňování brzdících lišt k nástroji se provádí nejčastěji pomocí zapouštěcích šroubů, což je výhodné z hlediska možnosti snadné výměny lišt. Kromě zapouštěcích šroubů se používá také připevnění lišt pomocí kolíků či kuliček.



Obr.8. Umístění brzdících lišt v tažnici (a) a v přidržovači (b) [3]

Jsou dva hlavní důvody pro umístění lišt do přídržovače [1]

1. Výroba tažnice je pracnější. Lišty jsou umístěny v přídržovači, kde bylo provedeno menší množství práce.
2. Získáme tak lepší přístupové podmínky pro úpravu žlábků v tažnici.

Při tažení velmi mělkých výlisků může plnit funkci brzdících lišt zvýšená tažná hrana, s tím rozdílem, že se používá k celkovému brždění, protože se provádí po celém obvodu. Výhodou zvýšené tažné hrany je použití menších technologických přídavek. Odpadá nebezpečí vylomení tažné hrany, neboť je tvar přímo vypracován na vlastním nástroji nebo tažné vložce. Při použití zvýšené tažné hrany vzniká však větší odpad legovaného materiálu, a jsou větší nároky na slícování nástroje.

Nejjednodušším případem úpravy tažné hrany může být změna poloměru zaoblení tažné hrany po obvodu výtažku.

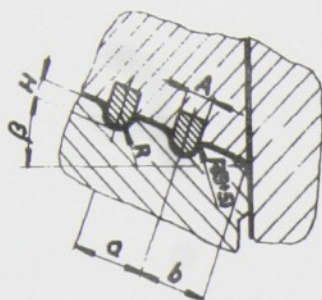
4.3 Doporučené tvary brzdících lišt

Předběžný návrh použití brzdících lišt provádí konstruktér nástroje. Konečné rozhodnutí o umístění, počtu a druhu lišt se provede až v nástrojárně při zkoušení nástroje. Literatura uvádí následující předpisy a doporučení pro konstrukci brzdících lišt, která však nejsou dostatečně zdůvodněna [1],[3],[4],[7].

A) Základní tvar brzdící lišty

Profil lišty je umístěn v určité vzdálenosti od rádiusu tažnice a v příčném řezu je ve většině případů lišta tvaru části válce. Plech procházející přes lištu je několikrát ohýbán a narovnáva a suma úhlů ohybu (nebo suma úhlů opásání rádiusu lišty a rádiusu hran drážky taženým plechem) je větší než 180° . Je-li to nutné, je zde možnost použití dvou i více lišt za sebou.

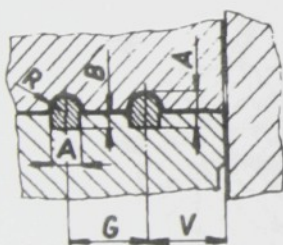
Serepjev doporučuje pro nástroj, jehož činná plocha přidržovače svírá úhel β s horizontální rovinou následující umístění a rozměry brzdících lišt (obr.9).



Číslo	A	H	a	b	R
1	14	25-30	25-32	25-32	7
2	16	28-32	28-35	28-35	8
3	20	32-38	32-38	32-38	10

Obr.9. Umístění a rozměry brzdících lišt doporučené Serepjevem [3]

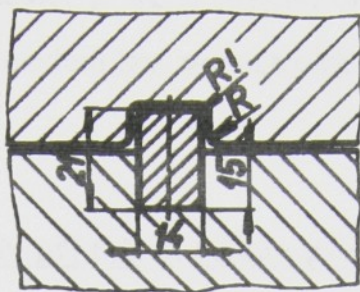
Kuchtarov doporučuje pro tvar nástroje (obr.10) rozměry a umístění brzdících lišt uvedené v tabulce (obr.10)



Číslo	A	B	V	G	R
1	16	10	40	35	8,5
2	14	9	35	30	7,5

Obr.10. Umístění a rozměry brzdících lišt doporučené Kuchtarovem [3]

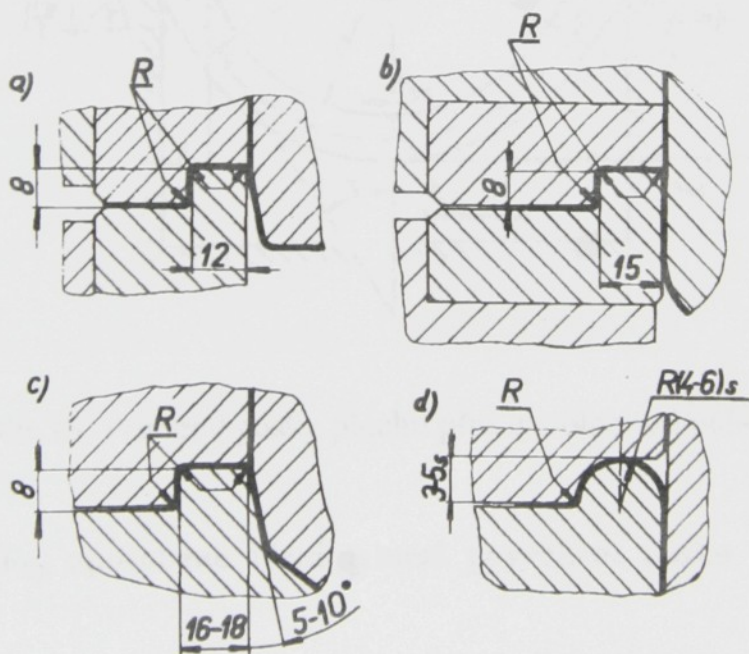
Podle potřeby intenzity brždění při vytahování plechu z oblasti přidržovače lze použít více lišt za sebou nebo provést podložení lišty, čímž se zvýší její výška. Zároveň je možné měnit i šířku lišty. K úplnému místnímu zabrždění plechu při tažení se používá tzv. zasekávací lišta (obr.11). Naopak snižování intenzity brždění docílíme zvětšením rádiusů tzv. odlehčováním.



Obr.11. Tvar zasekávací lišty

B) Zvýšená tažná hrana

Zvýšená tažná hrana bývá vložkována, z legované oceli, neboť při její použití dochází k jejímu značnému namáhání a opotřebení. Je zde ale odstraněn dvojitý ohyb plechu a dosáhne se celkového brždění po celém obvodu výtažku. Serepjev doporučuje provedení zvýšené tažné hrany podle (obr.12) [3].



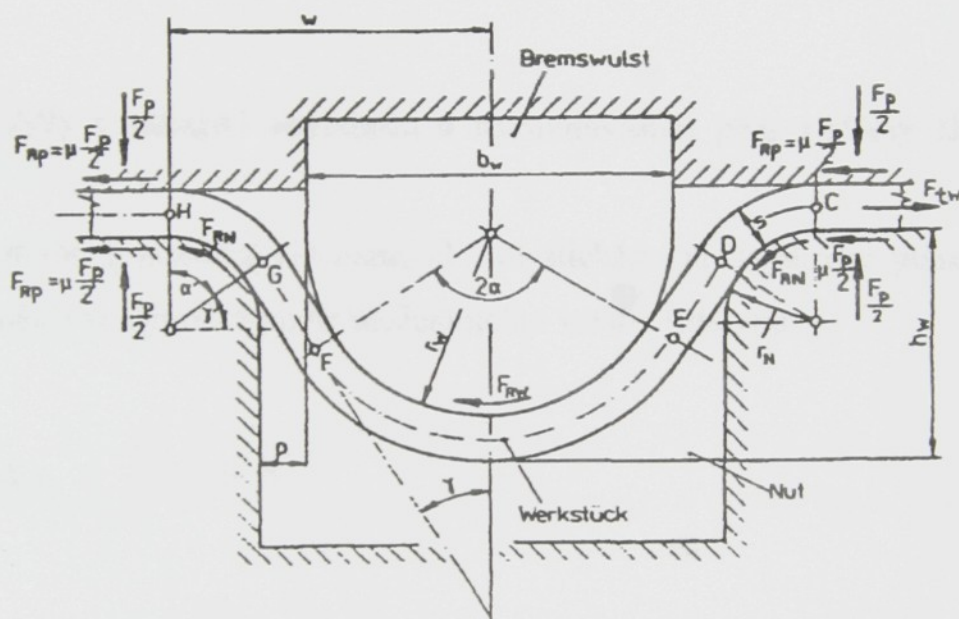
Obr.12. Brzdící lišty v provedení zvýšené tažné hrany [3]

Varianta a) se doporučuje pro maximální hloubku tažení 25 mm při poloměru tažné hrany $R = 1$ až 2 mm. Při hlubších tazích se doporučuje provést rozšíření hrany na 15 mm a poloměr R zvětšovat až na 3 až 5 mm (obr.12.b). Při zhotovení tažné

hrany jako celku s litinovou tažnicí je třeba rozšířit hranu na 16 až 18 mm. Zvýšená tažná hrana může být také v provedení tzv. vpouštěcích lišt (obr.12.d).

4.4 Výpočet tažné a brzdící síly při tažení plechu přes zaoblenou brzdící lištu [1]

Schéma tažení pásky plechu je na obr.13. Síla F_{tW} potřebná pro tažení pásku přes brzdící lištu, je složena z následujících komponent:



Obr.13. Průchod pásky plechu přes zaoblenou brzdící lištu

a) Síly F_{Rp} způsobené třením mezi povrchem pásku a plochými částmi přípravku

Tyto síly rostou se silou F_p a koeficientem tření μ , který se pohybuje mezi hodnotami 0,005 až 0,2 [1] a závisí na tlaku přidržovače, rychlosti tažení, typu maziva atd. Síly je možné spočítat pomocí Coulombova zákona

$$F_{Rp} = \frac{\mu F_p}{2} \quad (6)$$

kde F_p je síla přidržovače.

b) Síly $F_{RW(RN)}$, způsobené třením na válcových plochách

Pásek plechu je tažen přes rádius brzdící lišty a rádiusy hran žlábků. K výpočtu těchto sil použijeme Eulerova vztahu

$$F_{RN(RW)} = F_{tWA} e^{\mu\alpha} \quad (7)$$

kde F_{tWA} je tažná síla aktuální, tj. tažná síla v daném bodě za daným rádiusem hrany žlábků (rádiusem lišty),

α - úhel opásání (kontaktní úhel) radiusu hrany žlábků (radiusu lišty) páskem plechu

c) Síly vznikající ohýbáním a narovnáváním přes rádiusy žlábků a přes lištu

Ohybový moment pro materiál v plastickém stavu (ideálně plastický materiál bez zpevnění) se vypočítá podle následujícího vztahu [literatura]

$$M_{oPL} = \frac{1}{4} \lambda k_f b s^2 \quad (8)$$

kde λ je součinitel vyjadřující rovinnou deformaci, neboť se zde jedná o ohýbání širokého pásku o malé tloušťce a předpokládá zde tedy rovinnou deformaci,

k_p - přetvárná pevnost,

b - šířka pásku,

s - tloušťka pásku.

Sílu potřebnou k ohnutí materiálu v plastickém stavu získáme podělením M_{oPL} příslušným ramenem síly.

Použitím předchozích vztahů je tedy možné sestavit rovnici pro výpočet síly F_{tW} , potřebné pro tažení plechového pásu přes zaoblenou brzdící lištu:

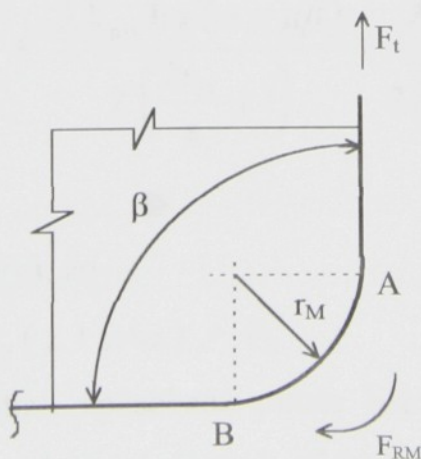
$$\begin{aligned}
 F_{tW} = & \left\{ \left[\left(\mu F_p + \frac{\lambda k_{pH} b s^2}{4 \left(r_N + \frac{s}{2} \right)} \right) e^{\mu\alpha} + \frac{\lambda k_{pG} b s^2}{4 \left(r_N + \frac{s}{2} \right)} + \right. \right. \\
 & + \left. \frac{\lambda k_{pF} b s^2}{4 \left(r_W + \frac{s}{2} \right)} \right] e^{\mu 2\alpha} + \frac{\lambda k_{pE} b s^2}{4 \left(r_W + \frac{s}{2} \right)} + \frac{\lambda k_{pD} b s^2}{4 \left(r_N + \frac{s}{2} \right)} \left. \right\} e^{\mu\alpha} + \\
 & + \frac{\lambda k_{pC} b s^2}{4 \left(r_N + \frac{s}{2} \right)} + \mu F_p
 \end{aligned} \quad (9)$$

kde r_N je rádius hrany žlábků,

r_W je rádius lišty,

k_{pH} až k_{pC} jsou přetvárné pevnosti v jednotlivých místech - viz dále.

Po průchodu pásu plechu přes lištu je tento pásek ještě jednou ohýbán a narovnáván přes rádius výstupní r_M na kterém působí třecí síla F_{RM} viz obr.14.



Obr.14. výstupní rádius r_M

Tažnou sílu tedy můžeme vypočítat ze vztahu

$$F_t = \left(F_{tW} + \frac{\lambda k_{pB} b s^2}{4 \left(r_M + \frac{s}{2} \right)} \right) e^{\mu\beta} + \frac{\lambda k_{pA} b s^2}{4 \left(r_M + \frac{s}{2} \right)} \quad (10)$$

kde k_{fB} a k_{fA} jsou přetvárné pevnosti - viz dále.

Uvažíme-li, že přibližně platí $e^{\mu\alpha} \approx 1 + \mu\alpha$, dostaneme po úpravě

$$\begin{aligned} F_{tW} = & \mu F_p (2 + \mu 2\alpha) + \frac{\lambda k_{pH} b s (1 + \mu 4\alpha)}{2 \left(\frac{2r_N}{s} + 1 \right)} + \frac{\lambda k_{pG} b s (1 + \mu 3\alpha)}{2 \left(\frac{2r_N}{s} + 1 \right)} + \\ & + \frac{\lambda k_{pF} b s (1 + \mu 3\alpha)}{2 \left(\frac{2r_W}{s} + 1 \right)} + \frac{\lambda k_{pE} b s (1 + \mu\alpha)}{2 \left(\frac{2r_W}{s} + 1 \right)} + \frac{\lambda k_{pD} b s (1 + \mu\alpha)}{2 \left(\frac{2r_N}{s} + 1 \right)} + \\ & + \frac{\lambda k_{pC} b s}{2 \left(\frac{2r_N}{s} + 1 \right)} \end{aligned} \quad (11)$$

Pro F_t analogicky dostáváme

$$F_t = F_{tW} (1 + \mu\beta) + \frac{\lambda k_{pB} b s (1 + \mu\beta)}{2 \left(\frac{2r_M}{s} + 1 \right)} + \frac{\lambda k_{pA} b s}{2 \left(\frac{2r_M}{s} + 1 \right)} \quad (12)$$

Z předchozího vyplývá, že

$$F_{tW} = f(F_p) = \mu F_p (2 + \mu 4\alpha) + F_b \quad (13)$$

kde F_b je síla brzdící, způsobená pouze lištou (je to tažná síla F_{tW} bez uvažování vlivu třecích sil na plochých částech přidržovače).

Při výpočtu F_b vycházíme z toho, mají-li být třecí síly na plochých částech přidržovače rovny nule, musí být síla přidržovače rovna nule, tj. $F_p = 0$.

Brzdící sílu F_b je tedy možné vypočítat užitím následujícího vztahu

$$\begin{aligned}
 F_b = & \frac{\lambda k_{pH} b s (1 + \mu 4\alpha)}{2 \left(\frac{2r_N}{s} + 1 \right)} + \frac{\lambda k_{pG} b s (1 + \mu 3\alpha)}{2 \left(\frac{2r_N}{s} + 1 \right)} + \\
 & + \frac{\lambda k_{pF} b s (1 + \mu 3\alpha)}{2 \left(\frac{2r_W}{s} + 1 \right)} + \frac{\lambda k_{pE} b s (1 + \mu \alpha)}{2 \left(\frac{2r_W}{s} + 1 \right)} + \\
 & + \frac{\lambda k_{pD} b s (1 + \mu \alpha)}{2 \left(\frac{2r_N}{s} + 1 \right)} + \frac{\lambda k_{pC} b s}{2 \left(\frac{2r_N}{s} + 1 \right)}
 \end{aligned} \tag{14}$$

Během procesu ohýbání a narovnávání plechového pásu dochází k jeho postupnému zpevňování a tím také ke zvýšení tažné síly. Přetvárná pevnost k_p tedy není konstantní a v místech od H do A (viz obr.11 a 12) nabývá různých hodnot, které jsou závislé na proběhlé logaritmické deformaci φ . Tuto závislost je možné vyjádřit vztahem

$$k_p = k_{p1} \varphi^n \tag{15}$$

kde k_{p1} je přetvárná pevnost pro logaritmickou deformaci $\varphi = 1$.

Známe-li hodnotu meze pevnosti materiálu R_m a koeficientu zpevnění n je možné pro výpočet přetvárné pevnosti k_{p1} využít vztahu

$$k_{p1} = \left(\frac{e}{n} \right)^n R_m \tag{16}$$

Je-li tedy materiál s hodnotou logaritmické deformace φ_1 dále deformován až na hodnotu logaritmické deformace φ_2 , pak střední hodnotu přetvárné pevnosti získáme ze vztahu

$$k_{pm} = \frac{1}{\varphi_1 - \varphi_2} \left(\frac{e}{n} \right)^n R_m \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} \varphi^n d\varphi = \frac{1}{n+1} \left(\frac{e}{n} \right)^n R_m \frac{\varphi_2^{n+1} - \varphi_1^{n+1}}{\varphi_2 - \varphi_1} \tag{17}$$

Označíme-li $C_w = \left(\frac{e}{n}\right)^n R_m$, pak pro jednotlivá místa H až A (viz obr.11. a

12.) může být vypočtena přetvárná pevnost podle následujícího:

Místo H:

$$k_{pH} = \frac{C_w}{\varphi_N} \int_0^{\varphi_N} \varphi^n d\varphi = C_w \frac{\varphi_N^n}{n+1} \quad (18)$$

Místo G:

$$k_{pG} = \frac{C_w}{\varphi_N} \int_{\varphi_N}^{2\varphi_N} \varphi^n d\varphi = C_w \frac{2^{n+1}-1}{n+1} \varphi_N^n \quad (19)$$

Místo F:

$$k_{pF} = \frac{C_w}{\varphi_W} \int_{2\varphi_N}^{2\varphi_N+\varphi_W} \varphi^n d\varphi = C_w \frac{(2\varphi_N + \varphi_W)^{n+1} - (2\varphi_N)^{n+1}}{(n+1)\varphi_W} \quad (20)$$

Místo E:

$$k_{pE} = \frac{C_w}{\varphi_W} \int_{2\varphi_N+\varphi_W}^{2\varphi_N+2\varphi_W} \varphi^n d\varphi = C_w \frac{(2\varphi_N + 2\varphi_W)^{n+1} - (2\varphi_N + \varphi_W)^{n+1}}{(n+1)\varphi_W} \quad (21)$$

Místo D:

$$k_{pD} = \frac{C_w}{\varphi_N} \int_{2\varphi_N+2\varphi_W}^{3\varphi_N+2\varphi_W} \varphi^n d\varphi = C_w \frac{(3\varphi_N + 2\varphi_W)^{n+1} - (2\varphi_N + 2\varphi_W)^{n+1}}{(n+1)\varphi_N} \quad (22)$$

Místo C:

$$k_{pC} = \frac{C_w}{\varphi_N} \int_{3\varphi_N+2\varphi_W}^{4\varphi_N+2\varphi_W} \varphi^n d\varphi = C_w \frac{(4\varphi_N + 2\varphi_W)^{n+1} - (3\varphi_N + 2\varphi_W)^{n+1}}{(n+1)\varphi_N} \quad (23)$$

Místo B:

$$k_{pB} = \frac{C_w}{\varphi_M} \int_{4\varphi_N+2\varphi_W}^{4\varphi_N+2\varphi_W+\varphi_M} \varphi^n d\varphi = C_w \frac{(4\varphi_N + 2\varphi_W + \varphi_M)^{n+1} - (4\varphi_N + 2\varphi_W)^{n+1}}{(n+1)\varphi_M} \quad (24)$$

Místo A:

$$k_{pA} = \frac{C_w}{\varphi_M} \int_{4\varphi_N+2\varphi_W+\varphi_M}^{4\varphi_N+2\varphi_W+2\varphi_M} \varphi^n d\varphi = C_w \frac{(4\varphi_N + 2\varphi_W + 2\varphi_M)^{n+1} - (4\varphi_N + 2\varphi_W + \varphi_M)^{n+1}}{(n+1)\varphi_M} \quad (25)$$

Poměrná deformace ε při ohýbání se vypočte ze vztahu

$$\varepsilon = \frac{\frac{s}{2}}{\varsigma} \quad (26)$$

kde ς je poloměr zakřivení střední vrstvy.

Pomocí známého vztahu mezi poměrnou a logaritmickou deformací

$\varphi = \ln(1 + \varepsilon)$ můžeme určit následující logaritmické deformace

$$\varphi_N = \ln \left[1 + \frac{1}{\left(\frac{2r_N}{s} + 1 \right)} \right] \quad (27)$$

$$\varphi_M = \ln \left[1 + \frac{1}{\left(\frac{2r_M}{s} + 1 \right)} \right] \quad (28)$$

$$\varphi_W = \ln \left[1 + \frac{1}{\left(\frac{2r_W}{s} + 1 \right)} \right] \quad (29)$$

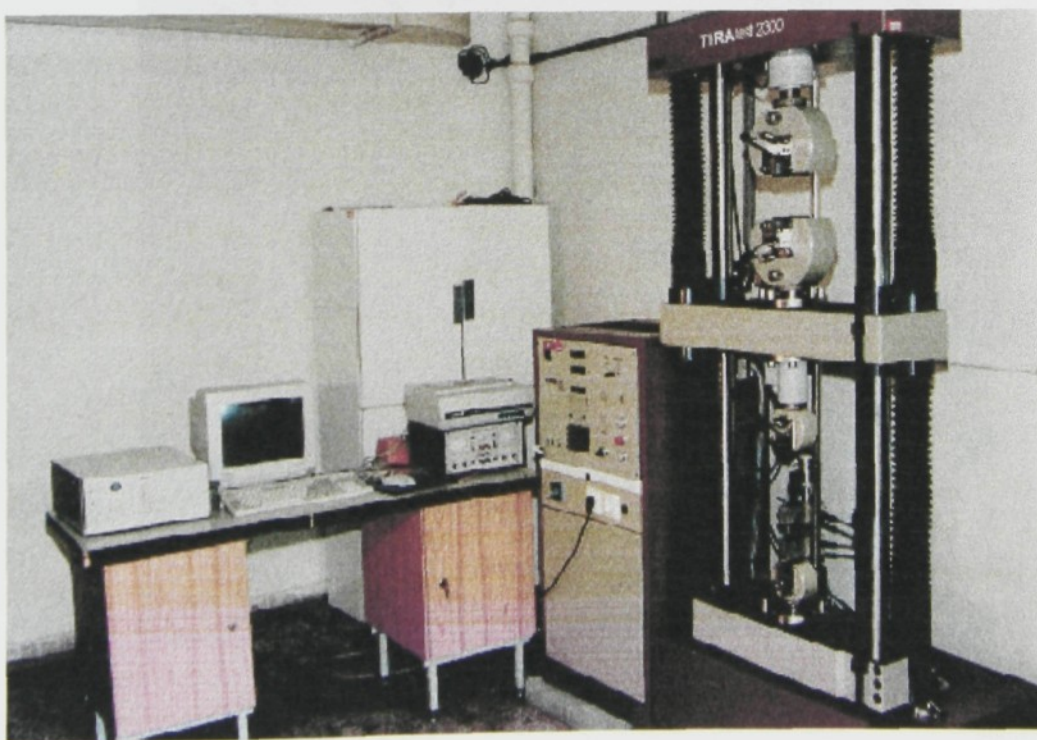
Uvedený model pro výpočet tažné síly byl použit k jejímu výpočtu (viz dále) aby bylo možno porovnat teoreticky vypočtené hodnoty tažných sil s hodnotami, které byly zjištěny experimentálně.

5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5.1 Měřicí zařízení

K experimentálnímu hodnocení brzdícího účinku různých variant profilů brzdících lišt a tažných hran bylo použito univerzálního zkušebního přípravku (viz kap. 5.2.1). Přípravek je doplňkovým zařízením zkušebního stroje TIRA test 2300, jež je na obrázku 15. Součástí zařízení je ještě navíc hydraulický systém, pomocí kterého vyvodíme potřebnou sílu k sevření čelistí. Pásek byl postupně tažen a ohýbán mezi jednou přitlačnou a druhou pevnou čelistí s brzdící lištou, jejich vzdálenost byla postupně měněna, a na výstupu ohýbán o 90° .

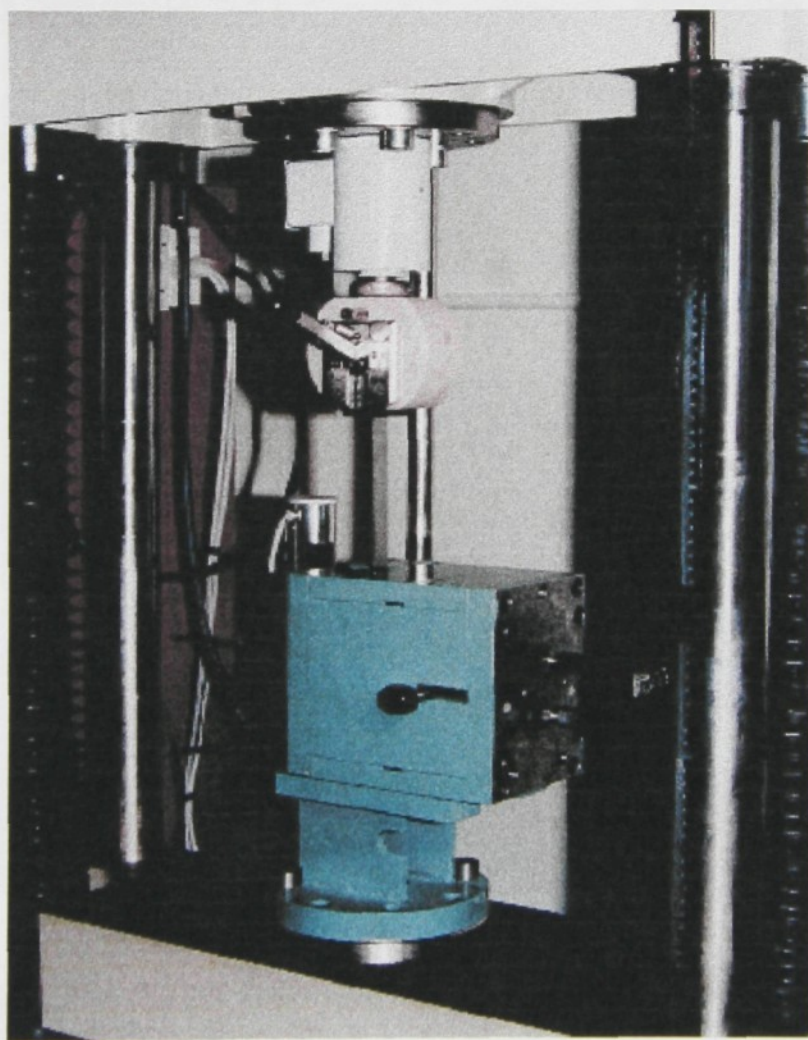
Výsledkem jednotlivých měření jsou hodnoty tažných sil při tažení pásku přes brzdící lištu a tažnou hranu (výstupní rádius) F_t , popř. hodnoty brzdících sil při tažení mezi čelistmi pouze přes brzdící lištu F_b .



Obr.15. Stroj TIRA test 2300 pro zkoušku tahem.

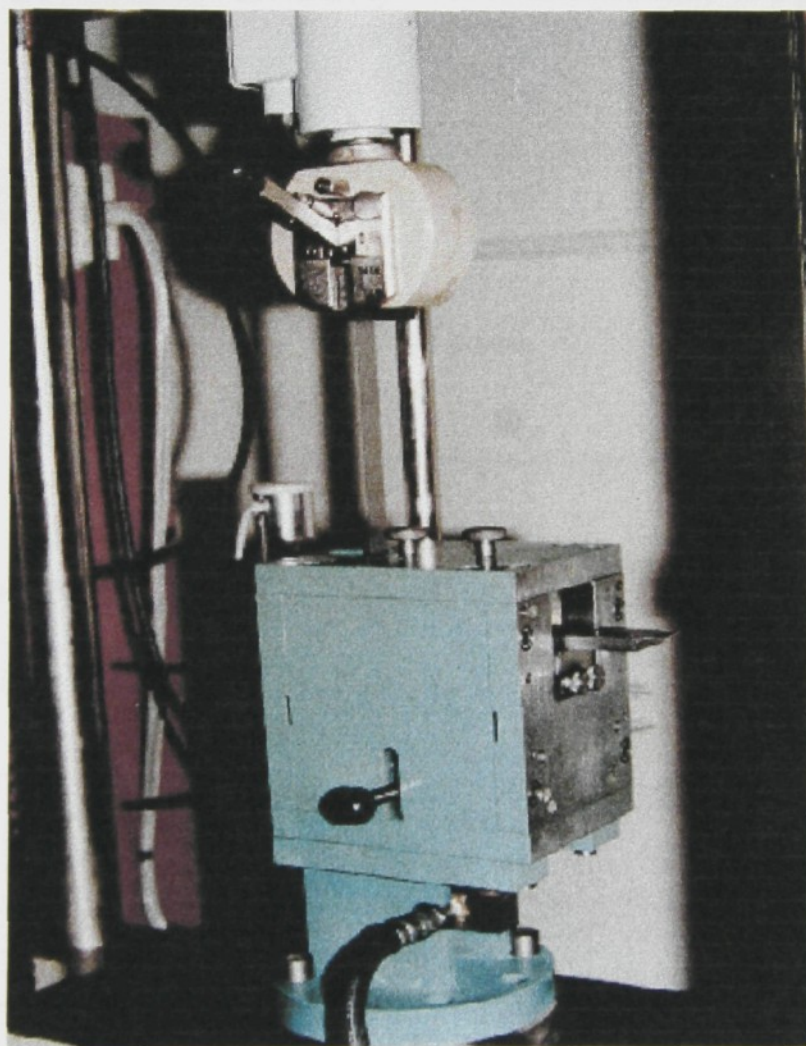
5.1.1 Nástroje pro protahování pásků

Veškerá měření (popsaná v kapitole 5.3) byla provedena na trhacím stroji TIRA test 2 300 (obr.15.) za použití nástroje vyvinutém na TU Liberec katedrou tváření kovů a plastů. Ke zjištění brzdícího účinku lišty byl použit nástroj pro tažení pásků mezi tažnicí a přidržovačem přes brzdící lištu, jež je na obr.16.



Obr.16. Nástroj pro tažení pásků mezi tažnicí a přidržovačem přes brzdící lištu

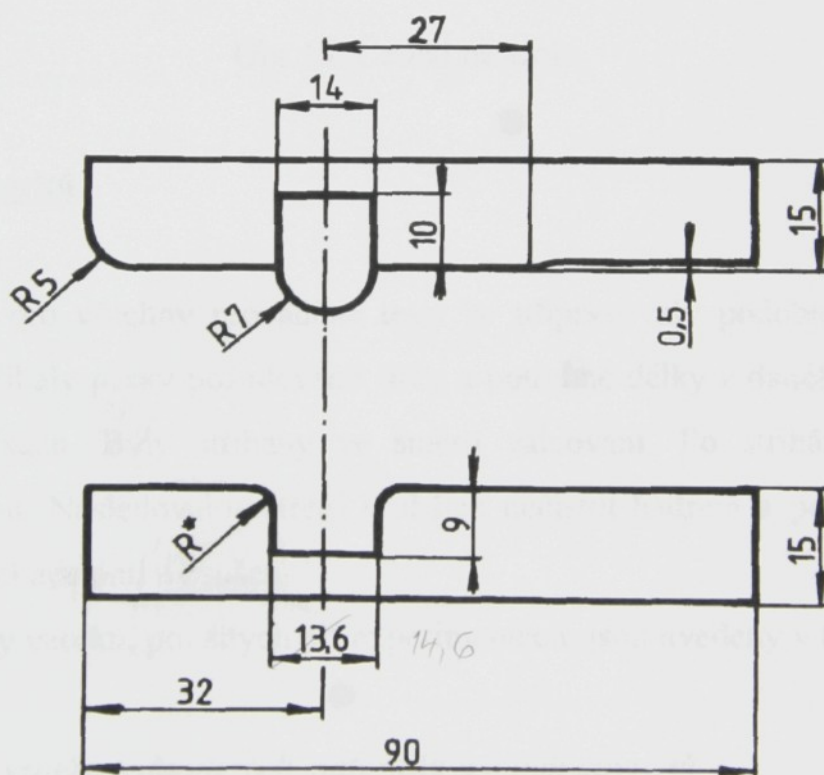
Obrázek 17. představuje nástroj pro tažení pásků mezi tažnicí a přidržovačem přes brzdící lištu a tažnou hranu (výstupní rádius), při jehož použití byly získány hodnoty tažných sil.



Obr.17. Nástroj pro tažení pásků mezi tažnicí a přidržovačem přes brzdící lištu a tažnou hranu

5.1.1.1 Geometrie nástroje

Geometrii použité brzdící lišty a dalších funkčních částí nástroje plně vystihuje obr.18., kde veškeré rozměry jsou pro všechna měření stejné, kromě rádiusu drážky v přidržovači. Tento byl měněn dle potřeby měření a jeho velikost nabývala hodnot $R^*=3,0\text{mm}$; $3,5\text{mm}$; $4,0\text{mm}$; $4,5\text{mm}$. Při návrhu této geometrie bylo možno vycházet z rozličných zdrojů, viz kap.4., neboť u nás zatím není tato část tvářecího nástroje normalizována. Vzhledem ke spolupráci s podnikem Škoda a.a.s. Mladá Boleslav byla použita brzdící lišta poloměru 7mm a šířky 14 mm, která se v tomto podniku používá.



Obr.18. Geometrie brzdící lišty a funkčních částí nástroje



Obr.19. Čelisti nástroje

5.2 Příprava vzorků

Vzorky pro všechny prováděné testy se připravovaly podobným způsobem. Nejprve se nastříhaly pásky požadované šířky a potřebné délky z daného materiálu na tabulových nůžkách. Byly stříhány ve směru válcování. Po stříhání následovalo odstranění otřepů. Následovalo setření hrubších nečistot hadrem a poté byl materiál odmaštěn pomocí acetonu a osušen.

Rozměry vzorků, použitých při experimentech, jsou uvedeny v tab.1.

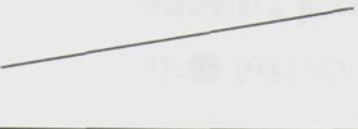
Tab.1. Rozměry vzorků jednotlivých materiálů a jejich povrchů.

Materiál	Tloušťka pásku s [mm]	Šířka pásku b [mm]
Fe P05 ZE 75/75 PH	0,80	20,52
Fe P05 ZE 75/75	0,80	20,52
St06 Z 100MB	0,75	20,52

5.2.1 Charakteristiky materiálů, použitých pro experimenty

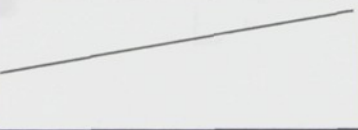
Pro velkou většinu měření byl použit materiál s povrchem elektrolyticky zinkovaným a fosfátovaným Fe P05 ZE 75/75 PH (VA). Mechanické vlastnosti získané zkouškou tahem (průměrné hodnoty tří měření) uvádí tabulka 2. [12].

Tab.2. Základní mechanické vlastnosti materiálu Fe P05 ZE 75/75 PH (VA) [12]

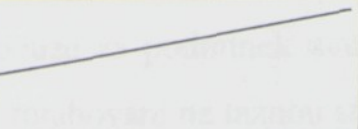
	R_m [MPa]	$R_p\ 0,2$ [MPa]	A_{80} [%]	A_H [%]	n [-]	r [-]
Ve směru válcování	302,6	171,5	46,4	27,5	0,225	1,60
Ve směru kolmém na směr válcování	293,4	172,9	44,2	24,1	0,212	1,88

Pro řadu srovnávacích měření byl dále použit materiál s povrchem elektrolyticky zinkovaným Fe P05 ZE 75/75 (VA) a materiál s povrchem žárově zinkovaným St06 Z 100MB (S), jejichž mechanické hodnoty jsou uvedeny v tab.3. a tab.4. [12].

Tab.3. Základní mechanické vlastnosti materiálu Fe P05 ZE 75/75 (VA) [12]

	R_m [MPa]	$R_p\ 0,2$ [MPa]	A_{80} [%]	A_H [%]	n [-]	r [-]
Ve směru válcování	297,8	173,5	45,8	27,5	0,218	1,50
Ve směru kolmém na směr válcování	292,9	178,3	44,3	24,5	0,209	1,88

Tab.4. Základní mechanické vlastnosti materiálu St06 Z 100MB (S) [12]

	R_m [MPa]	$R_p\ 0,2$ [MPa]	A_{80} [%]	A_H [%]	n [-]	r [-]
Ve směru válcování	293,3	145,0	49,0	28,6	0,251	1,50
Ve směru kolmém na směr válcování	290,7	152,3	49,6	27,4	0,247	1,84

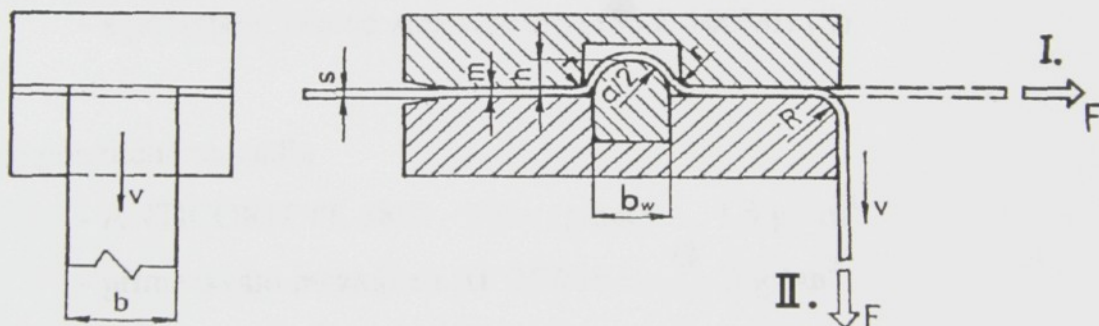
5.3 Popis měření

Prováděné experimenty je možné rozdělit do dvou základních oblastí:

I. Protahování mezi tažnicí a přidržovačem přes brzdící lištu (obr.20.), ke zjištění brzdícího účinku lišty

Toto měření bylo provedeno pouze za těchto podmínek:

- materiál s povrchem elektrolyticky zinkovaným a fosfátovaným Fe P05 ZE 75/75 PH (VA)
- mezera mezi přidržovačem a tažnicí $m_p = 1,05s$
- brzdící lišta - poloměr $R = 7 \text{ mm}$, (šířka $b_w = 14 \text{ mm}$)
- drážka v přidržovači - poloměr $R^* = 3 \text{ mm}$, šířka $b_w^* = 14,6 \text{ mm}$
- mazadlo ANTICORIT PL 3802-39Lv ($1,5 \text{ g / m}^2$)



Obr.20. Varianty protahování pásku

II. Protahování mezi tažnicí a přidržovačem přes brzdící lištu a přes tažnou hranu (obr.20)

A) Protahování pásků při různých rychlostech $v = 1; 5; 10 \text{ mm/s}$, rovněž pouze za podmínek uvedených v bodě I., z čehož je možné posoudit i vliv rychlosti protahování na tažnou sílu.

B) Protahování přes brzdící lištu o poloměru $R = 7 \text{ mm}$, šířky $b_w = 14 \text{ mm}$ a tažnou hranu (výstupní rádius) $R = 5 \text{ mm}$.

Toto měření bylo provedeno při uplatnění vybraných variant, a to:

a) konstrukčního řešení nástroje

- mezera mezi přidržovačem a tažnicí $m_p = 1,05s ; 1,1s ; 1,15s ; 1,2s$
- drážka v přidržovači
 - rádius $R^* = 3,0 \text{ mm}; 3,5 \text{ mm}; 4,0 \text{ mm}; 4,5 \text{ mm}$
 - šířka $b_w^* = 14,6 \text{ mm}$

b) zpracovaného materiálu (plechu) - protahování pásků bylo provedeno pro následující materiály a jejich povrchy:

- s povrchem elektrolyticky zinkovaným a fosfátovaným
Fe P05 ZE 75/75 PH (VA)
- s povrchem elektrolyticky zinkovaným Fe P05 ZE 75/75 (VA)
- s povrchem žárově zinkovaným St06 Z 100MB (S)

c) použitého mazadla

- ANTICORIT PL 3802 - 39Lv (prací) $1,5 \text{ g} / \text{m}^2$
- přimazávání mazadlem AP 257/38 $5 \text{ g} / \text{m}^2$

Testovaný materiál byl vždy mazán. Nejprve pomocí mazadla ANTICORIT PL 3802-39Lv a při druhém měření pomocí ANTICORIT PL 3802-39Lv + AP 257/38.

Při protahování pásků byly zaznamenávány závislosti tažné síly F_t , resp. brzdící síly F_b na dráze, které charakterizují jednotlivé varianty měření. Pro všechny varianty uvedené v této kapitole byly provedeny tři měření. Pokud není uvedeno jinak, pásky plechu byly protahovány rychlostí 10 mm/s. Volba materiálu vzorků a nástrojů byla provedena, stejně jako volba použitých mazadel, z hlediska spolupráce a potřeb Škoda a.a.s. Mladá Boleslav.

5.4 Výsledky měření a jejich vyhodnocení

Hodnoty tažných sil jsou přehledně zaneseny do tabulky 5. až 7. a grafické závislosti tažných sil na dráze jsou uvedeny v příloze.

Vyhodnocení účinku brzdící lišty je dáno velikostí síly po ustálení průchodu pásku zkušebním zařízením. Ze záznamů tažné síly je patrné, že charakter průběhu síly zpočátku prudce stoupá a po dosažení maxima se ustálí na určité hodnotě nebo kolem této hodnoty nepatrně kolísá.

5.4.1 Brzdící účinek lišty

Snímaná brzdící síla F_b je graficky znázorněna na obrázku 21., kde je navíc pro srovnání zanesena i tažná síla F_t získaná při tažení přes lištu a tažnou hranu za stejných podmínek měření.

Naměřené hodnoty brzdící a tažné síly:

$$F_b = 2,38 \text{ kN}$$

$$F_t = 3,52 \text{ kN}$$

5.4.2 Vliv rychlosti tažení

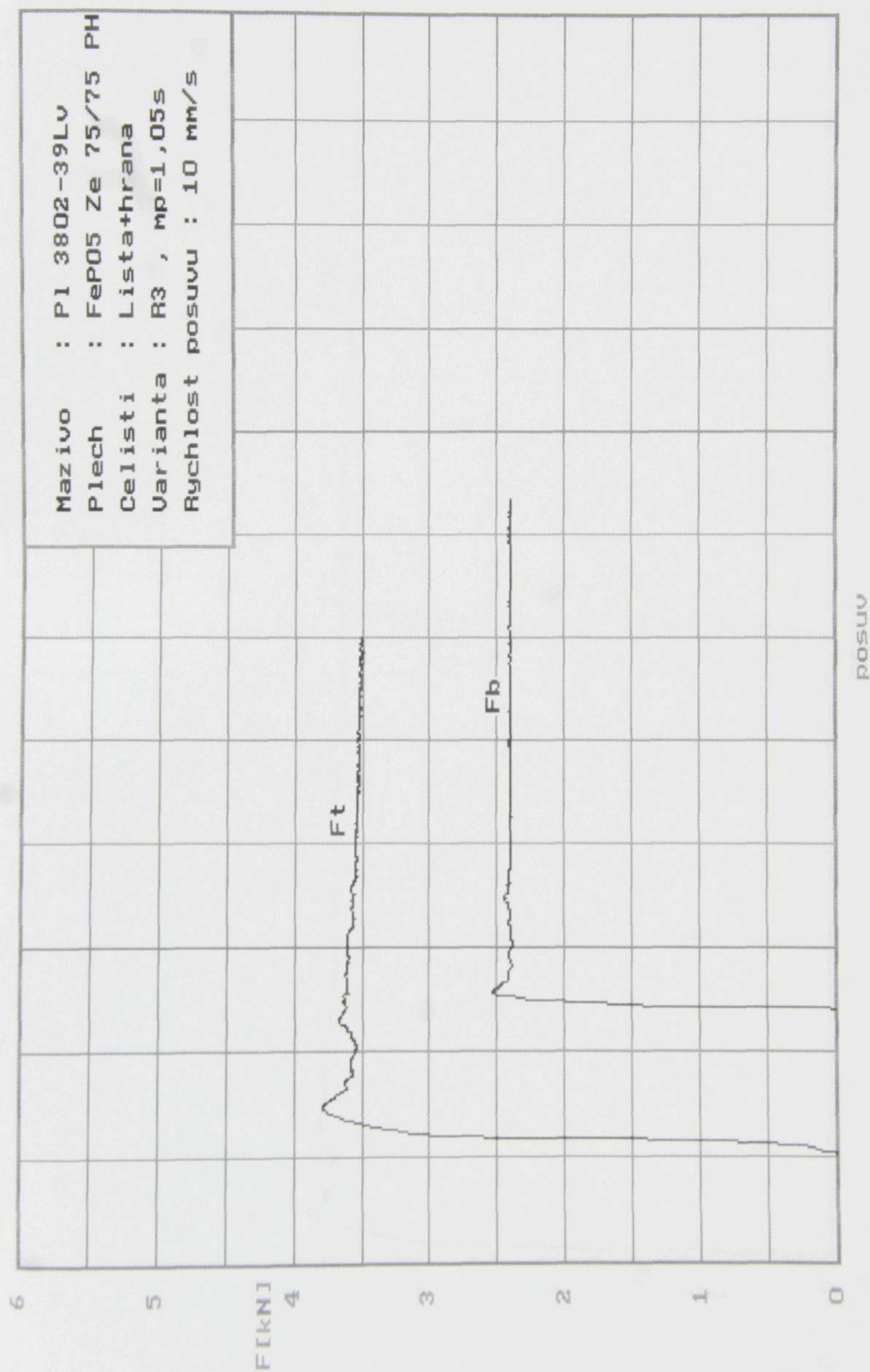
Pro určení vlivu rychlosti protahování pásku na velikosti tažné síly byly, za podmínek již uvedených v odstavci 5.3. I., protahovány pásy při rychlostech $v = 1, 5, 10$ mm/s. Na obrázku 22. jsou znázorněny pro jednotlivé rychlosti tažení průběhy tažných sil, jejichž hodnoty jsou:

$$v = 1 \text{ mm/s} \dots\dots\dots F_t = 3,76 \text{ kN}$$

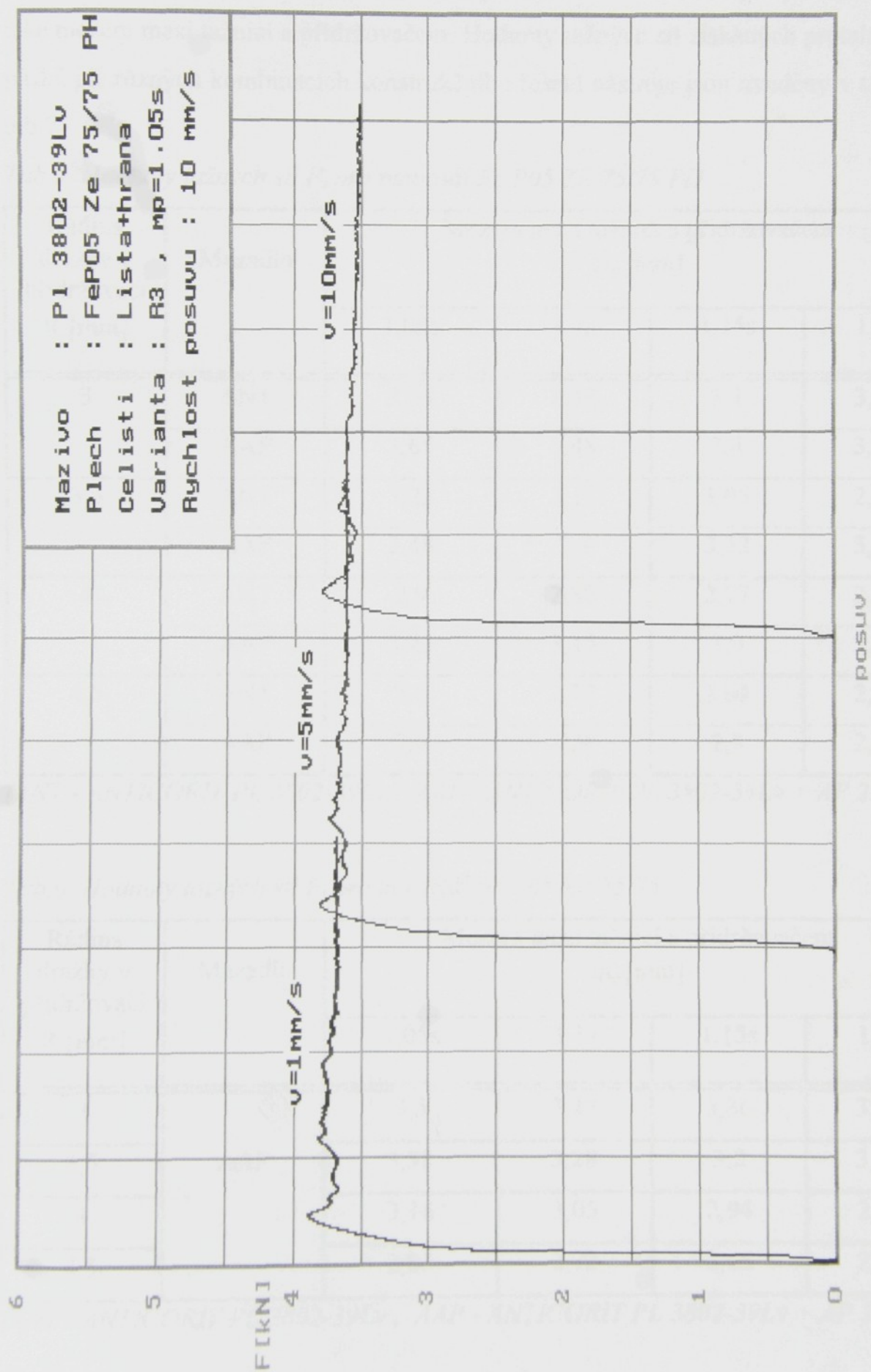
$$v = 5 \text{ mm/s} \dots\dots\dots F_t = 3,60 \text{ kN}$$

$$v = 10 \text{ mm/s} \dots\dots\dots F_t = 3,52 \text{ kN}$$

Z jednotlivých průběhů tažných sil je možno konstatovat, že s rostoucí rychlostí tažení mírně klesá hodnota tažné síly.



Obr.21. Průběh brzdící síly F_b a tažné síly F_t



Obr.22. Průběhy tažných sil pro různé rychlosti ($v = 1, 5, 10 \text{ mm/s}$)

5.4.3 Vliv konstrukčního řešení nástroje

Při tomto měření byl měněn jednak poloměr zaoblení drážky v přidržovači, ale také mezera mezi tažnicí a přidržovačem. Hodnoty tažných sil získaných protahováním pásků při různých kombinacích konstrukčního řešení nástroje jsou uvedeny v tab.5. až tab.7.

Tab.5. Hodnoty tažných sil F_t pro materiál Fe P05 ZE 75/75 PH

Rádus drážky v přidržovači R [mm]	Mazadlo	Mezera mezi tažnicí a přidržovačem m_p [mm]			
		1,05s	1,1s	1,15s	1,2s
3	ANT	3,55	3,45	3,1	3,02
	AAP	3,65	3,48	3,4	3,19
3,5	ANT	3,22	3,17	3,05	2,88
	AAP	3,48	3,4	3,32	3,12
4	ANT	2,9	2,82	2,77	2,72
	AAP	3,23	3,15	3,0	2,76
4,5	ANT	2,8	2,72	2,64	2,46
	AAP	3,0	2,9	2,8	2,71

(ANT - ANTICORIT PL 3802-39Lv , AAP - ANTICORIT PL 3802-39Lv + AP 257/38)

Tab.6. Hodnoty tažných sil F_t pro materiál Fe P05 ZE 75/75

Rádus drážky v přidržovači R [mm]	Mazadlo	Mezera mezi tažnicí a přidržovačem m_p [mm]			
		1,05s	1,1s	1,15s	1,2s
3	AAP	3,5	3,43	3,36	3,17
3,5		3,38	3,28	3,2	3,13
4		3,16	3,05	2,94	2,78
4,5		2,85	2,72	2,66	2,52

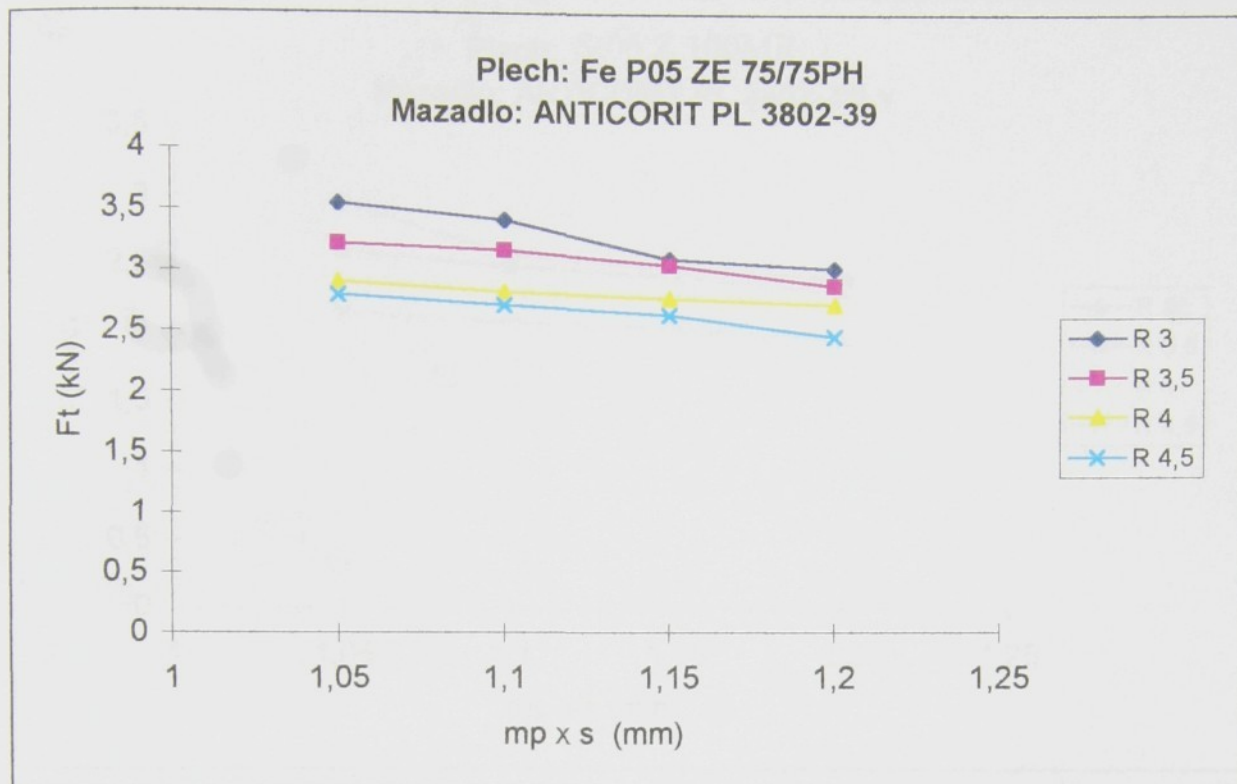
(ANT - ANTICORIT PL 3802-39Lv , AAP - ANTICORIT PL 3802-39Lv + AP 257/38)

Tab.7. Hodnoty tažných sil F_t pro materiál St06 Z 100MB

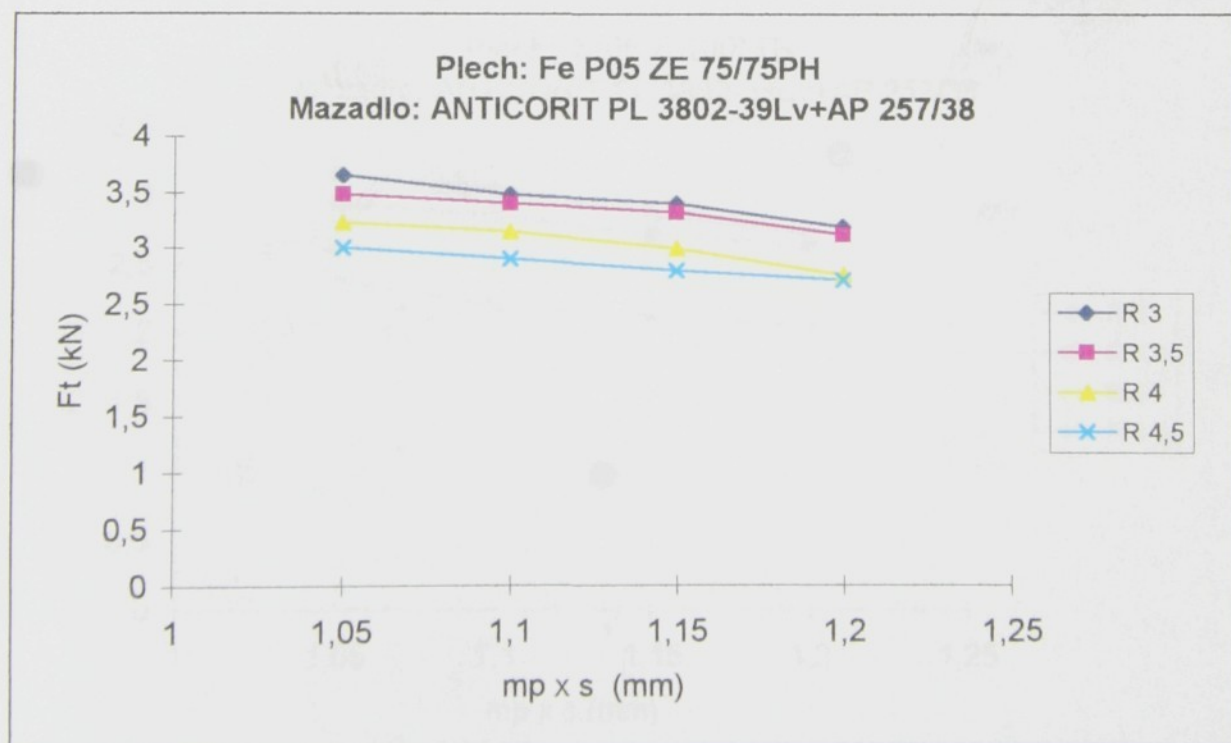
Rádus drážky v přídržovači R [mm]	Mazadlo	Mezera mezi tažnicí a přídržovačem m_p [mm]			
		1,05s	1,1s	1,15s	1,2s
3	ANT	2,96	2,58	2,5	2,42
	AAP	3,16	3,06	2,86	2,74
3,5	ANT	2,6	2,5	2,44	2,32
	AAP	2,94	2,86	2,72	2,65
4	ANT	2,4	2,34	2,29	2,25
	AAP	2,6	2,48	2,4	2,3
4,5	ANT	2,16	2,1	2,06	1,98
	AAP	2,38	2,2	2,12	2,05

(ANT - ANTICORIT PL 3802-39Lv , AAP - ANTICORIT PL 3802-39Lv + AP 257/38)

Vliv poloměru zaoblení hrany žlábků v přídržovači a mezery mezi tažnicí a přídržovačem pro všechny materiály a obě mazadla je vidět na obr.23. až obr.27. Je jasné, že největší tažné síly byly naměřeny pro nejmenší rádus $R^* = 3\text{mm}$ a nejmenší mezeru $m_p = 1,05\text{s}$, jelikož zde docházelo k největšímu tření. Se zvětšující se mezerou mezi tažnicí a přídržovačem, ale i se zvětšujícím se poloměrem zaoblení hrany v přídržovači, velikost tažné síly mírně klesá.



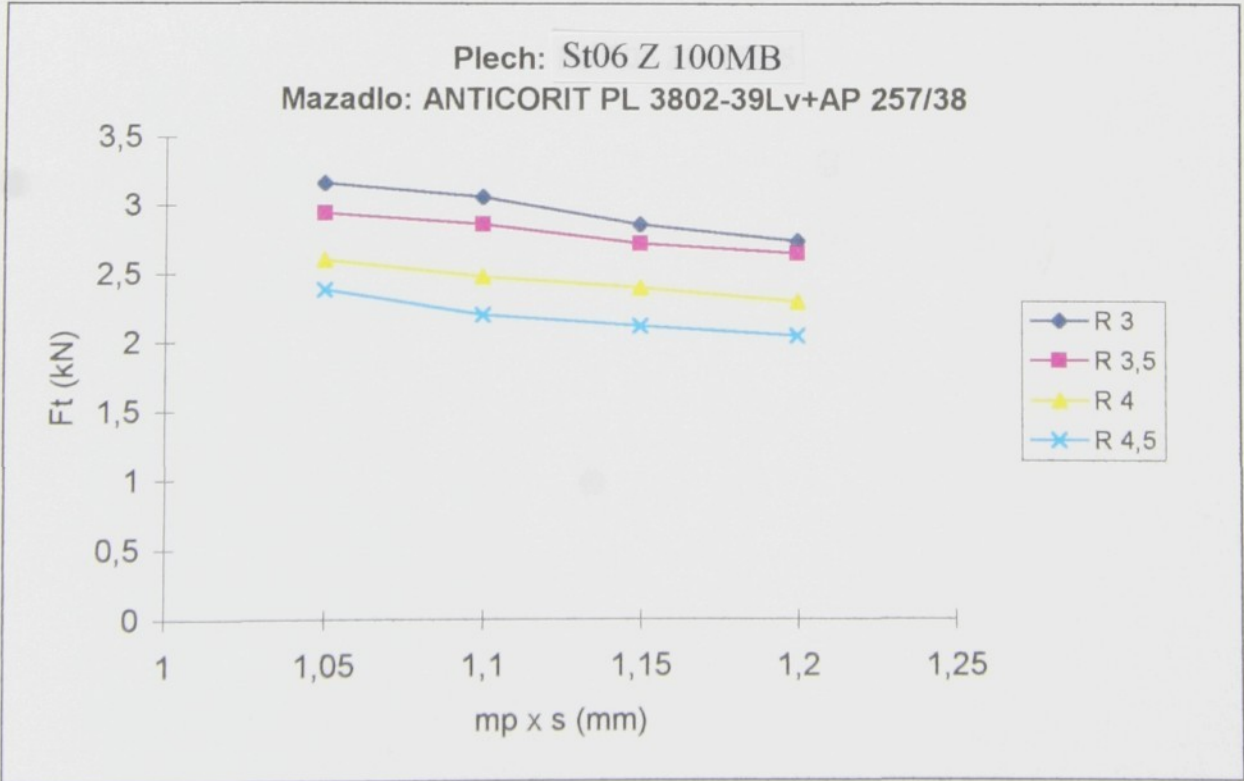
Obr.23. Závislost tažné síly F_t na velikosti mezery m_p mezi tažnicí a přidržovačem pro různé rádiusy hrany žlábků v přidržovači



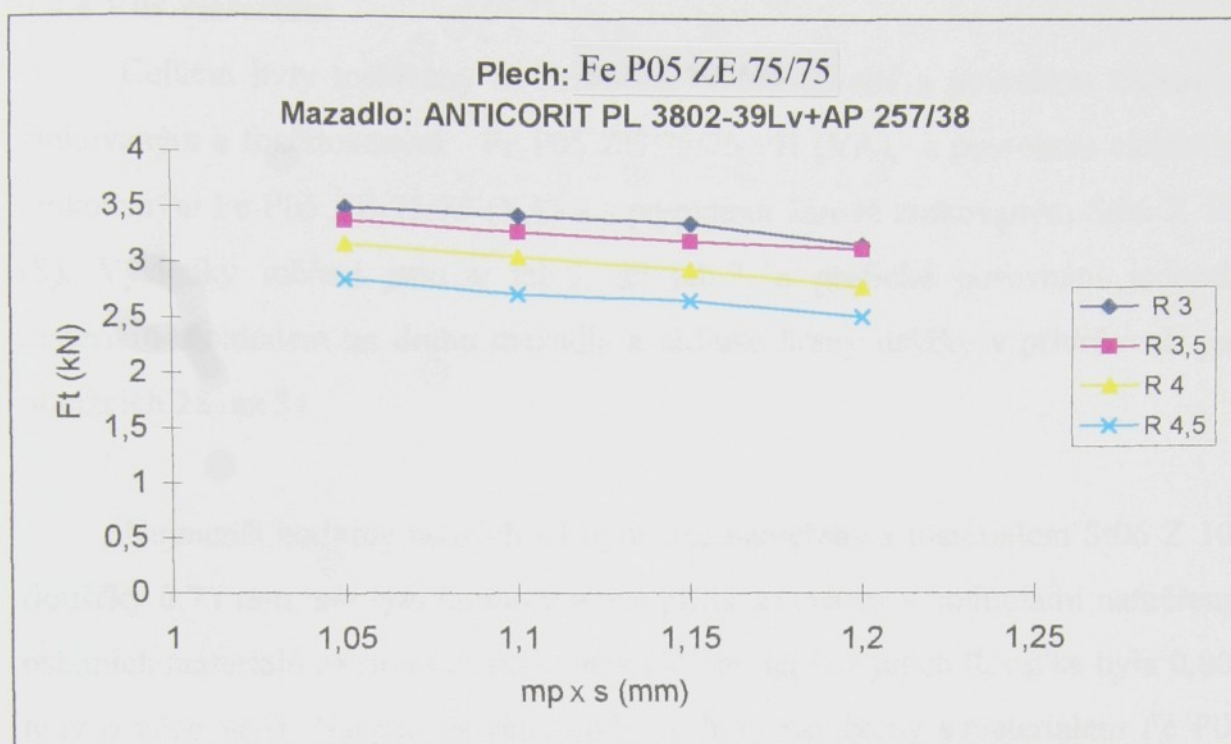
Obr.24. Závislost tažné síly F_t na velikosti mezery m_p mezi tažnicí a přidržovačem pro různé rádiusy hrany žlábků v přidržovači



Obr.25. Závislost tažné síly F_t na velikosti mezery m_p mezi tažnicí a přidržovačem pro rádius hrany žlábků v přidržovači



Obr.26. Závislost tažné síly F_t na velikosti mezery m_p mezi tažnicí a přidržovačem pro rádius hrany žlábků v přidržovači

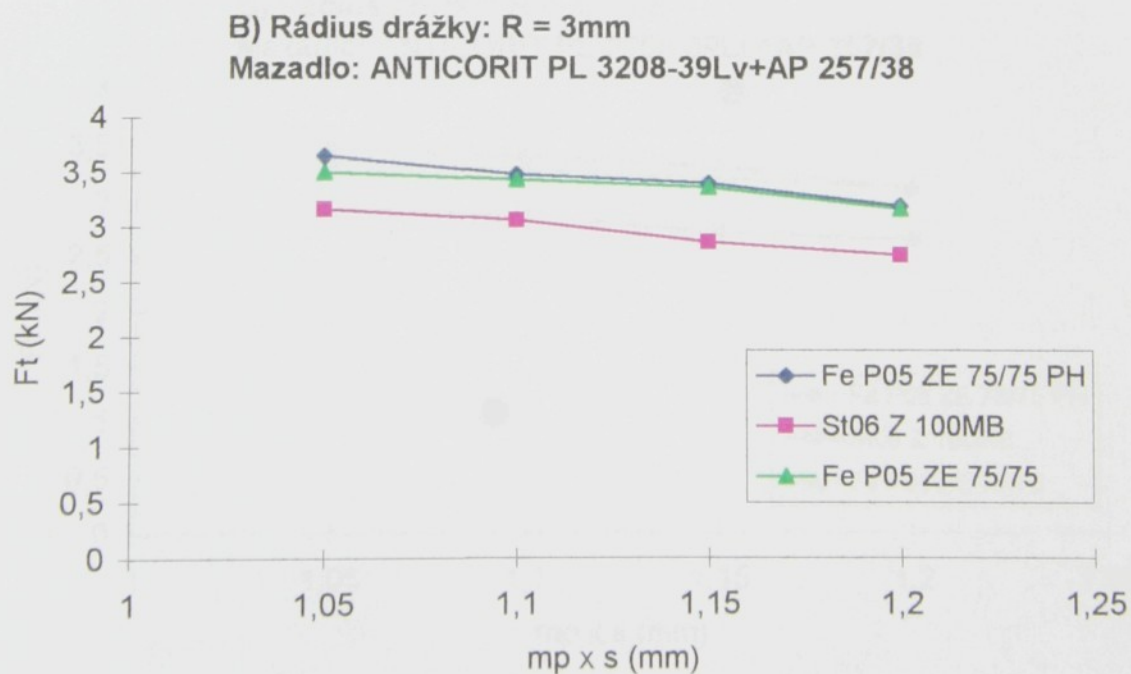
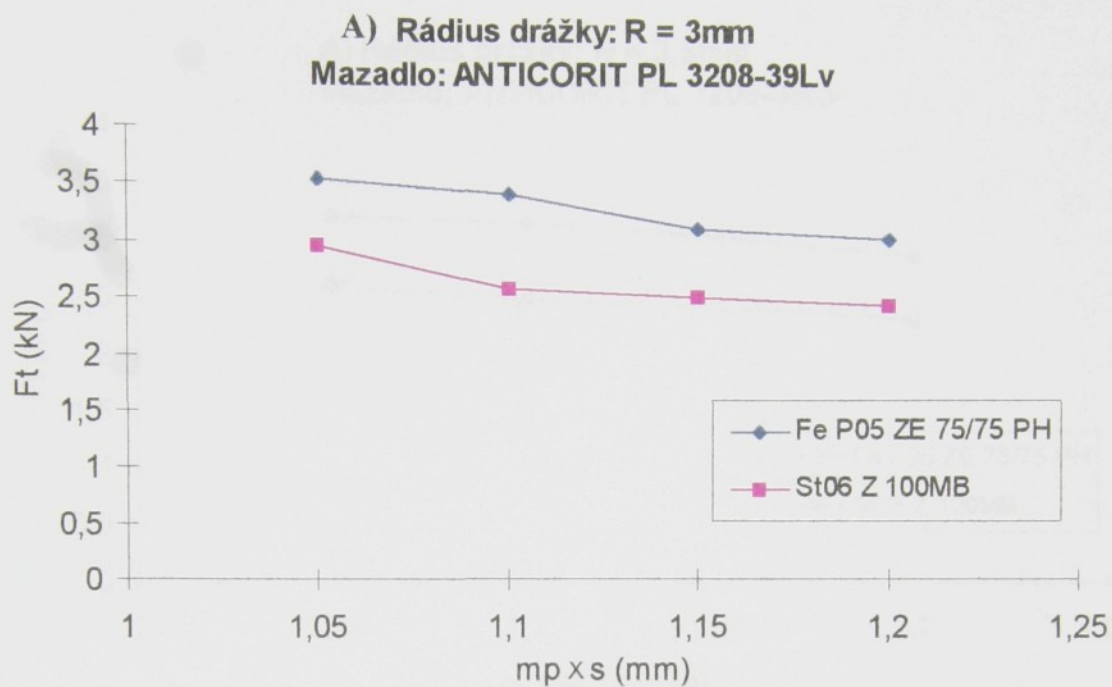


Obr.27. Závislost tažné síly F_t na velikosti mezery m_p mezi tažnicí a přidržovačem pro rádius hrany žlábků v přidržovači

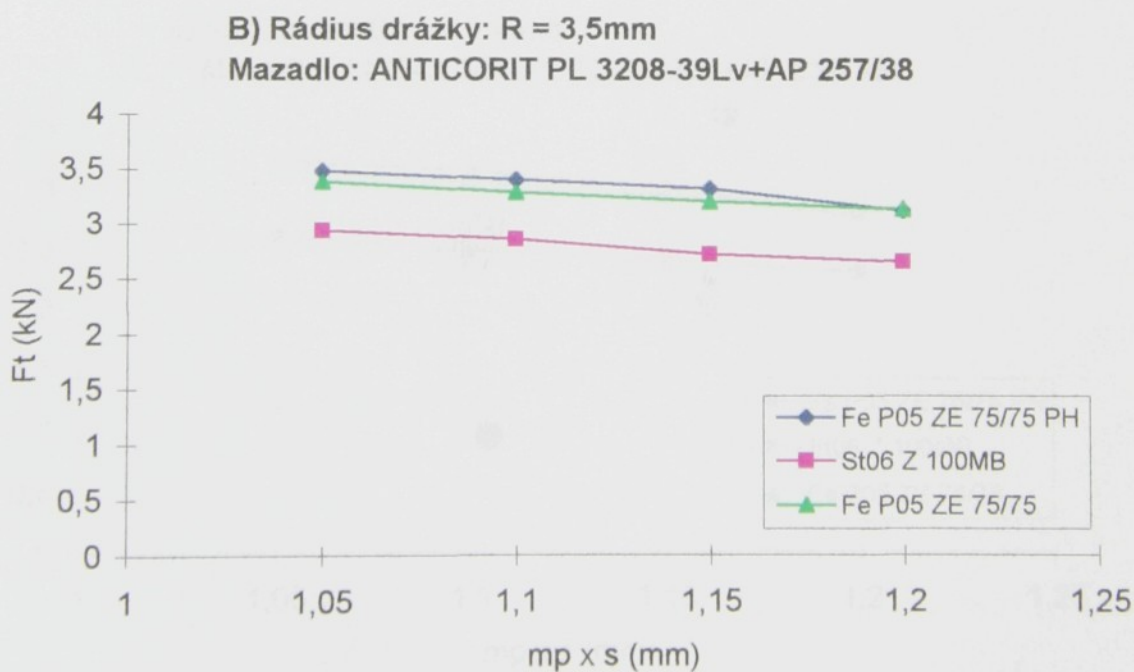
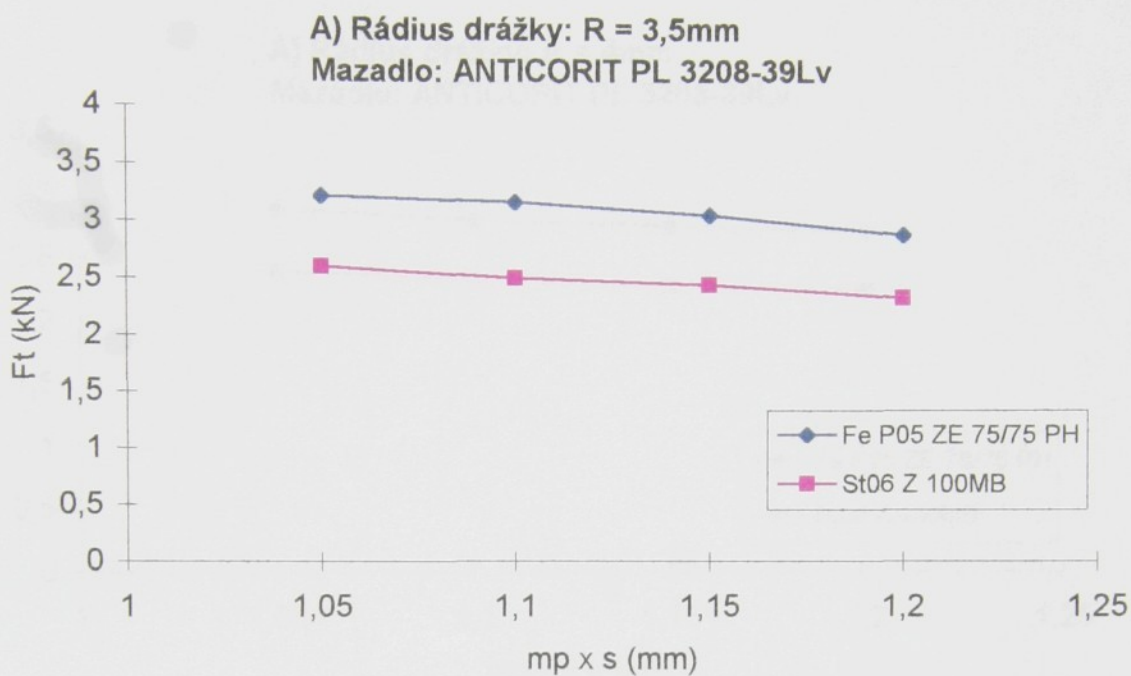
5.4.4 Vliv materiálu

Celkem byly testovány tři materiály, a to materiál s povrchem elektrolyticky zinkovaným a fosfátovaným Fe P05 ZE 75/75 PH (VA), s povrchem elektrolyticky zinkovaným Fe P05 ZE 75/75 (VA) a s povrchem žárově zinkovaným St06 Z 100MB (S). Výsledky měření jsou v tab.5. až tab.7. a grafické porovnání jednotlivých materiálů s ohledem na druhu mazadla a rádiusu hrany drážky v přídržovači jsou na obrázcích 28. až 31.

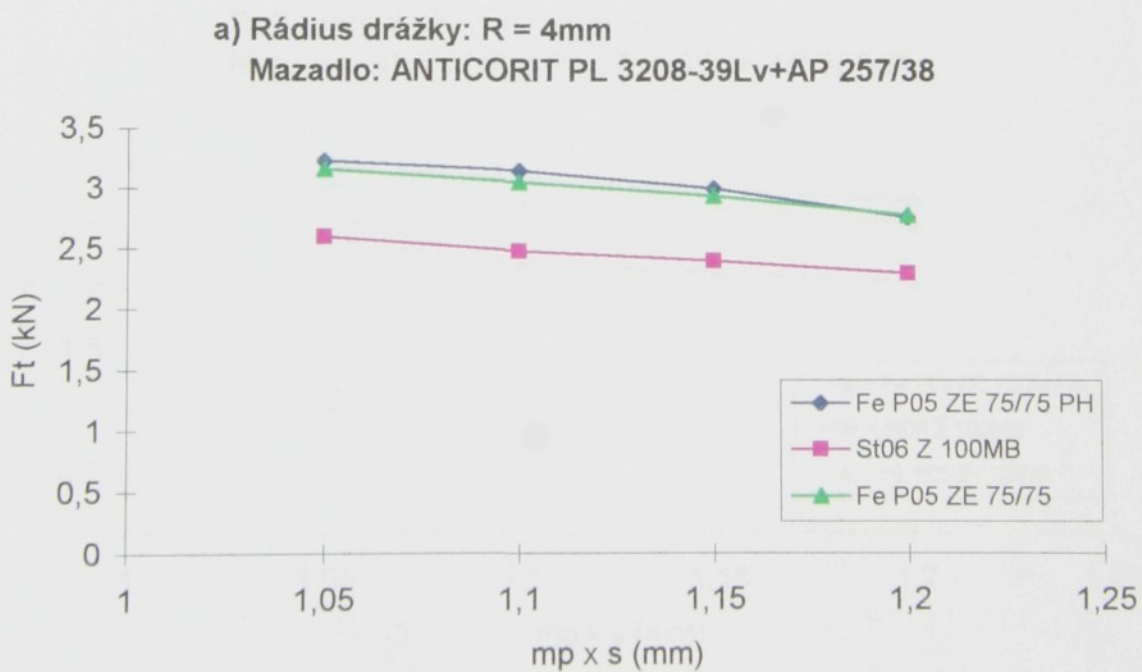
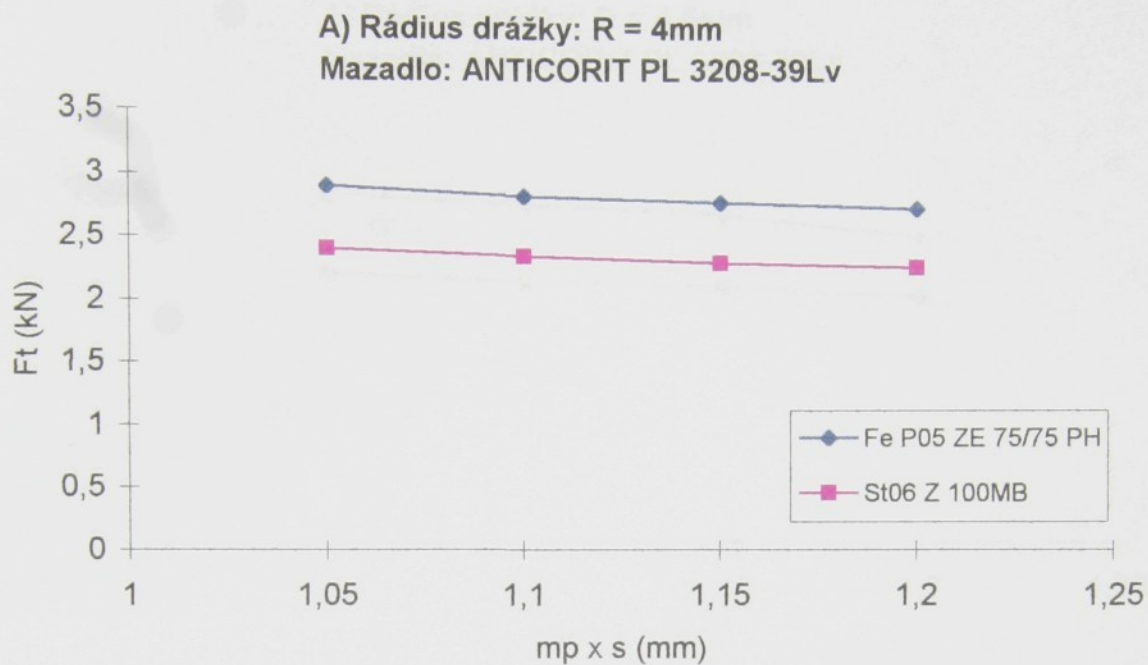
Nejmenší hodnoty tažných sil byly sice naměřeny s materiálem St06 Z 100MB tloušťky 0,75 mm, ale tyto hodnoty nelze příliš srovnávat s hodnotami naměřenými u ostatních materiálů za stejných podmínek měření, jelikož jejich tloušťka byla 0,80 mm, tedy o něco větší. Naopak největší hodnoty byly naměřeny s materiálem Fe P05 ZE 75/75 při testování mazadla ANTICORIT PL 3802 - 39Lv, u kterého dokonce docházelo k zadírání. Z obr.32. je možné vidět, jak se tažná síla neustále zvyšuje při protahování dalších vzorků a nakonec dojde po protažení určitého počtu pásků i k jeho přetržení. Toto by mohlo být způsobeno použitím nevhodného materiálu čelistí nebo použitím nevhodného mazadla. Abychom byli schopni dělat nějaké závěry, bylo by nutné provést řadu dalších zkoušek, které by objasnily tuto problematiku. Pokud bylo použito mazadlo ANTICORIT PL 3802 - 39Lv s přimazáváním mazadlem AP 257/38 k zadírání již nedocházelo a v porovnání s materiálem Fe P05 ZE 75/75 PH bylo zapotřebí k protažení pásku plechu i o něco menší tažné síly.



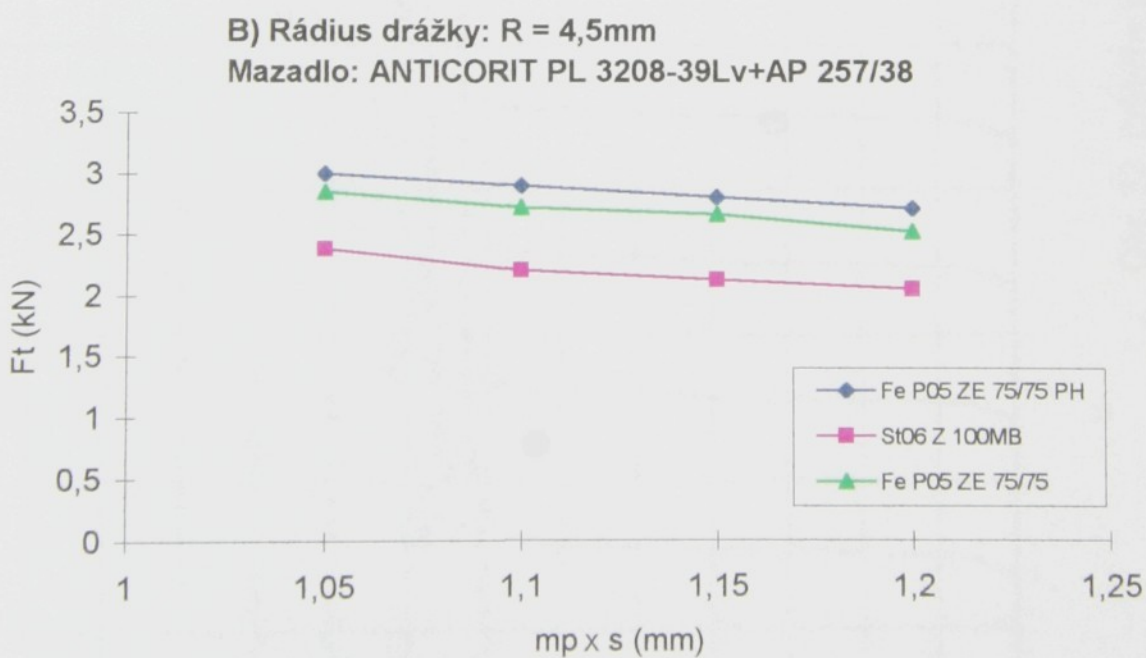
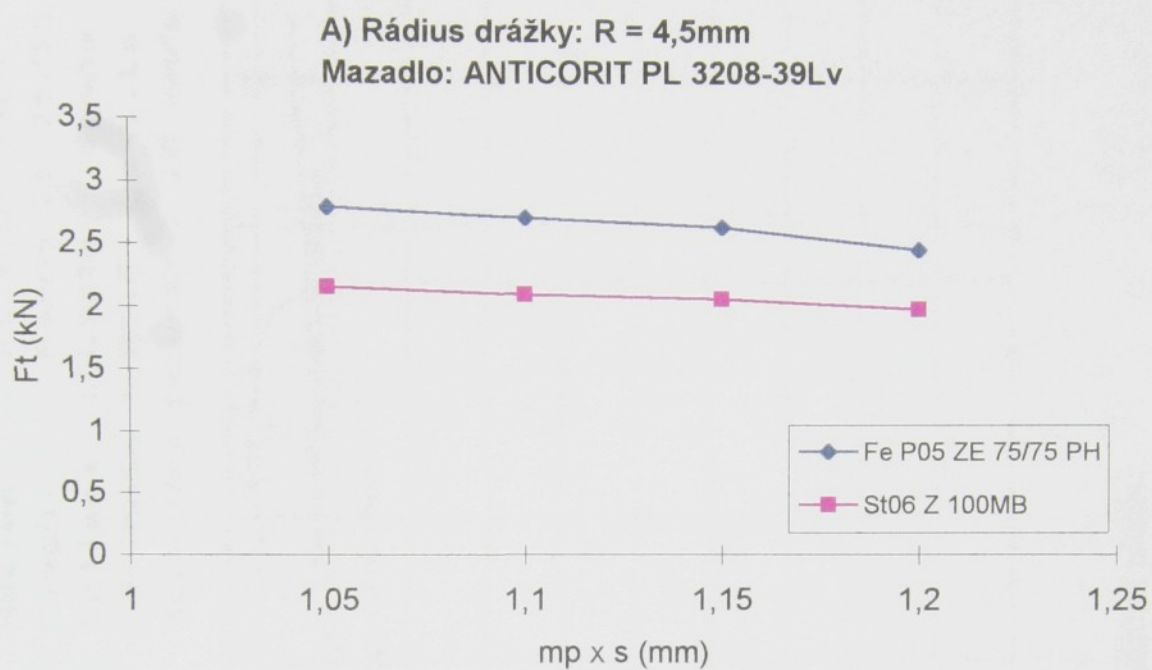
Obr.28. Závislost tažné síly F_t na velikosti mezery mezi tažnicí a přidržovačem pro rádus drážky v přidržovači $R = 3\text{mm}$



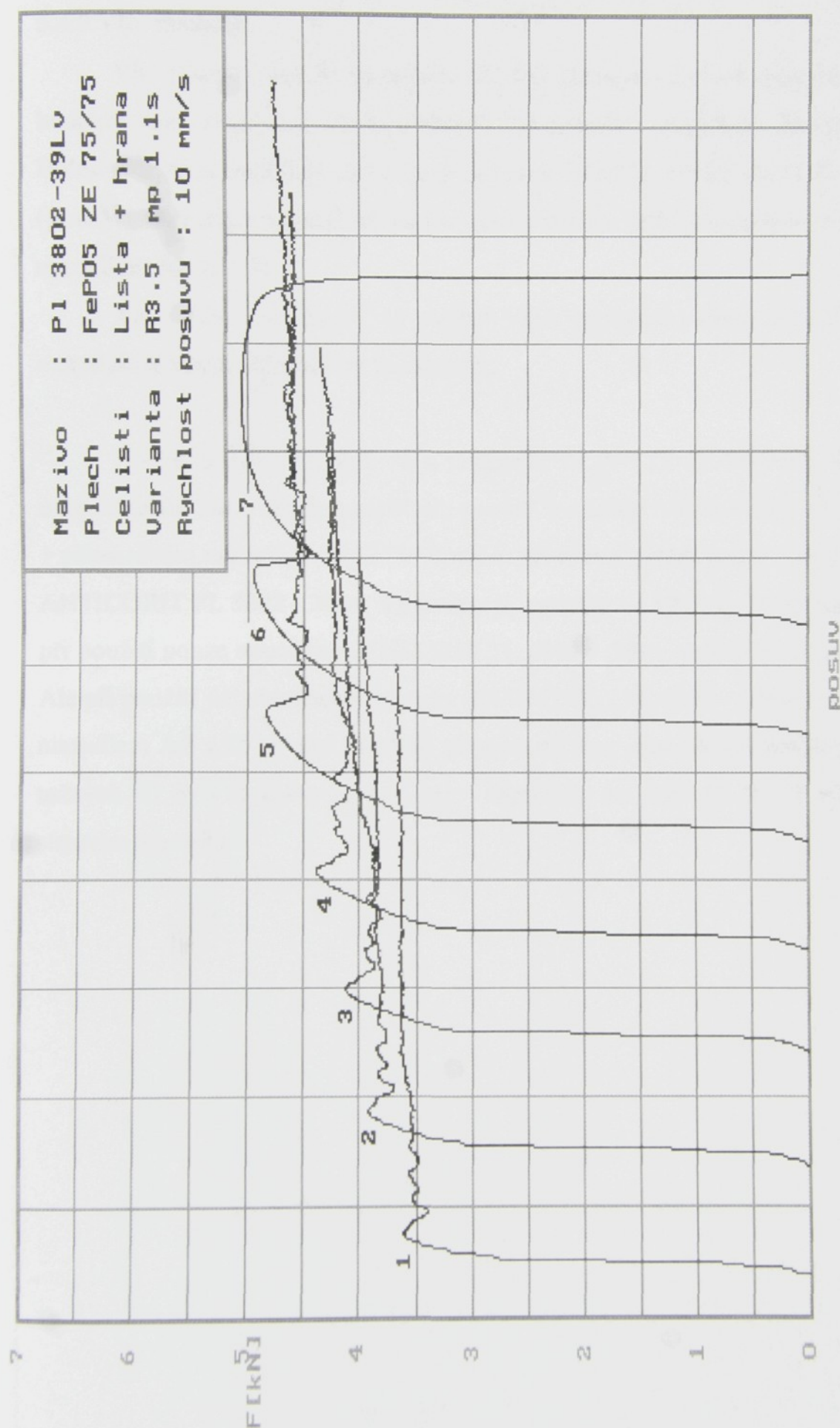
Obr.29. Závislost tažné síly F_t na velikosti mezery mezi tažnicí a přidržovačem pro rádus drážky v přidržovači $R = 3,5\text{mm}$



Obr.30. Závislost tažné síly F_t na velikosti mezery mezi tažnicí a přidržovačem pro rádus drážky v přidržovači $R = 4\text{mm}$



Obr.31. Závislost tažné síly F_t na velikosti mezery mezi tažnicí a přidržovačem pro rádus drážky v přidržovači $R = 4,5\text{mm}$



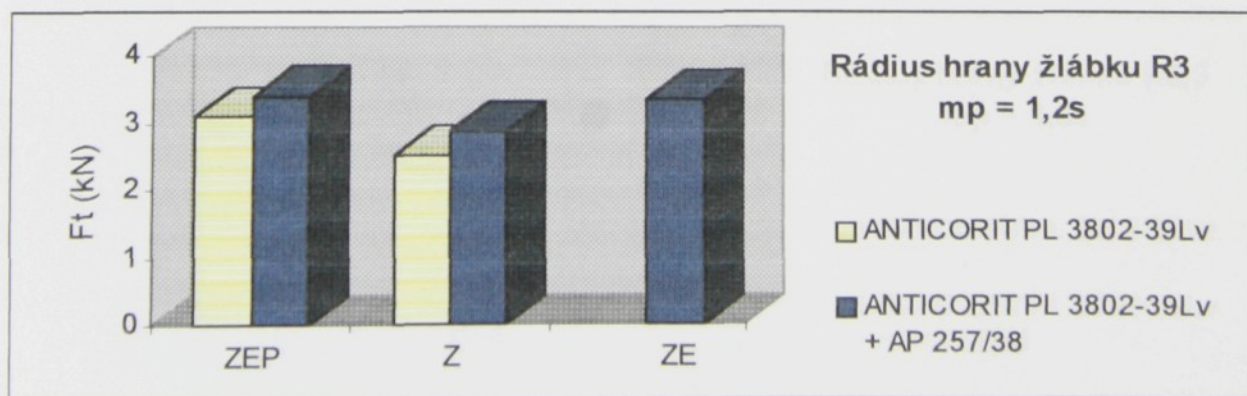
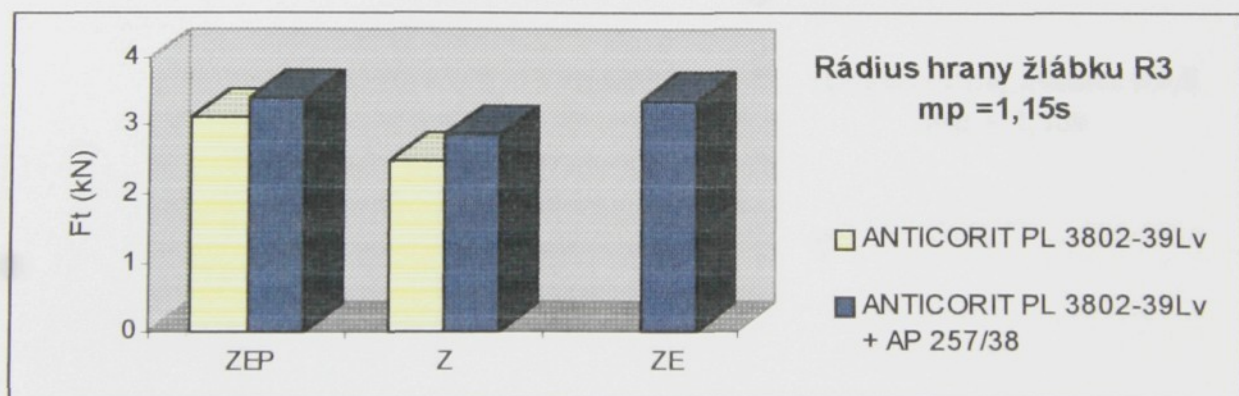
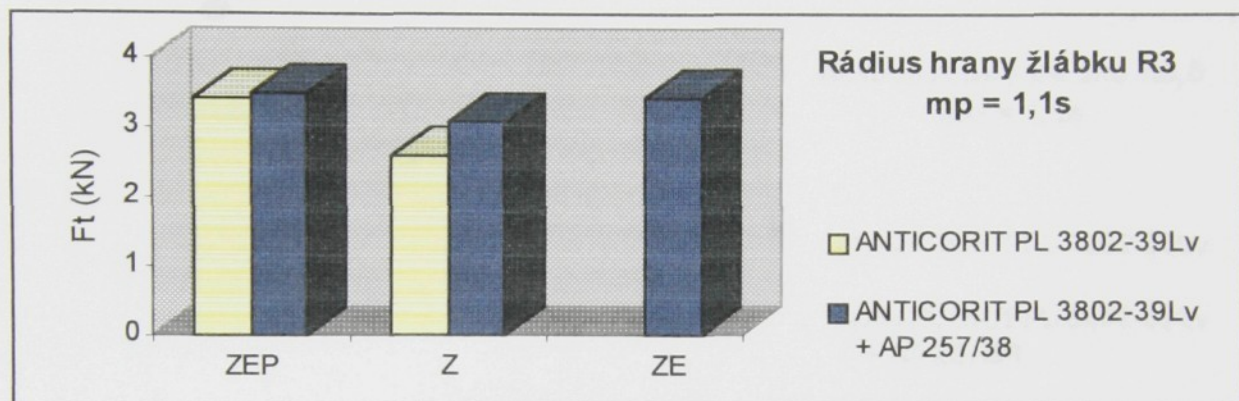
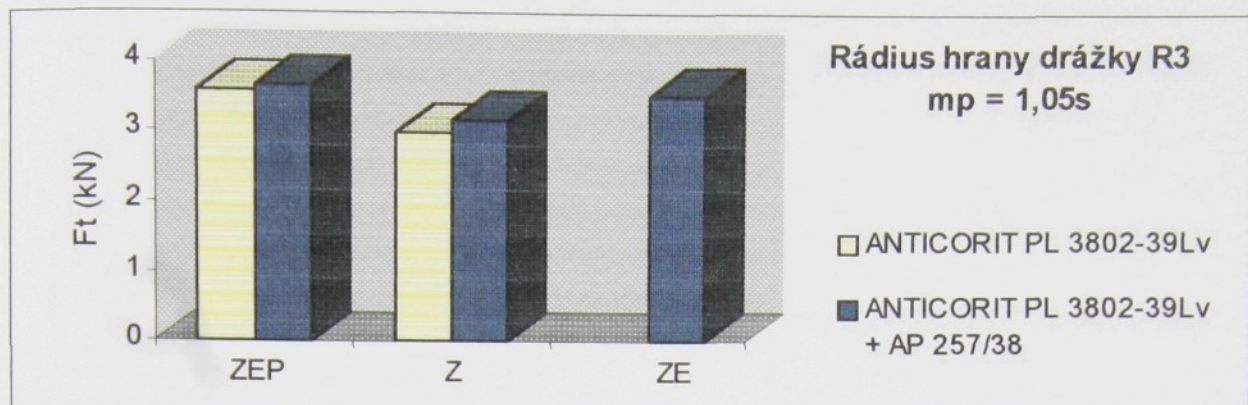
Obr. 32. Průběhy tažných sil při zadírání plechu

5.4.5 Vliv mazadla

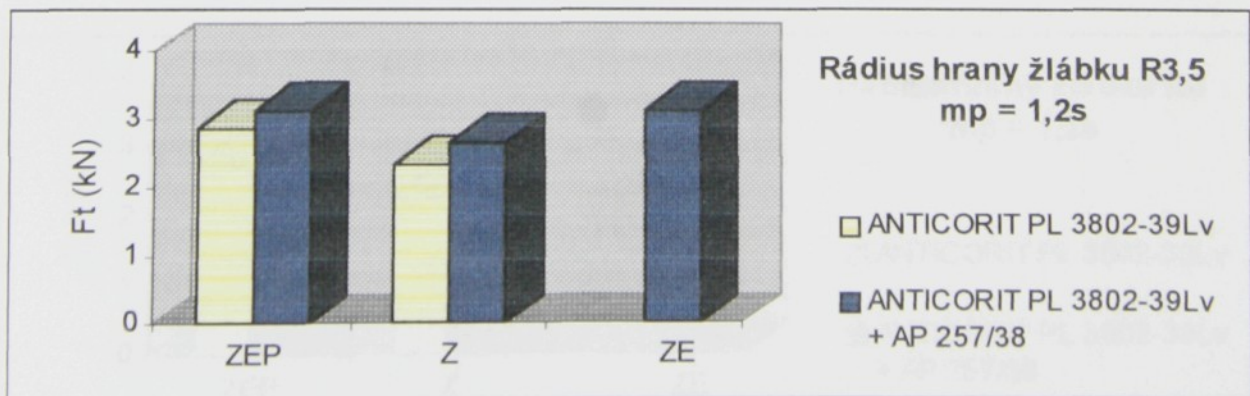
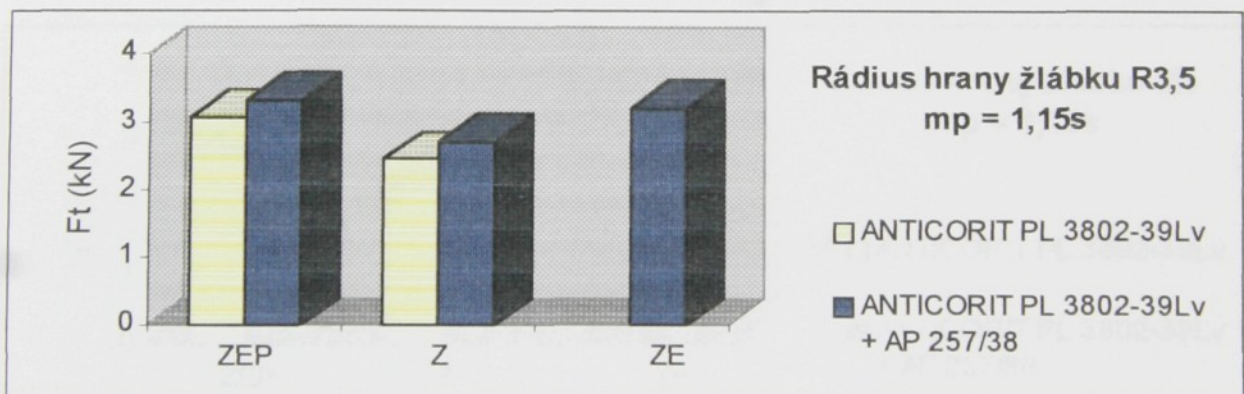
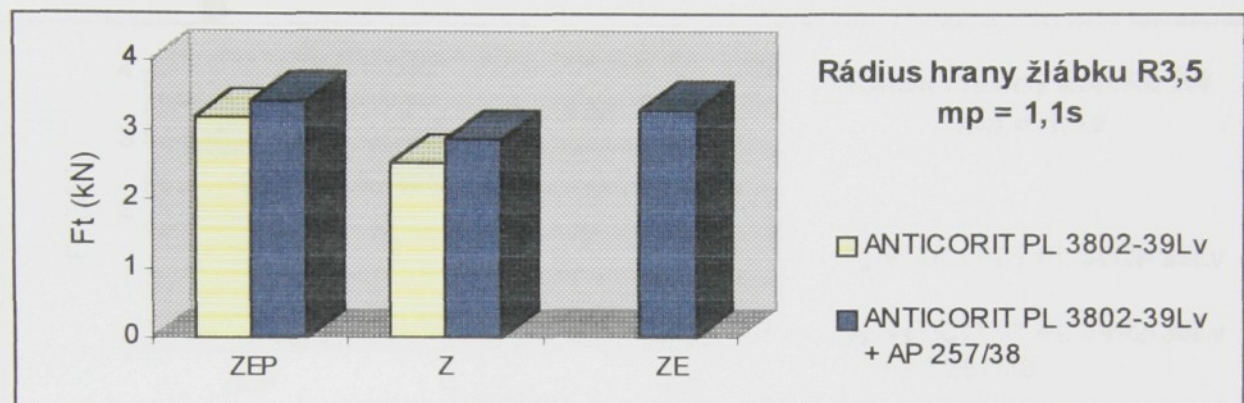
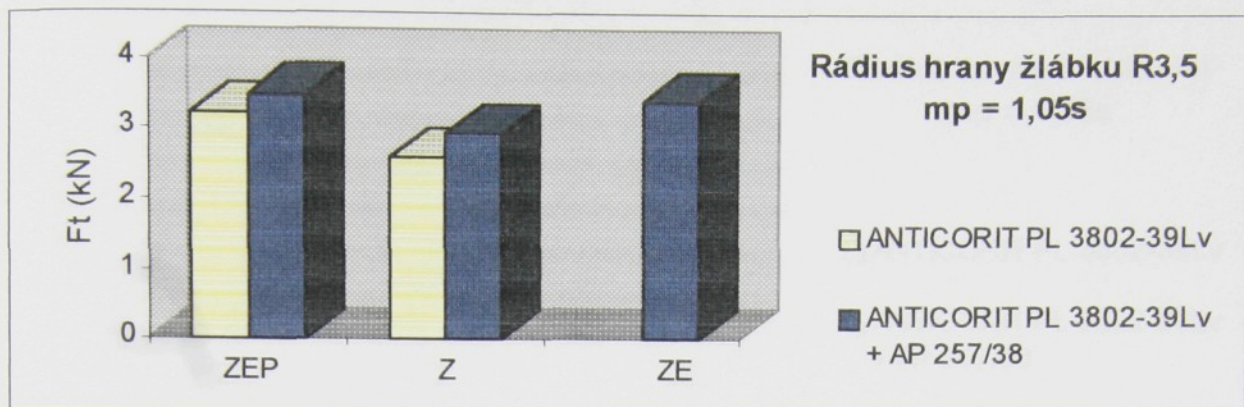
Vliv jakosti mazadla na tažnou sílu byl zkoumán u všech materiálů a naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab.5. až tab.7. Po dohodě s podnikem Škoda a.a.s. Mladá Boleslav bylo rozhodnuto, že se bude testovat mazadlo ANTICORIT PL 3802 - 39Lv (prací) a v druhém případě se budou pásy plechu ještě přimazávat technologickým mazadlem AP 257/38.

Na obr.33. až obr.36. je možné vidět porovnání obou mazadel z hlediska materiálů a konstrukčního řešení nástroje.

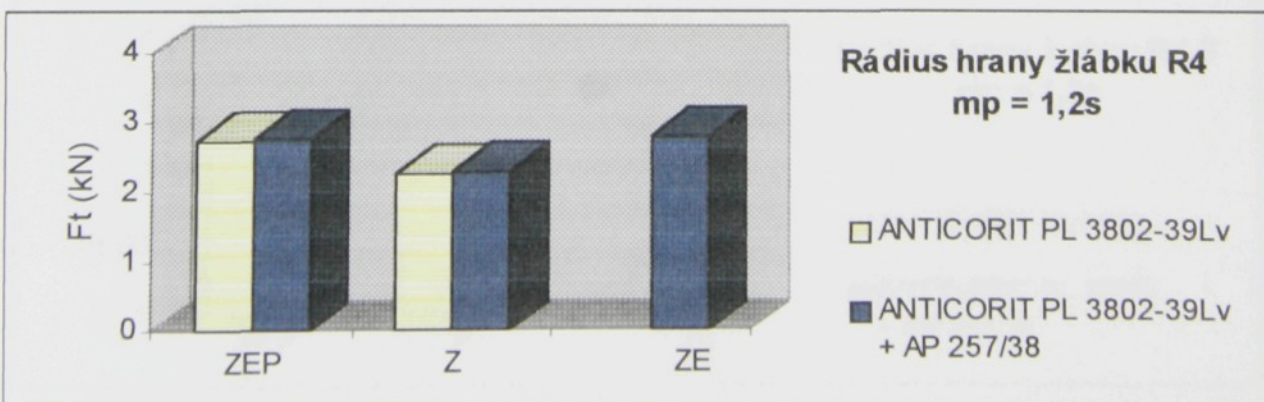
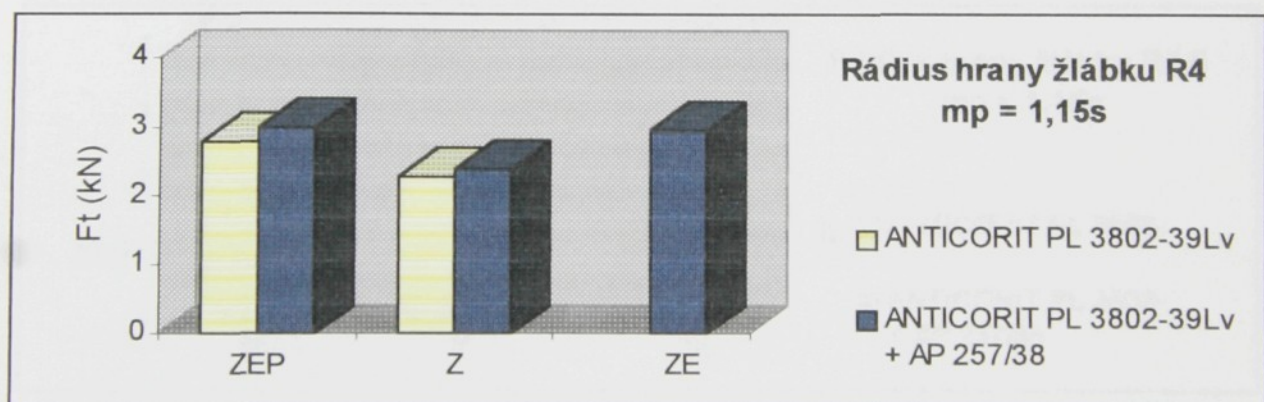
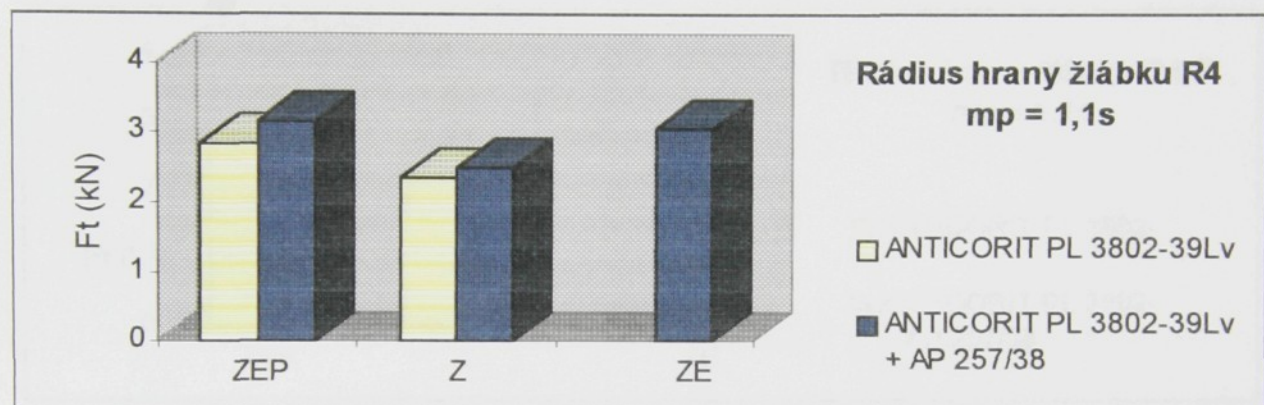
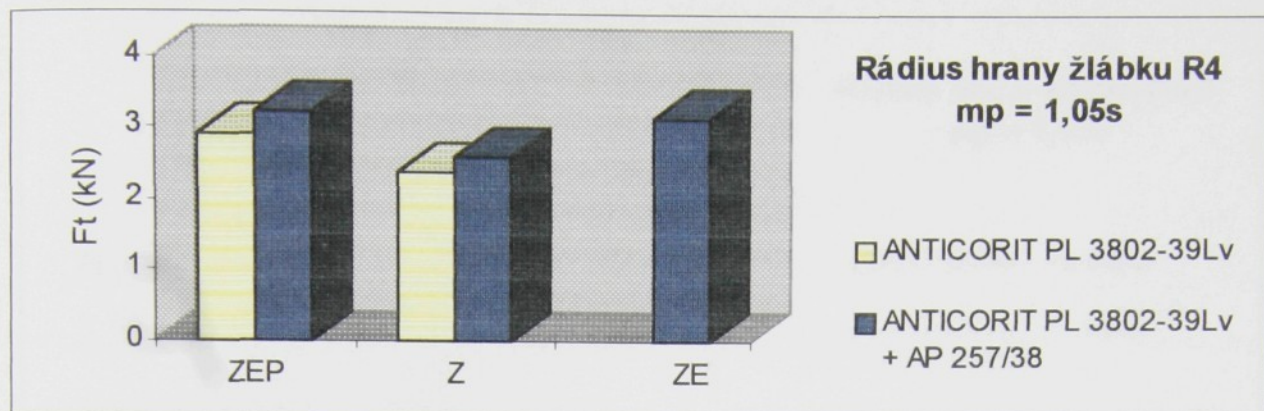
Z experimentů vyplývá, že u materiálů Fe P05 ZE 75/75 PH a St06 Z 257/38 nabývá tažná síla větších hodnot při použití mazadla ANTICORIT PL 3802 - 39Lv + přimazávání mazadlem AP 257/38 než-li při tažení pásků pouze s použitím mazadla ANTICORIT PL 3802 - 39Lv. Vyjimkou je materiál Fe P05 ZE 75/75, který se naopak při použití pouze mazadla ANTICORIT PL 3802 - 39Lv zadíral (viz. odstavec 5.4.4). Ale při použití již zmíněného mazadla (ANTICORIT PL 3802 - 39Lv), s přimazáváním mazadlem AP 257/38, byl materiál protahován bez jakýchkoliv problémů a hodnoty tažných sil byly dokonce menší než u materiálu Fe P05 ZE 75/75 PH, při použití stejného mazadla.



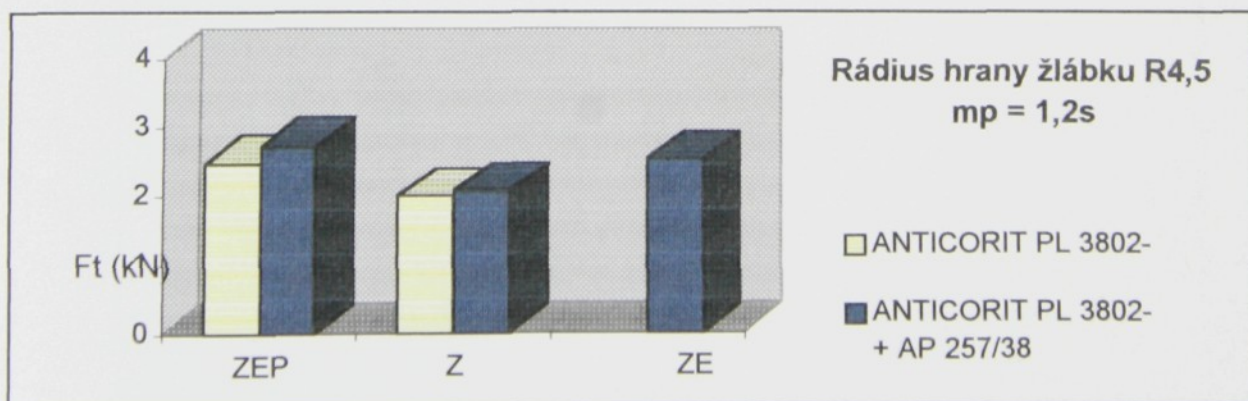
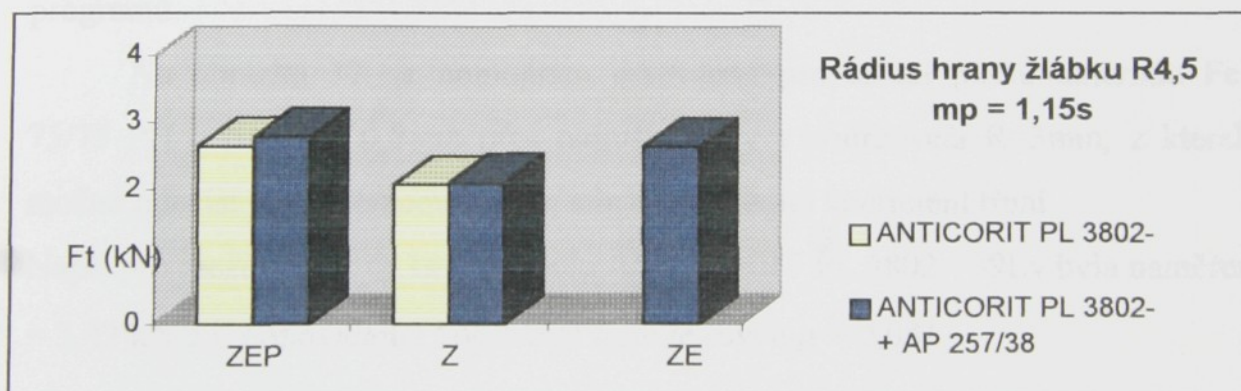
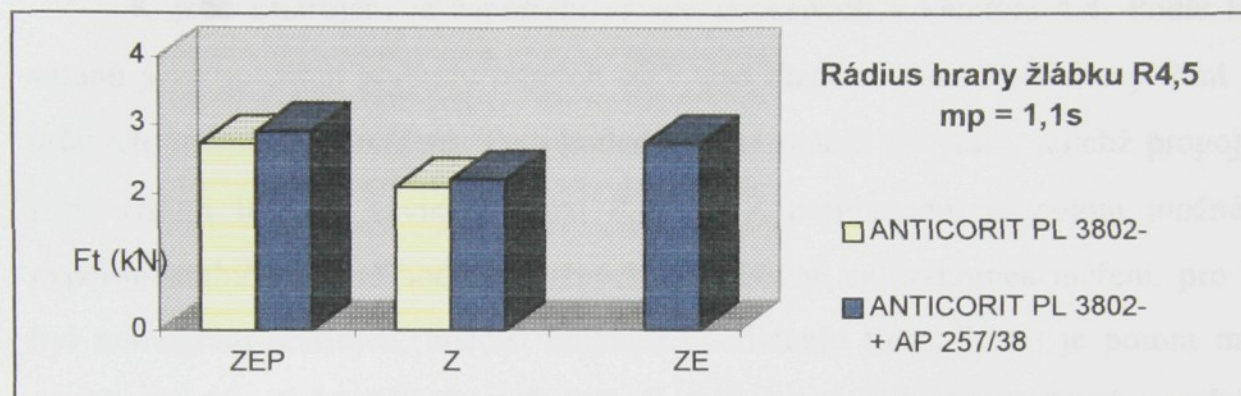
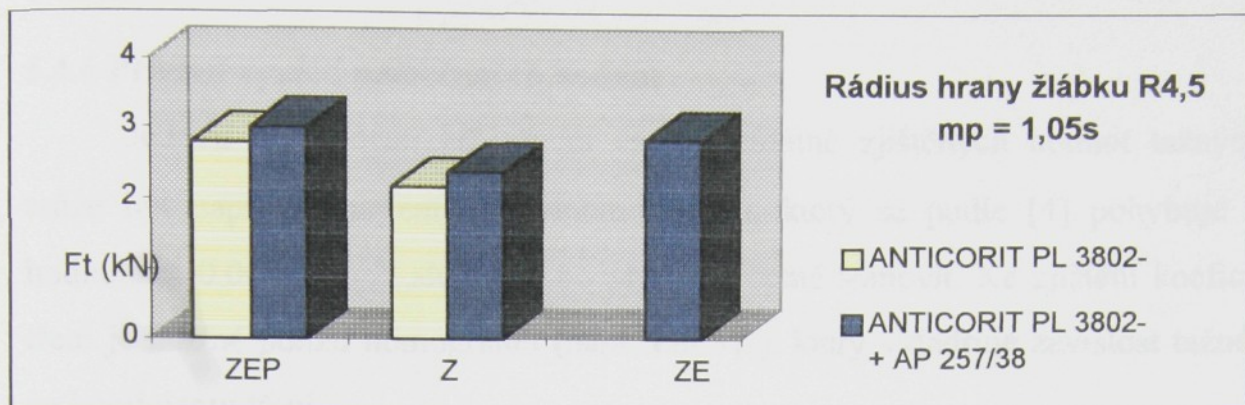
Obr.33. Vliv jakosti mazadla na tažnou sílu při rádiusu hrany žlábků v přidržovači
R = 3 mm pro různé nastavení mezery mezi tažnicí a přidržovačem



Obr.34. Vliv jakosti mazadla na tažnou sílu při rádiu hrany žlábků v přidržovači
R = 3,5 mm pro různé nastavení mezery mezi tažnicí a přidržovačem



Obr.35. Vliv jakosti mazadla na tažnou sílu při rádiu hrany žlábků v přidržovači
R = 4 mm pro různé nastavení mezery mezi tažnicí a přidržovačem



Obr.36. Vliv jakosti mazadla na tažnou sílu při rádiu hrany žlábků v přidržovači
 R = 4,5 mm pro různé nastavení mezery mezi tažnicí a přidržovačem

5.4.6 Příklad využití naměřených hodnot

Jednou z možností jak využít experimentálně zjištěných hodnot tažných sil může být například určení koeficientu tření μ , který se podle [4] pohybuje mezi hodnotami 0,005 až 0,2, ale nelze ho předem přesně stanovit. Ke zjištění koeficientu tření je možné použít nomogramu (např. obr.37.), který vyjadřuje závislost tažné síly na koeficientu tření.

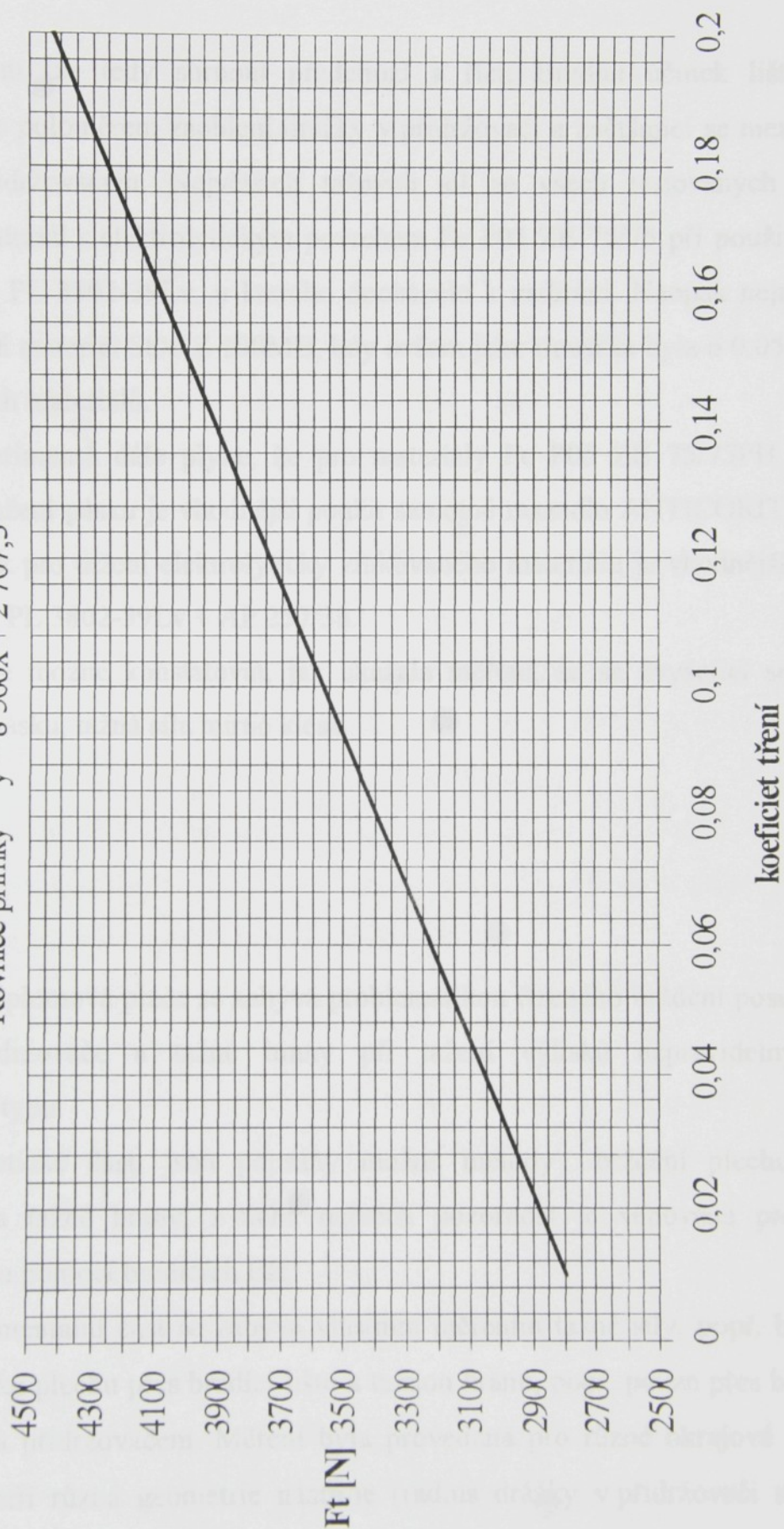
K jeho sestrojení je zapotřebí vztahů popsaných v kapitole 4.4. Podle těchto vztahů jsme spočítali hodnoty tažných sil F_t pro různě zvolené koeficienty tření μ při určitých podmínkách měření. Tyto hodnoty jsme zanesli do grafu, jejichž propojením jsme získali lineární závislost mezi F_t a μ . Z nomogramu je potom možné pro experimentálně zjištěné hodnoty tažných sil, získané za podmínek měření, pro které byl nomogram sestrojen, odečíst hodnotu koeficientu tření. Tento je potom možný použít pro teoretický výpočet tažných sil nebo ho využít při vytváření simulačních programů.

Na obrázku 37. je nomogram sestrojený pro tažení pásku materiálu Fe P05 75/75 PH o tloušťce 0,8mm přes rádius drážky v přídržovači $R=3\text{mm}$, z kterého je možné odečíst pro změřenou tažnou sílu odpovídající koeficient tření.

Např. pro mezeru $m_p = 1,1\text{s}$ a mazadlo ANTIKOCIT PL 3802 - 39Lv byla naměřena $F_t = 3,42\text{ kN}$ a jí odpovídající koeficient tření je roven $\mu = 0,081$.

NOMOGRAM

Rovnice přímky $y = 8\,566x + 2\,707,3$



Obr. 37. Nomogram

5.5 Diskuse z měření

Závěrem lze tedy shrnout předchozí a říci: Brzdící účinek lišt klesá se zvětšujícím se poloměrem zaoblení drážky v přidržovači a zvětšující se mezerou mezi tažnicí a přidržovačem. Největších tažných sil ze všech testovaných materiálů dosahoval materiál s elektrolytickým povrchem Fe P05 ZE 75/75 při použití mazadla ANTICORIT PL 3802-39Lv, u kterého docházelo k zadírání. Naopak nejnižší tažné síly vykazoval materiál St06 Z 100MB, kdy ovšem jeho tloušťka byla o 0.05mm menší než u ostatních materiálů.

Z experimentů dále plyne, že pro materiály Fe P05 ZE 75/75PH a St06 Z 100MB při tažení pásku je vhodnější použít samotné mazadlo ANTICORIT PL 3802-39Lv. Naopak pro tažení elektrolyticky zinkovaného materiálu je vhodnější mazadlo ANTICORIT PL 3802-39Lv + AP 257/38.

Dále je možné konstatovat, jak ukázala měření, že se zvyšující se rychlostí protahování pásku, tažná síla mírně klesá.

6. ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá problematikou řízeného brždění posuvů plechu v oblasti přidržovače a tažné hrany při tažení výlisků nepravidelných tvarů karosářského typu.

V teoretické části jsou popsány možné metody brždění plechu v oblasti přidržovače a tažné hrany, z nichž největší pozornost je věnována problematice brždění plechu pomocí brzdících lišt.

Experimentální část se zabývá vlastním měřením tažné síly, popř. brzdící síly při tažení pásku plechu přes brzdící lištu a tažnou hranu, popř. pouze přes brzdící lištu mezi tažnicí a přidržovačem. Měření byla provedena pro různé okrajové podmínky, mezi které patří různá geometrie nástroje (rádius drážky v přidržovači a nastavení mezery mezi tažnicí a přidržovačem), různé materiály a různá mazadla, vybraná pro experiment po dohodě s podnikem Škoda a.a.s. Mladá Boleslav.

Tyto výsledky by měly zejména sloužit konstruktérům, navrhujícím tažné nástroje. S využitím těchto měření budou schopni, pomocí výpočetní techniky a softwaru, efektivněji konstruovat tyto nástroje. Výsledky mohou být rovněž použity i k vytvoření databáze pro programy simulace tažení.

Doporučení pro další výzkum:

1. Sledovat dále vliv nastavení mezery mezi tažnicí a přidržovačem, popř. tlaku přidržovače v závislosti na poloměru zaoblení drážky v přidržovači. Vzhledem k měření, která byla náplní této diplomové práce by bylo vhodné pokračovat a mezeru volit od 1,25s až do 1,4s plechu.
2. Sledovat vliv tvaru a velikosti brzdící lišty v provedení zasekávací lišty. Při konstantní výšce měnit poloměr zaoblení hrany lišty od $R=3\text{mm}$ do $R=6\text{mm}$. Poloměr tažné hrany je potřeba zachovat konstantní.
3. Sledovat vliv odlehčení brzdící lišty tím, že bude snižovat výška lišty. Výšku lišty navrhujeme měnit od $h=5\text{mm}$ do $h=10\text{mm}$.
4. Sledovat vliv poloměru zaoblení tažné hrany v závislosti na velikosti nastavení mezery mezi tažnicí a přidržovačem, popř. tlaku přidržovače.
5. Sledovat vliv umístění brzdících lišt
 - v tažnici
 - v přidržovači
6. Sledovat vliv počtu brzdících lišt. Doporučujeme používat pouze dvou lišt za sebou (tři lišt se používá zřídka) a potom tedy sledovat i vliv jejich vzdálenosti (s ohledem na snížení odpadu). Vzdálenost středů lišt navrhujeme měnit v rozmezí od 20 do 40 mm.
7. U jednotlivých případů sledovat vliv mazadla, opracování nástroje a druh materiálu nástroje.
8. Sledování uvedených parametrů geometrie nástroje v oblasti přidržovače a tažné hrany by se mělo provádět při přesně stanovené kvalitě plechu za současného sledování změny jeho mechanických vlastností.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KÁBRT,P.: Vliv okrajových podmínek na proces tažení plechů, sledování a předvídání deformací. [Disertační práce]. ČVUT Praha 1997.
- [2] TMĚJ,J.: Brždění plechu při tažení výlisků nepravidelných tvarů. Strojírenská výroba č.4. 1972.
- [3] TMĚJ,J.: Příspěvek k problematice tažení výlisků karosářského typu z hlediska vybraných technologických vlivů.[Kandidátská disertační práce]. Liberec 1969.
- [4] Kolektiv autorů: Lisování. SNTL. Praha 1971
- [5] TMĚJ,J. - MIKEŠ,V.: Teorie tváření. Liberec 1981.
- [6] MACH,J.: Směrnice pro konstrukci tažných nástrojů na nepravidelné součásti. [Závěrečná zpráva dílčího státního úkolu F-3-22.6/3C/I]. AZNP Mladá Boleslav 1970.
- [7] KOLEKTIV: Stanovení geometrických prvků nástrojů se zřetelem na tažné hrany a brzdící lišty.[Úvodní studie dílčího státního dílčího úkolu F 3-22-6/2 b]. Liberec.1968.
- [8] KUBÍČEK,P.: Tribologické podmínky při tažení výlisků. [Diplomová práce]. Liberec. 1996. TU Liberec.
- [9] MARCINIAK,Z.: Teorie tváření plechů. Praha 1964.
- [10] BLAŠČÍK,F. - POLÁK,K.: Teória tvárenia. SNTL Praha 1985.
- [11] HRIVŇÁK,A.-PODOLSKÝ,M.-DOMAZETOVÍČ,V.: Teória tvárenia a nástroje. Alfa. Bratislava 1992.
- [12] Škoda a.a.s. Mladá Boleslav: Zkouška kovu tahem. 22.4.1998.

Prohlášení k využívání výsledků DP:

Jsem si plně vědom toho, že diplomová práce je majetkem školy a že s ní nemohu sám bez svolení školy disponovat, a že diplomová práce může být zapůjčena nebo objednána (kopie) za účelem využití jejího obsahu.

. Beru na vědomí, že popětí letech si mohu diplomovou práci vyžádat v Univerzitní knihovně TU v Liberci, kde je uložena.

Jméno a příjmení: Pavel Jirásek

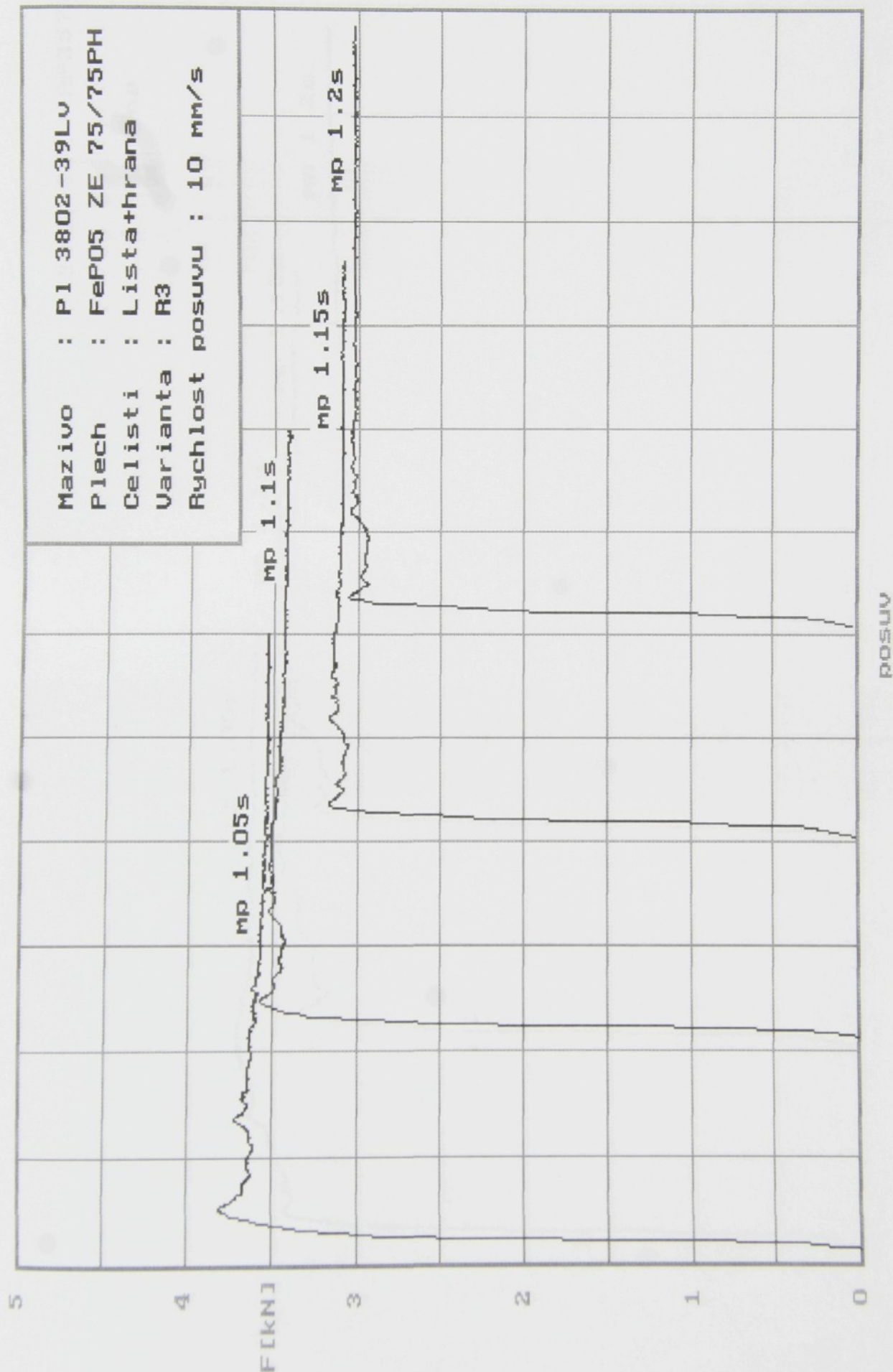
Adresa: K Řípu 631 Roudnice n.L., 413 01

Podpis: *Pavel Jirásek*

PŘÍLOHA

GRAFY TAŽNÝCH SIL PŘI PROTAHOVÁNÍ PÁSKŮ PLECHU





5

4

F[kN]

3

2

1

0

POSUV

Mazivo : P13802-39LV+AP257/38

Plech : FEP05 ZE 75/75PH

Celisti : Lista + hrana

Varianta : R3

Rychlost posuvu : 10 mm/s

MP 1.05s

MP 1.1s

MP 1.15s

MP 1.2s

5

4

F[kN]

3

2

1

0

posuv

Mazivo : P13802-39LV+AP257/38

Plech : FeP05 ZE 75/75

Celisti : Lista+hrana

Uarianta : R3

Rychlost posuvu : 10 mm/s

mp 1.05s

mp 1.1s

mp 1.15s

mp 1.2s

5

4

F[kN]

3

2

1

0

posuv

Mazivo : P1 3802-39Lv
Plech : St06 Z 100MB
Celisti : Lista + hrana
Varianta : R3
Rychlost posuvu : 10 mm/s

mp 1.05s

mp 1.1s

mp 1.15s

mp 1.2s

5

4

F[kN]

3

2

1

0

posuv

Mazivo : P13802-39Lv+AP257/38

Plech : St06 Z 100 MB

Celisti : Lista+hrana

Varianta : R3

Rychlost posuvu : 10 mm/s

MP 1.05s

MP 1.1s

MP 1.15s

MP 1.2s

5

4

F[kN]

3

2

1

0

Mazivo : P1 3802-39LV
Plech : FeP05 ZE 75/75PH
Celisti : Lista + hrana
Varianta : R3.5
Rychlost posuvu : 10 mm/s

mp 1.05s

mp 1.1s

mp 1.15s

mp 1.2s

posuv

5

4

F[kN]

3

2

1

0

posuv

Mazivo : P13802-39Lv+AP257/38

Plech : FeP05 ZE 75/75 PH

Celisti : Lista + hrana

Varianta : R3.5

Rychlost posuvu : 10 mm/s

mp 1.05s

mp 1.1s

mp 1.15s

mp 1.2s

5

4

F[kN]

3

2

1

0

posuv

Mazivo : P13802-39LV+AP257/38

Plech : FeP05 ZE 75/75

Celisti : Lista + hrana

Varianta : R3.5

Rychlost posuvu : 10 mm/s

MP 1.05s

MP 1.1s

MP 1.15s

MP 1.2s

5

4

F[kN]

3

2

1

0

posuv

Mazivo : P1 3802-39LV
Plech : St06 Z 100MB
Celisti : Lista + hrana
Uarianta : R3.5
Rychlost posuvu : 10 mm/s

mp 1.05s

mp 1.1s

mp 1.15s

mp 1.2s

5

4

F[kN]

3

2

1

0

Mazivo : P13802-39Lv+AP257/38
Plech : St06 Z 100MB
Celisti : Lista + hrana
Uarianta : R3.5
Rychlost posuvu : 10 mm/s

MP 1.05s

MP 1.1s

MP 1.15s

MP 1.2s

POSUV

5

4

F[kN]

3

2

1

0

Mazivo : P1 3802-39 LV
Plech : FeP05 ZE 75/75PH
Celisti : Lista+hrana
Varianta : R4
Rychlost posuvu : 10mm/s

MP 1.05s

MP 1.1s

MP 1.15s

MP 1.2s

posuv

Mazivo : P13802-39Lv+AP257/38
Plech : FeP05 ZE 75/75PH
Celisti : Lista+hrana
Uarianta : R4
Rychlost posuvu : 10mm/s



Mazivo : P13802-39Lv+AP257/38
Plech : FeP05 ZE 75/75
Celisti : Lista+hrana
Varianta : R4
Rychlost posuvu : 10mm/s

F[kN]

MP 1.05s

MP 1.1s

MP 1.15s

MP 1.2s

posuv

Mazivo : PL 3802-39 LV
Plech : St06 Z 100MB
Celisti : Lista+celist
Varianta : R4
Rychlost posuvu : 10mm/s

mp 1.05s

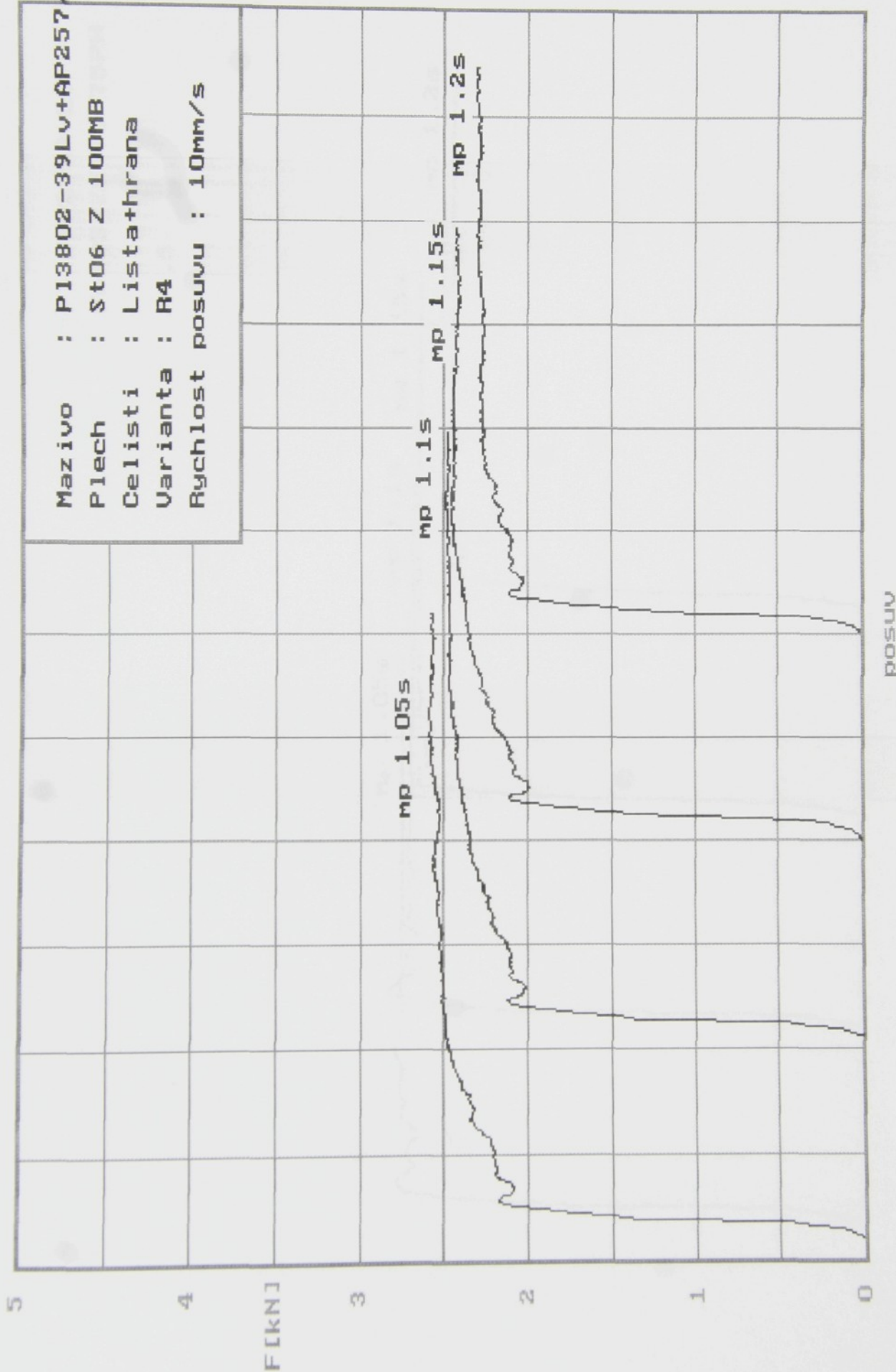
mp 1.1s

mp 1.15s

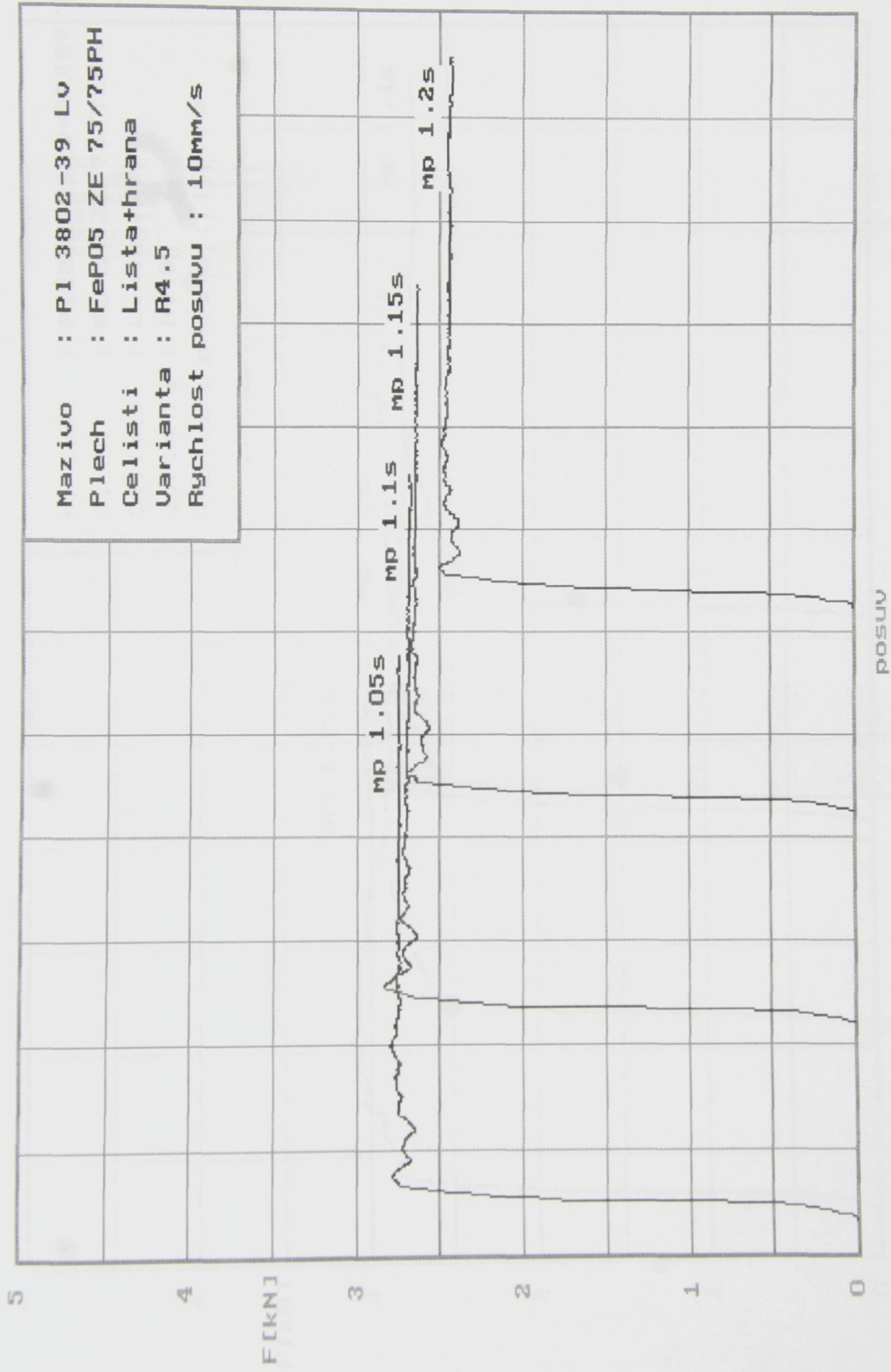
mp 1.2s

posuv

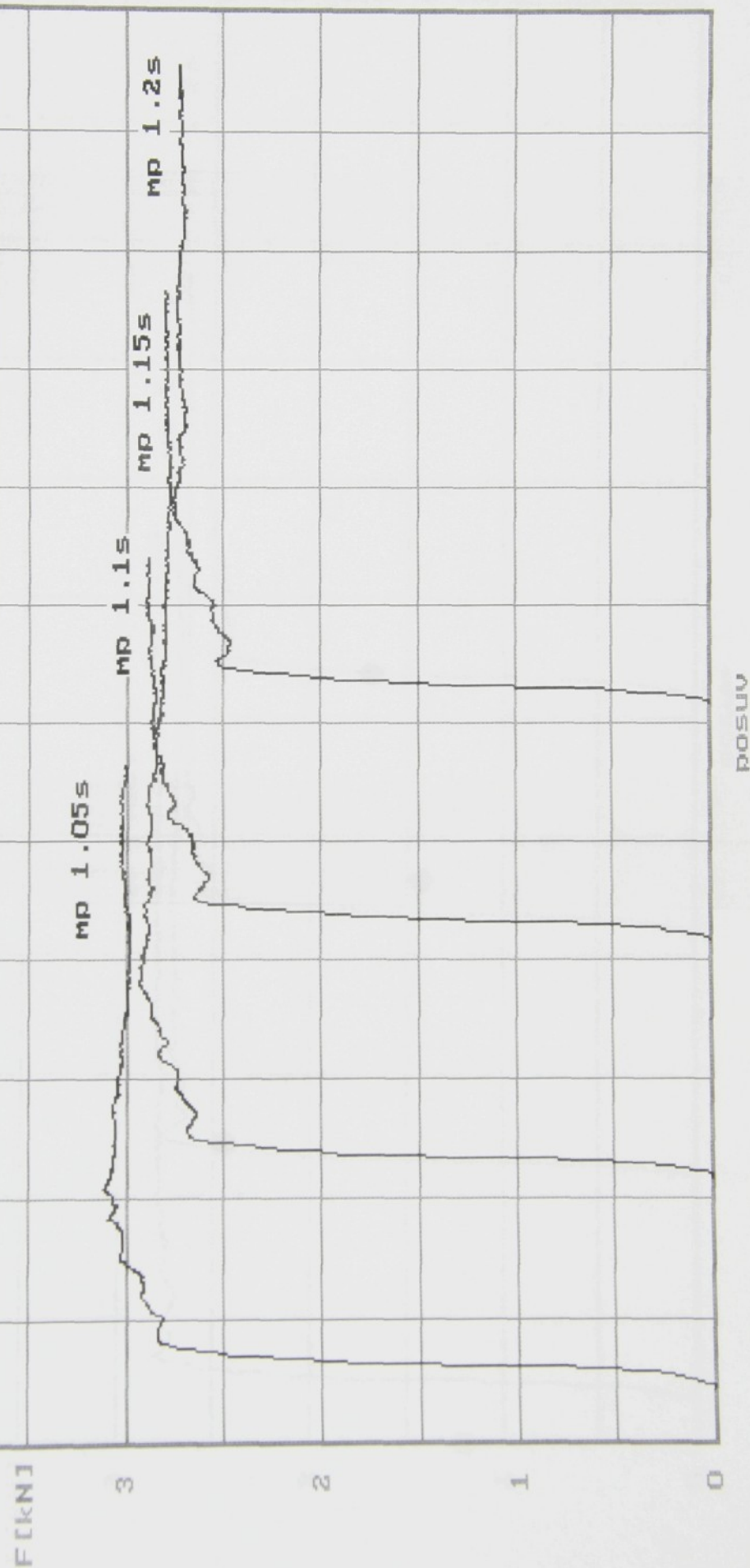
Mazivo : P13802-39LV+AP257/38
Plech : St06 Z 100MB
Celisti : Lista+hrana
Varianta : R4
Rychlost posuvu : 10mm/s



Mazivo : P1 3802-39 LV
Plech : FeP05 ZE 75/75PH
Celisti : Lista+hrana
Varianta : R4.5
Rychlost posuvu : 10mm/s



Mazivo : P13802-39LV+AP257/38
Plech : FeP05 ZE 75/75PH
Celisti : Lista+hrana
Varianta : R4.5
Rychlost posuvu : 10mm/s



5

4

F[kN]

3

2

1

0

Mazivo : P13802-39LV+AP257/38
Plech : FeP05 ZE 75/75
Celisti : Lista+hrana
Uarianta : R4.5
Rychlost posuvu : 10mm/s

mp 1.05s

mp 1.1s

mp 1.15s

mp 1.2s

posuv

5

4

F[kN]

3

2

1

0

Mazivo : P1 3802-39 LV
Plech : St06 Z 100MB
Celisti : Lista+hrana
Varianta : R4.5
Rychlost posuvu : 10mm/s

mp 1.05s

mp 1.1s

mp 1.15s

mp 1.2s

posuv

5

4

F[kN]

3

2

1

0

Mazivo : P13802-39Lv+AP257/38
Plech : St06 Z 100MB
Celisti : Lista+hrana
Uarianta : R4.5
Rychlost posuvu : 10mm/s

mp 1.05s

mp 1.1s

mp 1.15s

mp 1.2s

posuv