

TECHNICKÁ ZPRÁVA MLG Č. 10/2001



„Řešení náhrady materiálu L-ROL“

Vypracoval : František Srbek
Vedoucí oddělení Mlg : Luboš Edl

Rozdělovník : Ř-LOM
VN
TN
V-VPL
KTM
Zás
KPíM
Mlg

Datum : 22.2.2001
Počet stran : 6
Počet grafů : 13
Počet tabulek : 8

1. ÚVOD

Úkol stanovit náhradu za v LOM velmi čteně používaný materiál L-ROL má stejný charakter jako již řešená náhrada materiálu L-HORC (viz zpráva Mlg č.7/2001). Pro nízkolegovanou chrom-manganovou ocel L-ROL dle ONL resp. 14 331 dle ČSN , která je kopií úsporné oceli 30ChGSA dle GOST (vyvinuta a masově používána v období 2.svět. války v SSSR), neexistuje vzhledem k atypické kombinaci legujících prvků chromu a manganu žádný ekvivalent z produkce zemí Západní Evropy či USA tj. normalizační systém SAE a normy AMS neznají obdobný materiál. Pro tyto případy nelze provádět obecné nahrazení jedné značky oceli jinou značkou, je nutno posuzovat individuálně každou aplikaci a rozhodovat na základě konkrétních pracovních podmínek konkrétních součástí. Proto jsou materiály uvedené jako možné náhrady oceli L-ROL pro jednotlivé typy aplikací pouze informativní.

Ocel L-ROL je v LOM používána na celou řadu součástí turbínových motorů, pístových motorů, reduktorů, ale také různých jiných zařízení a přípravků. Typické příklady aplikace materiálu L-ROL lze shrnout zhruba takto :

- a) součástí motorů a reduktorů kvazistaticky namáhané s požadavkem na pevnost cca. 1300 MPa po zušlechtění (L-ROL.7)
- b) součástí zatěžované cyklicky s požadavkem na vysokou houževnatost zušlechtěné na nižší pevnost (L-ROL.6) popř. normalizačně žíhané
- c) díly spojované tavným obloukovým svařováním zpravidla pouze ve stavu normalizačně žíhaném (L.ROL.1) bez nutnosti předehřevu
- d) středně a výše namáhané součásti jiných zařízení a přípravků (neletecké aplikace)

Náhrada oceli L-ROL má rozdílný přístup pro součásti leteckých motorů a reduktorů a pro přípravky. U prvé skupiny dílů je vyžadován materiál v letecké kvalitě tj. materiál dodávaný podle normy řady AMS, neboť to je podmínkou pro akceptování náhrady ze strany ZVS resp. ÚCL. Vzhledem k vysokým cenám materiálů od zahraničních dodavatelů je pak nutno tyto náhrady vidět v širším kontextu náhrad materiálů v LOM, kde se jeví jako nezbytná redukce celkového počtu používaných materiálů. Zpráva č.10/2001 se zabývá náhradou oceli zejména pro letecké aplikace, závěrů lze však využít také pro materiály přípravků a jiných zařízení. Pro přípravky a díly jiných zařízení je možno použít také běžných materiálů, které nemají leteckou jakost. V blízkém časovém horizontu se nabízí možnost systematického vytěžení zásob hutního skladu pro potřeby výroby přípravků bez nutnosti nákupu materiálu pro tento účel tj. náhrada materiálu L-ROL jinými oceli podle ČSN či ONL, které jsou ve skladu k dispozici.

Náhrada oceli L-ROL představuje problém jednodušší, než náhrada oceli L-HORC, která je vzhledem ke svým výjimečným vlastnostem a rozsahu použití nahraditelná velmi obtížně. Výjimečnost oceli L-ROL spočívá zejména v unikátním poměru ceny a užitných vlastností tj. použitím dražších a více legovaných ocelí lze tuto ocel bez větších technických problémů spolehlivě nahradit, přestože dojde k růstu nákladů. Ocel L-ROL lze navíc nahradit obdobnými typy materiálů (nízkolegované oceli), takže nedojde k závažným technologickým změnám, zejména v oblasti jejího tepelného zpracování, obrábění a svařování.

2. POPIS MATERIÁLU L-ROL

Nízkolegovaná Mn-Si-Cr ocel L-ROL (ČSN 14 331) určená pro zušlechťování je kopii ruské oceli 30ChGSA dle GOST a v bývalém Československu byla vyráběna v Poldi SONP Kladno. Tato ocel je velmi dobře svařitelná všemi metodami tavného svařování bez nutnosti jejího předehřevu. Chemické složení oceli L-ROL (14 331) je uvedeno v tabulce č.1.

Tab. č.1 Chemické složení oceli L-ROL

Prvek	C	Mn	Si	Cr	P	S
hm.%	0,28 až 0,35	0,80 až 1,10	0,90 až 1,20	0,80 až 1,10	max. 0,035	max. 0,035

Ocel je možné použít ve stavu normalizačně žíhaném (L-ROL.1) nebo zušlechtěném na vyšší (L-ROL.7) popř. nižší (L-ROL.6) pevnost. Těmto stavům odpovídá následující tepelné zpracování :

L-ROL.1 ... normalizační žíhání 900°C/1 hod/vzduch

L-ROL.6 ... kalení 870 až 900°C/olej a popouštění 580 až 610°C/voda nebo olej

L-ROL.7 ... kalení 870 až 900°C/olej a popouštění 480 až 560°C/voda nebo olej

Ve stavu normalizačně žíhaném má ocel L-ROL feriticko-perlitickou strukturu a vyniká vysokou houževnatostí a poměrem meze únavy k mezi pevnosti. Ve stavu L-ROL.6 kaleném a popouštěném na nižší pevnost je struktura oceli sorbitická , tento stav se vyznačuje lepšími pevnostními charakteristikami než L-ROL.1 při zachování výborné houževnatosti. Stav L-ROL.7 kalený a popouštěný na vyšší pevnost dosahuje vysokých hodnot pevnostních vlastností při poklesu houževnatosti, struktura je tvořena popouštěným martenzitem s rozptýlenými karbidy chromu. Mechanické vlastnosti oceli L-ROL v závislosti na tepelném zpracování jsou uvedeny v tabulce č.2 , graficky jsou znázorněny v grafech č.1 až 3. V grafech č.4 a 5. jsou stručně popsány únavové vlastnosti oceli L-ROL

Tab.č.2 Mechanické vlastnosti oceli L-ROL (14 331)

stav	R _e (MPa)	R _m (MPa)	A (%)	Z (%)	KCV (J/cm ²)	HB	R _c (MPa)*
L-ROL.1	620	930	min.15	min.65	90	max. 250	420
L-ROL.6	750	max.1100	min.12	min.55	50	285 až 331	470
L-ROL.7	880	max.1270	min.10	min.50	44	331 až 385	520

* v tabulce obsažené údaje o mezi únavy jsou pouze informativní

Ocel L-ROL je zaručeně svařitelná metodami obloukového svařování (MIG,MAG – přídavný materiál ESAB OK Autrod 13.12, TIG – ESAB OK TIGROD 13.12 , popř. ručně obalenou elektrodou OK.78.16 nebo OK.74.78) bez nutnosti předehřevu. Obrobitelnost materiálu L-ROL třískovým obráběním ve stavu po žíhání na měkko (650 až 700°C, výdrž 2 až 4 hodiny, ochlazení v peci – tvrdost max.) je velmi dobrá.

V LOM se tento materiál používá ve formě za studena tažených i za tepla válcovaných tyčí (kruhové, čtyřhranné, šestihrané, ploché), výkovek, bezešvých trubek, a plechů. Polotovary jsou ve výchozích stavech L-ROL, L-ROL.1, L-ROL.3, L.ROL.5, L.ROL.6 a L.ROL.7.

3. NÁHRADA L-ROL - NÁHRADNÍ MATERIÁLY PODLE SAE

Pro náhradu materiálu L-ROL připadají na základě podobnosti chemického složení a mechanických vlastností nízkolegované oceli s cca 1% chromu a dalšími legujícími prvky (Mo, V, Mn, Si) v řádu desetin procent. Typickou ocelí této skupiny je zejména ocel SAE 4130. Tato ocel patří k nejrozšířenějším ocelím používaných v zemích NATO jak v typech vyráběných polotovaru, tak v počtu aplikací. Použití této Cr-Mo oceli se přibližně kryje s použitím oceli L-ROL. Ocel 4130 je dobře svařitelná všemi způsoby tavného svařování. Chemické složení oceli 4130 je zachyceno v tabulce č.3.

Tab.č.3 Chemické složení oceli 4130

Prvek	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	P	S
hm. %	0,28 až 0,33	0,40 až 0,60	0,15 až 0,35	0,80 až 1,10	0,15 až 0,25	max. 0,25	max. 0,025	max. 0,025

Ocel SAE 4130 lze použít ve stavu normalizačně žíhaném (feriticko-perlitická struktura) nebo kaleném a popuštěném (popuštěný martenzit popř. sorbit). Mechanické vlastnosti oceli 4130 a jejich závislost na způsobu tepelného zpracování jsou uvedeny v tabulce č.4 a grafech č.6 až 8.

Tab.č.4 Mechanické vlastnosti oceli SAE 4130

tepelné zpracování	R _e (MPa)	R _m (MPa)	A (%)	Z (%)	HB
normalizace 870°C/vzduch	670	430	25	59	197
zušlechťení 855°C/voda + 480°C/vzd.	1110	950	14	54	320
zušlechťení 855°C/voda + 540°C/vzd.	990	890	18	61	293
zušlechťení 855°C/voda + 595°C/vzd.	880	780	21	67	262

Pevnostní vlastnosti oceli SAE 4130 jsou ve všech stavech tepelného zpracování nižší. Ocel L-ROL lze tedy materiálem 4130 nahradit pouze v těch případech, kdy je dobře známo namáhání konkrétního dílu a kdy jsou pevnostní vlastnosti oceli 4130 vyhovující. Vzhledem k nižší prokalitelnosti lze ocel 4130 používat spíše pro menší součásti do charakteristického rozměru cca 25 mm. Alternativně lze také místo oceli 4130 použít velmi podobných ocelí 4135, 4140 popř. 8630 nebo 8740. Tyto oceli jsou však méně rozšířené a dle našeho názoru méně dostupné než ocel 4130. Standarty AMS a MIL (přejímací technické podmínky) jednotlivých polotovarů z oceli 4130 jsou uvedeny v tabulce č.5. Normy řady MIL jsou v současné době neplatné nebo jsou inaktivní,

Tab.č.5 Specifikace polotovarů z oceli SAE 4130

AMS nebo MIL specifikace	typ polotovaru	způsob výroby
AMS 6350, AMS 6351, dříve MIL-S 18729	plechy, pásy	AM*
AMS 6348, AMS 6370, AMS 6528, MIL-S 6758	tyče a výkovky	AM*
AMS 6371, AMS 6360, AMS 6361, AMS 6362, AMS 6373, AMS 6374, MIL-T 6736	trubky	AM*

* Air Melted – taveno s přístupem vzduchu, tj. standartní primární metalurgie

V případě, že vlastnosti oceli 4130 nebudou pro danou konkrétní aplikaci dostatečné, je možné pro větší namáhání použít výše legovanou ocel typu SAE 4340 s vyšším obsahem uhlíku a podstatně vyššími pevnostními vlastnostmi, než jaké lze dosáhnout u oceli 4130. Ocel SAE 4340 je nikl-chrom-molybdenová ocel s martenzitickou strukturou určená k zušlechťování. Je velmi podobná oceli L-BOZR (ČSN 16 341 – 40ChNMA) a byla již popsána ve zprávě č.7/2001 jako jedna z možných náhrad oceli L-HORC. Je jednou z nejpoužívanějších leteckých značek ocelí a vyrábí se z ní celá řada součástí (např. klikové hřídele, pouzdra atd.). Chemické složení oceli 4340 je uvedeno v tabulce č.6.

Tab.č.6 Chemické složení oceli 4340

Prvek	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	P	S
hm. %	0,38 až 0,43	0,65 až 0,85	0,15 až 0,35	0,70 až 0,90	0,20 až 0,30	1,65 až 2,00	max. 0,025	max. 0,025

Mechanické vlastnosti oceli 4340 v závislosti na teplotě popouštění jsou uvedeny v tabulce č.7 a grafech č.9 až 11. Únavové vlastnosti oceli 4340 jsou zobrazeny v grafu č.12. Křivku prokalitelnosti znázorňuje graf č.13. Rozdíly ve fyzikálních vlastnostech oceli L-ROL a oceli 4340 jsou zanedbatelné. Optimální tepelné zpracování oceli 4340 sestává z normalizace 900°±10°C/1 hod/vzduch + kalení 815°C±10/1 hod/olej a dvojnásobného popouštění 245°C±5/2 hod/vzduch – výsledná pevnost min 1790 MPa, tažnost min.10%.

Tab.č.7 Mechanické vlastnosti oceli 4340

tepelné zpracování	R _e (MPa)	R _m (MPa)	A (%)	Z (%)	HRC
normalizace 900°C/vzduch	860	1280	12	36	39
zušlechťení 820°C/voda + 205°C/vzd.	1530	1905	11	35	52
zušlechťení 820°C/voda + 260°C/vzd.	1530	1830	8	25	48
zušlechťení 820°C/voda + 590°C/vzd.	1035	1140	18	60	30
optimál. TZ dle AMS 6414 (viz výše)	1490	1790	10	30	46

Ocel SAE 4340 lze použít v různých stavech (normalizačně žíhaná, kalená a nízkoteplotně popuštěná, kalená a vysokoteplotně popuštěná) a různých úrovních pevnosti a houževnatosti. Ocel 4340 se nepoužívá v rozsahu popouštěcích teplot kolem 350°C (pevnosti kolem 1500 MPa) z důvodu tzv. křehkosti v oblasti modrého žáru. Svařitelnost oceli 4340 tavným svařováním je dobrá, zpravidla však bývá vzhledem k vyššímu obsahu uhlíku vázána na přehřev. Specifikace materiálu SAE 4340 jsou uvedeny v tabulce č.8.

Tab.č.8 Specifikace polotovarů z oceli 4340

AMS nebo MIL specifikace	typ polotovaru	způsob výroby
AMS 6359	plechy, pásy	AM
AMS 6454		CEVM*
AMS 6415, MIL-S-5000	tyče, výkovky a trubky	AM
AMS 6414, MIL-S-8844		CEVM*

* Consumable Electrode Melted – vakuové obloukové přetavení (odtavující se elektroda), metoda sekundární metalurgie, rafinace oceli tj. zvýšení metalurgické čistoty

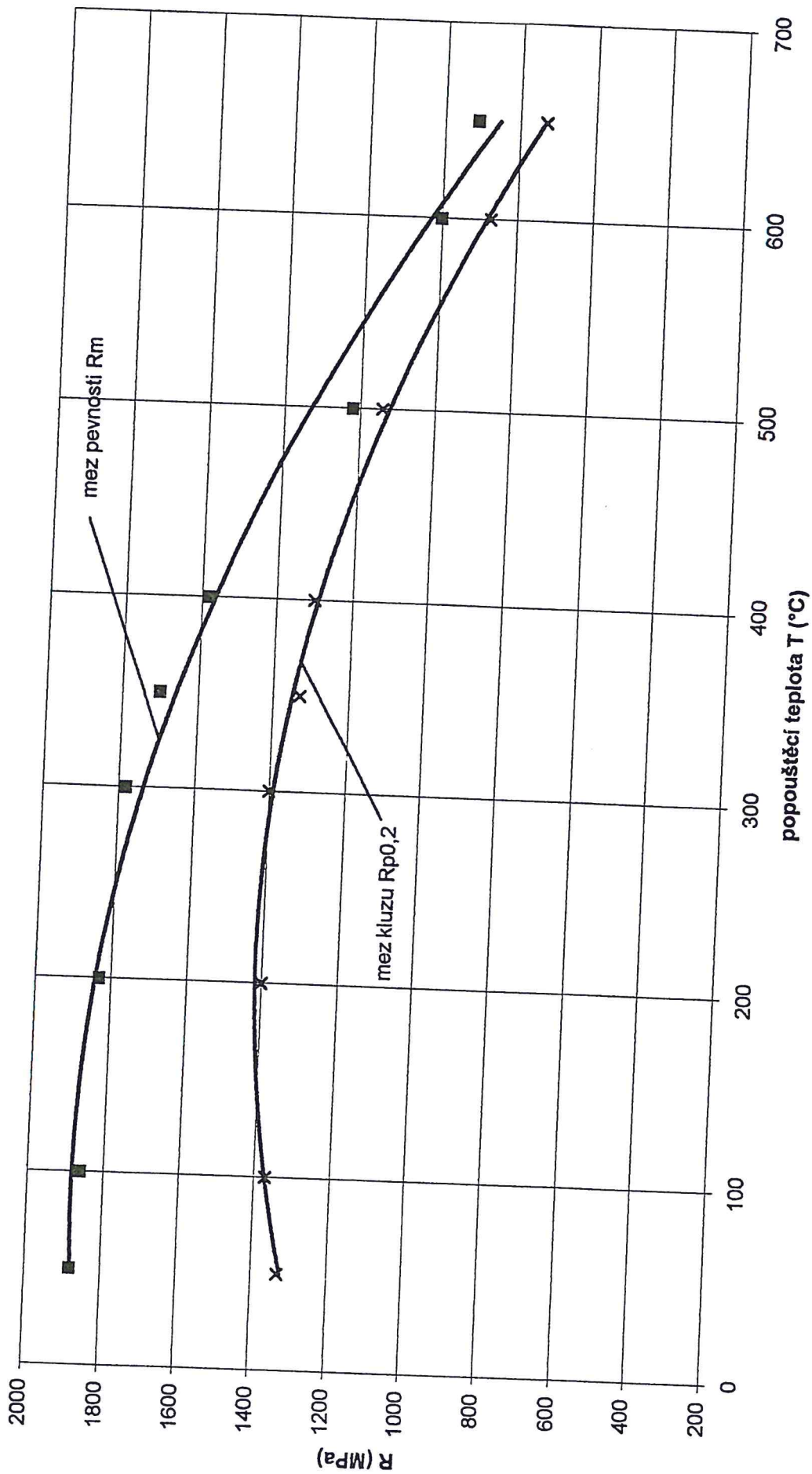
4. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Oddělení metalurgie provedlo rozbor a zvážilo možnosti náhrady materiálu L-ROL (ČSN 14 331) v podmínkách LOM. Formulovány byly tyto závěry :

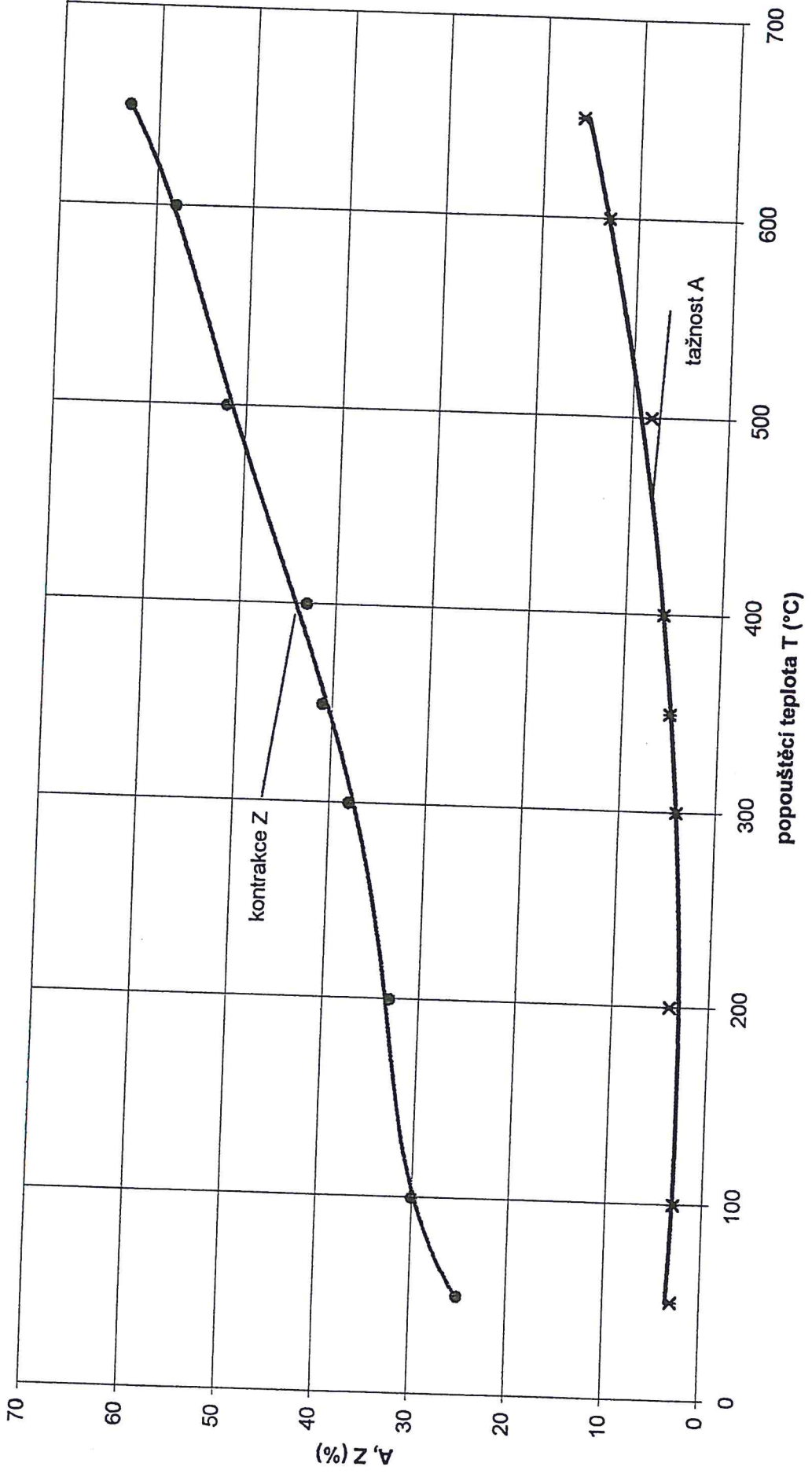
1. Materiál L-ROL nemá přesný ekvivalent mezi ocelmi systému SAE a AMS. Náhradu oceli L-ROL lze provést spolehlivě vždy pouze **pro danou konkrétní aplikaci** při znalosti namáhání dílu a dalších specifik.
2. Pro méně namáhané součásti se známým namáháním a požadavky na konstrukci je možno ocel L-ROL nahradit ocelí **SAE 4130**.
3. Pro více namáhané součásti a součásti kde nejsme schopni přesně definovat úroveň namáhání, doporučujeme ocel L-ROL nahradit ocelí **SAE 4340**.
4. V případě zvláštních okolností či zvláštních požadavků je možné ocel L-ROL nahradit také dalšími materiály např. při požadavku na vysokou mez únavy či lepší svařitelnost. V úvahu připadají oceli uvedené také u náhrady L-HORC např. 300M, Hy-Tuf, C-250, Custom 455 a jiné.

K náhradě materiálu L-ROL a také ke konverzi jiných materiálů nelze přistupovat obecně. Detailní rozbor možností konverze ocelí L-ROL a L-HORC ukázal, že bez přesné znalosti pracovních podmínek materiálu, technologie jeho zpracování a ekonomických ukazatelů, nelze spolehlivě rozhodnout o použití jiné značky materiálu. Pro každou aplikaci přichází v úvahu několik materiálů. Konečné rozhodnutí a výběr materiálu pro konkrétní součást z dostupné nabídky musí být výsledkem týmové práce a společného postupu konstruktéra, technologa a zásobovače (viz zpráva č.7/2001 „Náhrada oceli L-HORC“)

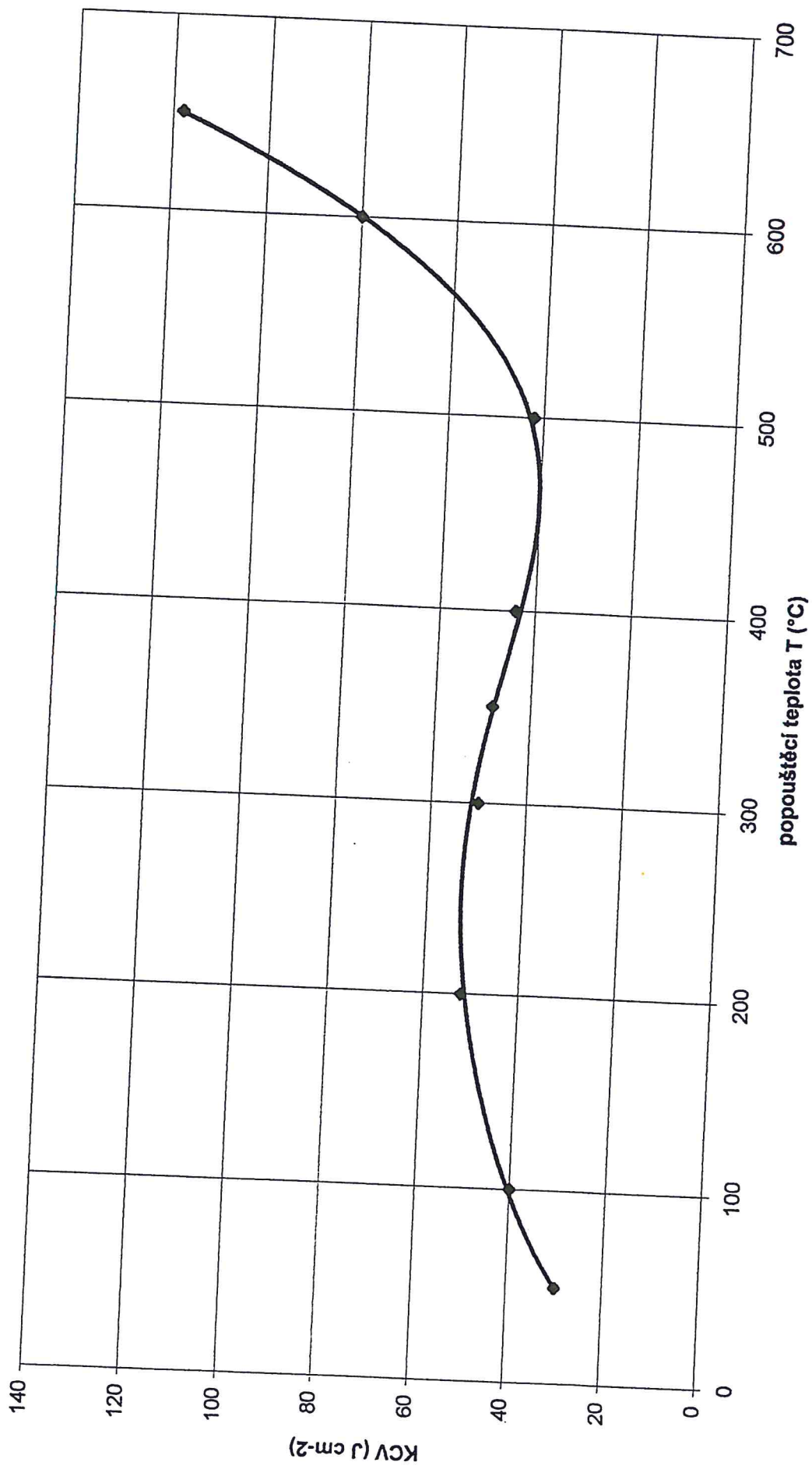
Graf č.1 Závislost meze pevnosti a meze kluzu na popouštěcí teplotě
ocel L-ROL, kaleno 870°C/1 hod/olej



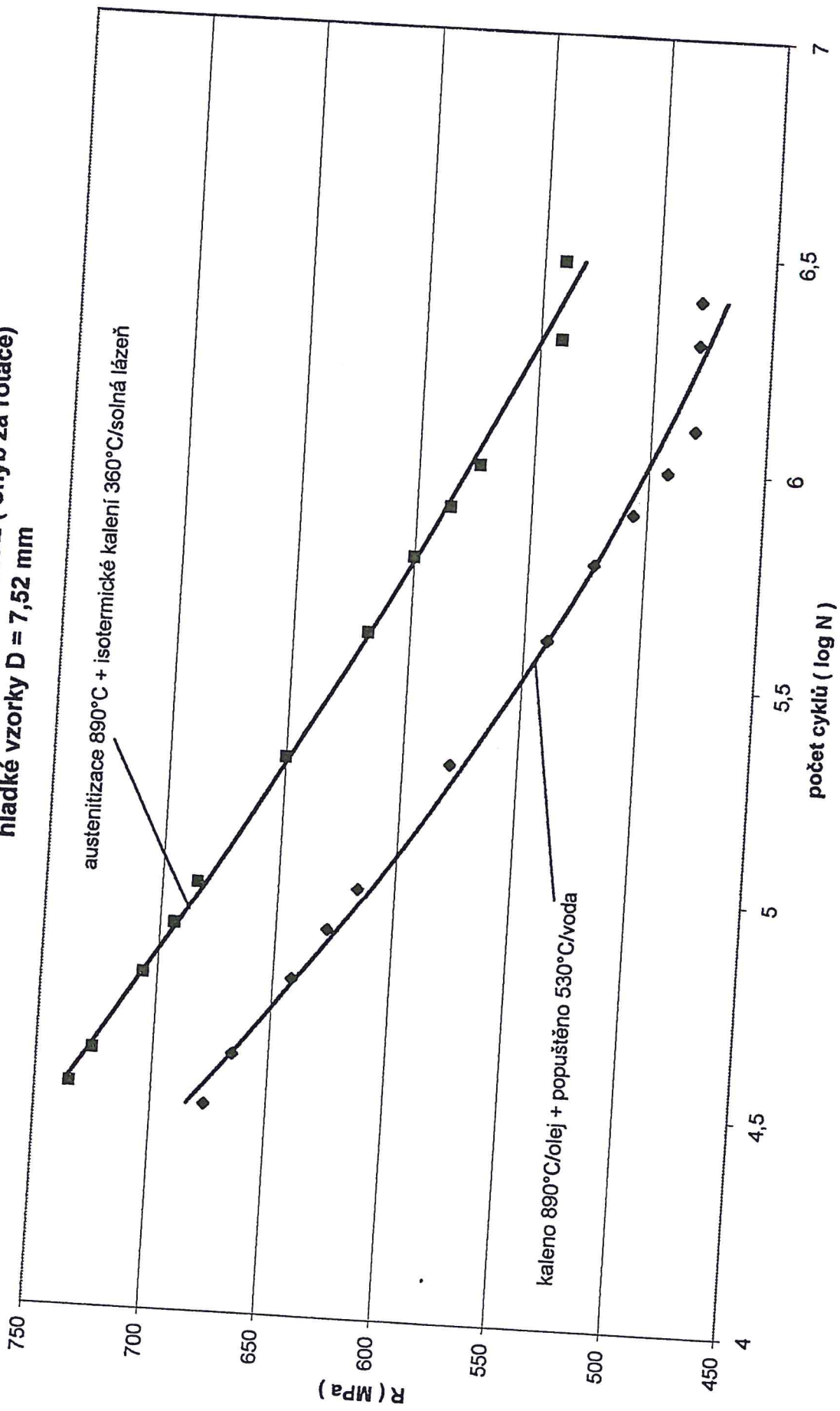
Graf č.2 Závislost tažnosti A a kontrakce Z na popouštěcí teplotě
ocel L-ROL, kaleno 870°C/1 hod/voda



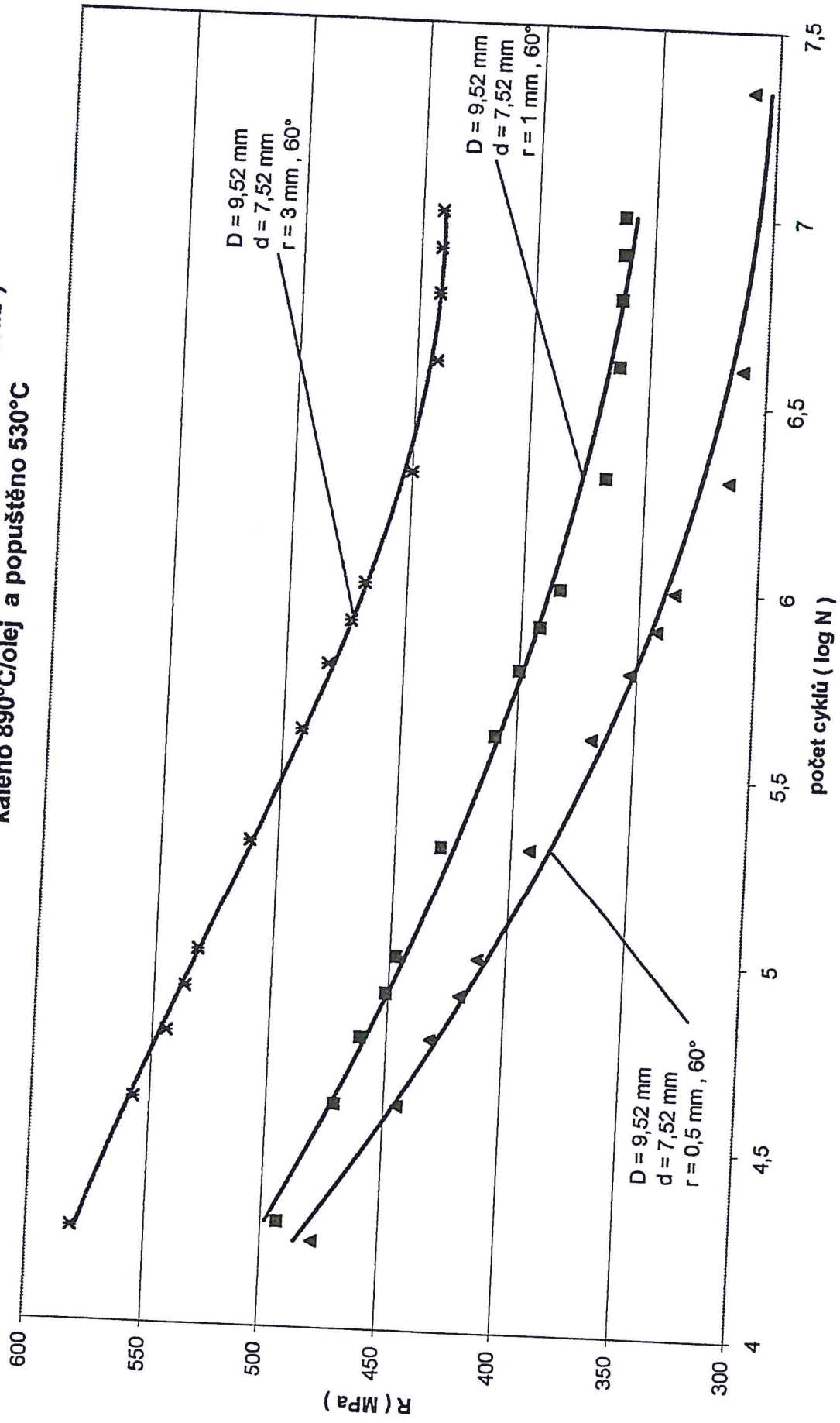
Graf č.3 Závislost vrubové houževnatosti KCV na popouštěcí teplotě
ocel L-ROL, kaleno 870°C/1 hod/voda



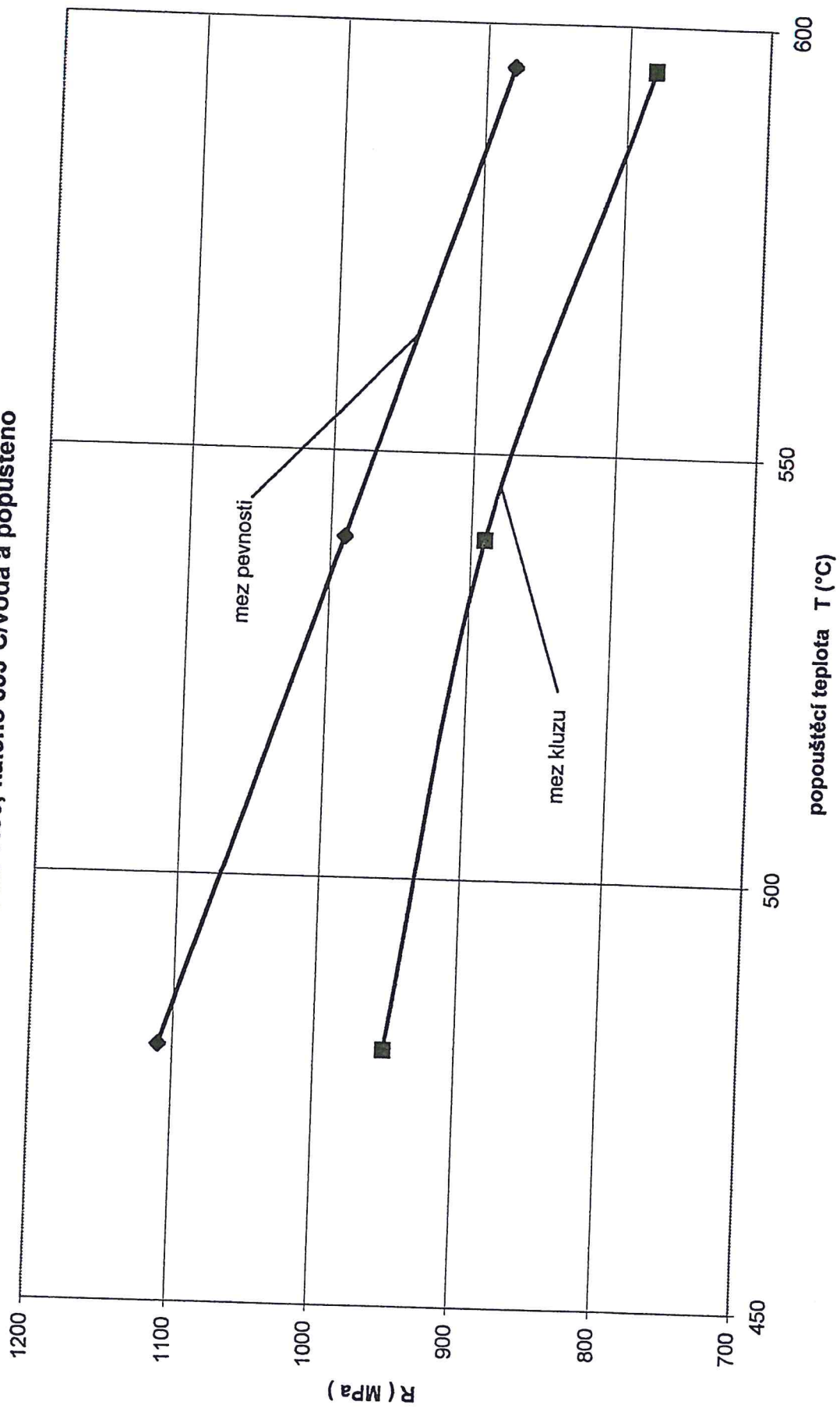
Graf č.4 Únavové vlastnosti oceli L-ROL (ohyb za rotace)
hladké vzorky D = 7,52 mm



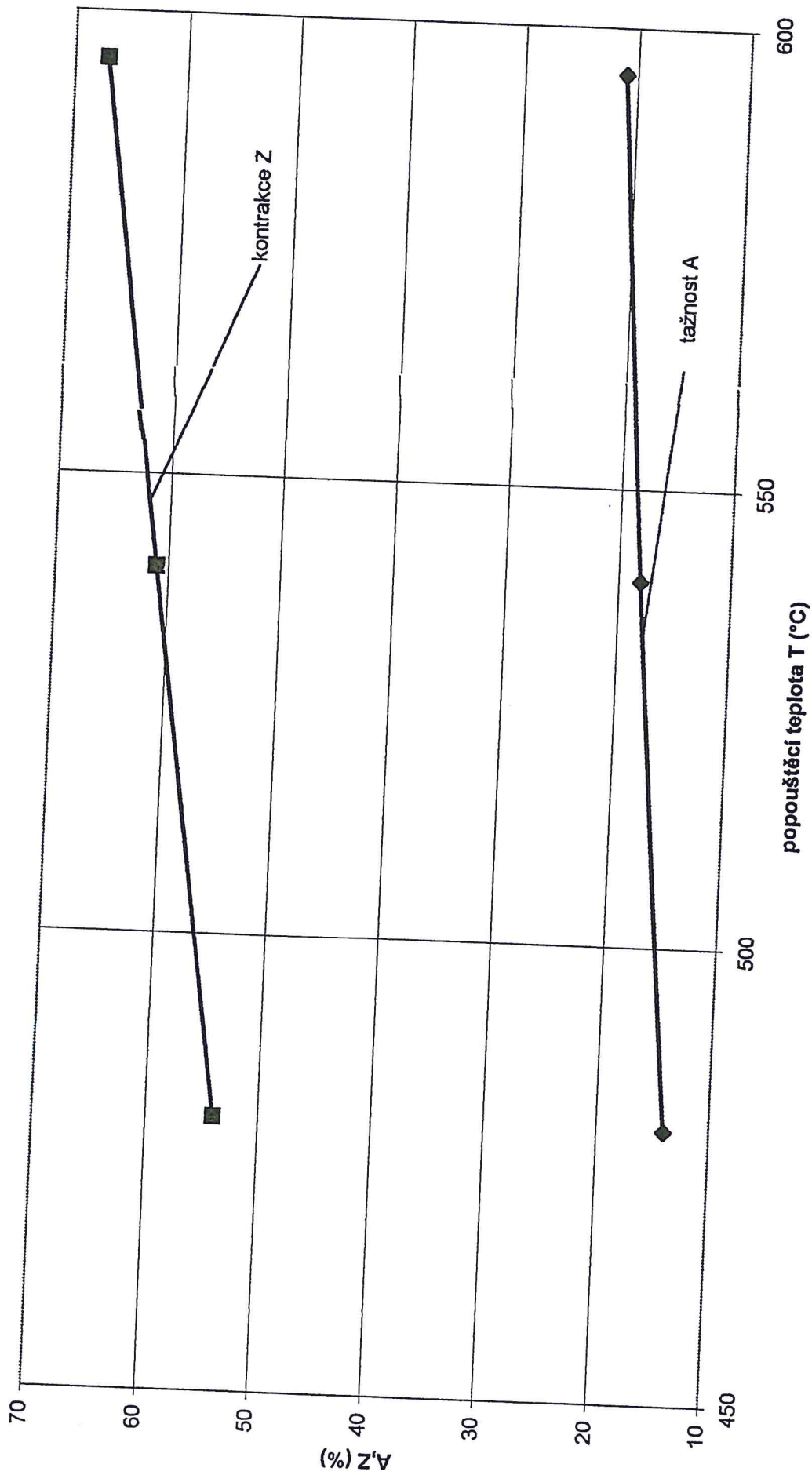
Graf č.5 Únavové vlastnosti oceli L-ROL (ohyb za rotace - vrub)
kaleno 890°C/olej a popuštěno 530°C



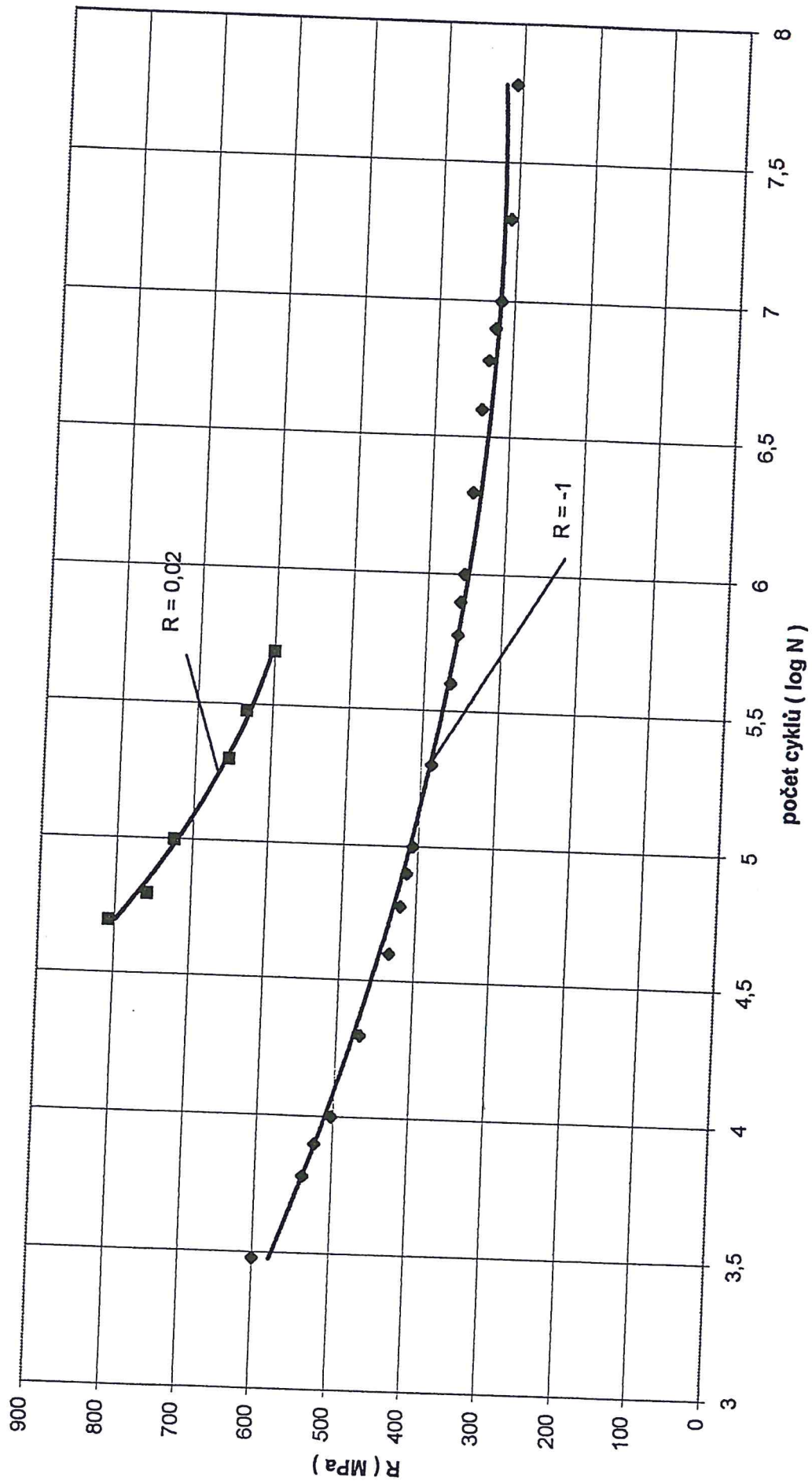
Graf č.6 Závislost meze pevnosti a meze kluzu na popouštěcí teplotě
ocel 4130, kaleno 855°C/voda a popuštěno



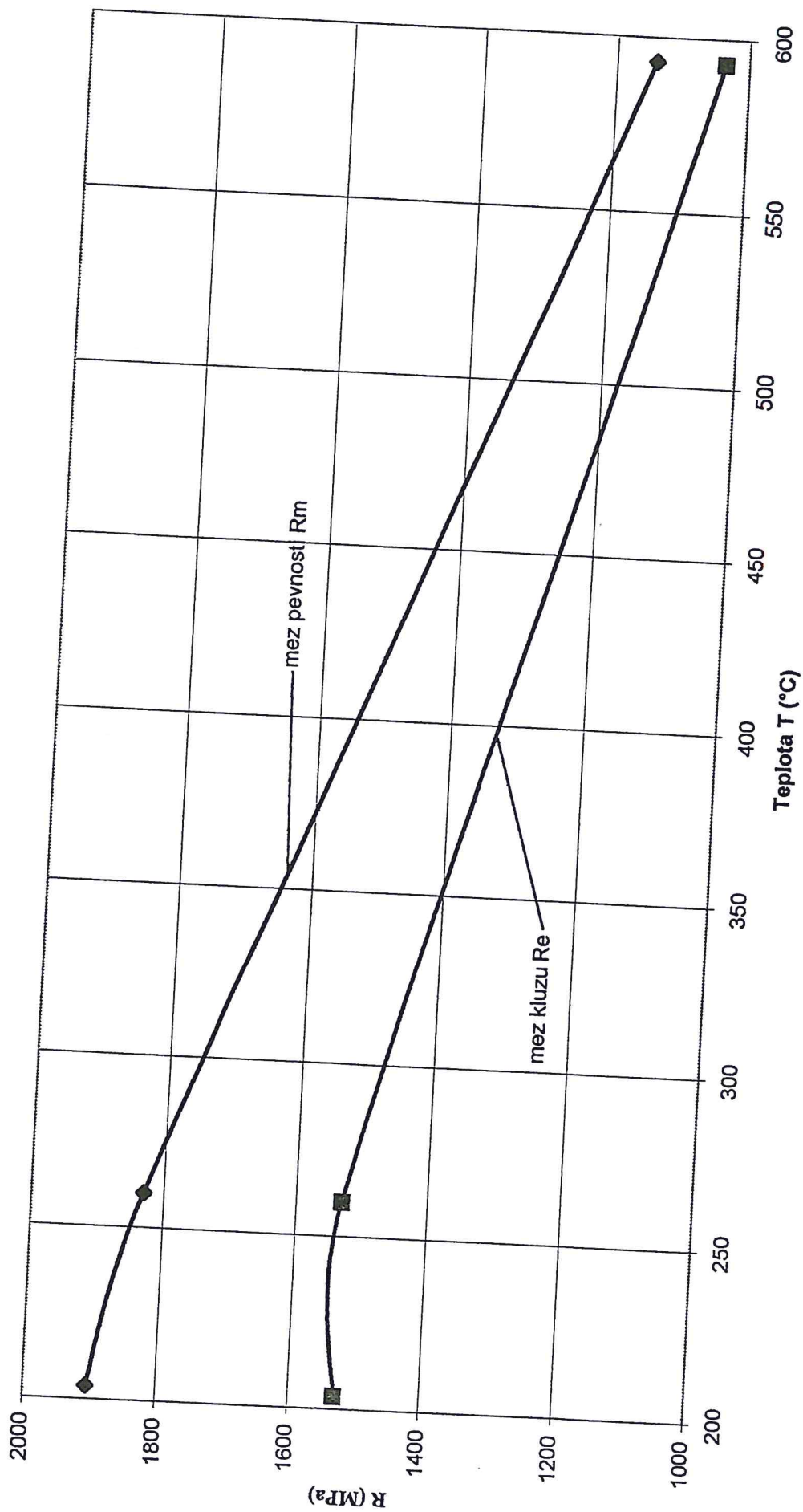
Graf č.7 Závislost tažnosti A a kontrakce Z na popouštěcí teplotě
ocel 4130, kaleno 855°C/voda a popuštěno



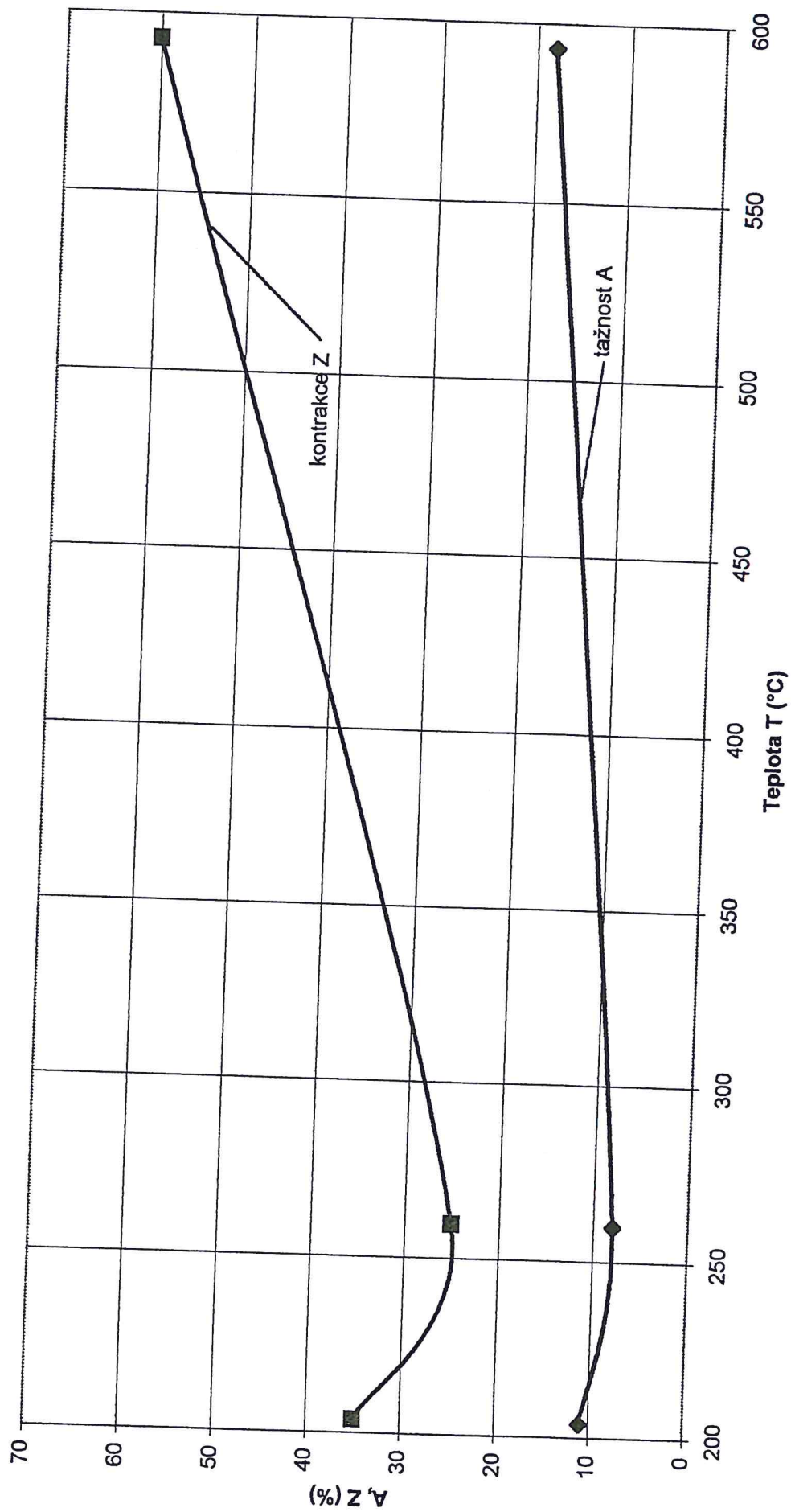
Graf č.8 Únavové vlastnosti oceli 4130 (střídavý ohyb)
normalizováno, plech tl. 2 mm



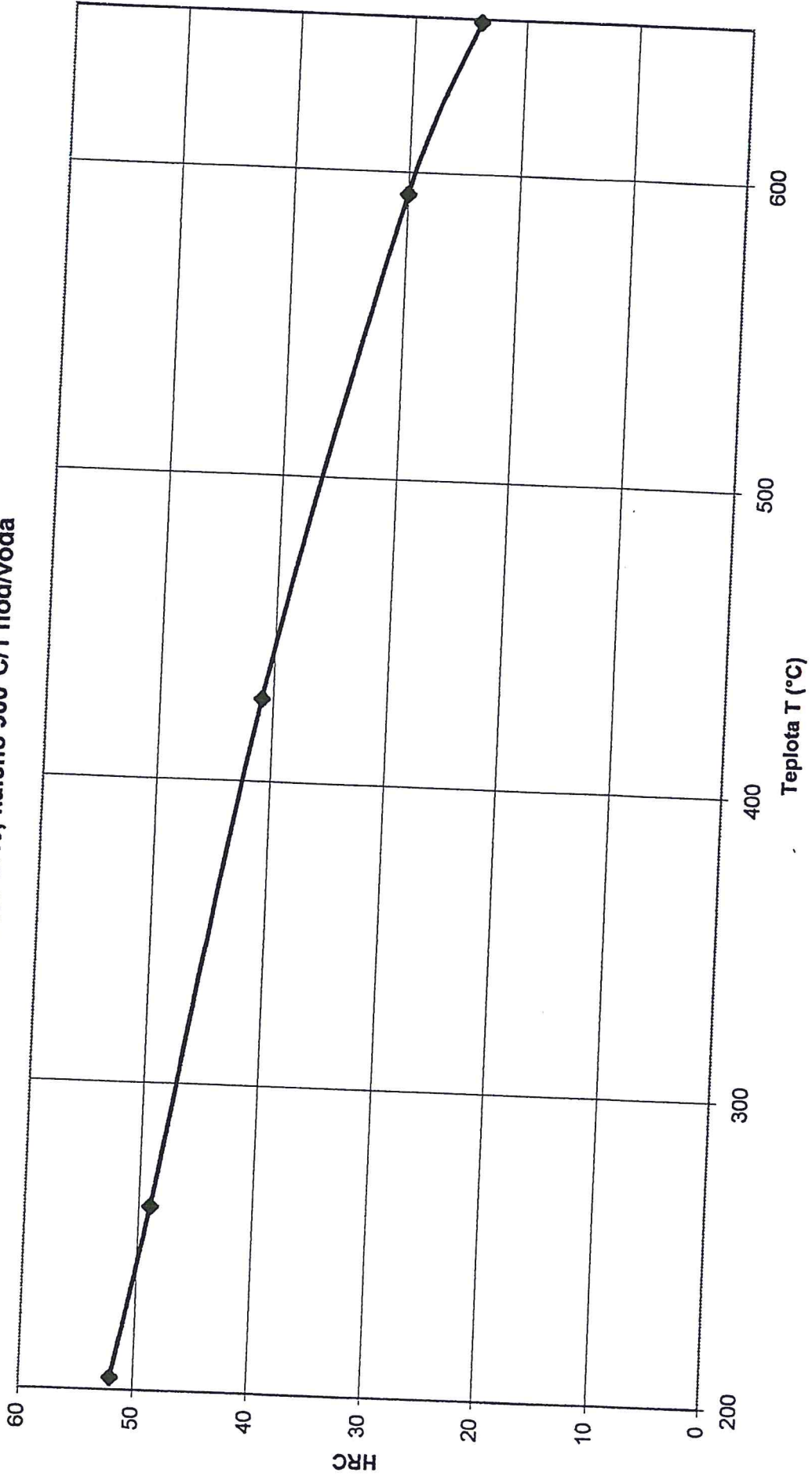
Graf č.9 Závislost meze pevnosti R_m a meze kluzu R_e na teplotě popouštění
ocel 4340, kaleno 900°C/1 hod/voda



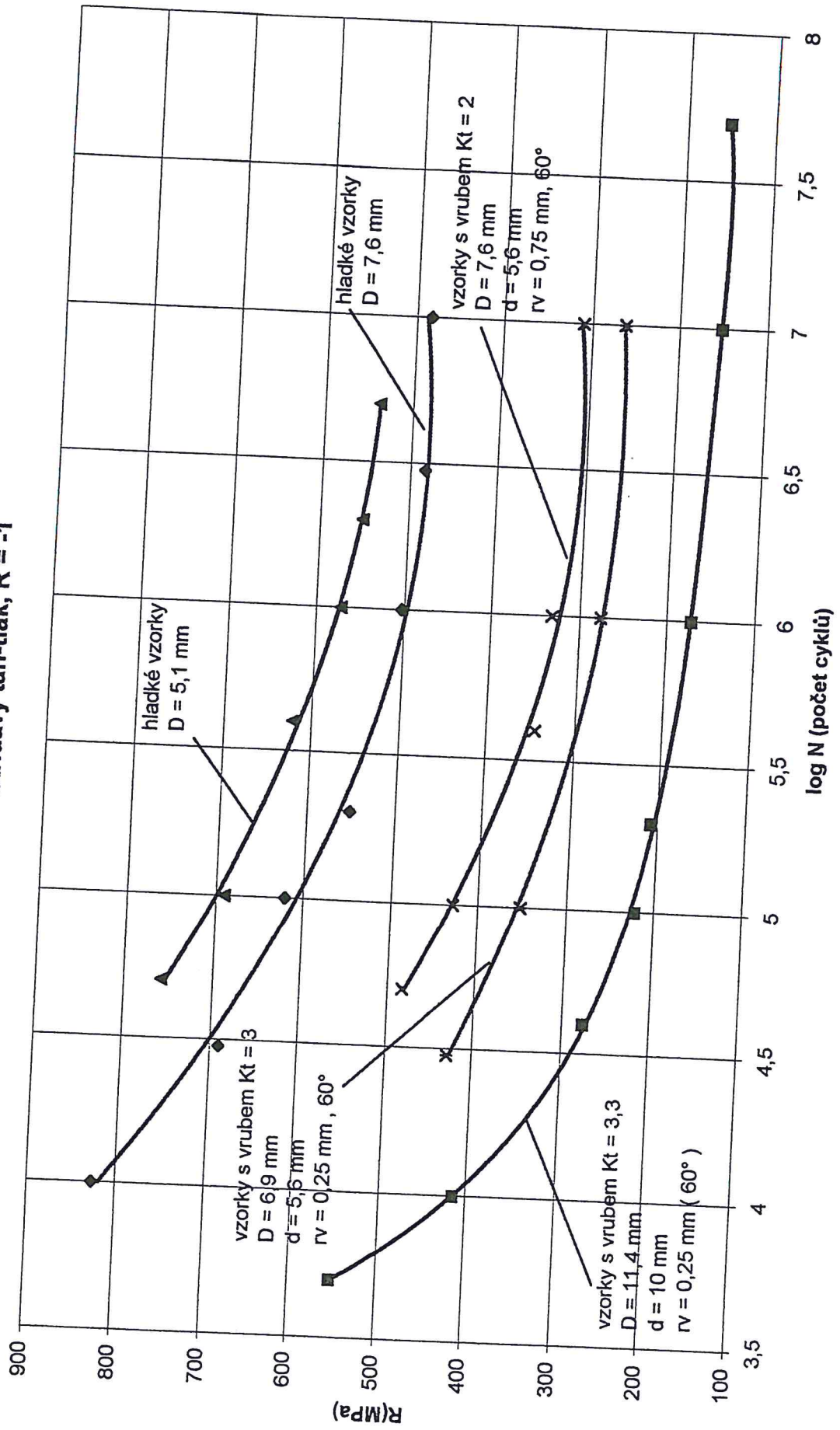
Graf č.10 Závislost tažnosti A a kontrakce Z na teplotě popouštění
ocel 4340 , kaleno 900°C/1 hod/olej



Graf č.11 Závislost tvrdosti HRC na teplotě popouštění
ocel 4340, kaleno 900°C/1 hod/voda



Graf č.12 Únavové vlastnosti oceli 4340
střídavý tah-flak, R = -1



Graf č.13 Porovnání Jominyho křivek prokalitelnosti
ocelí L-ROL, 4130 a 4340

