

d.t. Jan J a n í č e k, VÚHU

Příspěvek k otázce životnosti rypných orgánů kolesových rypadel

Po uvedení do provozu kolesového rypadla KU 800 na dole Gorkij se ukázalo, že původní koncepce rypných orgánů neodpovídá z hlediska životnosti parametrům stroje.

Korečky obsahu 800 l byly opatřeny litou bandáží z oceli ČSN 422712.1 s předlitými zuby. Při konstrukci koreček se vycházelo z dobrých zkušeností s tímto materiálem, získaných v provozu menších strojů.

Zuby byly v exponované části opatřeny ochranným návarem elektrodou V 59B. Návary byly dobře vypracovány. Povrchová tvrdost návaru byla naměřena v hodnotě cca 52-52 RC. Ocel ČSN 422712.1 na bandážích vykazovala pevnost v tahu 52-65 kp/mm² při mezi kluzu $\sigma_{Kt} \sim 27$ kp/mm² (obr. č. 1).

Stroj KU 800 byl zasazen na prvním řezu, kde se střídaly horizonty hlinitých materiálů s pískovcovými polohami a pískovcovými lavicemi; v některých místech převažovaly šterkopisky, ve kterých byly uloženy valouny různé velikosti.

Životnost břitů v těchto podmínkách byla velmi nízká. Po velmi krátké době těžby (80 - 100 000 m³) byly zuby deformovány a opotřebeny tak, že došlo nejen ke ztrátě ostří, ale i k podstatnému narušení nastavení geometrie zubů. U jednotlivých zubů docházelo k ohýbání a rozpěchování břitů.

Konstrukteři Uničovských strojírů ve snaze těchto deformací zabránit, volili z téhož materiálu nový typ zubů, které byly vytvořeny po celém obvodu bandáže, na kterou byly přišroubovány. Konstrukce těla zubu svou robustností se osvědčila. I když opotřebení vlastního břitu se snížilo, přesto bylo nutno po těžbě 300 000 m³ ostří pracně renovovat návarem. Renovace navařováním vedla k vysokým ztrátovým časům v důsledku nutnosti demontáže a montáže. Po renovaci byla životnost nižší v důsledků nedokonalé obnovy břitu (cca 100 000 m³). V nákladech na

těžbu se podíl renovací a ceny nových břitů promítal částkou $0,44 \text{ Kčs/m}^3$ rozpojené zeminy. Z těchto důvodů bylo nutno řešit otázku životnosti rypných orgánů komplexním způsobem.

Rypné orgány rypadel vystavené abrasi dané stykem s křemičitými částicemi zeminy jsou navíc v provozu zatíženy vysokými tlaky a rázy, vznikajícími při průchodu zubů pevnými polohami nadloží. Kromě tlakového namáhání je zub namáhán ohybem. Velikost a směr výslednice působící na zub je proměnlivá a odvisí nejen od vlastností rozpojované zeminy, ale i od geometrie břitu zubu, rozměrů třísky, dynamických poměrů na kolese aj. Souhrn těchto faktorů vede k deformacím a opotřebení, které určují životnosti těchto částí.

Vlastní opotřebení, vznikající třením zubu (bandáže) o zeminu, je odvislé od abrasivnosti zeminy, velikosti normálních sil a vlastností oceli, ze kterých jsou rypné orgány vyrobeny. Druhotné opotřebení vzniká tlakovým působením na břit zubu. Při překročení meze kluzu dojde k deformaci původního ostří. V případě použití oceli s nízkou mezí kluzu je ostří rozpěchováno a následně je vzniklý otřep obroušen. V tomto případě je opotřebení obrusem mnohem intenzivnější, poněvadž probíhá již za porušené geometrie břitu.

V případě použití pevných, ale křehkých ocelí, dochází při rázu k vylomení břitu. Tím ztrácí zub svoji funkci a měl by být vyměněn.

Tvrдость křemičitých částic se pohybuje kolem 1000 Hv , specifický tlak na břitu zubu dosahuje běžně hodnot kolem 100 kp/mm^2 . V okamžiku rázu velikost specifického tlaku může dosahovat několikanásobných hodnot.

Je zřejmé, že tak proměnné požadavky nelze materiálovým řešením splnit ve všech směrech. Z hlediska tvrdosti abrasivních částic zeminy by měly břity zubů být vyrobeny z oceli odpovídající tvrdosti. Oceli by tedy měly být kaleny na hodnotu min $60 - 70 \text{ H}_{\text{RC}}$ ($1000 \text{ Hv} \sim 68 \text{ H}_{\text{RC}}$). Takto zpracované ocele mají obvykle malou houževnatost a nesnesou zatížení, vznikající při nárazu korečků na pevné polohy nadloží. Tyto dva protichůdné požadavky je možno řešit kompromisem, který by byl ú-

nosným z daných hledisek.

S růstem tvrdosti oceli roste i stupeň odolnosti proti opotřebení, i když ne vždy je tento růst srovnatelný. Hlavním faktorem, ovlivňujícím tvrdost železných materiálů jsou karbidy (Fe, Mn, Cr, Mo, Va). Rozhodujícím je nejen jejich množství, ale i uspořádání. Materiály vyšší přirozené tvrdosti jsou charakteristické vyšším obsahem karbidotvorných prvků. U některých materiálů s nižším obsahem karbidů lze dosáhnout vyšší tvrdosti tepelným zpracováním nebo vytvrzením za studena.

Otěruvzdorné materiály lze rozdělit do několika skupin:

- tvrzená litina
- legovaná speciální litina
- zušlechtnuté oceli se středním obsahem C
- oceli s tvrdým povrchem získaným zpevněním za studena event. vytvrzováním
- oceli s tvrdým povrchem získaným tepelným zpracováním
- oceli opatřené tvrdými návary.

Skupina litin splňuje předpoklady po stránce odpovídající tvrdosti. Malá schopnost litin přenášet rázy a napětí v ohybu však vylučuje jejich uplatnění mimo oblast homogenních a dobře rozpojitelných zemin.

Oceli s tvrdým povrchem získaným zpevněním za studena jsou oceli, které je možno užít tam, kde proces řezání ustupuje před procesem lámání, takže je pro zpevnění využíváno periodických rázů vznikajících při rázovém průchodu zubů zeminou.

Tento proces rozpojení je však jednoznačný pouze pro křehké horniny nebo pevná uhlí. Tam, kde ke zpevnění tímto působením nemůže dojít, je odolnost proti opotřebení těchto ocelí malá. Do této skupiny patří i užitá ocel ČSN 422712.

Oceli s tvrdým povrchem získaným kalením po předchozím cementování a nitrocementování přes vysokou tvrdost (cca $64 H_{RC}$) i zachování dobré houževnatosti jádra se neosvědčily z několika důvodů:

- a) cementační vrstva je příliš slabá; po jejím opotřebení je základní materiál vystaven abrasi přímo bez krycího účinku tvrdé vrstvy;

b) cementační vrstva nesnáší vysoké rázy a místní přetížení. Dochází k jejímu popraskání a vydrolení.

Ochranné návary tvrdými elektrodami, jejichž hlavní složkou jsou karbidy Cr, Mo, V, W se vyznačují vysokou odolností proti opotřebení. Při rázech však vzniká nebezpečí popraskání. Právě cestou návaru tvrdých elektrod byl řešen vývoj zubů kolesového rypadla KU 800. Použité elektrody V 59 B vykazovaly v provozu kolesových rypadel a při hodnocení otěruvzdornosti nejlepší výsledky. Tyto zkoušky prováděné ve SVÚM Praha ukazují, že parametry této elektrody patří do skupiny nejvhodnějších materiálů.

Označení elektrod	Chemické složení										
	C	Mn	Cr	Ni	Si	Mo	W	V	B	Ti	Co
ET 1	2,05	3,41	3,66	0,04	3,46	-	3,64	-	-	0,44	-
ET 1 Extra	1,97	3,26	2,08	0,42	3,25	-	3,2	-	0,005	0,75	-
E - Mn	1,03	13,17	0,09	0,08	0,53	-	-	-	-	-	-
AB - 20R	3,61	0,50	21,95	0,16	0,31	0,40	-	0,16	-	0,23	-
Cr LDB 3	1,49	0,44	14,85	0,10	0,53	0,32	-	0,98	-	0,46	-
Čakov 2	3,2	0,56	24,90	0,21	-	-	-	-	-	0,15	-
DIA T 1	2,8	0,45	4,53	-	0,14	-	29,63	-	-	1,64	1,52
V 59	1,84	1,80	20,15	-	1,50	-	1,98	0,45	-	0,47	-
V 59 B	1,29	0,48	22,90	-	-	-	-	-	0,33	0,05	-
V 600	0,50	1,09	1,43	0,04	0,52	-	-	-	-	0,09	-

Hodnocení z hlediska otěruvzdornosti bylo prováděno na základě porovnávacích měření opotřebení mezi hodnoceným návarovým materiálem a porovnávacím etalonem.

	Střední tvrdost Hv 30		Poměrná otěruvzdornost
	Zkouš.mat.	Etalon	
ET 1	790	185	2,32
ET 1 Extra	780	182	2,31

E - Mn	270	182	1,63
AB - 20R	720	178	3,60
Cr LDB 3	490	180	2,64
Čakov 2	670	182	2,59
DIA T 1	850	180	4,34
V 59	740	183	2,45
V 59 B	760	185	3,20
V 600	820	178	2,33

Přes dostatečnou tvrdost a dobrou otěruvzdornost návarových materiálů právě u rypadla KU 800 stejně jako u rypadel pracujících v podmínkách, kde velikost rázů vede k popraskání návaru a po obrusu návaru opotřebení základního materiálu rapidně postupuje.

Z uvedeného vyplývá, že materiálové řešení rypných orgánů musí vycházet z materiálu odolného proti přetížení, vznikajícího při rázech a dobré odolnosti proti opotřebení. Zároveň s řešením otázky materiálu je třeba optimálně volit geometrii břitu.

V průběhu řešení životnosti zubů kolesového rypadla byl zkoušen nový typ oceli vyvinuté ve SVÚM v Praze. Tato dosud nenormovaná ocel je vedena pod interním označením VP 7. Patří do skupiny vysokopevnostních nízkolegovaných ocelí typu MnCrMo. Zařazení této oceli do skupiny vysokopevnostních ocelí je dáno mechanickými hodnotami po tepelném zpracování.

Ocel na odlitky VP 7 má pevnost v tahu podle podmínek tepelného zpracování v zušlechťeném stavu mezi $120 - 180 \text{ kp/mm}^2$ při mezi kluzu $90 - 140 \text{ kp/mm}^2$. Při této vysoké pevnosti stále dosahuje vrubovou houževnatost podle popouštěcí teploty v rozmezí $2 - 5 \text{ kpm/cm}^2$. Její kalitelnost a prokalitelnost do hloubky až 70 cm je výborná. Tyto její vlastnosti dávají zubům vysokou pevnost jak v uchycení, tak i v celém profilu břitové části.

Ocel VP 7 je svařitelná. Avšak v současné době nemáme odpovídající elektrodu, která by umožnila provést svar na stejné pevnostní hla-

dině jakou má odlitek.

Dosud používané elektrody MW 510 a EB 410 dávají pevnost svaru v rozsahu 70 - 80 kp/mm² při vrubové houževnatosti 6 - 10 kpm/cm². Elektrody E 62.33 a EB 127 dosahují statické pevnosti 80 kp/mm². Slévárenské vlastnosti této oceli jsou obdobné jako u uhlíkových ocelí a umožní použít stávající modelové zařízení bez jakýchkoliv úprav.

Hodnocení opotřebení v laboratorních podmínkách dává součinitel abraze 1,4 - 1,5. Nejdůležitější vlastností této oceli je však vysoká mez pevnosti a hlavně pak mez kluzu, která dovolí vysoké zatížení bříty zubu bez nebezpečí deformace řezné hrany pýchováním nebo vylomením.

Vysoká mez kluzu umožňuje i při relativně malé otěruvzdornosti zachování ostří po celou dobu životnosti. K tomuto přispívá rovnoměrnost struktury v celém průřezu, což je dáno výbornou prokalitelností.

První zkušební zuby z této oceli byly nasazeny na kolesové rypadlo KU 800 na dole Gorkij při těžbě zemin se značným podílem štěrkopísků a valounů. Tyto zuby byly zpracovány žháním tak, že bylo dosaženo dvou hladin parametrů:

σ_{pt} kp/mm ²	σ_{kt} kp/mm ²	δ %	ψ %	R kpm/cm ²
117 - 122	100 - 110	12	40	4 - 6
130 - 135	115 - 125	10	40	2 - 5

Toto provedení se ukázalo vhodným pro práci v podmínkách, kde proces rozpojení je spojen s rázovým působením (viz obr. č. 2, 3, 4).

Tam, kde převažuje prostá abraze jsou dosažené výsledky nejméně na úrovni návarů tvrdými elektrodami. Další zkoušky zubů z oceli VP 7 byly zkresleny v důsledku vysokých pevnostních tolerancí vzniklých při nedodržení podmínek tepelného zpracování. Souběžně probíhaly zkoušky této oceli na geometricky osvědčeném typu zubu K 1000 na dole ČSA (1000/24) a na dole Obránců míru (K 1000/26).

Rypadlo K 1000/24 na dole ČSA pracovalo na odklizu skryvky na třetím řezu, kde pevné šedé jíly byly prostoupeny sideritickými proplást-

ky. V těchto poměrech docházelo u zubů z oceli ČSN 422712 jak ke ztrátě ostří, tak i k deformacím ohybem, nebo k lámání zubů.

Průměrná životnost zubů z materiálu 422712 v těchto podmínkách byla 2 - 3 měsíce. Zuby z oceli VP 7, jejíž špičky byly překaleny na hodnotu 180 kp/mm^2 byly nasazeny bez jakékoliv údržby po dobu 15 měsíců; za tuto dobu bylo rypadlem vytěženo $3\,756\,600 \text{ mil. m}^3$ zeminy. Na kolesovém rypadle K 1000/26 na dole Obránců míru byly zkoušeny zuby téhož typu z oceli VP 7 zušlechtěné na hodnotu pevnosti $120\text{--}130 \text{ kp/mm}^2$ při těžbě uhlí. Před montáží zubů z oceli VP 7 bylo nutno pravidelně každý týden obnovovat ostří návarem tvrdými elektrodami. Po montáži zubů z oceli VP 7 odpadlo navařování a zuby pracovaly po dobu 54 dní (od 19.9. do 12.11.1972). Během této doby bylo bez jakékoliv údržby vytěženo sadou zubů $325\,459 \text{ t}$ uhlí, $67\,357 \text{ m}^3$ výklizu a $108\,850 \text{ m}^3$ odklizu (viz obr. č. 5, 6, 7). Břit zubů předepsaný pro slévárnu radiusem $r = 2 \text{ mm}$ byl na odlitech upraven broušením, kterým byla porušena geometrie ostří a zkrácena aktivní část břitu o 10 mm (obr. č. 8). Po vytěžení uvedeného množství vzniklo opotřebení podle obr. č. 9. Současně jsou zajištěny břity nového provedení z oceli VP 7 pro rypadle K300 na dole A. Zápotocký, pro K 300 na dole Jiří v HDPS, K 1000/23 na dole Švarma, SRs 1500 na dole Merkur. Některé sady proběhly již provozními zkouškami.

Tyto zkoušky upřesnily formulaci požadavků na pevnost a otěruvzdornost, takže lze dnes předpokládat:

- pro tvrdá abrasivní uhlí, jily spevněné křemičitými vložkami je nutno požadovat tvrdost břitu, která odpovídá pevnosti 180 kp/mm^2 při pevnosti těla zubu v hodnotě 120 kp/mm^2 ;
- pro velmi proměnlivé dobývací podmínky, kde převažují nebezpečné rázy vzniklé najetím zubů do nerozpojitelných částí nadloží, bude výhodnější i za cenu vyššího vlastního opotřebení volit mez pevností $120\text{--}130 \text{ kp/mm}^2$ v celém průřezu zubu, aby bylo sníženo riziko zlomení zubů.

Tato kritéria je nutno dále ověřovat v různých provozních podmín-

kách a zároveň je nutno řešit geometrický tvar zubu s ohledem na dodržení podmínek řezání.

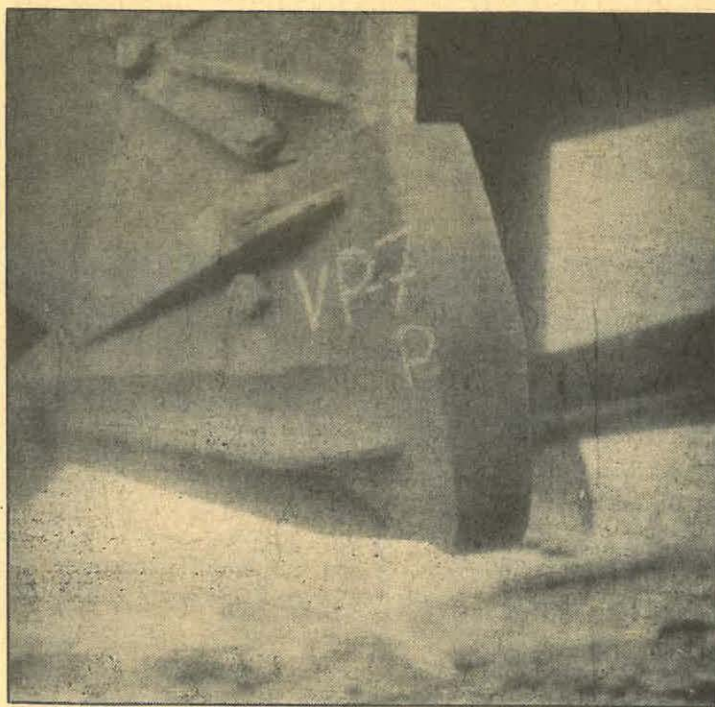
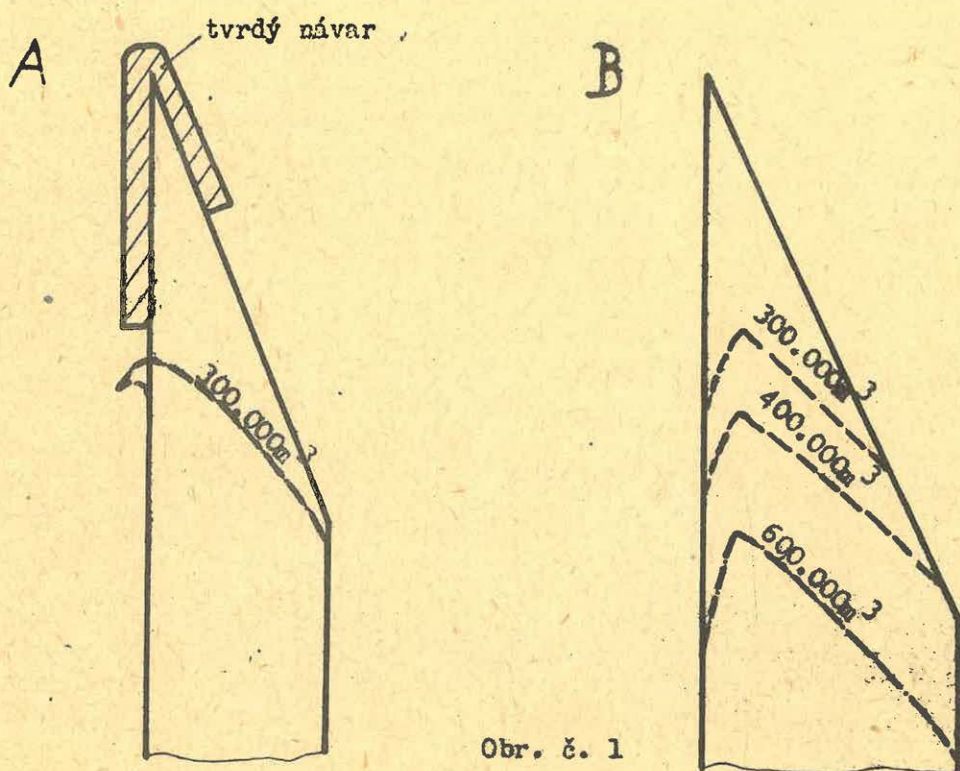
V poslední době VZMA v Mostě ve spolupráci s VÚHU Most a odborem technického rozvoje OŘ SHD vypracovalo novou variantu zubu umožňující použití na všech rypadlech mimo rypadlo KU 800. Použití předpokládá bandáž typu K 1000/fort. (tj. s komůrkami pro nasazení dřívku zubu) nebo úpravu držáku. Výrobu zubů z oceli VP 7 zajišťují ocelárny v Chomutově. Zatím z hlediska možností tepelného zpracování v tomto podniku budou dodávány výrobky zušlechtněné na hodnotu pevnosti 120 kp/mm^2 . První zkoušky těchto nových zubů budou prováděny na rypadle SRs 1500 na dole Merkur a na rypadlech K 1000, pracujících na skryvkových řezech národního podniku DVIL.

Závěr

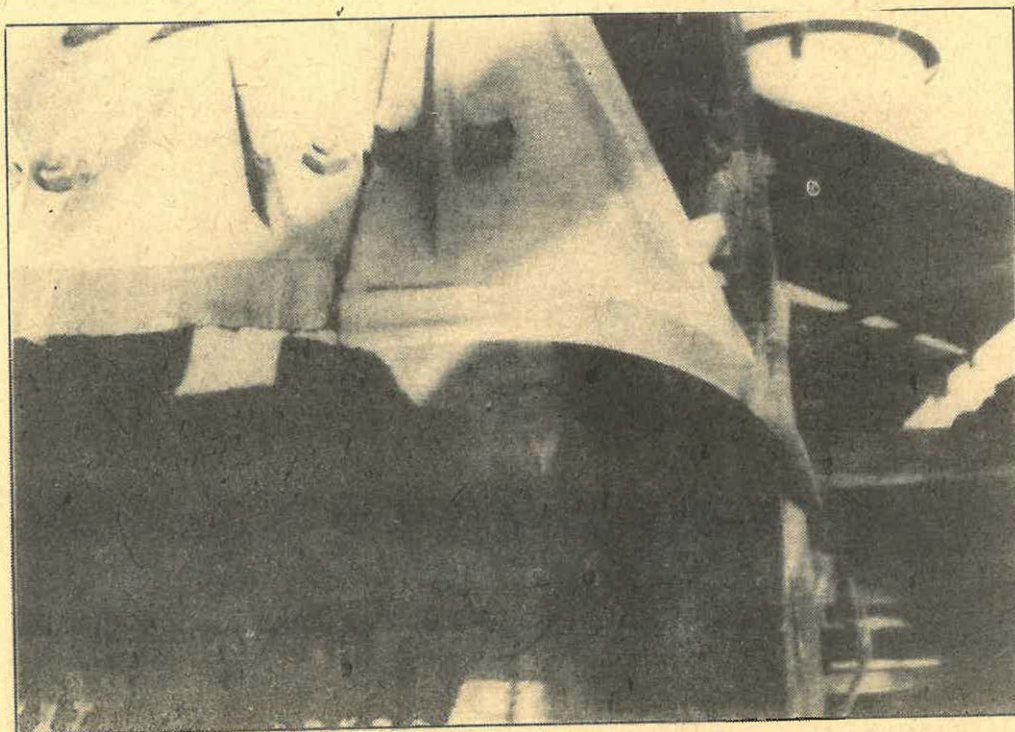
I když zkoušky s nízkolegovanou vysokopevnostní ocelí typu VP 7 proběhly zatím v několika provozních podmínkách, jsou dosažené výsledky dokladem, že lze cestou nových materiálů dosáhnout trojnásobné životnosti rypných orgánů.

Stejně důležitým faktorem je skutečnost, že použitím vysokopevnostních ocelí odpadá údržba břitů navařováním, které nejen že je operací nákladnou a náročnou na opravářenskou kapacitu, ale zároveň v zimních měsících je operací, u které v provozních podmínkách nelze zajistit vhodné technologické podmínky. Ekonomické výhody užití této skupiny ocelí jsou dnes již nesporné. V další fázi výzkumu bude nutno podrobně zhodnotit vliv event. technologických změn v ocelárnách daných zavedením této oceli do výroby na její parametry a určit provozní podmínky, pro které bude tato ocel vhodná.

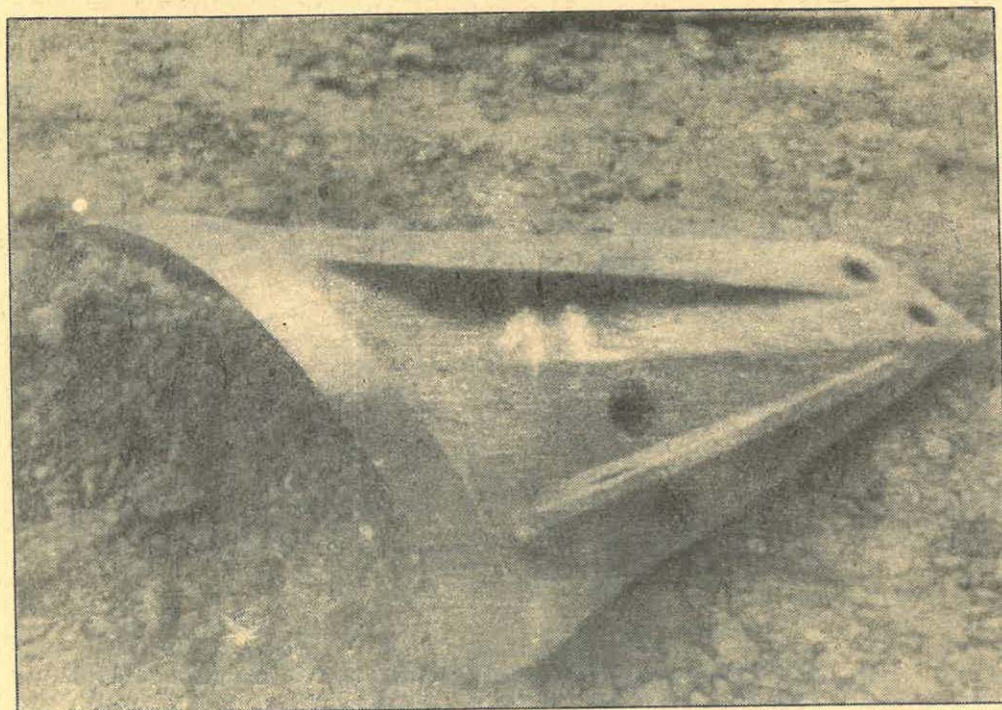
Současně s řešením otázky materiálu bude třeba zrevidovat geometrické parametry zubů s ohledem na rychlostní a silové podmínky řezání. Cesta unifikace a centrálního skladování může zabezpečit provoz rypadel s mnohem menší zásobou náhradních dílů.



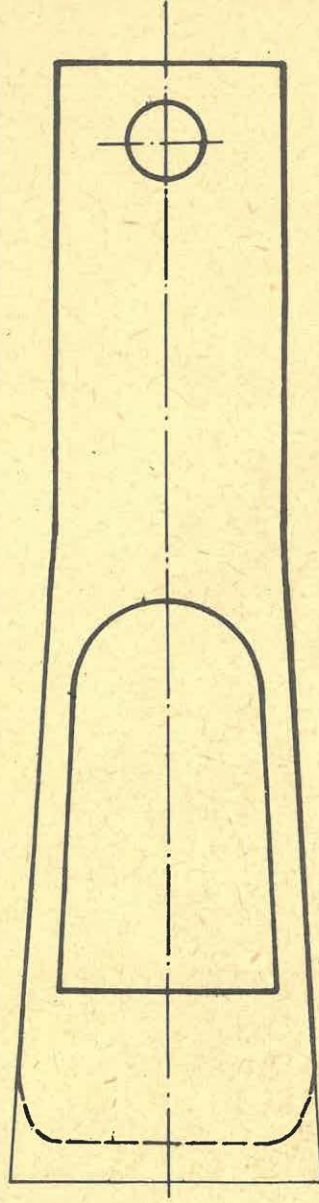
Obr. č. 2 - VP 7 pouze žíhaná, nokalená



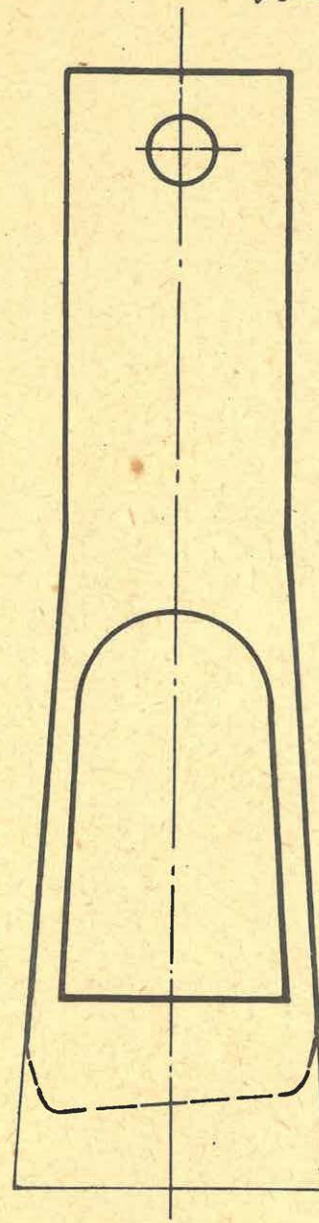
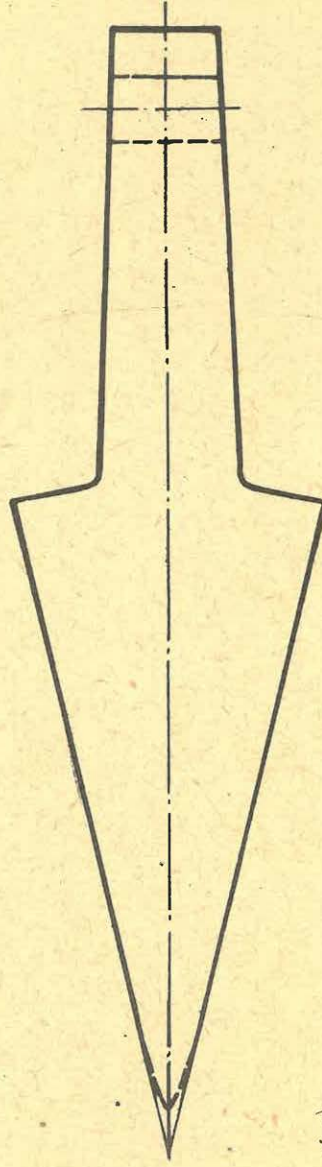
Obr. č. 3 - Opatřebení zubů KU 800 z materiálu VP 7 (rohový zub) šlechtěný na 120 kp/cm² mat. 422712.16 (čelní zub)



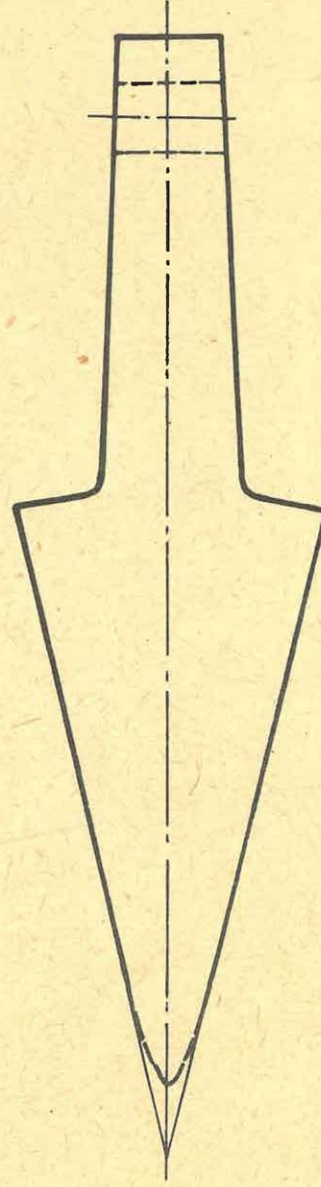
Obr. č. 4 - VP 7 šlechtěné na 110 kp/cm²



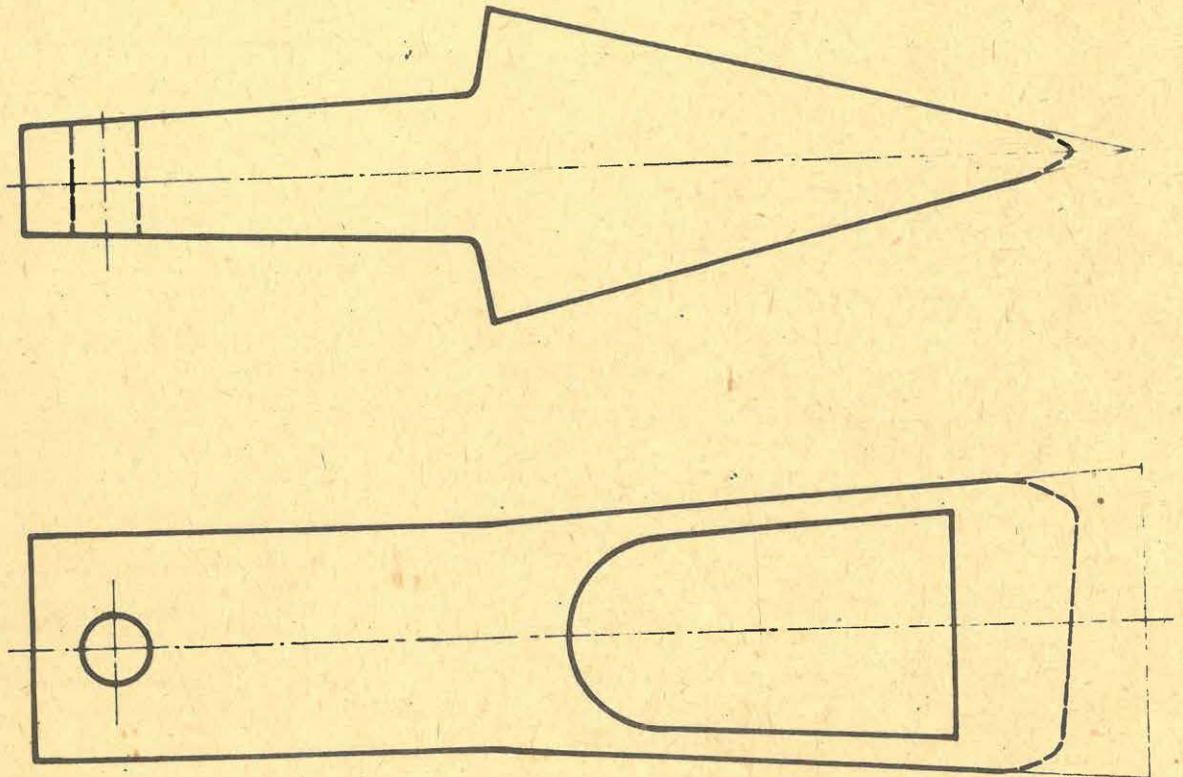
Obz. 8. 5
K 1000/24 V.Č.S.A., ZUB "VP 7" - LEVÝ BOČNÍ



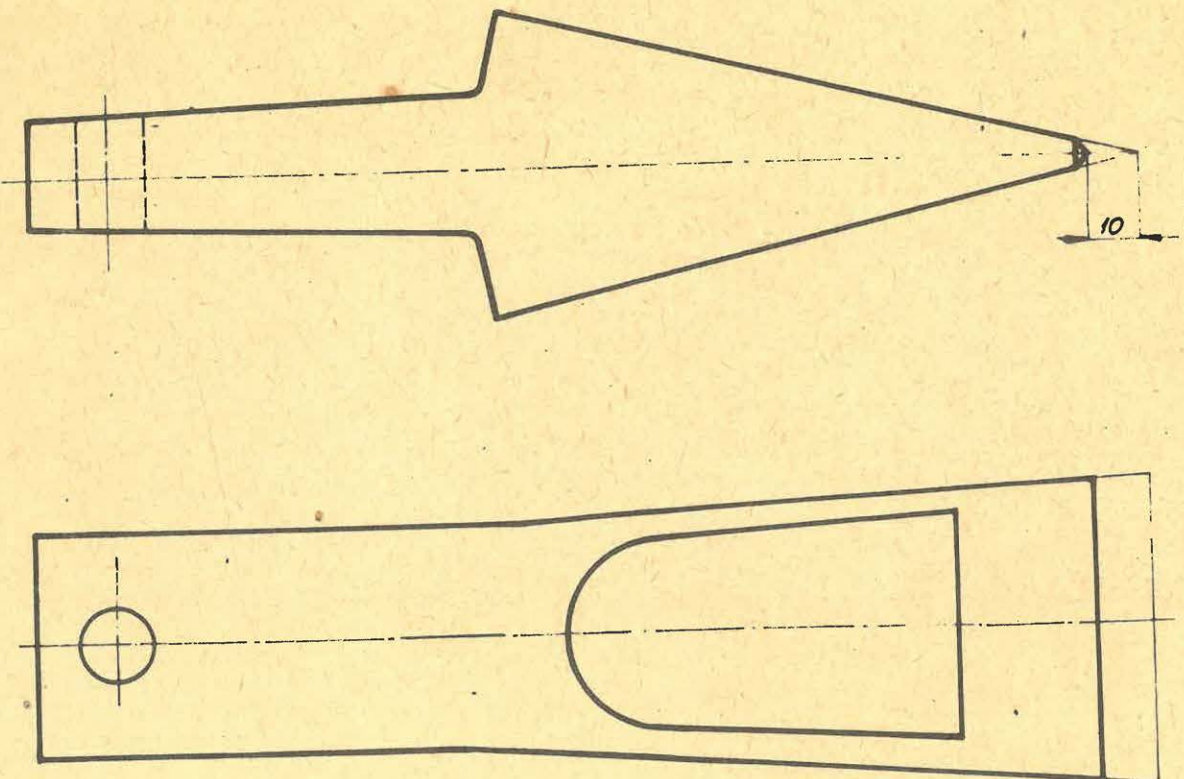
Obz. 8. 6
K 1000/24 V.Č.S.A., ZUB "VP 7" - PRAVÝ BOČNÍ

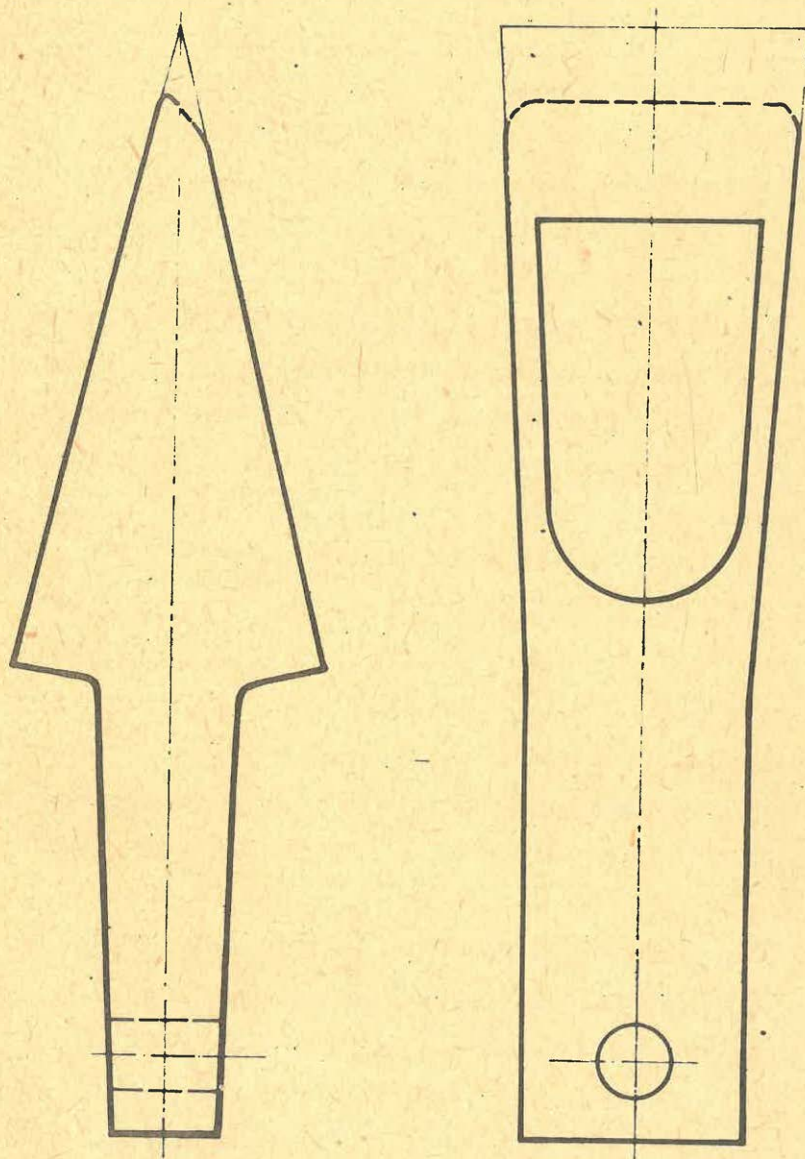


Обр. 8. 7
K 1000/24 V.C.S.A., ZUB "VP 7" - LAMÉ STIMUL



Обр. 8. 8
Zub o periskopu geometricki ostri





Obr. č. 9
Opetřebení subu s porušenou geometrií ostří