

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta



Volba vhodného materiálu pro robotickou apretaci

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí bakalářské práce: Bc., Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

Autor: Bc. David Doubek

PRAHA 2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. David Doubek

Technika a technologie v dopravě a spojích
Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Volba vhodného materiálu pro robotickou apretaci

Název anglicky

Selectin of suitable material for robotic apretation

Cíle práce

Cílem diplomové práce je shromáždit a analyzovat aktuální poznatky o materiálech používaných pro apretaci betonových komponentů. Student shromáždí literární poznatky o předmětné problematice, ve které se zaměří především na rozbor problematiky týkající se robotické apretace a materiálů vhodných pro konečnou úpravu betonových komponentů.

V praktické části student stanoví efektivní možnost obrobení betonových komponentů a zvolení vhodného materiálu pro apretaci daných betonových prvků.

Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše).

Cíle práce a metody jejího vypracování.

Řešení podstaty dané problematiky.

Přínos a závěry práce.

Doporučený rozsah práce

cca. 60 stran

Klíčová slova

Beton, obrábění, povrchová úprava

Doporučené zdroje informací

COLLEPARDI, M.: Moderní beton. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2009.

ČSN EN 197-1 ed. 2 – Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití. Český normalizační institut, Praha: 2012.

GRÜBL, P., WEIGLER, H., KARL, S.: Beton: Arten, Herstellung und Eigenschaften. Berlin: Ernst & Sohn, 2001.

KNĚŽEK, J., a kol., Ekologické a ekonomické zpracování průmyslových odpadních materiálů: Stavební kompozity s aplikací jemnozrnných průmyslových odpadních materiálů. Brno: Výzkumný ústav stavebních hmot, 2012.

Průvodce betonářskou normou ČSN EN 206+A1 a ČSN P 73 24 04. Svaz výrobců betonu ČR, březen 2020.

Příručka technologa – Beton – suroviny, výroba, vlastnosti vydal: Českomoravský beton, HeidelbergCement Group, leden 2010.

PYTLÍK, P.: Technologie betonu 1. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1994.

ROVNANÍKOVÁ, P.: Omítky. Chemické a technologické vlastnosti. Praha: STOP, 2002.

SCHULZE, W., MÜLLER, K.: Beton: Baustoff unserer Zeit. Karlsruhe: Institut für Massivbau und Betoningenieure, 2014.

Předběžný termínobhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

Bc. Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2021

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 1. 2021

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 19. 04. 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Volba vhodného materiálu pro robotickou apretaci vypracoval samostatně za pomoci literatury a odborných publikací uvedených na konci práce v příloženém seznamu.

V Praze dne:

Podpis:

Poděkování

Děkuji zejména vedoucímu mé diplomové práce Bc. Ing. Petru Hraběti, Ph.D, za spolupráci, odborné rady a vedení při zpracování tématu.

Současně bych chtěl poděkovat společnosti BETONPRES a.s. se sídlem v Kočíně, zvláště panu Miroslavu Poncovi, za poskytnutí materiálu a podkladů pro experimentální část mé diplomové práce.

Mé poděkování patří také Ing. Bohumilu Šarešovi z firmy MONTEKORD MACHINES s.r.o. se sídlem ve Strakonících za záštitu experimentu, odborné rady a konzultace k dané problematice.

Abstrakt

Tato diplomová práce byla vypracována na zadané téma Volba vhodného materiálu pro robotickou apretaci, betonového materiálu. V teoretické části je popsáno využití betonových materiálů v průmyslovém odvětví. V dalších krocích bylo sledováno složení betonu, způsob frézování a druhy nástrojů. Experimentální část je zaměřená na zjištění trvanlivosti nástrojů při apretaci zadaného materiálu a jeho životnost v betonářském průmyslu.

Klíčová slova

Beton, obrábění, povrchová úprava

Abstract

The topic of the diploma thesis is Selection of the suitable material for robotic finishing in the concrete material. The theoretical part describes usage the of the concrete materials in the industry. In the next steps, the composition of the concrete, the milling method and the types of tools are described. The experimental part is focused on the durability of tools in the finishing of the specified material and its durability in the concrete industr.

Keywords

Concrete, machining, surface finish

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíl práce	11
3. Metodika	12
4. Rozsah použití betonu.....	13
5. Beton.....	15
5.1. Složení betonu.....	15
5.2. Základní složky betonu	15
5.2.1. Cement	16
5.2.2. Příměsi do směsných cementů	16
5.2.3. Kamenivo	22
5.2.4. Přísady.....	22
5.2.5. Ostatní přísady	25
5.2.6. Příměsi	26
6. Betonová střešní krytina.....	27
6.1. Střecha.....	27
6.2. Výhody betonových střešních krytin.....	27
6.3. Ekologie výroby betonových střešních krytin.....	28
7. Frézování.....	30
7.1. Druhy frézování	30
7.1.1. Čelní frézování	30
7.1.2. Obvodové frézování.....	31
7.2. Druhy nástrojů.....	33
7.3. Volba nástroje	34
7.3.1. Rychlořezné oceli.....	34
7.3.2. Tvrdokov	36
7.4. Povlaky.....	37

7.4.1.	Povlak Maximizer +	37
7.4.2.	Povlak Hardcut.....	38
8.	Experimentální část.....	40
8.1.	Metodika experimentální části	40
8.2.	Hřebenáč	40
8.3.	Problematika zadaného kusu po výrobním procesu.....	40
8.4.	Obráběný vzorek pro experimentální část.....	41
8.5.	Vřeteno.....	42
8.6.	Virtuální pracoviště.....	43
8.7.	Robot pro apretační pracoviště.....	43
9.	Řezné nástroje	47
9.1.	Vzorek 1	47
9.2.	Vzorek 2.....	47
9.3.	Vzorek 3.....	48
9.4.	Vzorek 4.....	49
9.5.	Vzorek 5.....	50
9.6.	Volba pracovních podmínek	50
9.6.1.	Opotřebení břitu	52
9.6.2.	2 Stereomikroskop Zeiss Stemi 508A.....	53
10.	Princip měření	55
11.	Vyhodnocení	56
11.1.	Vzorek 1	56
11.2.	Vzorek 2.....	58
11.3.	Vzorek 3.....	60
11.4.	Vzorek 4.....	61
11.5.	Vzorek 5.....	63
12.	Celkové vyhodnocení.....	66
13.	Závěr	67

14.	Použitá literatura	68
15.	Seznam obrázků	71
16.	Seznam tabulek	73
17.	Seznam grafů.....	74
18.	Přílohy	75

1. Úvod

V dnešní době je kladen velký důraz na minimalizaci těžké manuální práce a proto se posouvá modernizace průmyslu směrem k automatizaci prostřednictvím robotizace nahrazují manuální práci, kterou zastávají stroje a robotická ramena. Tyto stroje se dají prakticky využít téměř na každou práci od manipulace, zakládání až po přesné aplikace. Automatizace se postupně využívá ve všech odvětvích průmyslu.

Při výrobě v betonářském průmyslu se automatizace primárně využívá pro manipulaci s těžkým materiálem, skladování, zakládání a paletizaci. Automatizace má bezesporu velký přínos při úspoře manuální práce, zkvalitnění a zrychlení výrobního procesu.

Výrobci dnes kladou velký důraz na zvyšování produktivity a kapacity svých výrobních závodů, což nahrává automatizaci, která umožňuje tyto cíle dosáhnout. Jelikož s využitím robotizovaného pracoviště můžeme dosáhnout zrychlení a zkvalitnění celkového procesu práce, odpadají zde prostoje, což má i přínos při úspoře času a materiálu, který vede k finančnímu zhodnocení. To napomáhá při konkurenčním boji.

Z tohoto důvodu se hledají stále nová využití. Firma Betonpres se specializuje na výrobu betonových artiklů střechy. Diplomová práce se zaměřuje na jeden z problémů, a to odstranění otřepů z betonových tašek po výrobě. Otřepy mají negativní vliv na vizuální stránku kusu ale i na funkční. Zamezují kvalitní pokládce tvořící linii. Proto se klade velký důraz na odstranění.

Práce je rozdělena na teoretickou a experimentální část.

V první jmenované se zaměřuje na problematiku betonových materiálů, složení a volby nástroje na apretaci otřepu po výrobním procesu.

V experimentální části je ověřována vhodnost daných nástrojů a jejich životnost a trvanlivost během experimentu. Cílem experimentu je vyhodnotit vhodnost nástroje s ohledem na trvanlivost, životnost a ekonomické zhodnocení pro využití v sériové výrobě. Pro experiment bylo zvoleno pět nástrojů.

Ve výsledku experimentu jsou zhodnoceny parametry životnosti a trvanlivosti všech zadaných nástrojů tak, aby byl zvolen nejvhodnější nástroj s nejpříznivějšími výsledky a finančním zhodnocením pro sériovou výrobu.

2. Cíl práce

Cílem této diplomové práce je vyhodnotit informace o problematice obrábění betonových materiálů, přiblížit přednosti betonu, jeho výrobu a použití v praxi. Zároveň bylo cíleno na význam automatizace nejen v automobilovém, ale i při výrobě vyžadující vynaložení těžké manuální práce, namáhavé práce s ohledem na možnost zvýšení kvality daného artiklu.

Experimentální část sleduje volbu, vyzkoušení a vyhodnocení nejvhodnějšího nástroje pro danou apretaci betonového materiálu.

3. Metodika

Z pomoci uvedených publikací a zdrojů je popsána problematika využití betonových materiálů v průmyslových odvětvích. Druhy používaných frézovacích nástrojů. Dalším krokem je trend využití betonových materiálů. Druhá část práce je experimentální je zaměřena na návrh vhodného nástroje pro obrábění betonového materiálu s následným zhodnocení životnosti nástroje a ekonomické zhodnocení v sériové výrobě.

4. Rozsah použití betonu

V dnešní době se beton propracovává cestu i do jiného průmyslového sektoru než jen stavebního. Z betonu se postupem vývoje začínají vyrábět různé betonové doplňky až po nábytek. Speciálně upravený beton ve formě polymerního betonu lze dávkovat dnes již známou metodou upraveného 3D tisku speciální hlavou.

Beton je jedním z nejpoužívanějších stavebních materiálů. Jeho široké využití sahá od nosných konstrukcí, stěnových desek, panelů, konstrukčních skeletů až k podlahovým plochám. Využití betonu nemá hranic díky jeho mimořádným vlastnostem. Uplatní se i v různých prostředích: na suchu, ve vodě, v zemi, je využitelný i v nehostinných klimatických podmínkách v chladu i za vysokých teplot. [1]

Dalším nesporným využitím betonu je jeho uplatnění ve vývoji obráběcích strojů v důsledku zvyšování pracovních parametrů u obráběcích center, u kterých se pracovní posuv pohybuje v rozmezí $60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ až k $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. U těchto strojů roste požadavek na tuhost rámu při provozu. S ohledem na dynamické parametry pohyblivých částí stroje mají primárně využívané materiály jako litina a ocel u takto vysokých pracovních posuvů nižší vlastnosti tlumení a rázů. Proto se začíná využívat v jejich konstrukci beton viz obr.1. Využití betonu má nezpochybnitelnou výhodu v úspoře materiálu a výrobní náklady. Hlavním výhodou je vyšší tlumení rázu a snížení chvění při provozu stroje. Tlumící rázy jsou až 30krát vyšší než u běžně používaných konstrukcí z oceli. Výhody nižšího chvění při provozu mají za následek zlepšení podmínek obrábění, přesnost a stabilitu stroje na základu. [2]

obr. 1 Betonová konstrukce obráběcího centra [2]



V dnešní době si beton razí cestu i do jiného průmyslového sektoru než jen stavebního. Z betonu se postupem vývoje začínají vyrábět různé betonové doplňky, dokonce i nábytek. Speciálně upravený beton ve formě polymerního betonu lze dávkovat dnes již známou metodou upraveného 3D tisku speciální hlavou viz obr.2. Je zde využit i recyklovaný materiál v podobě termoplastu jako pojivo a směs s frakcí až 4 mm. Takto zhotovený produkt má výborné vlastnosti, jako jsou voděodolnost a houževnatost.

V budoucnu by se mohly tímto způsobem tisknout i díly do automobilového průmyslu, kde je trend nahradit ocelové díly v souvislosti s nižší cenou. Jelikož se beton vyrábí z přírodních a pro danou situaci levných zdrojů a v případě polymerního betonu i z recyklovaných materiálů je tot cesta do budoucna. [3]

obr. 2 tisková hlava pro tisk polymerního betonu [3]



5. Beton

Beton je stavební prvek, který se skládá ze směsi cementu, hrubého a drobného kameniva a vody s přísadami či příměsemi, bez kterých by nemohl získat své vlastnosti hydratací cementu. [1] [5]

5.1. Složení betonu

Beton se skládá ze dvou zásadních složek. cementu nebo cementového tmelu a kameniva. Kamenivo má zásadní funkci a tou je tvoření kostry betonu s co nejmenší mezerovitostí. Dnešní kamenivo tvoří několik frakcí: hrubý štěrk, jemný štěrk a písek. Cementový tmel, který se skládá z cementu a vody spojuje daná zrna kameniva. V dnešní době se kladou vysoké požadavky na kvalitu betonu, proto se vedle hlavních přísad jako cement, kamenivo a voda přidávají různé přísady a příměsi pro zkladnění. Po přidání příměsí je dosahováno lepších vlastností betonu a ve srovnání s klasickým betonem vzniká beton speciální, s lepšími vlastnostmi. Dané přísady jsou specifikované v normě ČSN 206 BETON - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. [6] [7]

5.2. Základní složky betonu

Základní složky :

- a) Cement
- b) Voda
- c) Kamenivo.

Doplňkové složky:

- a) Přísady (do 5 % cementu)
- b) Příměsi (práškové látky).

Výztuže:

- a) Betonářská ocel (pruty, sítě)
- b) Předepjatá výztuž, rozptýlená výztuž (dráty, vlákna).

Jelikož se výztuže u střešních krytin nepoužívají, nebudou zde uváděny. U běžně užívaného betonu se s ním však setkáváme. [5]

5.2.1. Cement

Cement je hydraulické pojivo, které po smíchání s vodou tvoří cementový tmel, který tuhne a tvrdne následkem hydratačních reakcí a procesů. Po ztuhnutí mu zůstává daná pevnost a stálost ve vodě. [5]

Hlavní složky

Hlavní složky jsou speciálně vyspecifikované anorganické látky v množství, které se dostává přes 5% hmotnosti veškerých použitých látek a doplňujících složek. [5]

Jelikož se výztuže u střešních krytin nepoužívají, nebudou zde uváděny. U běžně užívaného betonu se s ním však setkáváme.

5.2.2. Příměsi do směsných cementů

Příměsi se mohou v cementu chovat jako látky latentně hydraulické, pucolány nebo jako inertní příměsi. Látky latentně hydraulické jsou takové, které získávají hydraulické vlastnosti po přidání budiče. Tyto vlastnosti vykazuje vysokopecní zásaditá struska. Pucolány jsou látky, které jsou schopny reagovat s vápennými ionty za vzniku hydratačních zplodin, které jsou chemicko-minerologicky podobného složení jako hydratační zplodiny portlandského cementu. Tyto vlastnosti vykazuje např. popílek na bázi amorfního oxidu křemičitého SiO_2 a křemičité úlety. Inertní příměsi jsou látky, které v portlandském cementu nevykazují žádné hydraulické vlastnosti, jsou tedy nereaktivní a působí pouze jako plnivo. Příměsemi do směsných cementů jsou vysokopecní struska, křemičité úlety, přírodní kalcinované pucolány, křemičité a vápenaté popílky, kalcinovaná břidlice a vápenec. [5]

Portlandský slinek

Portlandský slinek se vyrábí pálením přesně připravené směsi, která obsahuje prvky oxidy CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , a další nepatrná množství jiných látek. Daná směs musí být homogenní. Portlandský slinek je hydraulická látka, která musí obsahovat nejméně 2 třetiny své hmotnosti z křemičitanu vápenatého (trikalciumpsilikát C_3S , Alit a dikalciumsilikát

C₂S, Belit). Ve zbytku směsi jsou složky obsahující hliník a železo (trikalciualuminát C₃A a tetrakalciuminátferit C₄AF) [5]

Pucolány

Pucolány se řadí mezi přírodní látky křemičité či křemičito-hlinité, možná je i kombinace obou. Popílek a křemičitý úlet mají stejné vlastnosti jako pucolány. Pucolány při styku s vodou netvrdnou, dokud nejsou jemně semlety, reagují při normálních teplotách s rozpuštěným hydroxidem vápenatým (Ca(OH)₂) a tvoří sloučeniny křemičitanu vápenatého a hlinitanu vápenatého, které způsobí narůstající pevnost. Tyto látky jsou velmi podobné látkám, které vznikají při tvrdnutí hydraulických látek. Pucolány obsahují aktivní oxidy hlinitý (Al₂O₃) a křemičitý (SiO₂). Zbytek je zastoupen oxidem železitým (Fe₂O₃) a dalšími. Zastoupení oxidu křemičitého musí přesahovat 25% hmotnosti. [8]

Přírodní pucolán

Přírodní pucolán představuje nejčastěji látky vulkanizovaného původu či sedimentární horniny vhodného chemického nebo mineralogického složení. Jedná se velmi jemné materiály sopečného původu, které jsou velmi reaktivní. Reaktivita daných hornin je daná přítomností skelné fáze. Pucolány sopečného původu obsahují přibližně 50 % oxidu křemičitého, 30 % oxidu hlinitého a železitého spolu s nízkým obsahem oxidu vápenatého a hořečnatého, jako pucolánově aktivní materiály lze využít i ty materiály, které se v přírodě nachází v kusové podobě, ale je nezbytné rozemlít je na malé a jemné částice. Takto lze použít takové suroviny, jako jsou mletá pemza, slída, opály, čedič, chalcedony, živce, apod. Je možno uvést další sedimenty s vysokým obsahem reaktivního oxidu křemičitého, např. zeolity a rozsivkové zeminy, tzv. křemeliny. Zeolity spadají do skupiny přírodních pucolánů svými charakteristickými schopnostmi. Jsou to hydratované hlinitokřemičitany, které obsahují také oxidy křemičité a hlinité složky, jako jsou oxid sodný. Jedny z nejvýznamnějších zeolitů jsou analcim a chabazit. [8]

Mezi přírodní kalcinované pucolány se řadí látky vulkanizovaného původu břidlice hlíny nebo sedimentované horniny, aktivované tepelnou úpravou. [5]

Granulovaná vysokopecní struska

Granulovaná vysokopecní struska vniká při rychlém ochlazení ideálně složené struskové taveniny vznikající při tavení železné rudy v pecích.

Struska musí být co nejrychleji ochlazená vhodně složené struskové taveniny. Vysokopecní struska se požívala jako kamenivo do betonu. V posledních letech, se z důvodu nedostatku strusky od tohoto způsobu upustilo. Struska je přidávána do cementu jakožto mletá složka na měrný povrch $275 \text{ m}^2 \text{ kg}^{-1}$ a v cementu má funkci latentní hydraulické látky. Struska by se měla skládat ze 2/3 ze skelné fáze a po přidání budičů by měla mít hydraulické vlastnosti. [5]

Struska použitá jako příměs do cementu musí splňovat hodnotu modulu bazicity MZ větší než 1. [4]

Hmotnostní podíl musí být větší než 1 dle vzorce

$$Mz = \text{CaO} + \text{MgO} / \text{SiO}_2$$

Budiče strusky jsou síranové, a to anhydrit či sádrovec, nebo zásadité jako vápno nebo portlandský cement. Za přítomnosti strusky při hydrataci slinku vzniká poměrně málo portlanditu a tím pak dochází ke shluku méně bazických vápenatých hydrosilikátů. Zastoupení strusky v portlandském směsném cementu má za následek zpomalení doby tvrdnutí a tuhnutí ve srovnání s čistým portlandským cementem. Následně vzniklá mikrostruktura hydratovaného portlandského cementu s obsahem strusky bývá kompaktnější za vzniku ettringitu v začátcích hydratace a portlanditu. Pórovitost je zachována v důsledku pomalejšího nárůstu hydratačních zplodin, které vznikly hydratací strusky a tím se zvyšujícím podílem gelových pórů. To má za následek lepší trvanlivost cementového kamene. [9]

Vápenec

Vápenec, který se používá jako přísada do cementu, musí splňovat několik podmínek. Vápenec se musí především vyznačovat minimálním obsahem 75 % hmotnosti uhličitanu vápenatého CaCO_3 s nízkým podílem jílu. Obsah jílovitého podílu, který se stanovuje methyleneovou modří dle normy EN 933-9, nesmí přesáhnout hodnotu 1,20 g/100 g. Celkový obsah organického uhlíku (TOC) při kontrolách dle EN 13639 musí splnit podmínky, a to že LL obsah TOC nesmí překročit 0,20 % hmotnosti a L obsah TOC nesmí překročit 0,50 % hmotnosti. Obsah vápence v portlandském cementu má zásadní vliv na prodloužení počátku a doby tuhnutí a zároveň snižuje konečnou pevnost kameniva. Ve finálním betonu to má pozitivní vliv na následnou zpracovatelnost. [5] [10]

Kalcinovaná břidlice

Kalcinovaná olejnatá břidlice, se vyrábí ve speciálních pecích při teplotě, která se blíží k 800°C . Dle složení daného přírodního materiálu a výrobních postupů obsahuje slinkové fáze, zejména monokalciumaluminát a dikalciumsilikát. Kalcinovaná břidlice disponuje v jemném stavu značnými hydraulickými vlastnostmi, jako portlandský cement a také má pucolánové vlastnosti. Ideálně připravená směs kalcinované břidlice musí uspět ve zkoušce dle EN 196-1 po 28 dnech pevnosti v tlaku nejméně 25 MPa. Rozpínání při zkoušce objemové stálosti dle EN 196-3 nesmí přesáhnout 10 mm s použitím 30 % hmotnosti semleté kalcinované břidlice a 70% hmotnosti CEM 1 odpovídající normě En 197-1. [5] [11]

Křemičitý úlet

Křemičitý úlet vzniká jako vedlejší produkt redukcí křemíkových kovů vysoké čistoty v elektrické obloukové peci při výrobě křemičitých nebo ferro-křemičitých slitin zachycovaných ve filtrech. Bývají často nazývány mikrosilika. Křemičité úlety musí splňovat určité požadavky, a to při žihání nesmí překročit 4% hmotnosti dle normy EN 196-2, po dobu 1 hodiny. Další podmínkou je, že měrný povrch stanovený absorpcí dusíku dle normy ISO 9277 musí být nejméně $15\text{m}^2\text{g}$. Mikrosilika skládající se z velmi jemných, kulovitých částic musí obsahovat minimálně 85% hmotnosti amorfního oxidu křemičitého.

Mirkosilika působí jako pucolánová směs urychlují po aktivaci tvrdnutí za současného zvýšení hydratačního tepla. [11] [5] [9]

Popílek

Popílek vzniká mechanickým nebo elektrostatickým odlučováním prachových částic, uvolňujících se z topenišť vytápěných práškovým uhlím. Popílek získaný jinou cestou, se nesmí použít v cementech dle EN 197-1. Popílek může být svými vlastnostmi vápenatý či křemičitý. První jmenovaný má hydraulické vlastnosti a druhý pucolánové. [5]

Křemičitý popílek

Křemičitý popílek se vyskytuje ve stavu jemného prášku skládajícího se z kulových částic s pucolánovými vlastnostmi. Skládá se z aktivního oxidu křemičitého SiO_2 a oxidu hlinitého Al_2O_3 . Zbytek obsahuje oxid železitý Fe_2O_3 , oxid vápenatý CaO a jiné sloučeniny. [5]

Vápenatý popílek

Tento popílek je ve stavu jemného prášku, který má hydraulické nebo pucolánové vlastnosti. Skládá se převážně z aktivního oxidu vápenatého CaO , aktivního oxidu křemičitého SiO_2 a oxidu hlinitého Al_2O_3 , ve zbytku se nachází oxid železitý Fe_2O_3 . Případný obsah aktivního oxidu vápenatého CaO nesmí být nižší než 10% hmotnosti. [5]

Vlastnosti cementu

Nejdůležitější vlastnost je pevnost v tlaku a v začátku tuhnutí, řídí se podle daných pevnostních tříd viz. Tab.1 dle ČSN EN 197-1.

tab. 1 .pevnostní třídy [5]

pevnostní třída	pevnost v tlaku MPa				počátek tuhnutí
	počáteční pevnost		normalizovaná pevnost 28 dnů		
	2 dny	7 dnů			
32,5 N	–	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75
32,5 R	≥ 10,0	–			
42,5 N	≥ 10,0	–	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60
42,5 R	≥ 20,0	–			
52,5 N	≥ 20,0	–	≥ 52,5	–	≥ 45
52,5 R	≥ 30,0	–			

Další vlastností je objemová stálost veškerých cementů dle daných norem EN 196-3 v Le Chatelierově objímce a její roztažení by mělo být pod 10 mm.

Měrná hmotnost cementu brána jako orientační hodnota viz tabulka 2

tab. 2 Měrná hmotnost cementu [5]

cement	měrná hmotnost	sypná hmotnost volně nasypané	sypná hmotnost setřesené
portlandský	3100	900–1300	1400–1800
portlandský struskový	3050		
portlandský cement s vápencem	3050		
vysokopecní	3000		
portlandský směsný	2950		
pucolánový	2900		

Jemnost mletí daného cementu je také brána jako orientační hodnota, která se pohybuje v hodnotách mezi 300 až 450 m².kg⁻¹. Daná jemnost ovlivňuje začátek pevnosti, začátek a dobu tuhnutí, dané objemové změny a rychlost hydratačního tepla. [5]

5.2.3. Kamenivo

Kamenivo, které se přidává do betonové směsi pro střešní krytinu, je ve formě písků. Zaleží na každém výrobcí, jaké složení a v jakých frakcích se přimíchává, běžnou frakcí je rozmezí mezi 0,2 – 0,4 mm hrubost zrn. [5]

5.2.4. Přísady

Přísady jsou chemického typu a složení, dodávají se během míchání betonu v množství cca od 0,2 až do 5 % hmotnosti cementu, pro podporu modifikace vlastností tvrdnutí, pro stav vytvrzování čerstvého betonu. Přísady by neměly přesáhnout předepsané množství udávané výrobcem. [5]

Druhy přísad:

- a) Plastifikační (vodouredukuje)
- b) Superplastifikační (silně vodouredukuje)
- c) Stabilizační (zamezuje rozměšování betonu)
- d) Těsnící (odpuzující vodu)
- e) Zpomalovače tuhnutí
- f) Urychlovače tuhnutí
- g) Urychlovače tvrdnutí
- h) Provzdušňovací
- i) Ostatní přísady.

[5]

Plastifikační (vodouredukuje)

Tyto přísady dopomáhají redukcí vody k zajištění stavu pro ideální zpracovatelnost jako při zpracování čerstvé směsi betonu. [5] [9]

Superplastifikační (silně vodoredukující)

Tyto látky se také podílí na redukci množství vody při zpracování směsi stejné jako u čerstvého betonu. Krom jiných požadavků musí přísady snížit množství vody o 5 % a více při stále totožné konzistenci rozlití nebo sednutí, u superplastifikátoru o více než 12 %. Po přidání plastifikačních přísad by měla vzrůst pevnost v tlaku ze 7 a 28 dní přibližně na cca 110 % oproti předchozímu neboli referenčnímu vzorku betonu. [5] [9]

Stabilizační přísady

Tyto látky mají za úkol odměsání vody ve stavu suspenze, která je způsobená sedimentací tuhých částic. Je žádoucí, aby pevnost betonu s obsahem přísad klesla maximálně na 80 % původní pevnosti daného betonu bez přísad a zároveň musí mít nejméně 50 % redukce odlučování vody. Tyto přísady vedou ke zlepšení stabilizace čerstvého betonu. Čím více dokážou snížit obsah vody, a tím více zvýšit celkový měrný povrch tuhých částic. [5]

Těsnící přísady

Další přísada potřebná pro beton jsou těsnící přísady, které posilují hutnost daného cementového kamene a zároveň snižují pórovitost, danou objemem makropórů. Ve sledu hydratace vytváří nerozpustné sloučeniny, které snižují průřez kapilár nebo je zcela zaplní. [5]

Přísady zpomalující tuhnutí

Tyto přísady mají za úkol zpomalit tuhnutí směsi a prodloužit danou dobu přechodu čerstvého betonu z plastického stavu do tuhého stavu. Počátek doby tuhnutí má být prodloužen o 90 min a daný konec prodloužen nejvíce o 360 min, než je tomu u originálního betonu bez příměsí. Dane retardační přísady se používají k prodloužení potřebné manipulace s betonem. Vzniklé zpomalení také přispívá k omezení vzniku trhlin a obvykle je 28 denní pevnost v tlaku následně vyšší než u originálního betonu bez přísad, za podmínky, že nepřekročí kritickou koncentraci. [5]

Urychlovače tuhnutí a tvrdnutí

Tyto přísady jsou dvojího druhu, a to urychlovače tuhnutí, které mají za úkol zkrátit dobu změny z plastického do tuhého stavu čerstvého betonu. Další typem jsou urychlovače tvrdnutí. Ty zrychlují počáteční pevnost betonu a mohou, ale nemusí urychlit tuhnutí betonu.

Tuhnutí v žádném případě nesmí způsobit snížení pevnosti v tlaku za 28 dní pod hodnotu 80 % originálního betonu bez příměsí. Doba tuhnutí by měla být delší než 30 min při teplotě okolo 20 °C se zkracuje doba tuhnutí přibližně o 40 % a při +5 °C je doba srovnatelná s originálním betonem při teplotě 20°C.

Tvrdnoucí přísady se posuzují dle pevnosti v tlaku při minimální 120 % pevnosti originálního betonu bez přísad za 24 hod. Přísady musí zajistit, že během 48 hodin při +5 °C bude dosaženo 130 % pevnosti originálního betonu, který tvrdne za stálých normovaných podmínek. [5]

Provzdušňovače

Provzdušňovače jsou látky, které mají za úkol při míchání vytvářet uzavřené vzduchové póry a zajistit jejich rovnoměrně rozložení v čerstvého betonu. Pro vznik kvalitního betonu se uvažují póry o velikostech od 0,01 až 0,3 mm, vzdálenost mezi póry by měla odpovídat hodnotě pod 0,2 mm. Objem a dané vlastnosti jsou ovlivněny danými parametry.

Množství přísad pro provzdušňování se pohybuje v množství od 0,05 až 0,5 % hmotnosti cementu v originálním betonu, celkové provzdušnění se pak pohybuje v rozmezí 4-6 % objemu.

Daná jemnost mletí a objem cementu, čím jemnější cement a s vyšším obsahem strusky, docílíme větší dávky přísad pro případně stejné množství vzduchových pórů.

Při granulometrii kameniva se daná pórovitost vlivem velkých zrn 0,4-1 mm zvyšuje při dané stejné dávce a konzistenci.

Při vibracích během manipulace se část póru zacelí a zanikne. [5]

5.2.5. Ostatní přísady

Adhezní přísady

Zlepšují přídržnost daného betonu a přilnavost k betonu ztvrdlému nebo případně jiným stavebním materiálům. [5]

Pěnotvorné přísady

Přidávají se za účelem obohacení betonu o velké množství vzduchových bublin fyzikální cestou. Jsou stabilní a pevné a umožňují tak vznik pěnobetonu. [5]

Plynotvorné přísady

Při zpracování a míchání betonu vzniká reakcí chemický plyn, který nakypřuje beton, s nímž je pak možno lépe manipulovat. [5]

Biocidní přísady.

Tyto přísady zamezují vzniku biologické koroze betonu. Každé dílo je náchylné na přítomnost mikroorganismů, které potenciálně ohrožují trvanlivost a celistvost betonu. Biocidní složky zamezují vzniku a rozšiřování mikroklimatu vhodného pro existenci mikroorganismů. [5]

Inhibitory koroze

Vytváří ochranný pasivní povrch pro výztuže, ocele proti korozivním vlivům. Toto je velmi důležité při karbonizaci betonu. Inhibitory koroze podle použitého množství mohou zpomalit nebo také urychlit tuhnutí cementu. [5]

5.2.6. Příměsi

Příměsi jsou dvojího typu. Organické a anorganické. Tyto příměsi se přidávají za účelem zlepšení vlastností nebo dosažení vlastností požadovaných. Po přidání příměsí je však nutno započítat do obsahu betonu při výpočtu složek dle ČSN norem.

Inertní příměsi typu filery neboli kamenné moučky, jemný vápenec

Pucolány či latentní hydraulické příměsi, jako jsou popílek, křemičitý úlet, [5] [9]

6. Betonová střešní krytina

6.1. Střecha

Střecha se skládá z několika základních prvků. Největší zastoupení v každé střeše představuje základní taška, která tvoří 70 % plochy. Dalšími prvky jsou v menším zastoupení jsou tzv. tvarovky, kam se řadí tvarovka půlená, tvarovka okrajová, nášlapná, prostupová a v neposlední řadě hřebenáč a další.

Betonová krytina betonové střešní tašky se vyrábí z klasické betonové směsi s přísadami, které umožní výrobu různých tvarů, vysoké pevnosti a životnosti konečných produktů. Přesné složení se u každého výrobce liší. Materiál je uskladněn v pohotovostních zásobnících, odkud se přemístí do předem připraveného vázícího zařízení. Po navážení daného množství je následně dopraven do míchacího zařízení. Daná směs se dopraví na výrobní linku, kde se pod vysokým tlakem zhutní. Tvar a geometrie spodní tašky má tvar formy, horní část tašky se formuje dle předepsaného typu tašky. Z této směsi se vyrábí nekonečný pás, ze kterého se následně dělí na jednotlivé části. Ty se pak dají na podložky a pomocí lisování se vytvoří konečný tvar betonových tašek, které se poté ošetří akrylátovým nástřikem v jedné, dvou nebo třech vrstvách a pak se nechají cca 10 hodin sušit. Po zabalení na palety se tašky přemístí do skladu, kde se nechávají vyzrát. Nejčastěji se vyrábějí betonové tašky s klasickou vlnkou, rovné bez výstupků a bobrovky. Barva střešních tašek může být ve světlých nebo tmavých odstínech červené, hnědé, černé a šedé barvy. Jejich povrch je většinou hladký nebo může být opatřen posypem z jemnozrnného granulátu. Výroba se v dnešní době zaměřuje hlavně na hladké povrchy, protože čím je betonová taška hladší, tím delší je její životnost a také se snižuje možnost usazování nečistot. Stejně jako u keramických pálených tašek se vyrábějí také doplňkové tašky. [12]

6.2. Výhody betonových střešních krytin

Jednou z nejzásadnějších výhod betonových střešních krytin je mimořádně dlouhá životnost. Další neopomenutelnou výhodou představuje fakt, že postupem času zraje a získává stále větší pevnost. To představuje výhodu oproti keramickým krytinám, kde tomu tak není.

Další neopomenutelnou předností je vysoká odolnost vůči mrazu. Tyto vlastnosti jsou docíleny díky materiálu, ze kterého jsou střešní krytiny zhotoveny. Jsou vysoce pevné a mrazu vzdorné.

Aby byla deklarována maximální životnost, provádí se testy v laboratořích na pevnost, sílu a případnou hmotnost střešní tašky dle platných norem ČSN EN 206-1. Jsou podrobeny několikaleté zkušenosti ze severských zemích, kde má betonová taška převážné použití vzhledem k nepříznivým povětrnostním a klimatickým podmínkám, s kterými se musí vypořádat země jako Švédsko, Finsko nebo Estonsko. [13] [12]

6.3. Ekologie výroby betonových střešních krytin

Vzhled střešní krytiny zhotovené z betonu budí dojem, že k jeho výrobě je používán uměle vytvořený materiál. Po detailnějším zaměření je patrné, že tomu tak není. Vliv na životní prostředí není tolik zatěžující, jako je tomu u pálené střešní krytiny. Materiál na výrobu betonové střešní krytiny byl probrán v předchozích kapitolách. Množství potřebné energie na výrobu cementu pro jednu tašku je poměrně menší než u jiných druhů střešních tašek, dochází i k menšímu znečištění.

Výroba betonové tašky je ve srovnání s jiným druhem zatížení výrazně menším množstvím zplodin a odpadních látek.

Z těchto faktů lze usoudit, že betonová krytina v porovnání s pálenou taškou je stejně vhodná pro veškeré typy střech viz obr.3, kde se v současnosti využívají pálené střešní krytiny. Jsou i případy, kdy jsou betonové tašky vhodnější. Tato zkušenost prověřena několika desítkami let praxe v severských podmínkách. [13]

obr. 3 Betonová střešní krytina [32]



7. Frézování

Frézování je metoda třískového obrábění, díky které je materiál obrobku odebírán vícebřitým nástrojem. Hlavní pohyb je konán nástrojem s rotačním pohybem. Obrobek koná nejčastěji posuvný pohyb přímočarý, výjimek je minimální množství. U modernějších strojů jsou pohyby libovolně regulovatelné ve všech směrech. V dnešní době se frézuje nejčastěji v CNC frézách, víceosých CNC frézách, obráběcích centrech ale i roboticky. [14] [15]

Druhy frézovacích ploch:

- a) Plochy tvarové
- b) Plochy rovinné
- c) Tvarová vybrání
- d) Zaoblení
- e) Drážky.

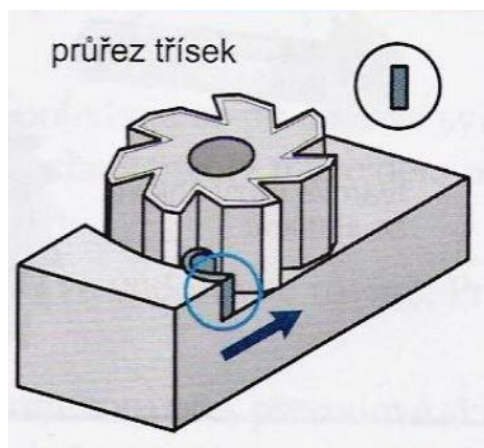
7.1. Druhy frézování

Rozlišujeme dvě metody frézování: ČELNÍ frézování, při kterém odebírá materiál čelo frézy. Ve druhém případě se jedná o válcové frézování, kdy se tříska odebírá bokem frézy. [16]

7.1.1. Čelní frézování

Pro čelní frézování viz obr.4 se používají čelní frézy, které mají zuby umístěny po obvodu, ale i na čele frézy. Podle umístění osy frézy rozlišujeme symetrické frézování daná osa frézy prochází středem frézovaného materiálu. Při nesymetrickém frézování osa nástroje neprochází středem frézovaného materiálu. Při frézování čelně pracuje fréza sousledně i nesousledně [29] [16]

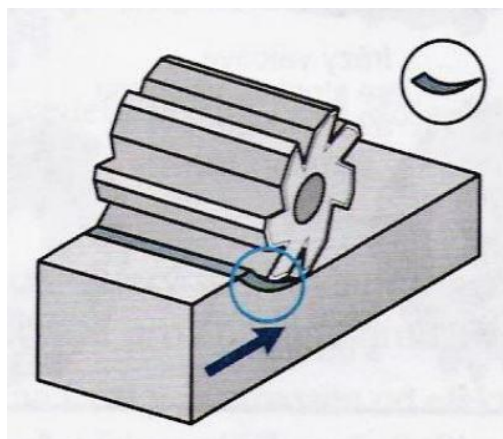
obr. 4 Čelní frézování [16]



7.1.2. Obvodové frézování

Primárně se používají válcové a tvarové frézy. Specifikaci fréz představuje umístění zubů pouze po obvodě. Hloubka třísky jde kolmo na danou osu nástroje a na směr posuvu, obráběná plocha je rovnoběžná s rotačním pohybem frézy viz obr.5. Válcové frézování se dělí na sousledné a nesousledné [16] [29]

obr. 5 Obvodové frézování [16]



Sousledné

Fréza koná rotační pohyb ve stejném směru jako pohyb obrobku. Při záběru zubu do materiálu vzniká maximální síla třísky, obrobená plocha se vytváří v okamžiku, když zub opouští záběr viz obr.6 b. Řezné síly jdou směrem dolů, proti uchycení stroje. [28]

Výhody sousledného frézování:

- a) Menší řezný výkon
- b) Vyšší trvanlivost břítu, což má za následek vyšší posuv a řeznou rychlost
- c) Menší drsnost povrchu
- d) Menší sklon k tvorbě nárůstku.

[28]

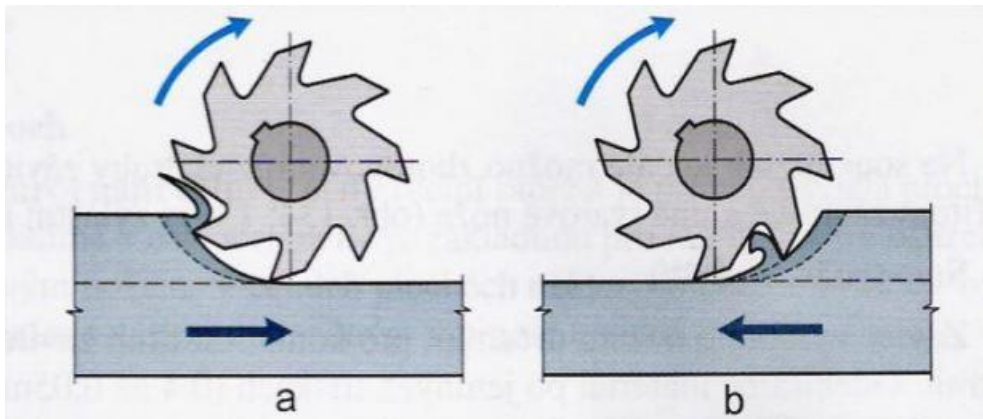
Nesousledné

Fréza koná rotační pohyb proti směru posuvu materiálu. Obrobená plocha vzniká po vstupu břítu do materiálu viz obr.6a. Tloušťka třísky se mění během operace z nulové hodnoty až do maximální síly. V počátku, kdy je síla třísky nulová nedochází k úběru materiálu, ale pouze ke skluzu břítu po zpevněné obrobené ploše. Břit se zahřívá a důsledkem toho se otupuje. Následně vznikají silové účinky a deformace zvyšující opotřebení břítu. Při frézování nesousledném má složka řezné síly směrem vzhůru tendenci odtahovat materiál od stolu. [16] [29]

Výhody nesousledného frézování:

- a) Opotřebení břítu závisí na hloubce třísky
- b) Frézování klidné bez rázů.

obr. 6 a) Nesousledné frézování b) Sousedné frézování [16]



7.2. Druhy nástrojů

V dnešní době existuje bezpočet druhů fréz pro libovolné využití. Ve většině případů se jedná o rotační vícebřítý nástroj. Hlavním pohybem při frézování je pohyb rotační, daný posuvný pohyb většinou náleží obrobku. V některých případech fréza vykonává pohyb rotační i přímočarý při robotickém obrábění. [16] [29]

Frézy dělíme

Dle ploch:

- a) Frézy válcové
- b) Frézy válcové čelní
- c) Kotoučové
- d) Specifické- (hřebíkové, odvalovací)
- e) Tvarové – úhlové, rádiusové.

Dle upínání:

- a) Stopkové – kuželovou stopkou, válcovou stopkou
- b) Nástrčné.

Podle břítu:

- a) Přímé břity
- b) Střídavé břity
- c) Šikmé břity
- d) Šroubové břity.

Dle poměru zubů vůči průměru frézy:

- a) Jemnozubé
- b) Polohrubozubé

- c) Hrubozubé.

Dle smyslu otáčení:

- a) Levořezné
- b) Pravořezné – Proti směru otáčení hodinových ručiček.

Dle materiálu:

- a) Frézy z nástrojové oceli
- b) Frézy s destičkami ze slinutých karbidů
- c) Frézy s destičkami z keramických materiálů
- d) Frézy s destičkami z kubického nitridu boru.

[17]

7.3. Volba nástroje

Mezi hlavní požadavky pro nástroj patří tvrdost, odolnost proti opotřebení, tepelná vodivost, houževnatost, pevnost v ohybu a tepelná vodivost. Každý řezný nástroj je vhodný pro určitý druh aplikace. Nelze však jasně určit univerzální řezný materiál pro veškeré situace obrábění. Při volbě vhodného materiálu jsou hlavními podmínkami materiál nástroje, geometrie a následné parametry obrábění. Mezi hlavní požadavky a kritéria patří: [17] [16] [29]

- a) Parametry obráběného materiálu
- b) Druh řezných podmínek – plynulý či přerušovaný chod, chlazení a mazání stroje
- c) Technologie polotovaru - aktuální stav povrchu, druh odebíraného materiálu vměstky, otřepy
- d) Odolnost vůči opotřebení - odolnost vůči vlivům chemickým nebo fyzikálním.
- e) Druh obráběcího stroje a jeho vlastnosti.
- f) Kvalitativní požadavky po obrobení
- g) Finanční stránka – životnost, údržba .

[29]

7.3.1. Rychlořezné oceli

Dříve používané označení rychlořezná ocel odkazoval na neobvykle používanou vysokou řeznou rychlost, v angličtině High speed steel, dnes užívanou zkratku jako HSS, v češtině se můžeme také setkat s RO. Rychlořezné oceli jsou uváděny v samostatné skupině pro své specifické vlastnosti, řadí se do skupiny legovaných nástrojových ocelí pro vysoce výkonné nástroje. Rychlořezné oceli obsahují prvky W, Mo, V, Cr nebo Co, což je složka

nekarbidotvorná. RO obsahují obvykle méně než 1 % uhlíku. Podle legujících prvků a jejich vlastností existují kategorie obráběcí oceli, řezné nástroje, nástroje na odlitky o vysoké tvrdosti a pevnosti. [20]

Tyto rychlořezné oceli jsou vhodné pro střední odolnost proti opotřebení a značnou vysokou pevnost, díky tomu mají široké uplatnění. Během obrábění mohou snášet i vysoké teploty kolem 600 °C. Proto se často používají jako řezné nástroje vystavované náročným pracovním podmínkám-nárazům při přerušovaném řezu jako u vrtáku, fréz nebo závitorezných nástrojů. [14] [20]

Zkratkou HSS jsou označovány rychlořezné oceli střední třídy, které jsou vhodné pro frézování materiálu o dané pevnosti až 900 MPa. [26]

obr. 7 Rychlořezná ocel- válcová fréza [33]



Frézy označené HSS Co5 viz obr.7 jsou vysoce výkonné oceli s dobrou houževnatostí s danou složkou kobaltu přibližně 5 %, která je vhodná pro obrábění materiálu do pevnosti přibližně 1200 MPa.

obr. 8 Rychlořezná fréza [33]



Označení HSS – PM/F je stanoveno pro frézy vysoce výkonné se zvýšeným obsahem vanadu, vyrobené práškovou metalurgií. Takto vyrobené frézy viz obr.8 mají homogenní strukturu a vyznačují se vyšší rozměrovou stálostí či zvýšenou trvanlivostí ostří. Jsou převážně určeny pro obrábění obtížně obrobitelných materiálů například titanu a jeho případných slitin. [14] [20] [26]

7.3.2. Tvrdokov

Jak je patrné z názvu, jedná se o materiál, který vyniká mechanickou tvrdostí, pevností a houževnatostí. Je často přirovnáván ke slinutým karbidům. Přestože je tento materiál daleko tvrdší než ostatní prvky, je znám svojí křehkostí. Mechanické vlastnosti tvrdokovu se mohou měnit-pevnost v tlaku je výrazně vyšší než v ohybu. Z těchto vlastností je patrné využití tvrdokovu. Pro ten to materiál je primárně výhodnější, pokud se může vyhnout nadměrnému zatížení v tahu. Jeho jednoznačnou předností je odolnost proti opotřebení. Dalšími kladnými vlastnostmi jsou vysoký modul pružnosti, nepatrná tepelná roztažnost nebo dobrá obrobitelnost. Má i tendenci k zavaření za studena.

Uvádí se dvě skupiny tvrdokovů. Do první skupiny patří tvrdokovy WC-Co, které mohou obsahovat dané příměsi karbidů, skládají se z WC-TiC -TaNbC-CO. Poslední se používají výhradně pro obrábění viz obr.9

Dalším typem jsou speciální tvrdokovy s jinými pojidly jako jsou Ni, Cr, Fe nebo karbidy Cr_3C_2 , Mo_2C , VC. Mezi tvrdokovy se řadí i cermet na bázi TiCN, NiMo-CO, který se také využívá primárně při obráběcích operacích.

Tvrdokovy se také označují podle velikosti karbidového zrna: nano, velmi jemné, jemnější, jemné, střední, hrubé a velmi hrubé. V dnešní době jde vývoj cestou jemnozrnných tvrdokovů, jelikož u tvrdokovů se speciálními vlastnostmi jdou ruku v ruce vlastnosti, jako je odolnost proti korozi nebo odolnost proti tepelné a mechanické erozi. K dalším vylepšením tvrdokovům patří povlaky pro zvýšení a zlepšení vlastností. [26] [18]

obr. 9 Fréza z tvrdokovu [18]



7.4. Povlaky

7.4.1. Povlak Maximizer +

Jedná se o novou modifikovanou generaci povlaku TiAlN. Je primárně vhodná pro vrtání, frézování nízko i vysokopevnostních ocelí s danou tvrdostí přibližně do 50 HRC, lze použít i pro litiny či nerezové oceli při daných středních řezných rychlostech a při teplotě bříty, která by neměla překročit hodnotu 850°C.

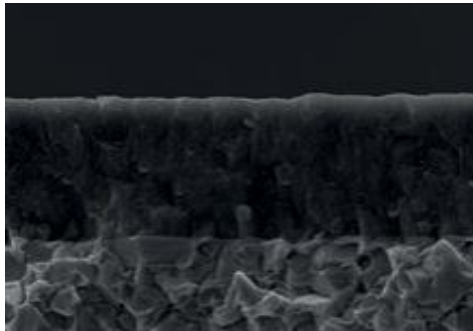
Od jiných povlaků se odlišuje kontrolovanou úrovní vnitřního pnutí v závislosti na daném chemickém složení. Tím se zajišťují optimální parametry daného obrábění.

Je převážně využíván pro obrábění různých materiálů s tvrdostí až 50 HRC. Řezná rychlost je optimální v rozmezí od 50 až 150 m /min v závislosti na daných podmínkách obráběného materiálu. Ten to povlak obr.11 je vhodný pro široké spektrum HSS a tvrdokovových stopkových fréz. Tloušťka povlaku se pohybuje v rozmezí od 2-4 μm, maximální teplota použití je 850-900 °C. Vyznačuje se modro černým odstínem viz obr. 10. [18] [19] [28]

obr. 10 Fréza s povlakem Maximizer+ [18]



obr. 11 Detail povrchu Maximizer + [19]



7.4.2. Povlak Hardcut

Jedná se o multivrstvý povlak, primárně určený pro vysokorychlostní a vysokoúčinné obrábění za přítomnosti minimálního nebo žádného mazání. Jde o TiSiN povlak s danou nosnou vrstvou. Perfektní výkon se skrývá v nanokompozitním materiálu, který tvoří nanokrystalky Si_3N_4 , uložené v TiN matici. Dané vlastnosti mají za cíl chránit břit pře přenosem tepla, oxidací a abrazí.

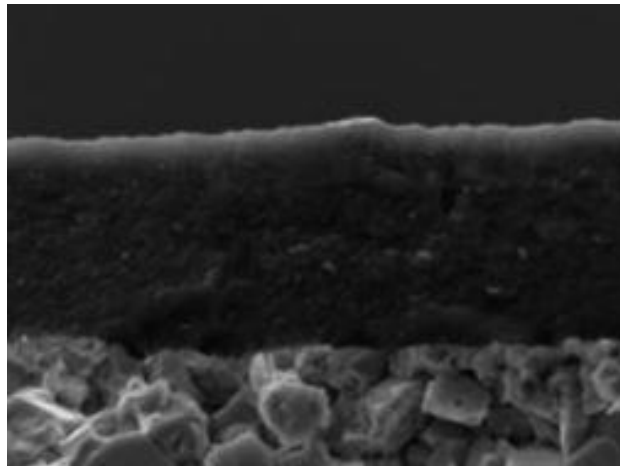
Materiály, které lze kvalitně obrábět nástroji s povlakem Hardcut, se řadí mezi materiály s tvrdostí až do 60 HRC, slitiny s vysokým obsahem niklu a titanu. Tento povlak viz obr.13 je primárně vhodný pro frézy ze slinutých karbidů a tvrdokovu. Řezné rychlosti dosahují v rozmezí 100 až 300 m/min, v závislosti na optimálních podmínkách materiálu daného obrobku.

Tloušťka povlaku se pohybuje v rozmezí od 2-4 μm , maximální teplota použití je 1100 °C. Vyznačuje se odstínem oranžové až měděné viz obr.12[18] [19] [27]

obr. 12 Fréza s povlakem Hardcut [19]



obr. 13 Detail povrchu Hardcut [19]



Vlastnosti:

- a) Vysoké řezné rychlosti
- b) Titan a exotické slitiny
- c) Obrobky z velmi tvrdých a abrazivních materiálů
- d) Dokončovací frézování.

8. Experimentální část

8.1. Metodika experimentální části

Další kapitoly se zabývají popisem zkoumaného vzorku a jeho problematiky, dále popisem pracoviště, příslušenství a v neposlední řadě použitých nástrojů pro apretaci zadaného vzorku. V následujících kapitolách je popsán způsob měření a vyhodnocení.

8.2. Hřebenáč

Je to druh střešní tvarovky, který je určený k zakrývání hřebenů a nároží na střeše. Je používán pro překrytí hrany střechy, která vzniká ve vrcholovém styku dvou ploch dané střešní roviny. Jeho tvar je konický, čímž dokáže důkladně překrýt spoje, a docílit tak nepropustnost povětrnostním vlivům. Objemové zastoupení je přibližně tři kusy na metr střechy v hřebenu, což je nemalý podíl v celkové produkci výroby. Na hřebenáč jsou kladeny vysoké nároky z hlediska vizuální kvality, jelikož se jedná o pohledový prvek, který je považován za korunu střechy.

8.3. Problematika zadaného kusu po výrobním procesu

Úprava finálního kusu se provádí ručním ohráňováním a strháváním přebytečného materiálu na výrobním kuse viz obr.14, jelikož má dost nepravidelný tvar. Jedná se o náročný zákrok, který vyžaduje zručnost a čas. Tato činnost se dost často dostává do skluzu a tím brzdí časový plán výroby. Tento případ se aktuálně řeší tak, že se přidá operátor navíc, aby se časový cyklus zrychlil a dodržel cykle time procesu. Toto řešení lze při malé sérii, ale při stále větší poptávce se kladou vyšší nároky na výrobu a množství kusové výroby.

Jelikož z důvodu složení betonu a jeho zrnitosti nelze vždy předejít vzniku otřepu, musí se přikročit po finálním procesu k jeho odstranění.

obr. 14 Otřepy na hřebenáčích (foto autor)

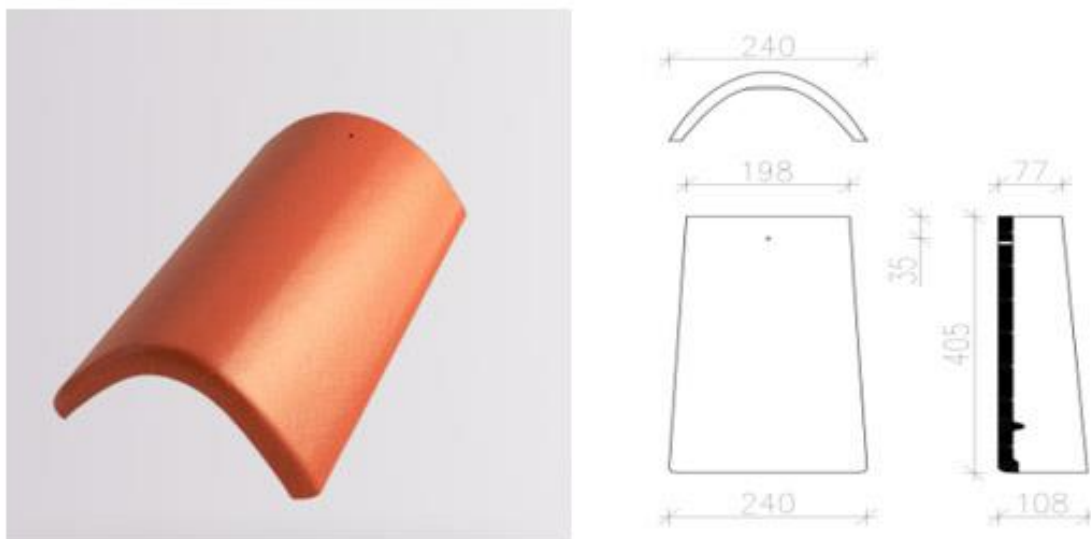


Daný otřep se musí odstranit, aby se zajistila vizuální kvalita a optimální pokládka s návazností linie na střeše.

8.4. Obráběný vzorek pro experimentální část

Pro simulaci apretace byla zadána tvarovka „hřebenáč“ obr.15 od firmy Betonpres. Tento vzorek střešní krytiny „hřebenáče“, je tvarově jeden ze složitějších artiklu pro případnou trajektorii nástroje pro odstranění betonových otřepů, které zůstávají na artiklu před finálním vysoušením a balením. Z důvodu složitosti trajektorie jsme zvolili pro apretaci posunu do takové míry, abychom využili celou plochu břitu (válcové frézování) pro částečné snížení opotřebení břitu. Otřep vzniká během procesu výroby samotné tašky. [32]

obr. 15 Hřebenač [32]



8.5. Vřeteno

Robot je vybaven dvouhřídelovým vysokootáčkovým elektrickým vřetenem Jäger Chopper 1500 H o výkonu 1,5 KW při maximálních otáčkách $30\,000\text{ min}^{-1}$ viz obr.16 Vřeteno disponuje měničem frekvence, díky kterému je možné upravovat požadované otáčky vřetene. Vřeteno je vzduchem chlazené tak, aby se během provozu drželo na konstantní teplotě 21°C . Frézovací nástroj je upnut pomocí kleštiny

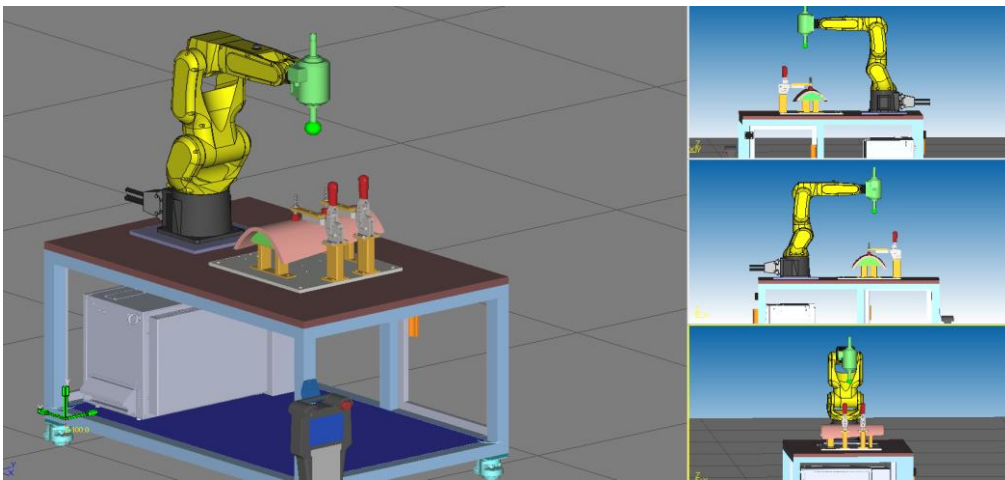
obr. 16 Vřeteno Jager Chopper 1500 H (foto autor)



8.6. Virtuální pracoviště

Simulace se provádí pro zajištění předpokládaných technických parametrů. Další nezpochybnitelnou výhodou je ověření dosahu, manipulační prostor a konstrukční rozložení pracoviště, kde bychom si měli odladit veškeré nejasnosti zadané problematiky, jako je dosah robota, přístup najíždění do případné pozice a zamezení kolize s okolím. Umožňuje navržení domácí pozice či výchozí pozice pro start cyklu a trajektorie, servisní polohu a mnohé další. Viz. Obr 17. Pozice výchozí pro start cyklu.

obr. 17 Virtuální pracoviště - Roboguid Fanuc (autor)



8.7. Robot pro apretační pracoviště

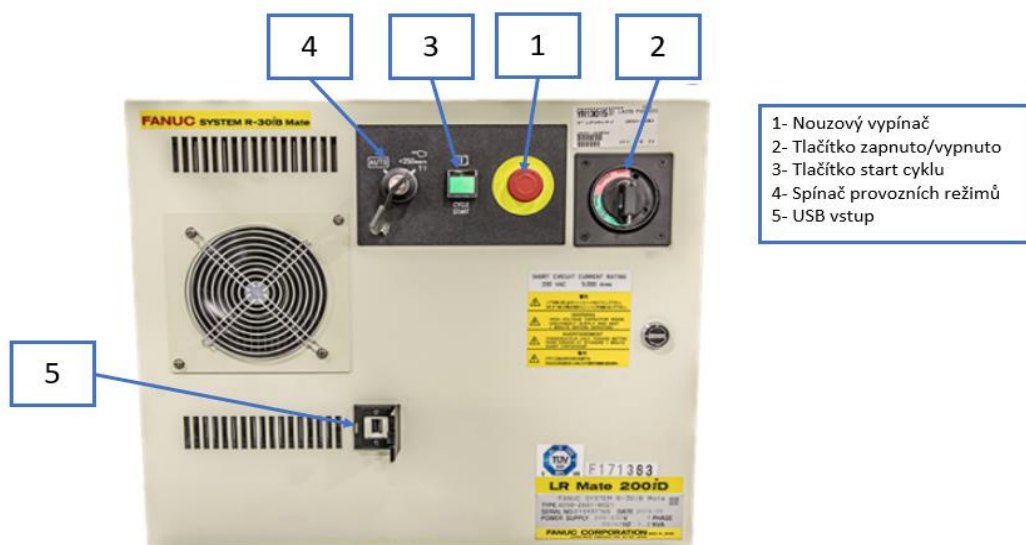
Pro pracoviště jsem zvolil Robota od firmy Fanuc model LR MATE 200 iD, viz.obr.18 Jedná se o základní malý model šestiosého robota, který je spolehlivý a výkonný. Pro danou simulaci disponuje dostačujícím pracovním dosahem zhruba odpovídajícím lidské paži na hranici 911 mm, daná nosnost na šesté ose „zápěstí“ je 7 kg, opakovatelnost polohy je $\pm 0,01$ mm. [30]

obr. 18 Robot Fanuc LR Mate 200 iD [30]



Robot je řízen vlastním centrálním kabinetem Mate obr.19 s Teach pendantem, který je vybaven obcemi software DCS Pos/Speed check , DCS Safe I/O connect. Kabinet je centrálním mozkiem pro robota pomocí Teach pendantu se může ovládat a programovat pohyby robota. Pracovní nastavení probíhá ve třech režimech automatickém režimu, kde robot pracuje z nadefinované trajektorie a nastavených hodnot, nebo lze využít programovací režim T1, který má rychlost sniženou na 250 mm/s. Tento režim se používá na úpravu či korekce trajektorie při úpravě nebo tvorbě nového programu. T2 režim je nastaven na maximální možnou rychlost, možnost projetí trajektorie ve zvýšené nebo maximální rychlosti, ověření trajektorie před automatickým spouštěním. [30]

obr. 19 Fanuc Mate kabinet[30]



System je vybaven ručním ovladačem Teach Pendantem obr.20, který slouží pro ruční ovládaní. Je tedy spojovacím článkem mezi programátorem a robotem. Teach Pendant je vybaven vstupem pro USB nosič pro případné uložení zálohy či nahrání programu, dále je vybaven nouzovým centrálním stopem, aktivačním a souhlasným tlačítkem pro el. zásah, dotykovým displejem. Za pomoci Teach Pendantu se ovládají jednotlivé osy robota, mohou se tvořit trajektorie, po kterých se robot pohybuje. [30]

obr. 20 Teach Pendant Fanuc [30]



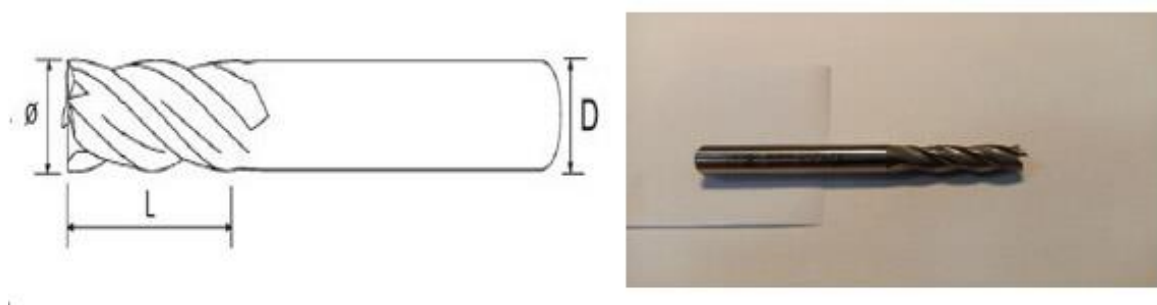
9. Řezné nástroje

Při experimentu bylo použito šest druhů fréz od základních modelů až po tvrdokovové frézy s povlakem. Pro celý experiment byly zvoleny podmínky pro všechny případy stejné, aby bylo zajištěno vyhodnocení trvanlivosti břitu. Hodnocení opotřebení bylo stanoveno po 350 cyklech, 700 cyklech, 1050 cyklech. Po každé etapě byly údaje změřeny a vyhodnoceny v laboratoři Stereoskopickým mikroskopem ZEISS STEMI 508. V některých případech už byla vidět opotřebení pouhým okem.

9.1. Vzorek 1

Fréza HSS Co5 8x19 – 140215. Jedná se o rychlořezný nástroj s 5% obsahem legujících prvků Co. Klasická fréza o průměru 8 mm využívaná pro obrábění odlitků.

obr. 21 Schéma, vzorek 1.



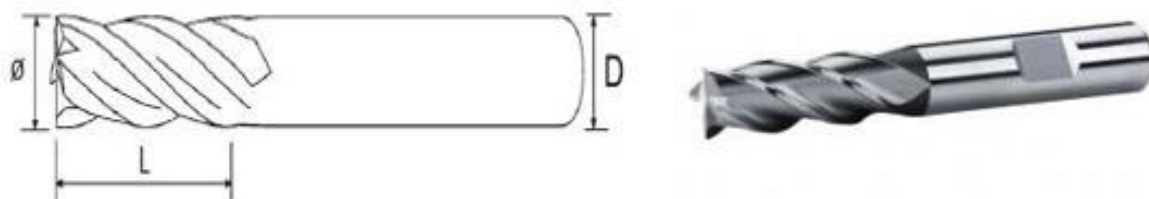
tab. 3 Rozměry Vzorek 1.

Typ	D (mm)	d (mm)	L (mm)	l (mm)	l ₂ (mm)	z
HSS Co5 8x19- 140215	8	10	70	19	-	4

9.2. Vzorek 2

HSS 10x22- 2132. Základní typ rychlořezného nástroje o průměru 10 mm.

obr. 22 Schéma, vzorek 2.



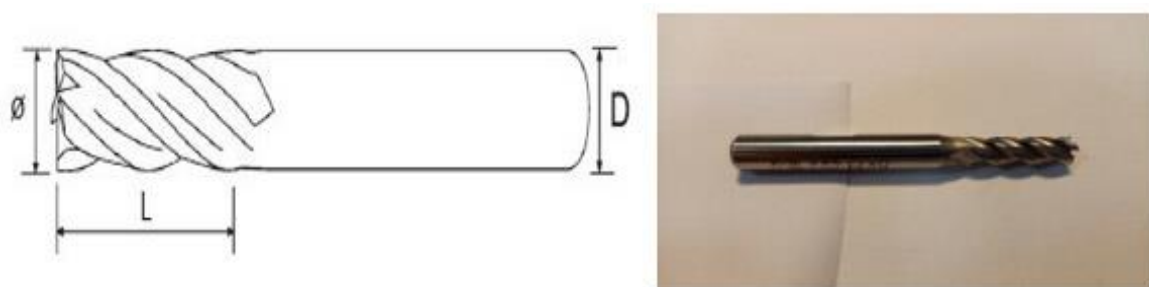
tab. 4 Rozměry Vzorku 2.

Typ	Ø (mm)	D (mm)	L (mm)	l ₁ (mm)	l ₂ (mm)	z
HSS 10x22- 2132	10	10	72	22	-	4

9.3. Vzorek 3

Fréza HSS Co5 10x22 – 140215. Jedná se o rychlořezný nástroj s 5% obsahem legujících prvků Co. Klasická fréza o průměru 10 mm využívaná převážně pro obrábění odlitků.

obr. 23 Schéma, vzorek 3.



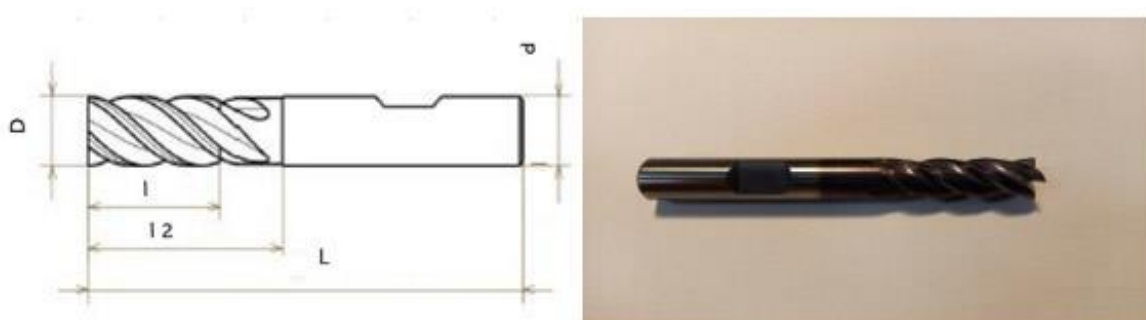
tab. 5 Rozměry Vzorku 3.

Typ	Ø (mm)	D (mm)	L (mm)	l (mm)	l ₂ (mm)	z
HSS Co5 10x22- 140215	10	10	72	22	-	4

9.4. Vzorek 4

JSF-UT – LANG – 10-30-30-72-10-4-41 Povlak Maximizer +. Tvrdokovová fréza s povlakem Maximizer+, což je povlak s obsahem TiAlN, tento druh nástrojů je určen pro frézování při středních rychlostech. Vyznačuje se dobrým poměrem tvrdosti a houževnatosti. Další předností je tvrdost za vysokých teplot, proto nepotřebují chlazení.

obr. 24 Schéma, vzorek 4.



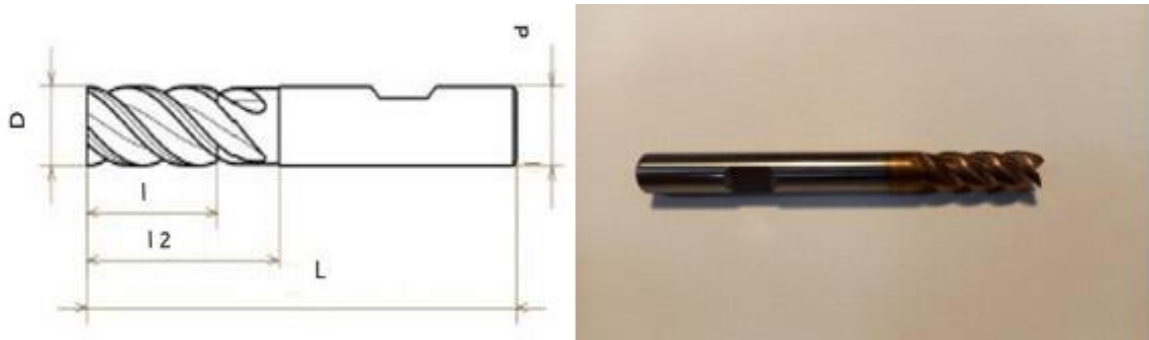
tab. 6 Rozměry Vzorku 4.

Typ	D (mm)	d (mm)	L (mm)	l (mm)	l ₂ (mm)	z
JSF-UT-LANG-10- 30-30-72-10-4-41 Maximizer+	10	10	72	30	30	4

9.5. Vzorek 5

JSFH -08-19-19-63-08-4-41 Povlak Hardcut. Tento vzorek je fréza z tvrdokovu se speciálním multivrstvým povlakem Hardcut. Je určena pro vysokorychlostní obrábění bez použití mazání nebo s jeho minimálním množstvím.

obr. 25 Schéma, vzorek 5.



tab. 7 Rozměry Vzorku 5.

Typ	D (mm)	d (mm)	L (mm)	l ₁ (mm)	l ₂ (mm)	Z
JSFH-08-19-19-63-08-4-41 Hardcut	8	8	63	19	19	4

9.6. Volba pracovních podmínek

Pracovní podmínky byly zvoleny s ohledem na problematiku obráběného materiálu. Jelikož vzorek není vyroben ze standardního materiálu, který se běžně obrábí, byly zvoleny takové parametry, u kterých nehrozilo při prvním testu poškození pracovního nástroje. Po sérii testu parametrů s rychlostí a posuvem byly vyhodnoceny tyto parametry jako vyhovující kvalitě dílu. Bylo zvoleno obvodové frézování s rychlostí posuvu $v_f = 50 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ při konstantních otáčkách $n = 2500 \text{ ot} / \text{min}$. Tloušťka otřepu se pohybovala v rozmezí mezi 0,1 – 1,4 mm viz obr.26

tab. 8 Parametry

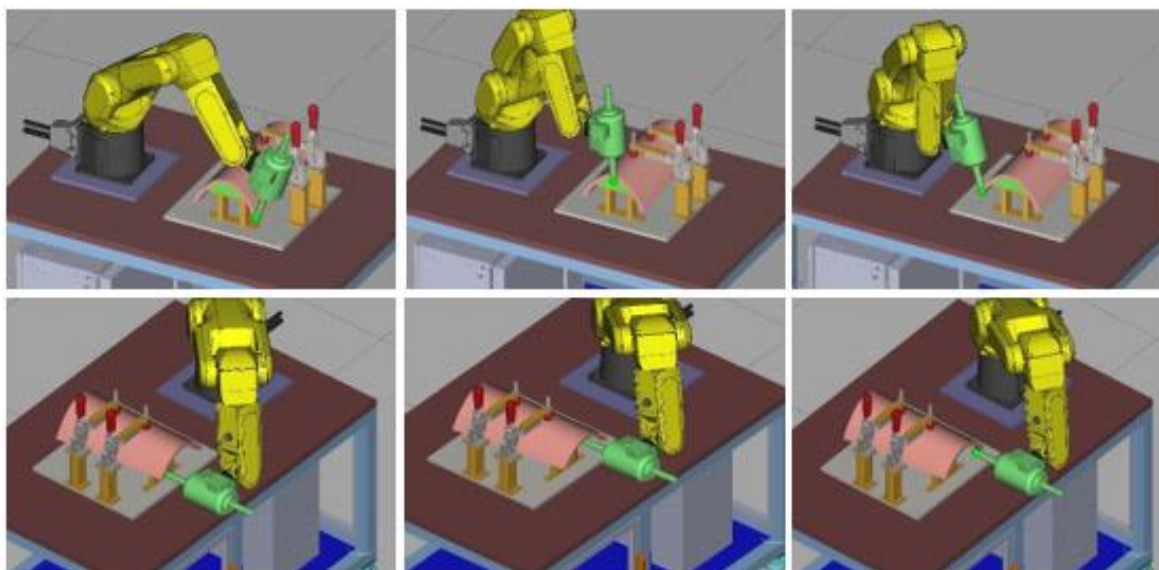
Parametry	v_f (mm / s)	n (ot / min)	t (mm)
Hodnoty	50	2500	0,1-1,4

obr. 26 Tloušťka otřepu (foto autor)



Trajektorie viz obr.27 úběru materiálu byla zvolena tak, aby byl nástroj využit po celé obvodové části co nejvíce, aby se snížilo opotřebení břitu, a zvýšila se tak životnost nástroje. Trajektorie je vedena po obou stranách, kdy první oblouk se apretuje kolmo obr.27 (1-3), druhá část trajektorie se apretuje vodorovně s vnitřní obloukem na odstranění otřepu viz obr.27 (4-6).

obr. 27 Trajektorie (autor)



9.6.1. Opotřebení břitu

Opotřebení vzorků při experimentu vzniká při vzájemném styku nástroje s obráběným materiálem. Opotřebení je závislé na několika faktorech. Je to druh materiálu, druh rezného materiálu, geometrie břitu, rezné podmínky. Jedná se o mechanické opotřebení.

V případě experimentu představuje hlavní vliv opotřebení abraze, což je ořez mezi tvrdými mikročásticemi obráběného materiálu a nástroje. [20] [21] [31]

obr. 28 Opotřebení břitu (foto autor)



Na obr.28 je vidět opotřebení na břitu nástroje. V takovém případě nemůžeme dosáhnout požadované kvality povrchu na obráběném materiálu viz obr.29. Na něm je vidět nerovnoměrný úběr materiálu, po vizuální stránce je takto obrobený kus vyhodnocen jako zmetek, který nespĺňuje standardy kvality. [31]

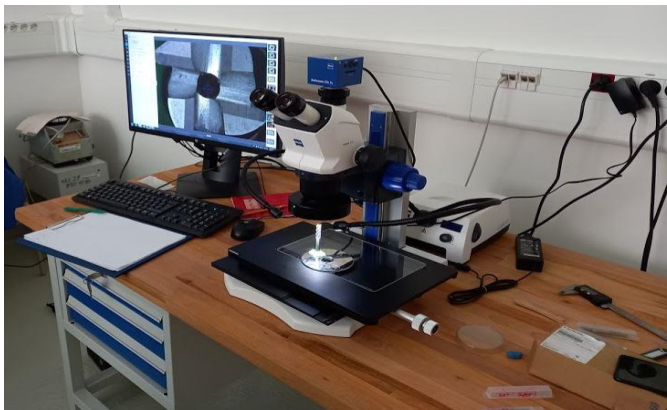
obr. 29 Povrch po nerovnoměrné apretaci (foto autor)



9.6.2. 2 Stereomikroskop Zeiss Stemi 508A

Stereomikroskop patří mezi světelné mikroskopy, které se používají k pozorování vzorků se zvětšením v 3D rozměrech.

obr. 30 Stereomikroskop Zeiss Stemi 508, laboratoř ČZU (foto autor)



Pro vyhodnocení experimentu byl použit Stereomikroskop značky Zeiss Stemin 508 viz obr.30, v laboratořích univerzity ČZU. Jedná se o stereomikroskop vybavený apochromatickou optikou pro vynikající detail fotek s kontrastem a barevnou stabilizací fotek. Disponuje zvětšením 8:1, což umožní 50násobné zvětšení měřeného vzorku pomocí objektivu s průměrem 35 mm. Díky osvětlovacím led žárovkám a podsvícené podložce jsou dokonale osvětleny vzorky. Pozorovací úhly jsou 35°, to zaručuje ergonomii pro dlouhé měření.

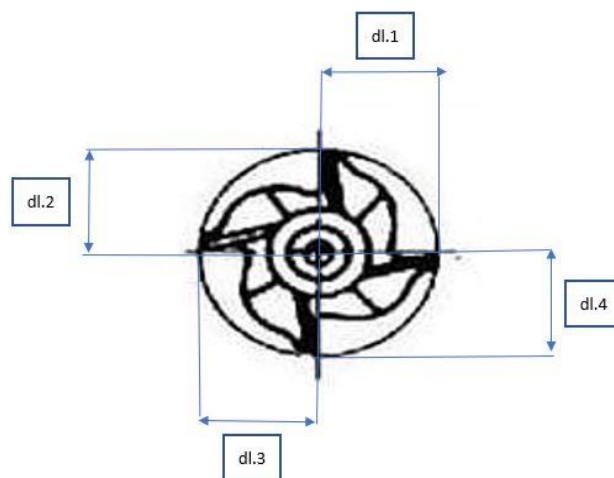
Kamerový adaptér se stará o převod fotek z mikroskopu do počítačového programu, kde se posléze upravují a vyhodnocují. [22] [23] [24]

Stereomikroskop Zeiss Stemi 508 na kterém se uskutečnilo vyhodnocení experimentu diplomové práce.

10. Princip měření

Vyhodnocení experimentu vhodnosti nástroje na apretaci bylo provedeno na Stereomikroskopu Zeiss Stemi 508, kde bylo měřeno opotřebení nástroje po cyklech 350, 700, 1050, což odpovídá týdenní produkci hřebenačů za směnu. Po každé sekci jsme změřili opotřebení na průměru nástroje, vždy jsem měřili na 4 místech nástroje viz obr. 31,

obr. 31 Schéma měření délky (autor)



V prvním kroku byl nastaven stereomikroskop, měřený nástroj byl umístěn na podložku kolmo k objektivu pomocí plastelíny, aby během měření zůstal v nehybné poloze. Pak proběhlo zaostření na čelo nástroje. Poté se provedla sekvence fotek, na kterých byly změřeny vzdálenosti od středu na špičku ostří. Dané hodnoty byly zaneseny do tabulky a vyhodnoceny.

Po ukončení cyklu 1050 byly provedeny detailní fotky opotřebení břitu nástroje v některých případech, kdy se opotřebení jeví už při vizuální kontrole. Detailní focení proběhlo po cyklu 700.

11. Vyhodnocení

11.1. Vzorek 1

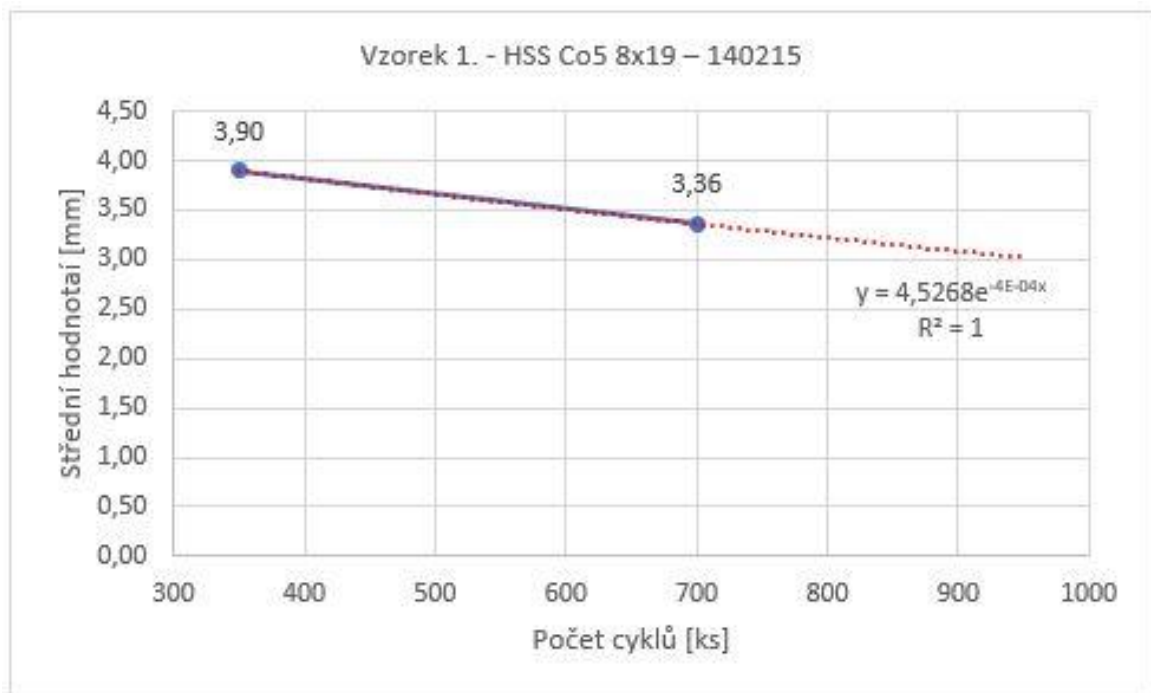
Změřené hodnoty vzorku 1. HSS Co5 8x19 – 140215 opotřebení na průměru nástroje po jednotlivých měřeních jsou uvedeny v tabulce 9. Dané hodnoty opotřebení jsou znázorněny v grafu 1. Zde je vidět, že vzorek jedna byl schopen docílit 700 cyklů, poté už nástroj byl natolik opotřeben, že již nemohl v dalších cyklech pokračovat, jelikož nebylo dosaženo požadované kvality povrchu hřebenáče. Celkové opotřebení po 700 cyklech je vidět na obr.32. Průměr nástroje se zmenšil vlivem opotřebení o 1,28 mm.

tab. 9 Hodnoty experimentu, vzorek 1.

Vzorek 1.	Počet cyklů	dl. 1 [mm]	dl. 2 [mm]	dl. 3 [mm]	dl. 4 [mm]	stř.hod [mm]	Ø odchylka	Ø nástroje [mm]	Opotřebení na Ø [mm]
	350	3,90	3,90	3,90	3,90	3,90	0,00	7,80	-0,20
	700	3,36	3,33	3,32	3,42	3,36	0,03	6,72	-1,28
	1050	-	-	-	-	-	-	-	-

V grafu 1 na ose y jsou vyneseny střední hodnoty opotřebení v závislosti na odpracovaných cyklech, které jsou na ose x. Z předpovědi spojnice trendů je patrné, že po 950 cyklech by opotřebený průměr měl hodnotu cca 6 mm, což oproti původnímu bylo opotřebení o 2 mm nižší.

graf 1 Opotřebení vzorku 1



Z obr. 32 je vidět značné opotřebení břitu po 700 cyklech.

obr. 32 Opotřebení vzorku 1. (foto autor)



11.2. Vzorek 2

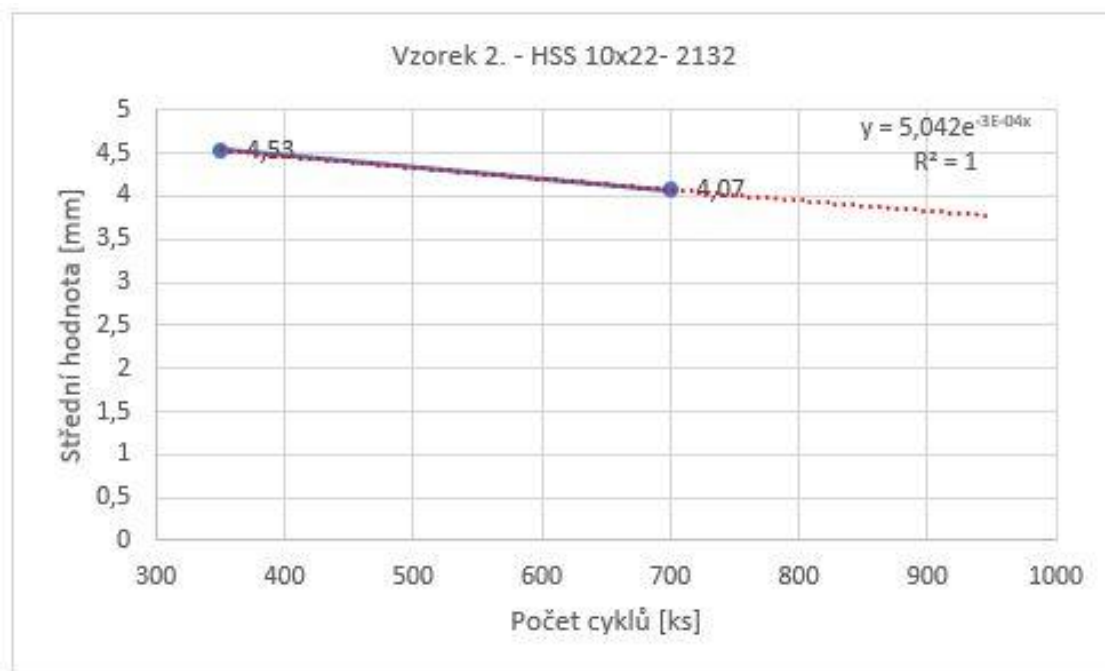
Změřené hodnoty vzorku 2. HSS 10x22 – 2132 opotřebení na průměru nástroje po jednotlivých měřeních jsou uvedeny v tabulce 10. Dané hodnoty opotřebení jsou znázorněny v grafu 2. Zde je vidět, že vzorek dva byl schopen docílit také 700 cyklů, poté už nástroj byl natolik opotřeben, že již nemohl v dalších cyklech pokračovat, jelikož by nedosáhl na požadovanou kvalitu povrchu hřebenáče. Celkové opotřebení po 700 cyklech je vidět viz obr.33. Průměr nástroje se zmenšil vlivem opotřebení o 1,86 mm.

tab. 10 Hodnoty experimentu, vzorek 2.

Vzorek 2.	Počet cyklů	dl. 1 [mm]	dl. 2 [mm]	dl. 3 [mm]	dl. 4 [mm]	stř.hod [mm]	Ø odchylka	Ø nástroje [mm]	Opotřebení na Ø [mm]
	350	4,52	4,54	4,50	4,56	4,53	0,02	9,06	-0,94
	700	4,08	4,09	4,04	4,08	4,07	0,02	8,14	-1,86
	1050	-	-	-	-	-	-	-	-

V grafu 2 na ose y jsou vyneseny střední hodnoty opotřebení v závislosti na odpracovaných cyklech, které jsou na ose x. Z předpovědi spojnice trendů je patrné, že po 950 cyklech by opotřebený průměr měl hodnotu cca 7,5 mm, což oproti původnímu bylo opotřebení o 2,5 mm.

graf 2 Opotřebení vzorku 2.



Z obr. 33. je vidět opotřebení břitu po 700 cyklech

obr. 33 Opotřebení vzorku 2. (foto autor)



11.3. Vzorek 3

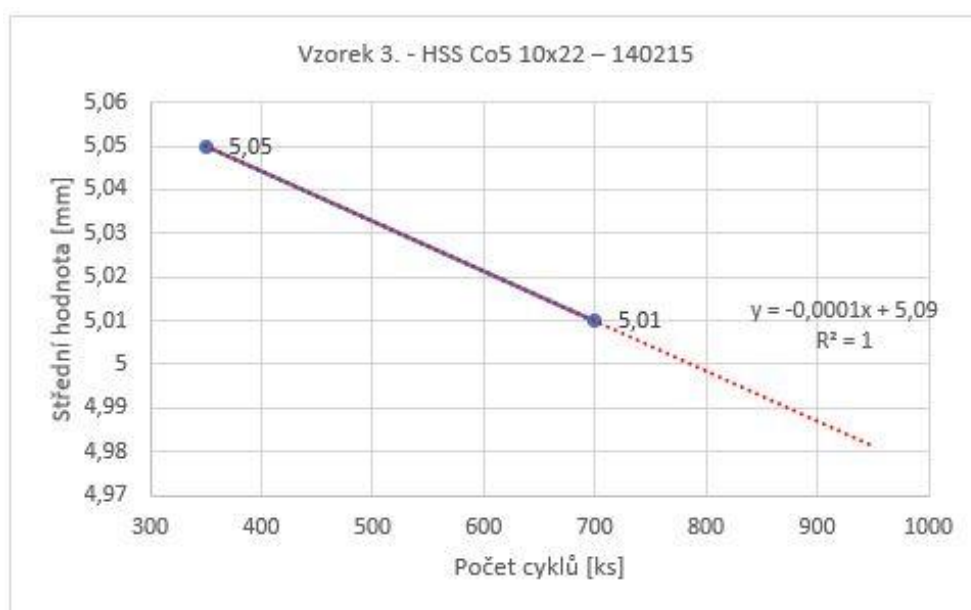
Změřené hodnoty vzorku 3. HSS Co5 10x22 – 140215 opotřebení na průměru nástroje po jednotlivých měřeních jsou uvedeny v tabulce 11. Dané hodnoty opotřebení jsou znázorněny v grafu 3. U vzorku 3 opotřebení nebylo tak kritické jako u předchozích vzorků, ale na boku ostří se projevilo mechanické poškození viz obr.34. Toto mechanické poškození mělo vliv na výslednou kvalitu apretace, proto nemělo smysl pokračovat v dalších cyklech.

tab. 11 Hodnoty experimentu, vzorek 3.

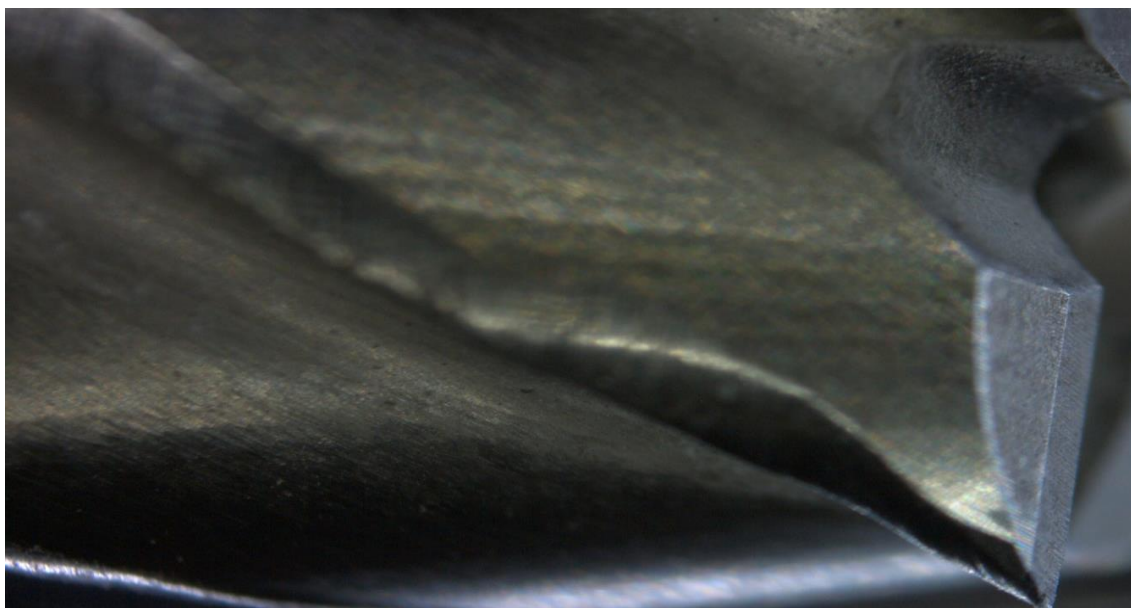
Vzorek 3.	Počet cyklů	dl. 1 [mm]	dl. 2 [mm]	dl. 3 [mm]	dl. 4 [mm]	stř.hod [mm]	Ø odchylka	Ø nástroje [mm]	Opotřebení na Ø [mm]
	350	5,10	5,00	5,10	5,00	5,05	0,05	10,10	0,00
	700	5,11	5,07	4,98	4,87	5,01	0,08	10,02	0,00
	1050	-	-	-	-	-	-	-	-

V grafu 3 na ose y jsou vyneseny střední hodnoty opotřebení v závislosti na odpracovaných cyklech, které jsou na ose x

graf 3 Opotřebení vzorku 3.



obr. 34 Mechanické poškození, vzorek 3 (foto autor)



11.4. Vzorek 4

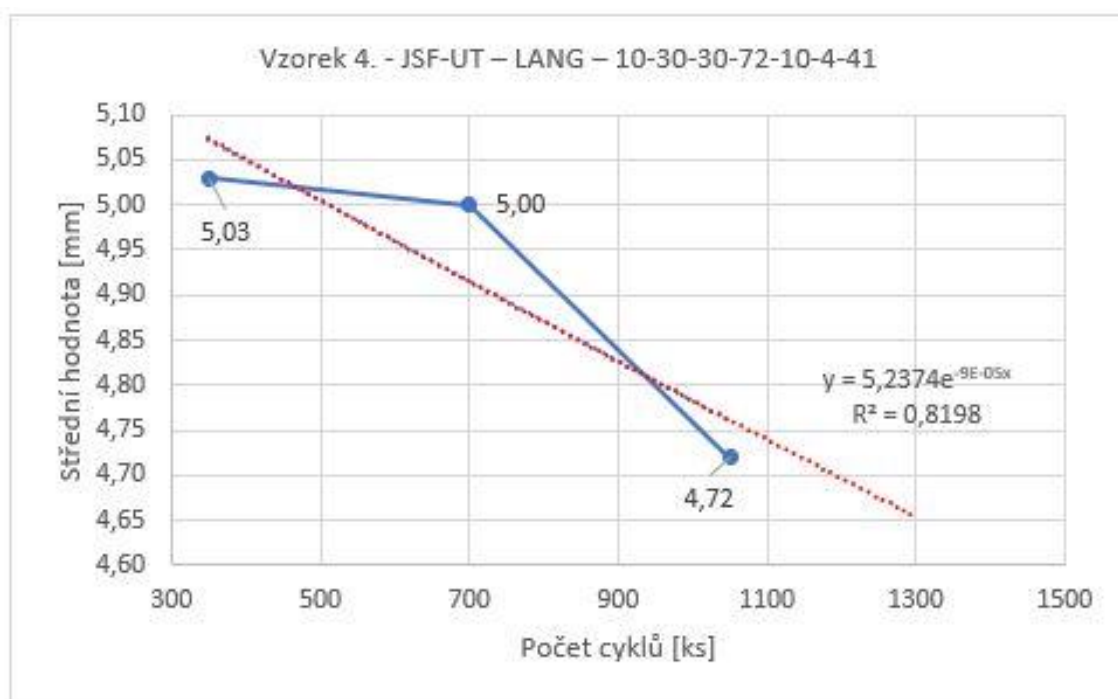
Změřené hodnoty vzorku 4. JSF-UT – LANG – 10-30-30-72-10-4-41 opotřebení na průměru nástroje po jednotlivých měřeních jsou uvedeny v tabulce 12. Dané hodnoty opotřebení jsou znázorněny v grafu 4. Zde je vidět, že vzorek 4 byl schopen dosáhnout 1050, cyklů což byl cíl experimentu. Jeho opotřebení po experimentu dosahovalo hodnot 0,56 mm úbytku na průměru.

tab. 12 Hodnoty experimentu, vzorek 4.

Vzorek 4.	Počet cyklů	dl. 1 [mm]	dl. 2 [mm]	dl. 3 [mm]	dl. 4 [mm]	stř.hod [mm]	Ø odchylka	Ø nástroje [mm]	Opotřebení na Ø [mm]
	350	5,01	5,00	5,00	5,10	5,03	0,04	10,06	0,00
	700	4,94	4,98	4,99	5,09	5,00	0,04	10,00	0,00
	1050	4,63	4,80	4,73	4,73	4,72	0,05	9,44	-0,56

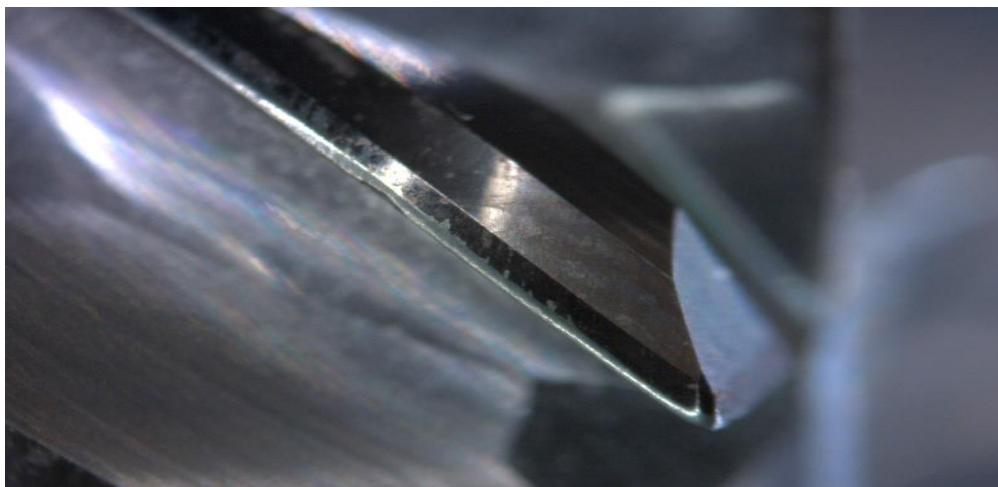
V grafu 4 na ose y jsou vyneseny střední hodnoty opotřebení v závislosti na odpracovaných cyklech, které jsou na ose x Z předpovědi spojnice trendů je vidět, že po 1350 cyklech by opotřeбенý průměr měl hodnotu cca 9,3 mm, což oproti původnímu bylo opotřebení o 0,70 mm.

graf 4 Opotřebení vzorku 4.



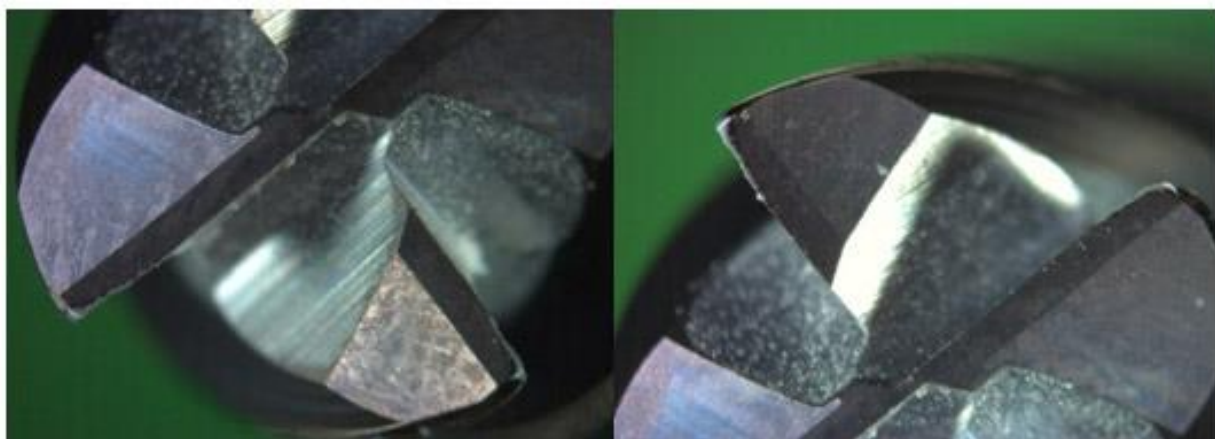
Z obr. 35, je vidět opotřebení břitu po 1050 cyklech. Je patrné že opotřebení je minimální, což ukazuje, že opotřebení je zanedbatelné a vzorek by mohl pokračovat v následných cyklech apretace

obr. 35 Opotřebení bočního břitu, vzorek 4. (foto autor)



Opotřebení z čela nástroje je vidět na zaoblené špičce ostří viz obr.36

obr. 36 Opotřebení čela vzorek 4. (foto autor)



11.5. Vzorek 5

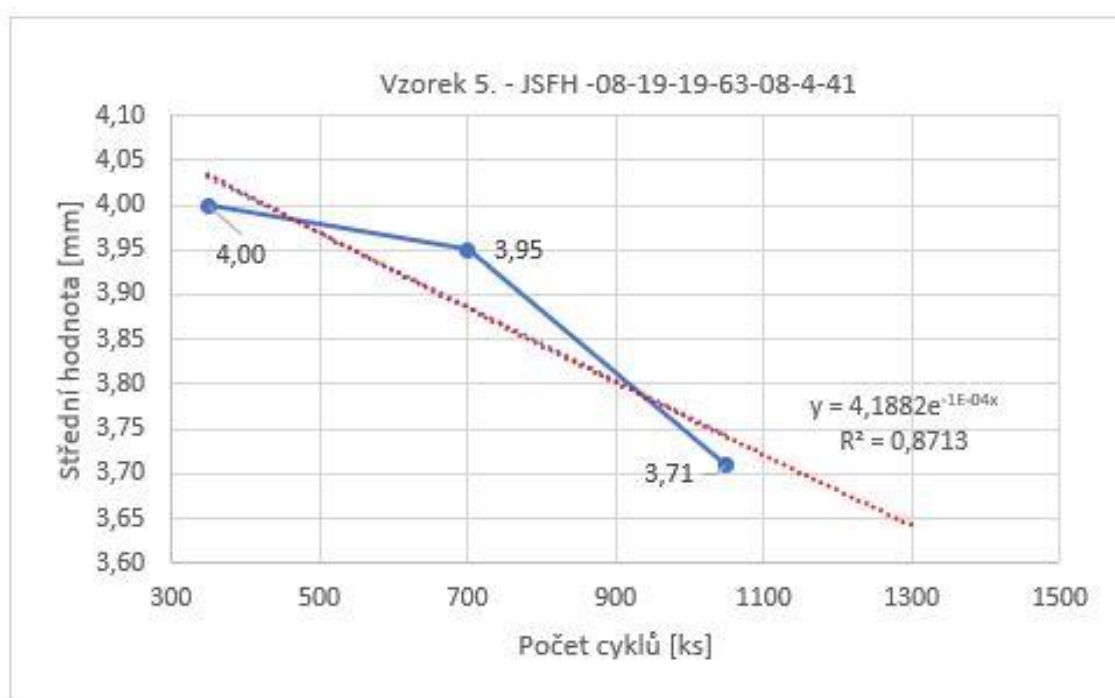
Změřené hodnoty vzorku 5. JSFH -08-19-19-63-08-4-41 opotřebení na průměru nástroje po jednotlivých měřeních jsou uvedeny v tabulce 13. Dané hodnoty opotřebení jsou znázorněny v grafu 5. Zde je vidět, že vzorek čtyři byl schopen dosáhnout 1050 cyklů, což byl cíl experimentu. Jeho opotřebení po experimentu dosahovalo hodnot 0,58 mm úbytku na průměru.

tab. 13 Hodnoty experimentu, vzorek 5.

Vzorek 5.	Počet cyklů	dl. 1 [mm]	dl. 2 [mm]	dl. 3 [mm]	dl. 4 [mm]	stř.hod [mm]	Ø nástroje [mm]	Opotřebení na Ø [mm]
	350	4,00	4,01	4,00	4,00	4,00	8,00	0,00
	700	3,96	3,95	3,98	3,90	3,95	7,90	-0,1
	1050	3,76	3,67	3,73	3,69	3,71	7,42	-0,58

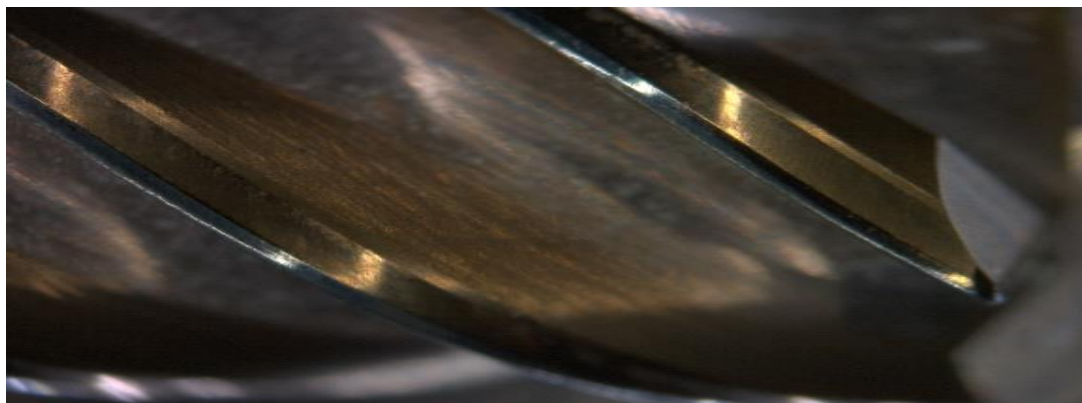
V grafu 5 na ose y jsou vyneseny střední hodnoty opotřebení v závislosti na odpracovaných cyklech, které jsou na ose x. Z předpovědi spojnice trendu je vidět budoucí opotřebení po 1350 cyklech by opotřeбенý průměr měl hodnotu cca 7,3 mm, což oproti původnímu bylo opotřebení o 0,70 mm.

graf 5 Opotřebení vzorku 5.



Z boku nástroje je minimální náznak opotřebení ostří.

obr. 37 Opotřebení bočního břitu vzorek 5. (foto autor)



Detail opotřebení po skončení experimentu viz obr. 37,38 je minimální. Proto by se dal vzorek následně použít k další apretaci. Na čele ostří je vidět náznak zaoblení ostří.

obr. 38 Opotřebení čela, vzorek 5.(foto autor)



12. Celkové vyhodnocení

Cílem experimentu bylo nalézt ze zadaných nástrojů nejvhodnější pro apretaci betonových hřebenáčů, a to pro stanovený cyklus 1050 cyklů, což odpovídá týdenní produkci výroby. Vyhodnocujícím parametrem byl úbytek na průměru nástroje vlivem abrazivního opotřebení, který se vyhodnocoval po cyklech 350, 700 a 1050.

Vzorek 1. Z uvedených výsledků dosáhl pouze na hodnotu 700 cyklů s úbytkem 1,28 mm na průměr nástroje, což je úbytek 16 %. Na základě opotřebení nemělo smysl pokračovat v dalších cyklech.

Vzorek 2. Z uvedených výsledků dosáhl také na hodnotu 700 cyklů s úbytkem 1,86 mm na průměr nástroje, což je největší úbytek 18,6 %. Na základě mechanického poškození nemělo smysl pokračovat v dalších cyklech.

Vzorek 3. Z uvedených výsledků dosáhl na hodnotu 700 cyklu s minimálním opotřebením, ale projevilo se mechanické poškození. Na základě tohoto poškození nemělo smysl pokračovat v dalších cyklech.

Vzorek 4. Z uvedených výsledků dosáhl na hodnotu 1050 cyklů s úbytkem 0,56 mm na průměr, což odpovídá úbytku 5,4 %.

Vzorek 5. Z uvedených výsledků dosáhl na hodnotu 1050 cyklů s úbytkem 0,58 mm na průměr, což odpovídá úbytku 7,25 %.

Z hlediska trvanlivosti nástroje a životnosti jsou na tom nejlépe vzorky 4 a 5, jejich opotřebení je srovnatelné. Vzhledem k tomu, že na roční produkci výroby bude potřeba 48 kusů nástrojů, budou pro volbu nástroje rozhodovat náklady na pořízení jednotlivých nástrojů.

Z ekonomického hlediska u vzorku 4 a 5 rozhodují pouze pořizovací náklady, jelikož datum dodání je stejné. Pořizovací cena vzorku 4 je 1500Kč a vzorku 5 je 1200Kč. Roční výroba se vzorkem 4 by se pohybovala s cenou 72 000Kč a se vzorkem 5 by se náklady pohybovaly okolo 57 600, což je rozdíl 14 400Kč.

13. Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout vhodný nástroj pro apretaci betonového materiálu pro firmu Betonpres. Výběr byl proveden z pěti zvolených nástrojů z různých materiálů a složení. V teoretické části je popsáno využití betonových materiálů v různých odvětvích dnešního průmyslu od stavebnictví až po strojírenství, složení betonu a jeho přísady a příměsi. Připojen je i popis obrábění, druhy a využívané nástroje.

Ve druhé části jsou přiblíženy problémy aktuálního stavu apretace betonových materiálů. Experiment se zaměřuje na volbu vhodného nástroje pro apretaci robotem, kdy jsou zvoleny výchozí parametry pro experiment, abychom vhodně zvolili nástroj s ohledem na trvanlivost, životnost nástroje a ekonomické zhodnocení pro uvedení do sériové výroby. V experimentální části jsou vzorky podrobeny testu, a to tak, že jsou testovány na životnost po cyklech. Cyklus byl zvolen 1050, což odpovídá týdenní výrobě, a následně rozdělen do tří sekcí měření, a to po 350, 700 a 1050 cyklech, abychom ověřili opotřebení nástrojů. Vyhodnocení proběhlo na stereomikroskopu Zeiss Stemi 508, kde byl vyhodnocen úbytek na průměru ostří nástroje, v tomto místě bylo nejlépe vidět dané opotřebení. Z experimentu je vidět, že nejvyšší trvanlivost a životnost měly vzorky 4 fréza JSF-UT – LANG – 10-30-30-72-10-4-41, kde se úbytek po 1050 cyklech projevil v opotřebení na průměru 5,4 %. Vzorek 5 fréza JSFH -08-19-19-63-08-4-41 se opotřebil o 7,25 % na průměru. Vzorky 1 a 2 se dostaly na hodnotu 700, ale jejich opotřebení bylo natolik velké, že již nemělo smysl s nimi pokračovat v dalším měření. Opotřebení bylo 16 % u vzorku 1 a u vzorku 2 až 18,6 %. U vzorku 3 se během testu projevilo mechanické poškození, proto se s ním v dalších cyklech nenepracovalo, jelikož kvalita obroběných kusů nedosahovalo zadaných požadavků. Pro závěrečnou volbu nástroje byl zvolen vzorek 5 fréza JSFH -08-19-19-63-08-4-41., dle celkového hodnocení experimentu.

14. Použitá literatura

- [1] [Ttps://www.ebeton.cz/pojmy/pouziti-betonu](https://www.ebeton.cz/pojmy/pouziti-betonu) [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/pojmy/pouziti-betonu>
- [2] [Htps://www.mmspektrum.com/clanek/beton-a-prirodni-zula-pri-vyrobe-lozi-a-ramu-obrabecich-stroju](https://www.mmspektrum.com/clanek/beton-a-prirodni-zula-pri-vyrobe-lozi-a-ramu-obrabecich-stroju) [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/beton-a-prirodni-zula-pri-vyrobe-lozi-a-ramu-obrabecich-stroju>
- [3] [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.fme.vutbr.cz/veda/uspechy/67547>
- [4] MMspektrum. *MMspektrum*. 2004, **2003**(5). Dostupné z: doi:30504
- [5] KLEČKA, tomáš. *Průručka technologa Beton*. 2013.
- [6] PYTLÍK, Petr. *Technologie betonu I vydání Brno*. Brno, 1997. ISBN . ISBN 80-214-0779-4.
- [7] COLLEPARDI, Mario. *Moderní beton I vydání*. Informační centrum ČKAIT. Praha, 2009. ISBN ISBN 978-80-87093-75-7.
- [8] ROVNAMÍKOVÁ. *Omítky: Chemické a technologické vlastnosti*. Praha: STOP, 2002.
- [9] KNĚTEK, J. *Ekologické a ekonomické zpracování průmyslových odpadních materiálu, 4 díl: 4. díl Stavební kompozity s aplikací jemnozrnných průmyslových odpadních materiálů, 1*. Brno, 2012. ISBN ISBN 978-80-87397-05-3.
- [10] *Portlandské směsné cementy a portlandské cementy s vápencem: Nové druhy cementů* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: http://www.svcement.cz/includes/dokumenty/pdf/portlandske_smesne_cementy_a_portlandske_cementy_s_vapencem.pdf
- [11] ČSN EN 197-1. : *Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití. Český normalizační institut: Cement - Část 1*. Praha, 2003.
- [12] KOPTA, Pavel a Jana JANOUŠKOVÁ. *Šikmé střechy*. Praha: Grada, 2012. ISBN ISBN 978-80-247-3484-2.
- [13] *Krytiny* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.krytiny-strechy.cz/aktuality/22226-rozhovor-proc-chtit-betonovou-stresni-krytinu-a.html#.X-3gSNhKhPY>
- [14] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie Obrábění*. Akademické nakladatelství Cerm, s.r.o. Brno, 2001. ISBN ISBN 80-214-1996-2.

- [15] HUMÁR, Anton. [online]. [cit. 2021-5-3].
Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory>
- [16] FIALOVÁ, D. a V. GRADEK. *Zámečnické práce a údržba: Technologie 1. díl*. Praha: Parta, 2007.
- [17] [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/182/04.html>
- [18] [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/tvrdokov-vysoce-odolny-material-proti-opotrebeni>
- [19] [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.ionbond.com/cz/zakazkove-povlakovani/obrabeci-nastroje/portfolio-povlaku/maximizer-plus-fakta/>
- [20] KOČMAN, K. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s, 2011. ISBN . ISBN 978-80-7204-722-2.
- [21] FOREJT, M, A HUMÁR, M PÍŠKA a L JANEČEK. *Experimentální metody*. Brno, 2003.
Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/cviceni_soubory/experimentalni_metody__cviceni__forejt_piska_humar_janicek.pdf.
- [22] [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.zeiss.com/microscopy/int/products/stereo-zoom-microscopes/stemi-508.html>
- [23] [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.biocompare.com/23092-Stereomicroscopes/6233933-ZEISS-Stemi-508-Stereo-Microscope/>
- [24] [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: http://optosys.eu/wp/wp-content/uploads/2014/11/product-flyer_Stemi-508.pdf
- [25] *NTK Cutting Tools* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: http://www.ntkcuttingtools.com/catalog/pdf/NTKGeneral_PVDcarbice.pdf
- [26] *NTK Cutting Tools* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <http://www.ngkntk.co.jp/englisch/index.html/company/develop.html>
- [27] PEREZ, H, E DIEZ, J.J MARQUEZ a A VIZAN. *An enhanced method for cutting force estimation in peripheral milling: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Dostupné z: doi:10.1007/s00170-013-5153-0
- [28] TLUSTÝ, J a P MACNEIL. *Dynamic of cutting forces in end milling* [online]. 1975 [cit. 2021-5-3].

- [29] DILINGER A KOL., Josef. *Moderní Strojírenství pro školu a i praxi*. Praha: Europa Sobotáles, 2007. ISBN ISBN 978-80-86706.19-1.
- [30] *Fanuc LR Mate 200 iD* [online]. [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://my.fanuc.eu/Private>
- [31] KLINE, W, R DEVOR a J LINDENBERG. *The prediction of cutting forces in end milling with application to cornering cuts: . Int J Mach Tool Des Res 22(1):7–22* [online]. 1982 [cit. 2021-5-3].
- [32] *Betonpres* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: https://www.betonpres.cz/?gclid=Cj0KCQjw4cOEBhDMARIsAA3XDRj_RqSALfn_2cPaTjeDxUAA1ArjV32WwlXhu52soydzgq6TPOiiztwaApgHEALw_wcB
- [33] *Markago* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: <https://eshop.markagro.cz/stopkove-frezy/1899-stopkova-freza-celni-valcova-4-brita-kratka-s-valcovou-stopkou-pro-lehke-kovy-a-plasty-din844-a-k-m-w-hss-e-20-mm-fenes.html>

15. Seznam obrázků

obr. 1 Betonová konstrukce obráběcího centra [2]	14
obr. 2 tisková hlava pro tisk polymerního betonu [3]	14
obr. 3 Betonová střešní krytina [32].....	29
obr. 4 Čelní frézování [16].....	31
obr. 5 Obvodové frézování [16].....	31
obr. 6 a) Nesousledné frézování b) Sousledné frézování [16]	33
obr. 7 Rychlořezná ocel- válcová fréza [33]	35
obr. 8 Rychlořezná fréza [33].....	35
obr. 9 Fréza z tvrdokovu [18].....	37
obr. 10 Fréza s povlakem Maximizer+ [18].....	37
obr. 11 Detail povrchu Maximizer + [19]	38
obr. 12 Fréza s povlakem Hardcut [19].....	39
obr. 13 Detail povrchu Hardcut [19]	39
obr. 14 Otřepy na hřebenačích (foto autor).....	41
obr. 15 Hřebenač [32]	42
obr. 16 Vřetenno Jager Chopper 1500 H (foto autor)	42
obr. 17 Virtuální pracoviště - Roboguid Fanuc (autor).....	43
obr. 18 Robot Fanuc LR Mate 200 iD [30].....	44
obr. 19 Fanuc Mate kabinet[30].....	45
obr. 20 Teach Pendant Fanuc [30]	46
obr. 21 Schéma, vzorek 1.....	47
obr. 22 Schéma, vzorek 2.....	48
obr. 23 Schéma, vzorek 3.....	48
obr. 24 Schéma, vzorek 4.....	49
obr. 25 Schéma, vzorek 5.....	50
obr. 26 Tloušťka otřepu (foto autor)	51
obr. 27 Trajektorie (autor).....	52
obr. 28 Opotřebení břitu (foto autor).....	52
obr. 29 Povrch po nerovnoměrné apretaci (foto autor)	53
obr. 30 Stereomikroskop Zeiss Stemi 508, laboratoř ČZU (foto autor).....	53
obr. 31 Schéma měření délky (autor).....	55
obr. 32 Opotřebení vzorku 1. (foto autor)	57
obr. 33 Opotřebení vzorku 2. (foto autor)	59
obr. 34 Mechanické poškození, vzorek 3 (foto autor).....	61

obr. 35 Opotřebení bočního břítu, vzorek 4. (foto autor).....	63
obr. 36 Opotřebení čela vzorek 4. (foto autor).....	63
obr. 37 Opotřebení bočního břítu vzorek 5. (foto autor).....	65
obr. 38 Opotřebení čela, vzorek 5.(foto autor).....	65
obr. 39 Rozměry měření, vzorek 1- po 700 cyklech.....	75
obr. 40 Rozměry, vzorek 2 – po 700 cyklech.....	76
obr. 41 Rozměry, vzorek 2 - po 700 cyklech.....	76
obr. 42 Rozměry, vzorek 3 - po 700 cyklech.....	77
obr. 43 Rozměry, vzorek 3 - po 700 cyklech.....	77
obr. 44 Rozměry, vzorek 4 - po 700 cyklech.....	78
obr. 45 Rozměry, vzorek 4 - po 700 cyklech.....	78
obr. 46 Rozměry, vzorek 4 - po 1050 cyklech.....	79
obr. 47 Rozměry, vzorek 4 - po 1050 cyklech.....	79
obr. 48 Rozměry, vzorek 5 - po 700 cyklech.....	80
obr. 49 Rozměry, vzorek 5 - po 1050 cyklech.....	80
obr. 50 Trajektorie 1, reálný provoz.....	81
obr. 51 Trajektorie 2, reálný provoz.....	81
obr. 52 Stav hřebenače před apretací, přední část.....	82
obr. 53 Stav hřebenače před apretací, zadní část.....	82
obr. 54 Stav po apretaci trajektorie 1, přední část - apretace nástrojem vodorovně s hranou.....	83
obr. 55 Stav po apretaci trajektorie 2, zadní část - apretace nástrojem kolmo k hraně.....	83
obr. 56 Stav po apretaci, zadní část.....	84

16. Seznam tabulek

tab. 1 .pevnostní třídy [5]	21
tab. 2 Měrná hmotnost cementu [5]	21
tab. 3 Rozměry Vzorek 1.	47
tab. 4 Rozměry Vzorku 2.	48
tab. 5 Rozměry Vzorku 3.	49
tab. 6 Rozměry Vzorku 4.	49
tab. 7 Rozměry Vzorku 5.	50
tab. 8 Parametry	51
tab. 9 Hodnoty experimentu, vzorek 1.	56
tab. 10 Hodnoty experimentu, vzorek 2.	58
tab. 11 Hodnoty experimentu, vzorek 3.	60
tab. 12 Hodnoty experimentu, vzorek 4.	61
tab. 13 Hodnoty experimentu, vzorek 5.	64

17. Seznam grafů

graf 1 Opotřebenění vzorku 1	57
graf 2 Opotřebenění vzorku 2.	59
graf 3 Opotřebenění vzorku 3.	60
graf 4 Opotřebenění vzorku 4.	62
graf 5 Opotřebenění vzorku 5.	64

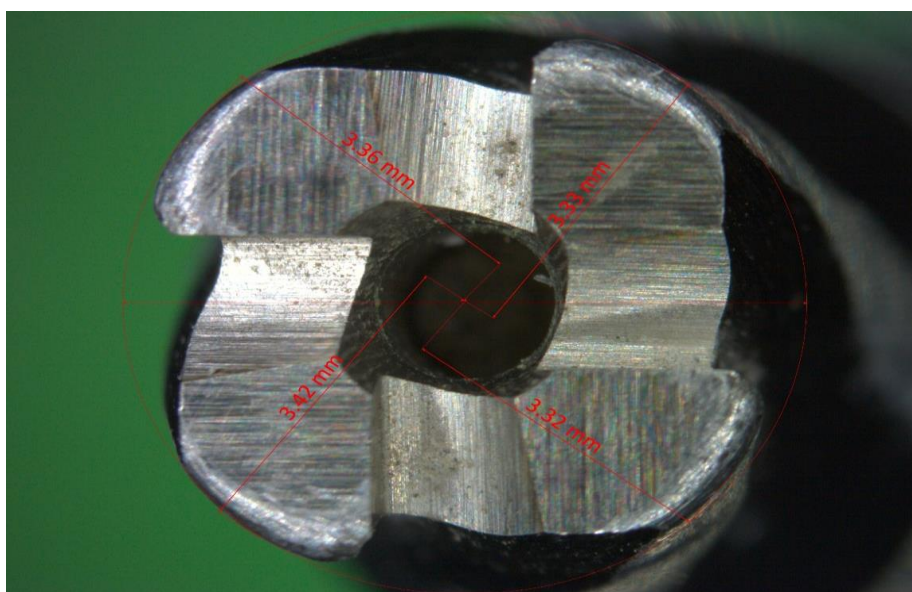
18. Přílohy

Příloha 1

Vzorek 1

HSS Co5 8x19 – 140215

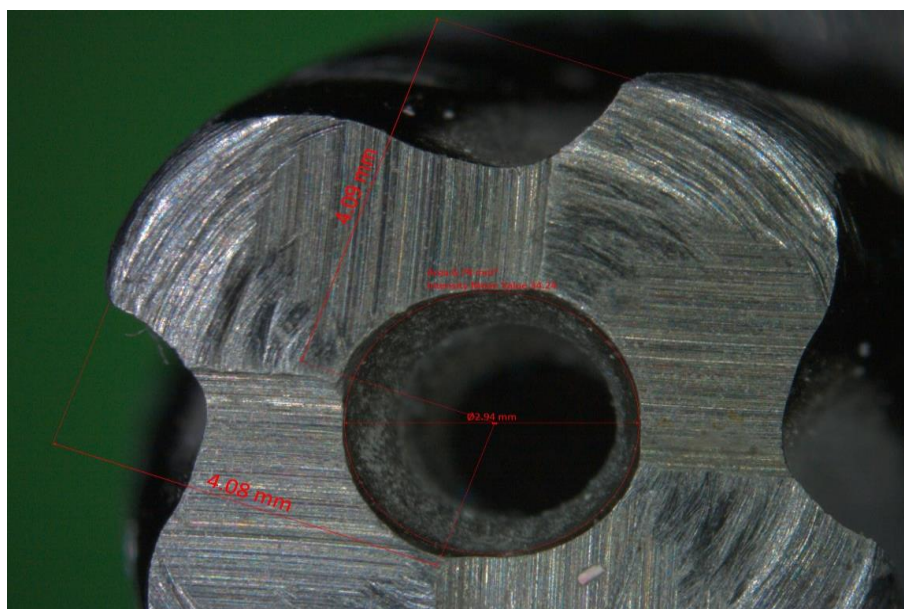
obr. 39 Rozměry měření, vzorek 1- po 700 cyklech



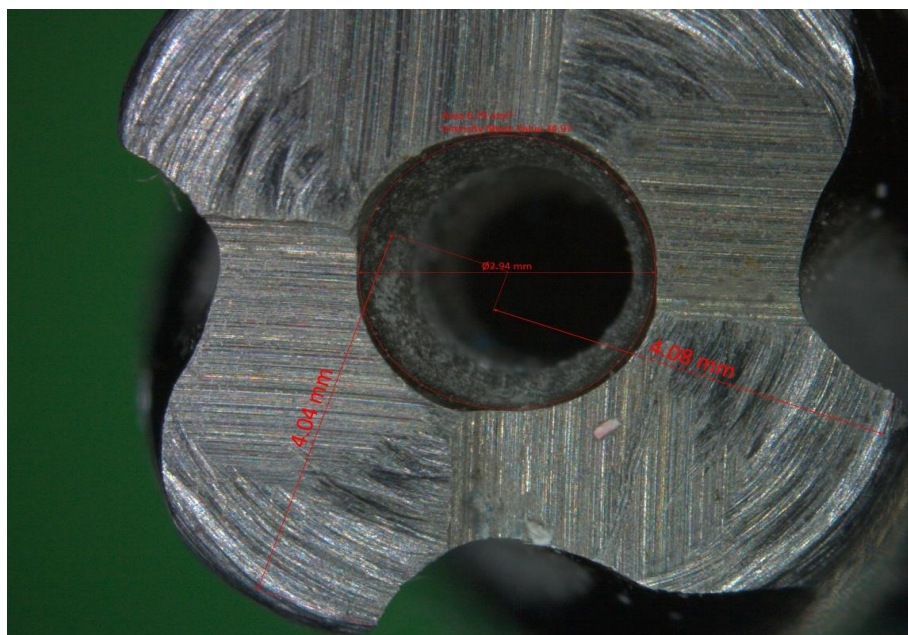
Vzorek 2

HSS 10x22- 2132

obr. 40 Rozměry, vzorek 2 – po 700 cyklech



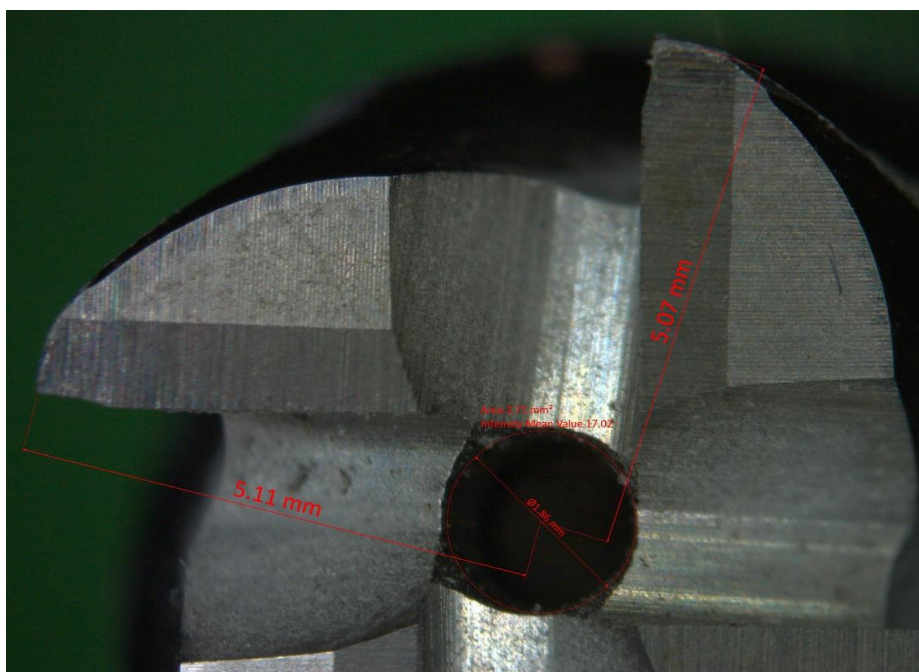
obr. 41 Rozměry, vzorek 2 - po 700 cyklech



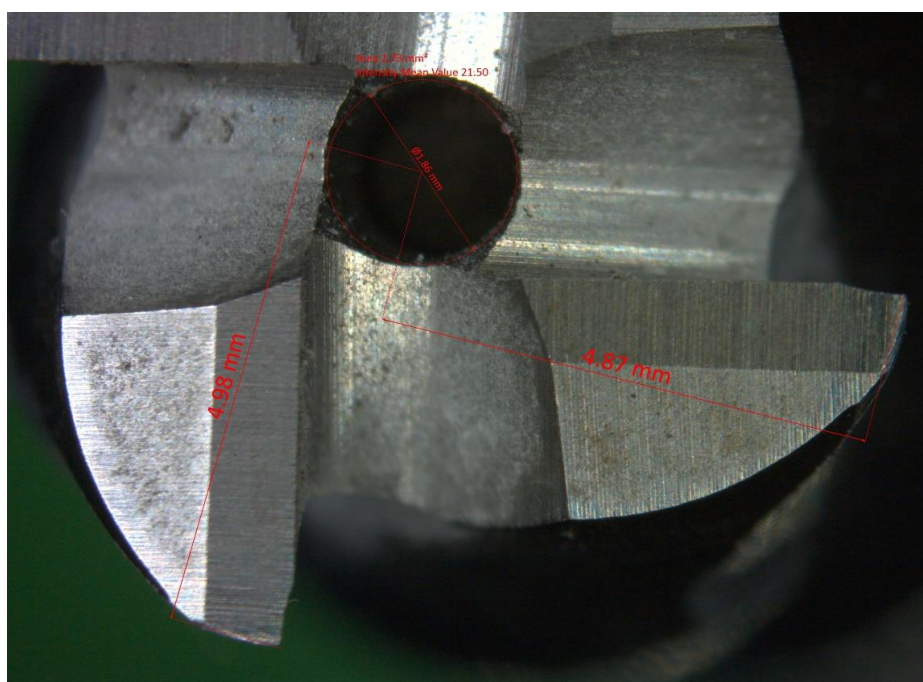
Vzorek 3

HSS Co5 10x22 – 140215

obr. 42 Rozměry, vzorek 3 - po 700 cyklech



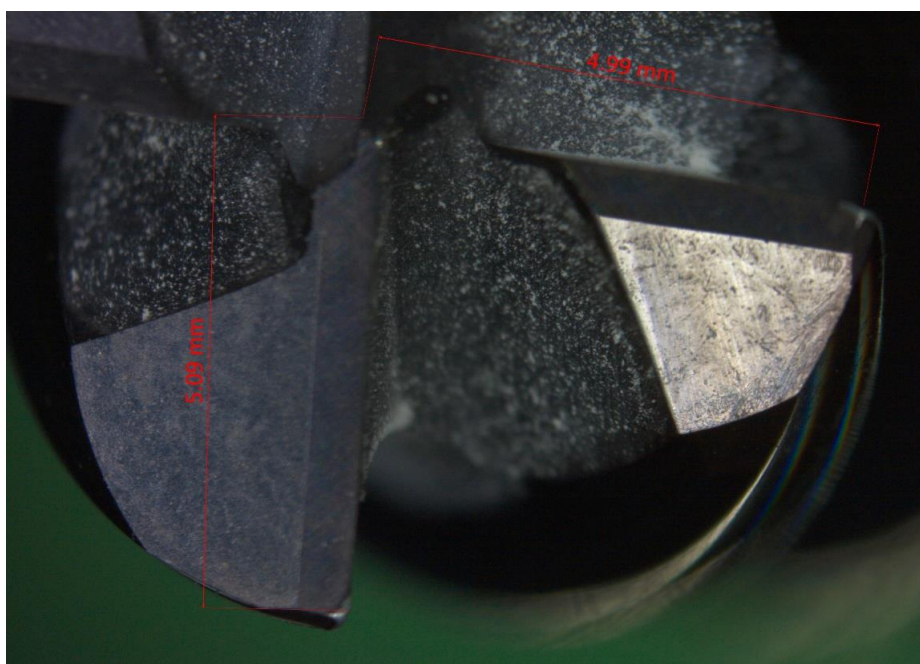
obr. 43 Rozměry, vzorek 3 - po 700 cyklech



Vzorek 4

JSF-UT – LANG – 10-30-30-72-10-4-41

obr. 44 Rozměry, vzorek 4 - po 700 cyklech

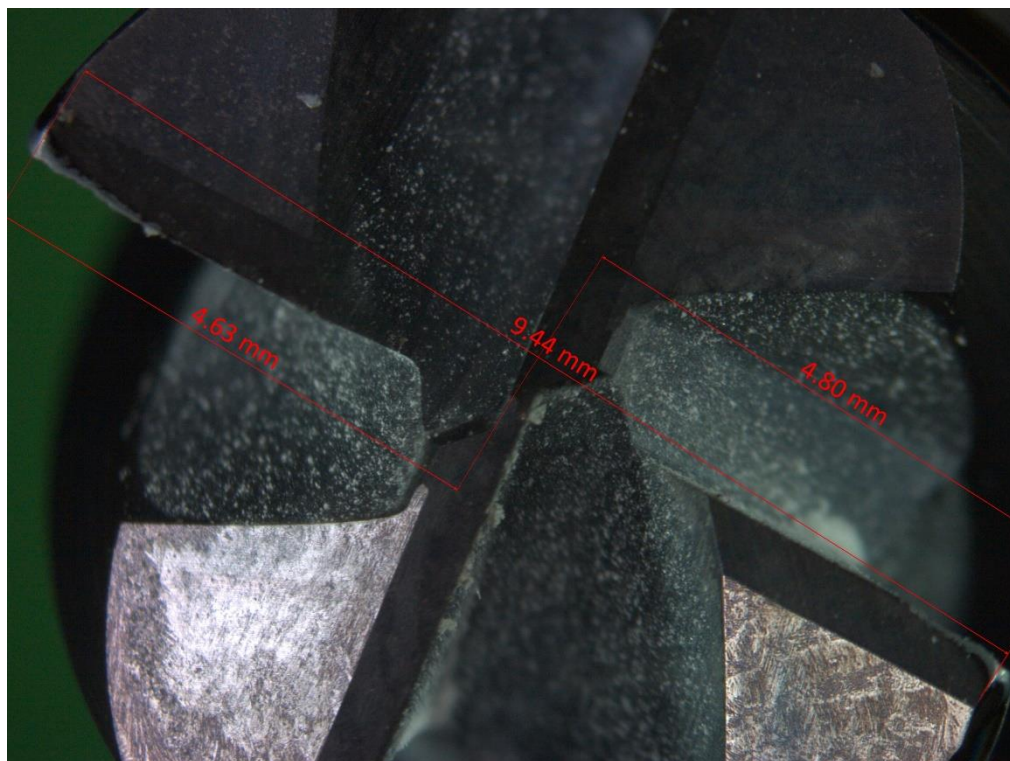


obr. 45 Rozměry, vzorek 4 - po 700 cyklech

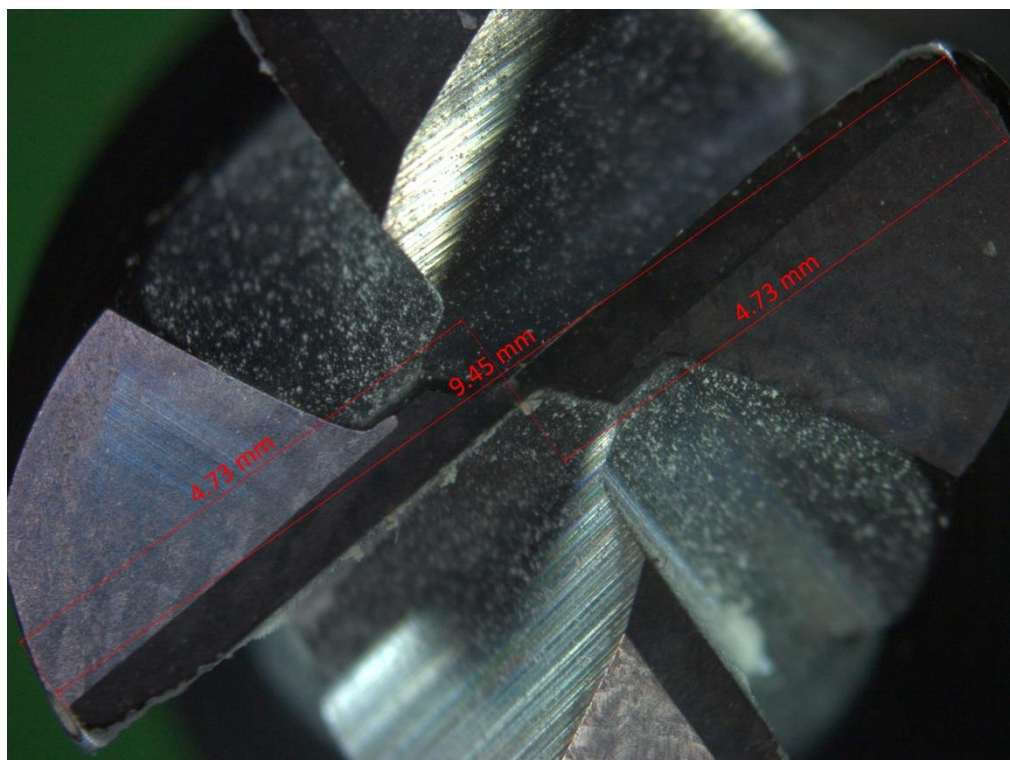


JSF-UT – LANG – 10-30-30-72-10-4-41

obr. 46 Rozměry, vzorek 4 - po 1050 cyklech



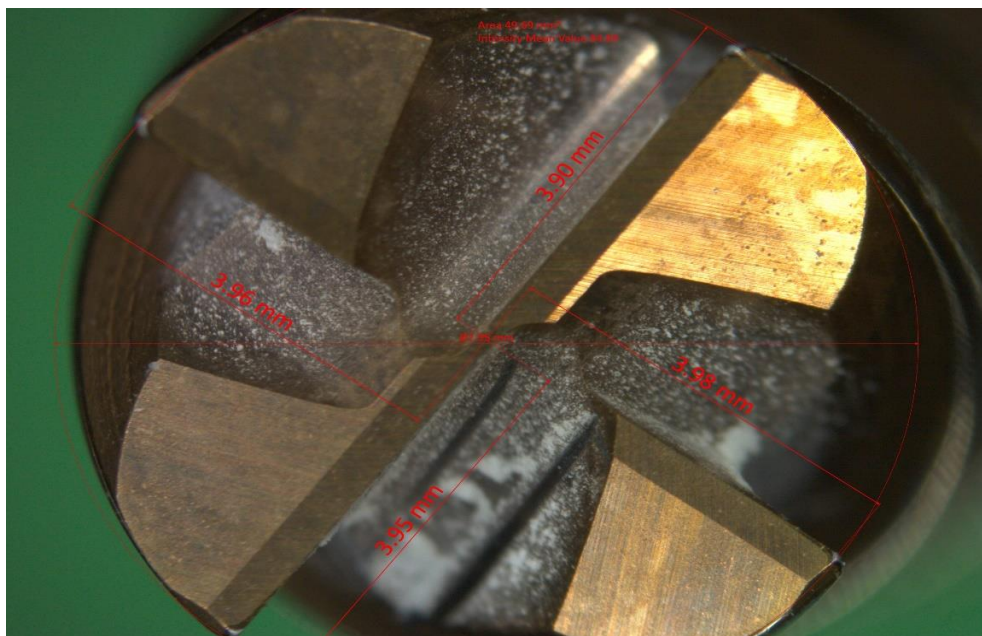
obr. 47 Rozměry, vzorek 4 - po 1050 cyklech



Vzorek 5

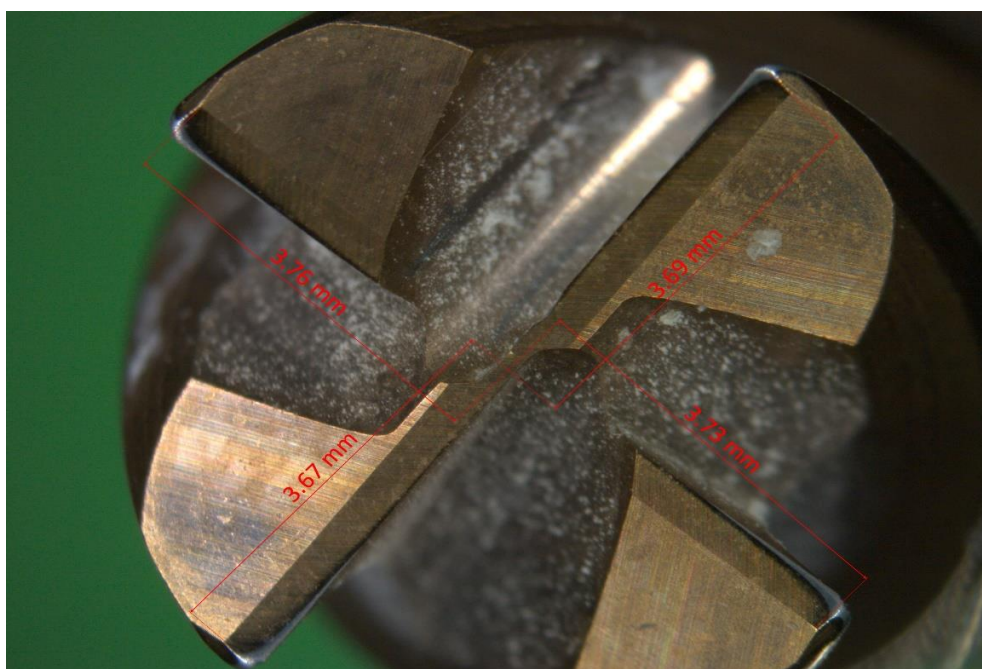
JSFH -08-19-19-63-08-4-41

obr. 48 Rozměry, vzorek 5 - po 700 cyklech



JSFH -08-19-19-63-08-4-41

obr. 49 Rozměry, vzorek 5 - po 1050 cyklech

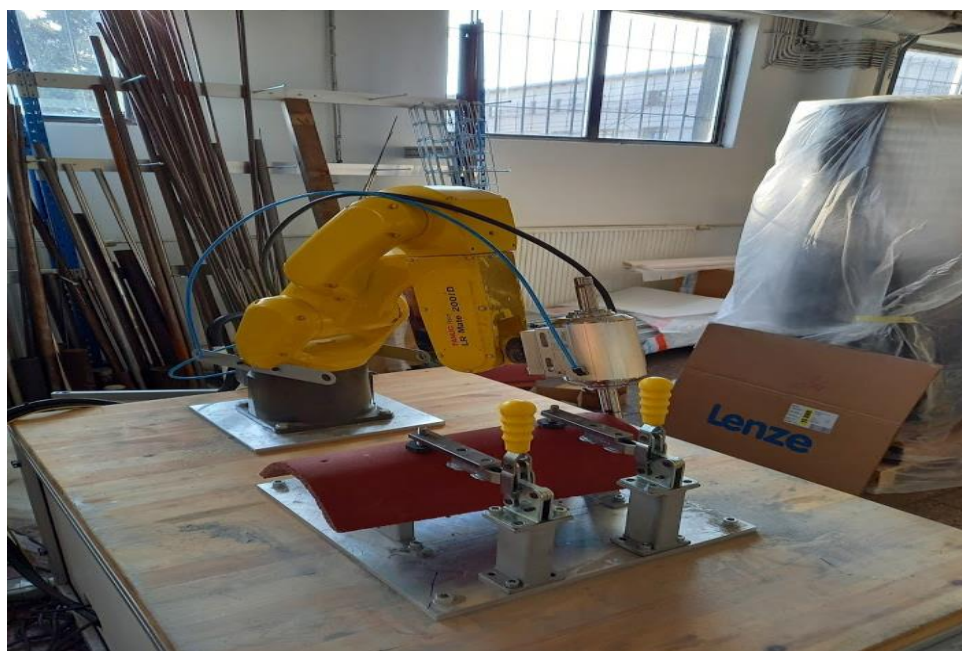


Pracoviště

obr. 50 Trajektorie 1, reálný provoz



obr. 51 Trajektorie 2, reálný provoz



Hřebenáč

obr. 52 Stav hřebenáče před apretací, přední část



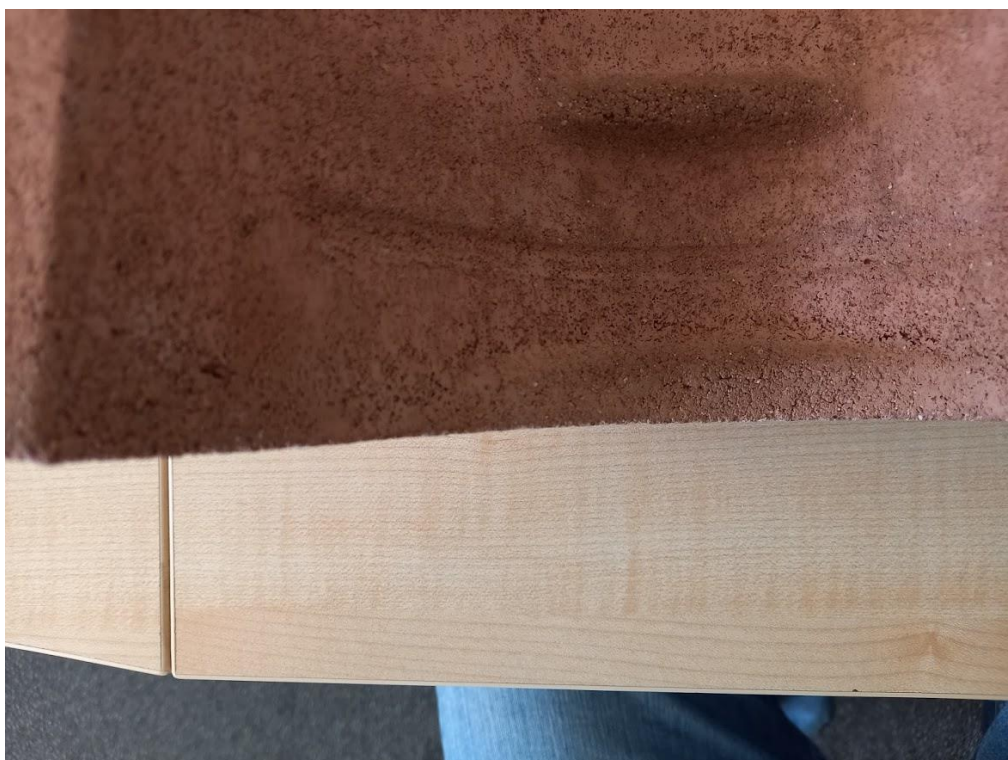
obr. 53 Stav hřebenáče před apretací, zadní část



obr. 54 Stav po apretaci trajektorie 1, přední část - apretace nástrojem vodorovně s hranou



obr. 55 Stav po apretaci trajektorie 2, zadní část - apretace nástrojem kolmo k hraně



obr. 56 Stav po apretaci, zadní část

