



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



# Příloha komplexní úlohy

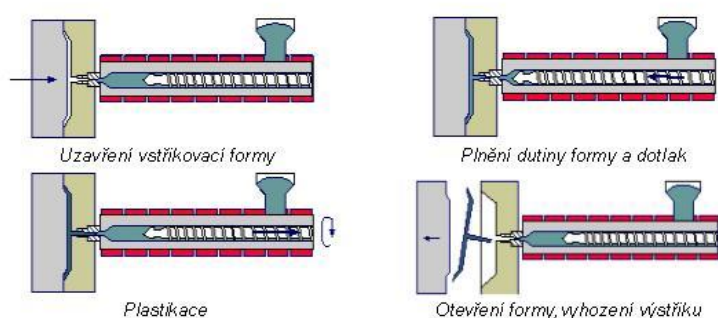


Národní pedagogický institut České republiky  
Projekt Modernizace odborného vzdělávání (MOV)  
Senovážné nám. 872/25, 110 00 Praha 1  
[www.projektmov.cz](http://www.projektmov.cz)

# Vstřikování plastů – pracovní cyklus

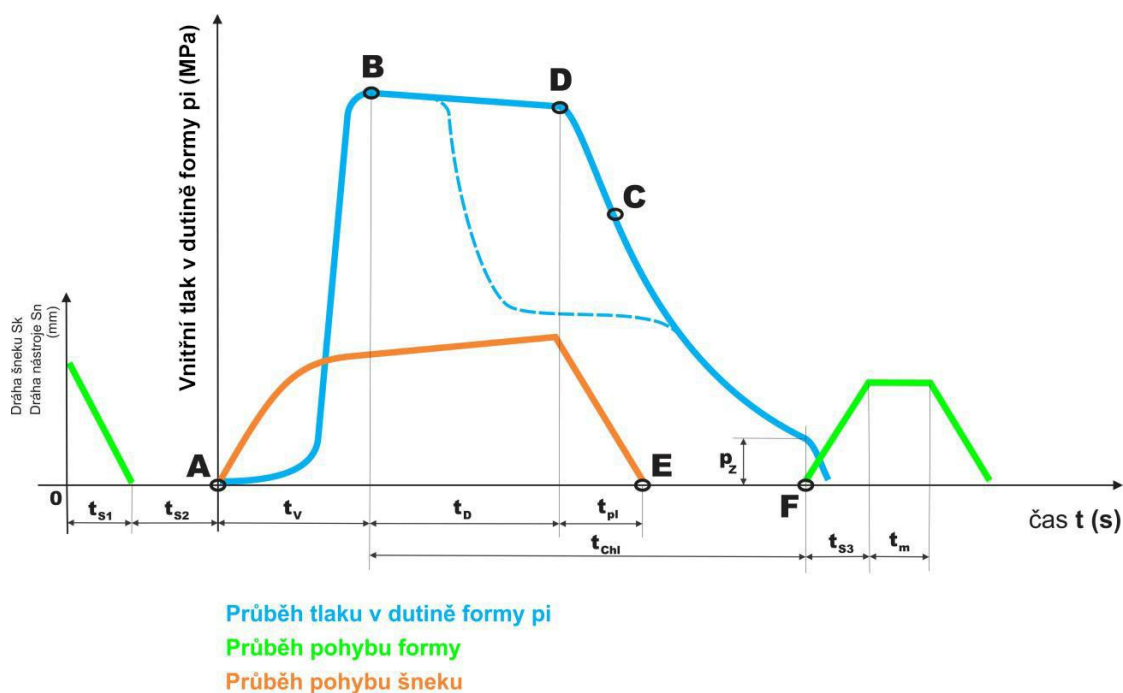
Plast (nejčastěji v podobě granulí) je nasypán do násypky, z níž je odebrán pracovní částí vstřikovacího stroje (šnekem, pístem), která hmotu dopravuje do tavicí komory, kde za současného účinku tření a topení plast taje a vzniká tavenina. Tavenina je následně vstřikována do dutiny formy, kterou zcela zaplní a získá její tvar a objem. Následuje dotlaková fáze pro snížení smrštění a rozměrových změn. Plast předává formě teplo a ten postupným ochlazováním ztuhne ve finální výrobek. Potom se forma otevře a výrobek je vyhozen a celý výrobní proces se cyklicky opakuje.

(<https://publi.cz/books/184/video/L1.mp4>)



Při popisu vstřikovacího cyklu je nutno jednoznačně definovat jeho počátek. Za počátek cyklu lze považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy.

Vstřikovací cyklus však můžeme posuzovat i z hlediska zpracovávaného plastu a s výhodou jej vyjádřit jako závislost tlaku v dutině formy na čase.



Na počátku vstřikovacího cyklu je dutina formy prázdná a forma je otevřená. V nulovém čase dostane stroj impuls k zahájení vstřikovacího cyklu. V časovém úseku  $t_{s1}$  se pohyblivá část formy přisune k pevné, forma se zavře a „zamkne“. Pokud se přisouvá vstřikovací jednotka vstřikovacího stroje k formě, tak tato činnost je popsána časovým úsekem  $t_{s2}$ . Časové úseky  $t_{s1}$  a  $t_{s2}$  jsou strojní časy.

V bodě A se dává do pohybu šnek v tavicí komoře a začíná vlastní vstřikování roztavené hmoty (plnění) do dutiny vstřikovací formy. Tato doba, během níž probíhá plnění dutiny formy, se nazývá *doba plnění* nebo doba vstřikování a značí se  $t_v$ . Ve fázi plnění dosáhne tlak maximální hodnoty. Tento děj je ukončen v bodě B. Objem taveniny plastu dosahuje kolem 95 až 97% objemu dutiny vstřikovací formy. A samozřejmě platí, že jakmile tavenina vteče do dutiny vstřikovací formy, ihned začne předávat teplo vstřikovací formě a začne chladnout. V této fázi šnek vykonává pouze axiální pohyb, neotáčí se a plní funkci pístu.

Chlazení trvá až do otevření formy a vyjmutí, (vyhození) výstřiku ze vstřikovací formy. Tato doba se nazývá *doba chlazení* a je označena  $t_{ch}$ . V praxi se dělí na dobu chlazení při plném vstřikovacím tlaku a při klesajícím tlaku. Po vyhození výstřiku z dutiny vstřikovací formy pokračuje chlazení již bez tlaku až do vyrovnání teploty výstřiku s teplotou okolí.

Během chladnutí se hmota smršťuje a zmenšuje svůj objem. Aby se na výstřiku netvořily propadliny nebo staženiny, je nutné kompenzovat zmenšování objemu dodatečným *dotlačením taveniny do dutiny formy*. Tento úsek cyklu se nazývá *doba dotlaku* a značí se  $t_d$ . Dotlak může být po celou dobu stejně vysoký jako maximální tlak (plná modrá čára) nebo se může po několika sekundách snížit (přerušovaná modrá čára) a další chladnutí probíhá při sníženém tlaku. Dotlak se proto rozděluje na izobarický (konstantní tlak) a izochorický (konstantní objem). Doba dotlaku končí v bodě D. Bod C označuje okamžik zatuhnutí roztavené hmoty ve studeném vtokovém kanálu. Abychom mohli dotlačovat, musí před čelem šneku zůstat určitý objem plastu - *polštář*, na který bude šnek působit svým čelem. Tento objem nesmí být příliš velký (obvykle kolem 5 až 15 %, méně než jednonásobek průměru šneku  $D$ ), aby nedocházelo k tepelné degradaci hmoty. Objem polštáře závisí na velikosti výrobku.

Po dotlaku začíná plastikace nové dávky plastu, časový úsek  $t_{pl}$ , končící v bodě E. Šnek se začne otáčet, pod násypkou nabírá granulovanou hmotu, plastikuje ji a vtláče do prostoru před čelem šneku. Současně ustupuje dozadu, přičemž musí překonávat tzv. *protitlak* neboli *zpětný tlak*. Výška protitlaku ovlivňuje dobu plastikace a tím i kvalitu prohnětení roztaveného plastu. Příliš vysoký protitlak by však mohl způsobit až degradaci plastu. Ohřev plastu během plastikace se děje jednak převodem tepla ze stěn válce, jednak frikčním teplem, které vzniká třením plastu o stěny komory a o povrch šneku a dále přeměnou hnětací práce šneku v teplo.

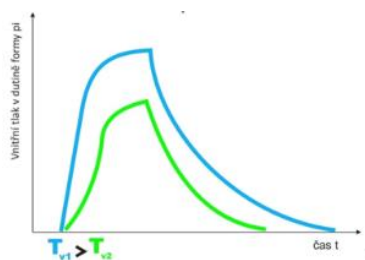
Dále může nebo nemusí následovat odsunutí tavicí komory od formy (strojní čas). Během pokračující fáze chlazení tlak ve vstřikovací formě dále klesá až na hodnotu zbytkového tlaku  $p_z$ , což je tlak, pod nímž se výstřik nachází ve formě těsně před jejím otevřením. Příliš vysoký zbytkový tlak je příčinou vysokých pnutí ve výstřících, které mohou způsobovat deformace nebo až samovolné praskání výstřiku. V bodě F se vstřikovací forma otevře a výstřik se vyhodí z formy. Na tuto operaci je potřeba *strojní doba*  $t_{s3}$ . Je-li výstřik vyjímán z formy manipulátorem, je k tomu navíc vymezena *manipulační doba*  $t_m$ . Ta je určena i k případné další činnosti, např. ke vkládání kovových záložek do formy, k dávkování separačních prostředků, k očištění formy, apod.

## Technologické parametry procesu vstřikování

Mezi nejvýznamnější technologické parametry, které výrazným způsobem ovlivňují vlastní proces vstřikování, patří vstřikovací rychlost  $v_{vst}$ , vstřikovací tlak  $p_v$ , tlak  $p_d$  a doba dotlaku  $t_d$ , teplota taveniny  $T_{tav}$  a teplota nástroje (formy)  $T_f$ .

Teplota taveniny má výrazný vliv na tekutost plastu a na dobu vstřikovacího cyklu. Vyšší teplota taveniny vede k nárůstu tekutosti a k prodloužení vstřikovacího cyklu, protože při zachování hodnoty vstřikovací rychlosti klesá minimální potřebná hodnota hydraulického tlaku, ale dochází ke zvýšení tlaku v dutině vstřikovací formy (viz obr.), což může vést ke vzniku přetoků a zástřiků. To znamená, že se prodlouží doba chlazení i doba dotlaku, protože v dutině vstřikovací formy je teplejší tavenina. Zároveň stoupá nebezpečí vzniku spálené hmoty, nebezpečí teplotní degradace plastu. Naopak s nižší teplotou taveniny se zvyšuje nebezpečí vzniku studených spojů.

Teplota vstřikovací formy má velký vliv jak na délku vstřikovacího cyklu, na kvalitu povrchu a vzhled plastových dílů, tak na rozměrovou přesnost (smrštění) a výsledné mechanické vlastnosti. Vyšší teplota formy vede k mírnému nárůstu tlaku v dutině vstřikovací formy, ale k výraznému prodloužení doby chlazení. S vyšší teplotou vstřikovací formy vzrůstá hodnota smrštění, a tedy stoupá nebezpečí vzniku propadlin a staženin (lunkrů). Dochází však ke snížení pnutí uvnitř plastových dílů, protože relaxační procesy probíhají mnohem rychleji, než u studených plastových dílů. Vyšší teplota vstřikovací formy vede k eliminaci studených spojů a k eliminaci tzv. „tiger“ efektu, zvlnění. S rostoucí teplotou vstřikovací formy dochází u semikrystalických plastů k nárůstu mechanických vlastností, ale také ke snížení lesku povrchu plastových dílů.

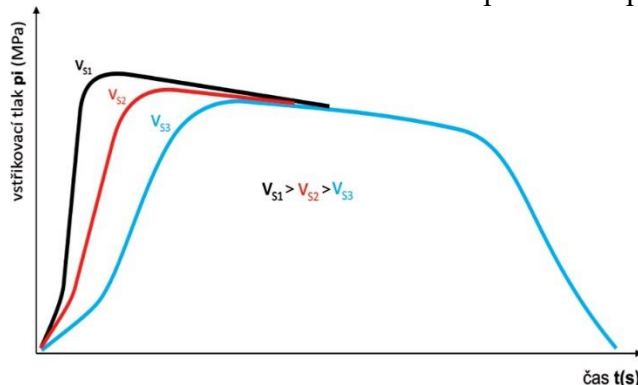


Vliv teploty taveniny na průběh tlaku uvnitř dutiny nástroje

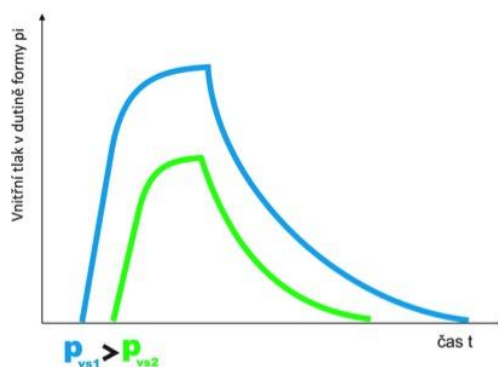
Doporučené teploty taveniny a teploty formy pro vybrané termoplasty

Termoplast	Teplota taveniny [°C]	Teplota formy [°C]
HDPE	180 - 280	30 - 60
LDPE	170 - 270	20 - 60
PP	180 - 280	20 - 90
PA 6	240 - 280	40 - 100
PA 6.6	260 - 300	60 - 100
PBT	230 - 270	30 - 90
POM	180 - 230	40 - 120
PEEK	380 - 430	160 - 220
ABS	190 - 270	50 - 80
PS	170 - 270	20 - 80
PC	270 - 320	85 - 120
PMMA	200 - 260	30 - 80
SAN	200 - 270	50 - 80
PVC	190 - 220	20 - 70

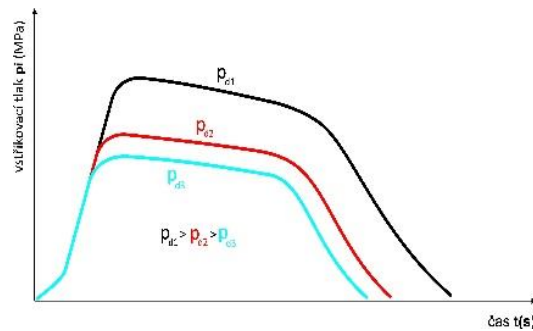
Nastavení vstřikovací rychlosti ovlivňuje dobu plnění dutiny vstřikovací formy, resp. rychlost postupu čela taveniny uvnitř dutiny nástroje. Na obr. je znázorněn vliv změny vstřikovací rychlosti  $v_{vsf}$  na průběh vnitřního tlaku v dutině vstřikovací formy. Čím vyšší bude vstřikovací rychlost, tím bude křivka v oblasti vstřiku strmější a tedy nárůst vnitřního tlaku výraznější. Zároveň díky zvyšování rychlosti vstřikování stoupá smykové namáhání taveniny, snižuje se její viskozita (stoupá tekutost), dochází ke zvýšení teploty taveniny, ale i k nárůstu orientace. Změna vstřikovací rychlosti se v dotlakové a chladicí fázi zpravidla neprojevuje.



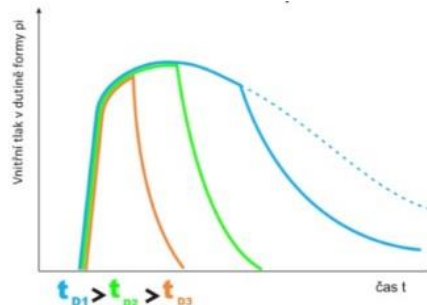
Změna vstřikovacího tlaku při zachování ostatních technologických parametrů výrazně ovlivňuje velikost tlaku v dutině vstřikovací formy a čas plnění. Čím vyšší bude vstřikovací tlak, tím vyšší bude i tlak v dutině vstřikovací formy. Čím vyšší bude vstřikovací tlak, tím dříve nastane proces plnění dutiny vstřikovací formy při nárůstu smykového namáhání taveniny, snižuje se viskozita taveniny (stoupá její tekutost) a dochází ke zvýšení teploty taveniny, k prodloužení doby chlazení. Zároveň vstřikovací tlak ovlivňuje výslednou kvalitu výrobku, hmotnost výrobku, pokles hodnoty smrštění, ale také nárůst pnutí ve výrobku, zvýšení orientace. Změna vstřikovacího tlaku se v dotlakové a chladicí fázi zpravidla neprojevuje.



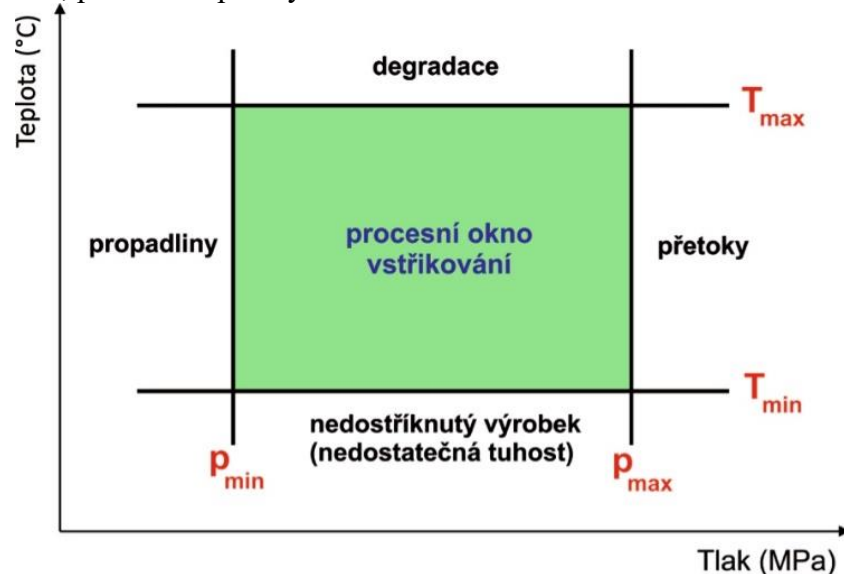
Velikost dotlaku má asi největší vliv na průběh tlaku uvnitř vstřikovací formy a jeho počátek se vztahuje k okamžiku přepnutí ze vstřikovací fáze na dotlakovou fázi. Velikost dotlaku nejvýrazněji ovlivňuje výslednou kvalitu povrchu dílu, protože při vyšší hodnotě dotlaku dochází k lepšímu „otisknutí“ povrchu dutiny vstřikovací formy na povrchu výrobku. Vyšší hodnota dotlaku způsobuje nárůst tlaku uvnitř dutiny vstřikovací formy, přičemž může dojít až k výskytu velkého zbytkového tlaku, který přetrvává v dutině vstřikovací formy až do okamžiku otevření. Při vyšší hodnotě dotlaku dojde k celkovému prodloužení tlakové křivky, k prodloužení doby chlazení. Při nastavení vyšší hodnoty dotlaku zpravidla naroste hmotnost výrobku, poklesne velikost hodnoty smrštění, ale současně dojde ke zvýšení hodnoty pnutí ve výrobku. Oproti tomu nízká hodnota dotlaku vede zpravidla ke vzniku propadlin, lunekrů (lunkr = staženina, vnitřní dutina) a k nárůstu hodnoty smrštění, eventuálně k vyšším hodnotám deformací, které vstřikovaný díl vykazuje po vyhození z formy nebo po aplikaci doplňkových technologií.



Doba dotlaku se (spolu s velikostí dotlaku) podílí na výsledné kvalitě plastového výrobku, hlavně na hmotnosti výrobku, rozměrech a tvaru výrobku, kvalitě povrchu. Zároveň je nutná pro ztuhnutí vtokového ústí u studených vtokových soustav. Pokud je doba dotlaku příliš krátká, díl vykazuje povrchové vady a propadliny. Navíc je hodnota smrštění větší. V případě nezatuhnutí vtokového ústí dochází ke vzniku vzduchových bublin a kolísání hmotnosti. Při výrazně delší době dotlaku může dojít k tvorbě zástříků, k tzv. přetlačení výrobku. Doba dotlaku však nelze prodlužovat donekonečna. Dotlak lze vykonávat pouze do doby, než dojde k zatuhnutí vtokového ústí. Potom již nelze plnit, dotlačovat, taveninu do dutiny vstřikovací formy. Prodlužování doby dotlaku vede také k prodloužení doby vstřikovacího cyklu.



Z hlediska vlastního procesu vstřikování lze stanovit tzv. „procesní“ technologické okno. Pokud budou vstřikované díly vyrobeny při použití technologických parametrů teploty a tlaku, které jsou uvnitř tohoto okna, tak lze zjednodušeně říci, že dostaneme dobré výrobky. Při překročení těchto hraničních parametrů teploty a tlaku dojde ke vzniku propadlin, nedotečených dílů, přetoků a spálených dílů.





## Výměna a rozjezd formy

- *Převzetí zakázky* - požadavek na výměnu formy - o změně produkce je seřizovač informován vedoucím linky prostřednictvím knihy a dále plánu výroby.
- *Požadavek na materiál, nasušení s předstihem* - dle typu materiálu je třeba počítat s dobou sušení nejčastěji 2-6 hodin.
- *Příprava dokumentace, ruky robota, kontrola formy, transport formy k lisu* - zjistíme stav formy, poté dovezeme formu k lisu.
- *Příprava temperačních hadic, středícího kroužku, vyhazovací tyče* -
- *Příprava náradí a zajištění jeřábu*
- *Vypnutí dopravy materiálu do stroje*; násypku vyjet do prázdna
- *Odebrání vzorových dílů před skončením produkce* - před koncem produkce při standardních parametrech procesu odebereme potřebný počet vzorových dílů.
- *Zastavení stroje, vyplnění dokumentace,*
- *Vyprázdnit válec, redukce teplot; vyčištění násypky stroje*
- *Konzervace, ochlazení formy, odsátí a vyfoukání vody z chlazení*
- *Odepnutí vstřikovací strany formy; vytažení jeřábem, a uložení na paletu.*
- *Vytvoření požadavku na opravu formy, pokud je potřeba*
- *Pomocí přepravního mostu, případně ok, jeřábem vložíme formu do stroje* - během manipulace a montáže musí být zajištěna vyhazovací deska pojistkou. Ověříme průměr pro vycentrování formy a dle potřeby zvolíme odpovídající středící kroužek. Jeřábem vložíme formu do stroje a vystředíme v upínací desce na vstřikovací straně stroje, přesnou pozici vyrovnáme pomocí vodováhy. Upínkami, šrouby a podložkami upneme na vstřikovací stranu.
- *Montáž vyhazovací tyče, upnutí vyhazovací strany* - sníženou rychlostí a tlakem přijedeme pohyblivou deskou stroje k formě a upneme vyhazovací stranu. Odepneme jeřáb a demontujeme transportní most nebo oka.
- *Otevření formy, kontrola, nastavení vyhazovačů a výšky formy* - po otevření demontujeme zajištění vyhazovací desky, uchytíme vyhazovací tyč a seřídíme dráhu pro vyhození výlisků. Nastavíme výšku formy prozatím s minimální zavírací silou. Tato bude nastavena až po celkovém natemperování formy. Pokud je forma vybavena hydraulickými nebo pneumatickými tahači jader, nejdříve tyto zapojit a výšku formy nastavujeme až poté!
- *Zapojení hydrauliky včetně hlídání.*
- *Zapojení temperace formy* - temperaci formy provedeme dle plánu
- *Zapneme temperačního přístroje; formu temperujeme* - přivřenou bez prolomení zavíracího mechanismu stroje.
- *Načtení vstřikovacích parametrů, natopení plastifikačního válce* - z paměti stroje případně centrálního úložiště data, načteme vstřikovací parametry. Tyto srovnáme podle schválené karty parametrů pro danou formu a stroj. Aktivujeme natápění plastifikačního válce. Po dosažení temperační teploty formy nastavíme zavírací sílu na požadovanou hodnotu dle karty parametrů. Nastavíme ochranu formy. Zapojíme kabeláž vytápění horkých vtoků.
- *Zajištění obalového materiálu, zapnutí automatické dopravy granulátu.*
- *Před rozjezdem produkce ověřit:*
  - Správnost materiálů - evidována šarže
  - Nastavení datumky ve formě

- Zkontrolovat jestli jsou vodící kolíky a třecí plochy formy namazány, dle potřeby použít vazelínu.
- Pro snazší odformování prvních výlisků dle potřeby použít separační sprej — vždy bez obsahu silikonu Tyto spreje nesmí být použity ve výrobě dílů pro povrchovou úpravu například lakování nebo chromování
- První cykly pouze v poloautomatu, bez dotlaku, respektive posunout dříve bod přepnutí. V dalších cyklech postupně plnit, zvyšovat dotlak do hodnot viz karta parametrů.
- Minimálně 10 cyklů po změně parametrů vyhodit do zmetků
- Po cca 15 -20 min. ustálené produkce zapsat do karty dosažené parametry procesu