VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL

ČERPÁNÍ PIVOVARSKÉHO MLÁTA

SPENT GRAINS PUMPING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE BC. JAROMÍR HRUBÝ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE ING. JAROSLAV BORÁN, PH.D.
SUPERVISOR

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství
Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Hrubý Jaromír, Bc.

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Procesní inženýrství (3909T003)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Čerpání pivovarského mláta

v anglickém jazyce:

Spent Grain Pumping

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor problematiky čerpání a volby čerpadel v závislosti na fyzikálních veličinách (hustota, viskozita a teplota) čerpaných látek. Volba vhodných typů čerpadel, návrh potrubní trasy pro dopravu pivovarského mláta vč. stanovení investičních a provozních nákladů.

Cíle diplomové práce:

Seznámit se s problematikou čerpadel, čerpání a návrhu potrubních tras. Stanovit vlastnosti pivovarského mláta potřebné k návrhu čerpadel a potrubní trasy. Návrh potrubní trasy včetně specifikace jednotlivých čerpadel. Provést výpočet investičních a provozních nákladů.

Seznam odborné literatury:

1. Perry, J. H. - Chilton, C. H. : Chemical Engineering Handbook, 5th edition, Mc-Graw Hill, New York (1973)

2. Novák, V. - Rieger, F. - Vavro, K.: Hydraulické pochody v chemickém a potravinářském průmyslu, SNTL Praha (1989)

3. Míka, V.: Základy chemického inženýrství, SNTL Praha (1977)

4. Medek, J.: Hydraulické pochody, VUT Brno (2004)

Vedoucí diplomové práce:Ing. Jaroslav Boráň, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 15.10.2009

L.S.

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ DĚKANÁT

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá čerpáním pivovarského mláta. Krátce nás seznamuje s problematikou hydraulické dopravy sedimentujících a nesedimentujících směsí, s čerpadly, s návrhem potrubních tras a s technologií určenou pro konkrétní případ. Po těchto kapitolách následují výpočty částí technologie čerpání pivovarského mláta.

Klíčová slova

čerpání
pivovarské mláto
hydraulická doprava
čerpadla
potrubní trasa

ABSTRACT

This master´s thesis deals with the utilization of spent grains. It briefly introduces the issue of hydraulic transport settling and non-settling mixtures, pumps, piping design and technology designed for a particular case. After these chapters, the calculations of parts of the technology utilization spent grains follow.

Key words

drawing
spent grains
hydraulic transportation
pumps
pipeline route

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRUBÝ, J. *Čerpání pivovarského mláta.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 66 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaroslav Boráň, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Čerpání pivovarského mláta vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu.

Datum: 28.5.2010

…….

Jaromír Hrubý

Obsah

OBSAH 7
SEZNAM SYMBOLŮ 8
1 ÚVOD 11
2 NAHLÉDNUTÍ DO PROBLEMATIKY HYDRAULICKÉ DOPRAVY SUSPENZÍ 12
2.1 HYDRAULICKÁ DOPRAVA SMĚSÍ 13
2.2 HAVÁRIE 14
2.3 VLIV VISKOZITY, HUSTOTY A TEPLOTY KAPALINY NA ČERPÁNÍ 14
3 ČERPADLA 16
3.1 KRÁTKÁ CHARAKTERISTIKA ČERPADEL 17
4 NĚKTERÉ VLASTNOSTI PIVOVARSKÉHO MLÁTA 21
5 NÁVRH TECHNOLOGIE ČERPÁNÍ PIVOVARSKÉHO MLÁTA 22
5.1 NÁVRH POTRUBNÍ TRASY 22
5.1.1 Odběrné místo „Gambrinus“ 22
5.1.2 Odběrné místo „Prazdoj“ 23
5.1.3 Navrhované trasy - shrnutí 24
5.2 POPIS TECHNOLOGIE 25
5.2.1 Zjednodušený popis celé technologie 25
5.2.2 Popis technologie čerpání pivovarského mláta 25
5.3 PROVOZ 26
5.4 VOLBA ČERPADEL 27
6 NÁVRHOVÉ VÝPOČTY 28
6.1 ODBĚRNÉ MÍSTO GAMBRINUS: 28
6.1.1 Tlaková ztráta Vratné větve „Gambrinus“ 31
6.1.2 Pevnost potrubí Vratné větve „Gambrinus“ 34
6.1.3 Objem pracovních nádob O_G a R_G a reálná potřeba vody 34
6.1.4 Čerpání rozplaveného pivovarského mláta z odběrného místa „Gambrinus“ 36
6.1.5 Tlakové ztráty při průtoku suspenze Dopravní větve „Gambrinus“ 36
6.1.6 Stanovení kritické rychlosti 38
6.2 ODBĚRNÉ MÍSTO „PRAZDROJ“ 45
6.2.1 Tlaková ztráta Vratné větve „Prazdroj“ 47
6.2.2 Pevnost potrubí Vratné větve „Prazdroj“ 49
6.2.3 Objem pracovních nádob O_P a R_P a reálná potřeba vody 49
6.2.4 Čerpání rozplaveného pivovarského mláta z odběrného místa „Prazdroj“ 50
6.2.5 Tlakové ztráty při průtoku suspenze Dopravní větví „Prazdroj“ 50
6.2.6 Stanovení kritické rychlosti 52
6.3 TEPELNÁ ROZTAŽNOST POTRUBNÍ TRASY: 55
6.4 NÁVRH TLOUŠŤKY TEPELNÉ IZOLACE A ZTRÁTY TEPLA 60
7 STANOVENÍ INVESTIČNÍCH A PROVOZNÍCH NÁKLADŮ 64
8 ZÁVĚR 65
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 66
PŘÍLOHY 68

Seznam symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
A	Plocha výměny tepla	[m^2]
Ar	Archimédův kritérium (číslo)	[-]
D	Vnitřní průměr potrubí	[m]
D_r	Otáčky míchadla	[s^{-1}]
H, H_m	Výtlačná výška, Modifikovaná výtlačná výška	[m]
K_{AXi}	Axiální posuv jednoho kompenzátoru	[mm]
L	Charakteristický rozměr; Délka potrubí	[m]
M_t	Hmotnost sušiny pivovarského mláta	[kg]
Q, Q_m	Objemový průtok, Modifikovaný objemový průtok	[$m^3.h^{-1}$]
Q_v	Tepelná energie nesená vodou	[W]
Q_{vz}	Tepelná energie ztrátová	[W]
Re, Re_S,Re_p	Reynoldsovo kritérium	[-]
$R_{m/20}$	Minimální mez pevnosti materiálu při 20 °C	[Mpa]
$R_{m/150}$	Minimální mez pevnosti materiálu při 150 °C	[Mpa]
$R_{p1,0/20}$	Minimální mez kluzu materiálu při 20 °C	[Mpa]
$R_{p1,0/150}$	Minimální mez kluzu materiálu při 150 °C	[Mpa]
S	Plocha	[m^2]
T, t_1, t_2, t_i,	Teplota vody	[ºC]
T_v	Teplota vody	[ºC]
$\dot{V}$	Objemový průtok	[$m^3.h^{-1}$]
$\dot{V}_č$	Průtok vratným čerpadlem	[$m^3.h^{-1}$]
$\dot{V}_{čP}$, $\dot{V}_{čG}$	Průtok vratným čerpadlem	[$l.s^{-1}$]
V_{DV}	Objem vody v Dopravní větvi	[m^3]
$V_{i,hod}$	Hodinový objemový průtok vody pro zajištění rozplavení mláta	[$m^3.h^{-1}$]
$V_{i,7hod}$	Celkový objem vody potřebný pro rozplavení maximální produkce mláta	[$m^3.7h^{-1}$]
V_{OG}, V_{OP}	Objem nádrže O_G , Objem nádrže O_P	[m^3]
V_{RG}, V_{RP}	Objem nádrže R_G , Objem nádrže R_P	[m^3]
V_{rpv}	Reální potřeba vody	[m^3]
$V_{S,7hod}$	Celkový objem suspenze dopravovaný za sedm hodin	[$m^3.7h^{-1}$]
$\dot{V}_{S,i}$	Objemový průtok suspenze za jednu hodinu	[$m^3.h^{-1}$]
V_{sv}	Objem nerozplaveného pivovarského mláta	[m^3]
V_{t1}	Objem sušiny (tuhé fáze)	[kg]
V_v	Objem vody nerozplaveného pivovarského mláta	[m^3]
V_{vp}	Objem vody v potrubí	[m^3]
V_{VV}	Objem vody ve Vratné větvi	[m^3]
V_z	Objem válce (zrna)	[m^3]
ΔX	Teplotní roztažnost	[mm]
X_{0ok}	Rameno kolena / oblouku ovlivněné teplotou	[m]
$X_{0,i}$	Délka úsek ovlivněná teplotou	[m]
$X_{K,AX}$	Potřebný počet axiálních kompenzátorů	[ks]
X_{VIII}	Prodloužení vlivem tepelné roztažnosti v úseku VIII.	[mm]
$\bar{c}$	Střední rychlost proudění vody v potrubí	[$m.s^{-1}$]
c_p	Měrná tepelná kapacita	[$J.kg^{-1}.K^{-1}$]

c_v, c_{vi}	Objemová koncentrace pevných částic v kapalině	[-]
$d_{0,125}$	Rozmezí průměrů frakce od 0,25 mm po 0,125 mm	[mm]
$d_{0,25}$	Rozmezí průměrů frakce od 0,25 mm po 0,5 mm	[mm]
$d_{0,5}$	Rozmezí průměrů frakce od 0,5 mm po 1 mm	[mm]
d_1	Rozmezí průměrů frakce od 1 mm po 2 mm	[mm]
$d_{2\text{-}dez}$	Rozmezí průměrů frakce od 2 mm po d_{ez}	[m]
d	Vnitřní průměr potrubí	[m]
$d_č$	Průměr sedimentující částice	[mm]
d_{ez}	Ekvivalentní průměr zrna	[m]
d_{filtr}	Rozmezí průměrů frakce od 0,125 mm a menší	[mm]
d_h	Hledaný průměr potrubí	[m]
d_i	Střední průměr frakce	[mm]
d_{nG} , d_{nP}	Průměr normalizovaného potrubí	[m]
d_s	Střední velikost zrna	[mm]
d_z	Průměr zrna	[m]
e, e_m, e_P	Tloušťka stěny potrubí	[m]
f	Dovolené napětí v tahu	[MPa]
g	Gravitační zrychlení	[$m.s^{-2}$]
l_z	Délka zrna	[m]
m_{1kgG}, m_{1kgP}	Hmotnost rozplavovací vody na 1 kg pivovarského mláta	[kg]
m_{7G}, m_{7P}	Nejvyšší týdenní produkce pivovarského mláta	[t]
m	Wallisova rovnice	[-]
$\dot{m}$	Hmotnostní průtok vody	[$kg.s^{-1}$]
m_{dG}, m_{dP}	Hmotnost maximální produkce pivovarského mláta za den	[t]
m_G, m_P	Maximální denní produkce	[t/den]
$m_{G,h}$, $m_{G,h}$	Maximální hmotnost hodinové produkce	[t/hod]
m_P	Maximální denní produkce odběrného místa „Prazdroj“	[t/den]
$m_{P,h}$	Maximální hodinová produkce odběrného místa „Prazdroj“	[t/hod]
m_{sG}, m_{SP}	Celková hmotnost přepravované suspenze	[kg]
m_{vG}, m_{vP}	Hmotnost vody přečerpané na rozplavení mláta	[t]
m_{zG}	Využitelná kapacita zásobníků odběrného místa „Gambrinus“	[t]
m_{zP}	Využitelná kapacita zásobníků odběrného místa „Prazdroj“	[t]
n_e	Součinitel bezpečnosti meze kluzu	[-]
n_m	Součinitel bezpečnosti meze pevnosti	[-]
p	Tlak v potrubí (pracovní tlak čerpadla)	[MPa]
Δp_{Cvv}, Δp_{CS}	Celková tlaková ztráta v potrubí	[Pa]
pi	Procentní zastoupení frakce	[%]
Δp_{zt}	Tlaková ztráta na rovném úseku potrubí	[Pa]
Δp_x	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
s	Poměr hustoty pevné fáze k hustotě vody	[$kg.m^{-3}$]
t_G	Časová rezerva odběrného místa „Gambrinus“	[hod.]
t_P	Časová rezerva odběrného místa „Prazdroj“	[hod.]
t_{vz}	Teplota okolního vzduchu	[ºC]
u_i	Usazovací rychlost frakce	[$m.s^{-1}$]
u_g	Vypočtená pádová rychlost samostatně sedimentující částice	[$m.s^{-1}$]
u_{gk}	Zkorigovaná usazovací rychlost	[$m.s^{-1}$]
u_s, u_{si}	Střední usazovací rychlost	[$m.s^{-1}$]
v_i v_S	Rychlost proudění suspenze	[$m.s^{-1}$]
v_{kr}	Kritická rychlost proudění	[$m.s^{-1}$]

z	Součinitel svarového spoje	[-]
z_v	Procentuální zvýšení objemu vody při rozplavení	[%]
$\frac{dt}{dt}$	Změna teploty v čase	[-]
α_v	Součinitel přestupu tepla do okolního prostředí (vzduchu)	[$W.m^{-2}.K^{-1}$]
g	Součinitel teplotní roztažnosti oceli	[$mm.m^{-1}.K^{-1}$]
ε	Drsnost povrchu potrubí	[m]
η	Dynamická viskozita	[Pa.s]
η_S	Dynamická viskozita suspenze	[Pa.s]
λ, l_{DG}, l_{DP}	Součinitel tlakových ztrát	[-]
λ_{iz}	Součinitel prostupu tepla izolací	[$W.m^{-1}.K^{-1}$]
n	Kinematická viskozita	[$m^2.s^{-1}$]
n_S	Kinematická viskozita suspenze	[$m^2.s^{-1}$]
ξ	Součinitel místního odporu	[-]
ξ_p, ξ_{nk}	Odporový součinitel sedimentující částice	[-]
$\Delta\rho$	Rozdíl hustot pevné a kapalné fáze	[$kg.m^{-3}$]
ρ_k	Hustota kapalné fáze	[$kg.m^{-3}$]
ρ_p	Hustota pevné fáze	[$kg.m^{-3}$]
ρ_{sm}	Hustota rozplavené směsi	[$kg.m^{-3}$]
ρ_{smv}	Hustota nerozplaveného pivovarského mláta	[$kg.m^{-3}$]
ρ_t	Hustota sušiny pivovarského mláta	[$kg.m^{-3}$]
ρ_v	Hustota vody	[$kg.m^{-3}$]
σ	Sféricita	[-]
t	Volená doba čerpání rozplaveného mláta	[hod]

Použité zkratky

DN	Diameter nominal – jmenovitá světlost	[mm]
PN	Pressure nominal – jmenovitý tlak	[Pa]
O_G, O_P	Pracovní nádrž pro odvodňovací vodu. Nalézají se na začátku vratné větve. (indexy reprezentují odběrná místa: P – Prazdroj, G – Gambrinus)	
R_G, R_P	Pracovní nádrž pro rozplavovací vodu. Nalézají se na konci vratné větve (indexy reprezentují odběrná místa: P – Prazdroj, G – Gambrinus)	

1 ÚVOD

V dnešní moderní době, kdy je čím dál více vyzdvihována otázka ochrany životního prostředí snižováním závislosti na fosilních palivech a roste podpora (i finanční) ve využívání obnovitelných zdrojů energie, začalo mnoho zpracovatelů fosilních paliv vyhledávat samo nebo za přispění, externích vlivů možnosti získávání a zpracování takovéhoto obnovitelného zdroje energie. Jeden z nich je i tolik proklamovaná biomasa, která se nemusí jen primárně pěstovat za účelem spalování. Nachází se všude kolem nás a člověk se ji naučil využívat ve svůj prospěch při tvorbě nesčetné řady věcí. A jak je známo, skoro žádný výrobní proces není zcela bezodpadový. Proto se v posledních letech začalo objevovat mnoho studií o využívání odpadů rostlinného původu.

Jednou z nich je i studie zkoumající využití pivovarského mláta jako obnovitelného zdroje energie při výrobě elektřiny a tepla. V tomto případě lze oponovat tvrzením, že tento pivovarský „odpad“ může být využit lépe v zemědělství respektive v živočišné výrobě, jakožto doplňkové krmivo pro prasata, krávy a ovce. Velice dobrý argument, ale prase, krávu i ovci lze efektivně živit i jinými způsoby (plodinami).

Primárním úkolem by mělo být zlepšování životního prostředí snižováním podílu fosilních paliv ve výrobě elektrické energie a tepla, a to i za cenu zvyšujících se investic při používání těchto paliv. Tento trend má za následek hledání alternativ, které jsou v konečném důsledku plusem pro obě zúčastněné strany: výrobce energií, snažící se snížit závislost na fosilních palivech a ochrana životního prostředí.

Z dvou výše uvedených odstavců je patrné, že hledání kompromisů je nevyhnutelné, ba dokonce nutné.

V rámci studie o možnosti využívání pivovarského mláta jako paliva, je posuzována i dopravní dostupnost k jeho úpravě.

Jelikož producent pivovarského mláta sídlí přímo vedle výrobce elektrické energie a tepla, připadají v úvahu hned dvě možnosti dopravy:

1) Doprava nákladními automobily.
2) Hydraulická doprava rozplaveného pivovarského mláta potrubím

Tato práce se bude zabývat druhou z možností, tj. čerpáním pivovarského mláta. Rozplavovat se bude proto, že takto upravenou pevnou fázi, lze efektivněji a bez větších obtíží čerpat. Po ukončení dopravy se pivovarské mláto opět zbaví za pomoci pásového lisu vody a následně se vysuší v sušárně, aby byla zvýšena jeho výhřevnost.

2 NAHLÉDNUTÍ DO PROBLEMATIKY HYDRAULICKÉ DOPRAVY SUSPENZÍ

Hydraulická doprava patří mezi stále se vyvíjející odvětví, přepravující, zpravidla kontinuálně, velké dopravní kapacity, jak na krátké tak i na dlouhé vzdálenosti.

Například chemický a potravinářský průmysl vyžaduje, aby řada surovin byla dodávána ve formě suspenzí. Taktéž produkty vystupující z výroby mohou být směsi kapalné a pevné fáze.

Stavebnictví využívá hydraulickou dopravu k přepravě např. cementových směsí a energetika může přepravovat uhlí a popel. [2]

Dle potřebného tlakového spádu můžeme hydraulickou dopravu rozdělit na[2]*:*

a) Samospádnou – přepravuje materiál z místa vyššího na místo nižší (gravitačně).

b) Tlakovou – pohyb kapaliny je vyvozován vnější silou (např. čerpadlem). Dopravu lze uskutečnit do všech směrů a prakticky bez omezení.

Hydraulická doprava není možná, pokud kapalné medium znehodnotí nebo poruší dopravovaný materiál. Tento materiál musí být, pokud je to nutné, snadno upravitelný na požadovanou velikost a po skončení přepravy lehce oddělitelný od nosného média.

O vhodnosti a nevhodnosti použití hydraulické dopravy mluví ekonomický faktor, vzhledem k jinému způsobu přepravy. Dále musíme brát v potaz klimatické podmínky místa, kde chceme uskutečňovat tento způsob dopravy. Nosná kapalina nemá výrazně měnit své fyzikální vlastnosti. Pokud může nosná kapalina zamrznout, je tento způsob dopravy problematický, protože celý potrubní systém musíme tepelně izolovat, což výrazně zvýší investiční náklady. [2]

Výhody hydraulické dopravy[2]***:***

- použití v jakémkoliv prostředí
- může být prakticky bezobslužná
- bezpečný a hygienický provoz

Nehody hydraulické dopravy[2]***:***

- jednoúčelovost
- malý rozsah změn parametrů dopravované látky
- někdy nutná předúprava částic na požadovanou velikost pro dopravu
- separace částic od nosného media
- úprava nosného media a jeho doplňování

Hydraulickou dopravu ovlivňují některé vlastnosti dopravovaných materiálů[2]***:***

- Velikost a tvar rozptýlených částic pevné fáze a granulometrické složení (monodisperze, polydisperze). V případě dopravy polydisperzních směsí nás bude zajímat reprezentativní velikost částic a jejich distribuční křivka, popisující četnost jednotlivých částic
- Hustota pevní fáze, kapalné fáze a suspenze
- Tokové vlastnosti: především viskozita kapalné fáze; Pokud lze chování suspenze označit jako nenewtonské, měli bychom zjistit také zdánlivou viskozitu suspenze
- Nasákavost

2.1 Hydraulická doprava směsí

Typy směsi kapaliny a pevné fáze[2]:

Proudění jednofázové směsi, tedy samotné kapaliny, lze jednoznačně charakterizovat. Určí se typ proudění (laminární nebo turbulentní) a to za pomocí základních fyzikálních vlastností kapaliny a průměru potrubí.

Proudění vícefázové směsi (pevná fáze + kapalná fáze) nelze jednoznačně definovat. Je třeba rozlišovat dva základní typy směsí chovající se odlišným způsobem.

Homogenní směs kapalina – pevná fáze *(nesedimentující)* – takovéto směsi se většinou chovají jako nenewtonské. Pevná fáze je v kapalině rozdělena homogenně. Charakterizuje ji vysoká koncentrace jemných částic.

Heterogenní směs kapalina – pevná fáze *(sedimentující)* – při proudění této směsi průřezem potrubí se vytváří koncentrační gradient podél vertikální souřadnice. Tento gradient se vyskytuje i při vysokých dopravních rychlostech nosného média. Kapalina a pevná fáze mají tendenci se oddělovat, především za klidového stavu. Heterogenní směs má nižší koncentrace pevné fáze a částice jsou většího rozměru.

Nesedimentující směsi[2]:

Dle velikosti dispergovaných částic řadíme do skupin:

- Pravé roztoky[1] – velikost částic do 10^{-3} µm
- Koloidní roztoky[2] – velikost částic od 10^{-3} µm do 1 µm
- Plastické roztoky – velikost částic od 1 µm do 40 µm

Sedimentující směsi[2]:

Dle velikosti dispergovaných částic řadíme do skupin:

- Jemné suspenze – velikost částic od 40 µm do 150 µm
- Střední suspenze - velikost částic od 0,15 mm do 1,5 mm
- Hrubé suspenze – nad 1,5 mm

Jelikož je koncentrační gradient podél vertikální osy průřezu, hrozí reálné nebezpečí ucpání potrubí v důsledku sedimentace částic.

Pro každou velikostní skupinu je typický jiný pohyb pevných částic a to z důvodu jiné sedimentační rychlosti. Taktéž bude zapotřebí jiného tlakového spádu pro dopravu suspenze v potrubí.

Pro dopravu heterogenních směsí je nejdůležitější správně zvolená (vypočtená) dopravní rychlost. Tato dopravní rychlost ovlivňuje, za předpokladu konstantní koncentrace, výkon dopravního zařízení, velikost měrných odporů a tím i celkovou ekonomii provozu. Nejmenšímu měrnému odporu při proudění heterogenních suspenzí odpovídá tzv. kritická rychlost.

V literatuře se uvádí, že je to rychlost, při níž právě začíná vypadání částic z proudu za jejich pohybu ve vznosu, popř. ona rychlost, při níž dochází k jejich zastavování za pohybu ve skocích (saltace) a při pohybujícím se loži.[5]

---

[1] **Pravý roztok** tvoří homogenní jednofázová soustava. V rozpouštědle jsou homogenně rozptýleny molekuly, ionty nebo atomy rozpuštěných látek.[10]

[2] **Koloidní roztok** se skládá z nejméně jedné dispergované fáze a z disperzního prostředí. Alespoň jedna z těchto fází obsahuje koloidní částice.[10]

2.2 Havárie

Homogenní směsi téměř vůbec nesedimentují. Opětovné najetí hydraulické dopravy je téměř bez problémů. Jediné, na co bychom si měli dávat větší pozor, je změna koncentrace a tím změny reologických[3] vlastností, které ovlivňují podmínky dopravy. [2]

Heterogenní směsi velmi rychle sedimentují, proto je velmi důležité zabránit místním změnám rychlosti. Dále je vhodné, aby se v určitých místech dalo potrubí rozpojit a vyčistit při případném ucpání (havarijní stav).

Pokud k ucpání potrubí dojde za provozu, další přivádění suspenze danou situaci ještě zhorší a přivádění čisté kapaliny o vysokém tlaku zrovna tak, protože dojde ke zhutnění ucpávky. Pro uvolnění využijeme nízký přetlak a malé množství čisté kapaliny, která projde „zátkou“, aniž by se ta dále zhutňovala. Zvýšením mezerovitosti ucpávky, tuto ucpávku rozrušíme a dále pak překonáme (uvolnění potrubí). [2]

Ve ***vertikálním potrubí*** jsou dopravní rychlosti menší v důsledku sedimentační rychlosti a působením pevných částic ovlivňujících rychlostní profil, který bude plošší. Ve vertikálním potrubí dochází i ke změnám koncentrace pevných částic v suspenzi.

Pokud správně zvolíme dopravní rychlost, nebude nám hrozit nebezpečí usazování částic. Proto vertikální dopravu můžeme označit jako nesedimentující. [2] [3]

2.3 Vliv viskozity, hustoty a teploty kapaliny na čerpání

Změny fyzikálních vlastností kapaliny (hustoty, viskozity a teploty) ovlivňují provozní režim čerpadla.

Hustota kapaliny nemá vliv na změnu tvaru Q – H charakteristiky (závislost dopravní výšky H na průtočném množství Q). Odlišný bude příkon čerpadla, který je úměrný hmotnostnímu průtoku kapaliny a tedy i hustotě. Tato změna bude přímo úměrná změně hustoty dopravované kapaliny.

Při čerpání kapaliny s vyšší **viskozitou** klesá dopravní výška a průtok čerpadlem. Vliv zvýšení viskozity lze částečně eliminovat zvýšením teploty dopravované kapaliny.

Vysoká **teplota** kapaliny, nebo teplota blízká bodu varu, zásadně ovlivňuje sací výšku. Tato skutečnost může vést ke špatnému chodu čerpadla či k jeho havárii (utržení vodního sloupce a chodu na prázdno). Správný chod čerpadla v mnoha případech zajistí tzv. nátoková výška. Výtlačné potrubí není teplotou významně poznamenáno, pouze se zvýší ztrátová energie. Vyšší teplota a tlak kapaliny je dále nebezpečný z důvodu kavitace[1].

Kavitace je soubor mechanických, chemických, elektrochemických a elektrických jevů. Vzniká při poklesu tlaku pod hodnotu tlaku nasycených par při dané teplotě kapaliny. Vytváří se bublinky páry nebo plynu (vyloučený z kapaliny). Další pokles tlaku podporuje růst těchto bublinek. Pokud se však tlak dostane nad tlak nasycených par, bublinky okamžitě zanikají v důsledku kondenzace páry. Nastane-li tento jev na povrchu obtékaného tělesa (lopatka čerpadla), vytváří imploze páry rázy, jejichž síla závisí také na rychlosti proudění kapaliny. Tyto velmi rychle se opakující rázy způsobují značné místní namáhání na povrchu tělesa, kde po určitě době provozu pod kavitací vzniká houbovité zdrsnění povrchu s dalšími důsledky.

Nebezpečí kavitace vzniká u hydrodynamických čerpadel především nesprávně volenou sací výškou[1].

---

[3] **Reologie** je nauka o pohybu vazkých kapalin a přetváření hmot, jež nejsou dokonale pružné, ani zcela tvárné či vláčné, ale u kterých se vyskytují různé kombinace těchto vlastností.[11]

Pro eliminaci výskytu kavitace se doporučuje[1]*:*

- správný výpočet sací výšky u čerpadel pracujících s kapalinou o vyšší teplotě
- volba vhodného jemnozrnného materiálu oběžného kola (především jemnozrnné austenitické oceli)
- upravovat povrch lopatek leštěním a hlazením
- ochrana oběžného kola nátěry

3 ČERPADLA

Stroj pro dodávání energie potřebné k dopravě kapaliny nebo jiné dopravně vhodné látky, popřípadě pro zvyšování tlakové energie těchto médií (tlakové čerpadlo) [1].

Potřebný tlak vzniká[7]:

a) kmitavým pohybem vyvozujícím střídavou změnu objemu pracovního prostoru s přímým tlakem na kapalinu:

- pístu
- membrány
- křídla

b) rotačním pohybem činných částí s přímým tlakem na kapalinu uzavřenou v prostoru rotoru a tělesa čerpadla: *čerpadlo rotační objemové*

c) přímým tlakem plynu nebo páry na hladinu kapaliny: *čerpadlo plynotlakové, čerpadlo Humphreyovo, pulsometr*

d) rotačním pohybem oběžného kola, kterým kapalina prochází, přičemž se jí udílí energie pohybová a tlaková. Průtok kapaliny je odstředivý: *čerpadlo odstředivé – radiální a diagonální, nebo axiální – čerpadlo vrtulové, čerpadlo šroubové.*

e) pohybovou energií proudící hnací látky (kapaliny, páry, plynu): *čerpadlo proudové – injektor, ejektor*

f) rázovou přeměnou pohybové energie dopravované kapaliny náhlým zastavením průtoku: *vodní trkač*

g) snížením hustoty dopravované kapaliny smíšením se vzduchem: *čerpadlo mamutové*

h) působením magnetického pole: čerpadlo elektromagnetické pro elektricky vodivé kapaliny.

Snazší orientaci v čerpadlech umožňuje jejich následující rozdělení dle normy ČSN 11 0000.

Rozdělení čerpadel dle normy ČSN 11 0000 [1]

Hydrodynamická čerpadla				
odstředivá	axiální	obvodová	labyrintová	kombinovaná
radiální				
diagonální				

Rozdělení čerpadel dle normy ČSN 11 0000 [1] *(Pokračování)*

Hydrostatická čerpadla			
rotační	s kmitavým pohybem	peristaltická	kombinovaná
zubová	*pístová*	hadicová	
vřetenová	*plunžrová*		
lamelová	*membránová*		
s rotujícími písty	*křídlová*		
s odvalujícím pístem	*vlnovcová*		

Čerpadla jiných principů				
proudová	plynotlaká	mamutová	elektro-magnetická	zdvižná
ejektory	*pulsometry*			*korečková*
injektory	*monžíky*			*řetězová*
vodní trkače				*šneková*
				zvedací kola
				korečková
				bubnová

3.1 Krátká charakteristika čerpadel

Pístové čerpadlo s vratným pohybem pístu[1], [8], [9] – Přeměňují kinetickou energii na tlakovou.
Patří mezi klasická objemová čerpadla. Stejně jako u spalovacího motoru, je píst hnán klikovým mechanismem. To má za následek nerovnoměrné proudění kapaliny.
Čerpadla se vyrábí buď jako *jednočinná* (jedna strana pístu je činná) nebo dvojčinná (obě strany pístu jsou funkční) a může být konstruováno s více písty - jednotlivé válce ústí do společné sběrné nádrže. Tím je zajištěna, víceméně, plynulá dodávka čerpané kapaliny.
Mají velmi dobrou samonasávací schopnost.
Pístová čerpadla jsou vesměs pomaloběžná a potřebují převodovku, což zvyšuje jejich cenu.
Doprava menšího množství kapaliny při středním a vysokém tlaku (až 50 MPa[9])

Čerpaná media:
Čerpají především viskózní kapaliny bez mechanických nečistot.
Nízkovizkozní kapaliny dopravují, jde-li o malé průtočné množství a velké výšky.

Plunžrové čerpadlo – obdoba pístového čerpadla. Místo pístu je však použit plunžr. Což je píst u něhož délka převládá nad průměrem. Při pohybu se nedotýká stěn a je veden i těsněn v ucpávce. Ucpávka musí být přístupná, snadno a dostatečně promyvatelná čistou kapalinou, aby nedocházelo k opotřebení plunžru. Pro znečištěné kapaliny se používají pogumované kulové ventily. Po skončení čerpání je nutno celý pracovní objem propláchnout.

Čerpaná media:
Vysokotlaké čerpání vody, olejů a emulzí bez mechanických nečistot. Dokáží také čerpat různorodé suspenze.

Membránové a vlnovcové čerpadlo[12] – píst je nahrazen pružnou membránou nebo vlnovcem. Deformace pružných členů zajišťuje hydrostatický tlak kapaliny od pístu nebo plunžru ovládaného klikovým mechanismem. Toto řešení zajistí dokonalé oddělení čerpané kapaliny od vnějšího prostředí. Používají se tam, kde agresivní media mohou poškodit ucpávky nebo tam, kde je požadována absolutní těsnost. Nevýhodou je cyklické namáhání deformačních členů, které mají omezenou životnost a musejí se častěji kontrolovat.

Čerpaná media:

Čerpání vody a viskózních kapalin, agresivních a drahých medií, médií s vysokým obsahem pevných částic, které v jiných typech čerpadel snižují životnost, a jinak nebezpečných kapalin.

Křídlové čerpadlo[13] – Křídlových čerpadel se používá převážně pro čerpání prchavých kapalin jako benzínu, benzolu, lihu, nafty, petroleje a ostatních kapalných paliv, dále dehtu, olejů, studené i horké vody. Vyhovují také jako evakuační čerpadla u odstředivých čerpadel a jejich sacích potrubí.

Čerpaná media:

Křídlová čerpadla mají pracovní plochy kovové, proto jsou všeobecně určena pro dopravu jen čistých kapalin bez mechanických příměsí (písku apod.).

Zubové čerpadlo[1] – Kapalinu dopravuje dvojice ozubených kol v prostoru mezi zuby a obvodem skříně. Před sání se většinou umisťuje filtr zabraňující prostupu pevných částic, které mohou poškodit zuby kol.
Jsou určena především pro dopravu malých množství, ale s relativně velkým tlakem.

Čerpaná media:

Doprava neznečištěných kapalin drobnými částečkami. Jsou vhodná pro dopravu kapalin s dobrými mazacími vlastnostmi, tedy olejů. Využívají se také pro dávkování viskózních kapalin i dopravě čisté vody.

Vřetenové čerpadlo[1], [14] – souhrnný název pro čerpadla, která umožňují axiální pohyb kapaliny. Patří sem: šneková, MONO a čerpadla, u nějž je vřeteno tvořeno dvěma šrouby – závity, vzájemně do sebe zapadajícími.

Čerpaná media:

Dokážou přepravit vysoce viskózní a agresivní kapaliny, taktéž kapaliny s podílem pevných nehomogenních popřípadě abrazivních částic.

Šnekové čerpadlo[1] – pracuje na principu Archimédova vodního šroubu. Je velmi spolehlivé, i při částečném zatížení. Využívají se na čistírnách odpadních vod, kde je využita jejich velká přednost: malé opotřebování činných ploch a snadná obsluha. Nevýhodou je jejich nevhodnost pro dopravu na velké vzdálenosti a doprava kapaliny jen do určitého úhlu (22 až 35°[15]).

Čerpadlo MONO[1], [16] – všestranné použití.
V pevně uloženém pružném statoru tvaru matice s dvojitým chodem se excentricky otáčí rotor, který je poháněn hřídelí. Rotor, který se neposouvá, tvoří oblý závit s velkým stoupáním. Jeho otáčením vznikají volná místa, prostor pro čerpání. Rotor se odvaluje po statoru a tím vytváří těsnící místa, která způsobují čerpání kapaliny.

Nevýhodou je malá objemová účinnost (70 až 80%[1]) a poměrně složitá výroba. Pro dosažení větších tlaků, musíme zvětšit délku rotoru.

Čerpaná media:

Dokáže dopravovat suspenze (např. splaškové vody, cementovou směs a bitumen), v chemickém průmyslu viskózní pasty, emulze, barvy apod. V potravinářském průmyslu pivovarské kvasinky, kal, slad, části z masa, mléko, sýrové pasty, čokoládu, čerpání vody i s malými rybami, apod.

Umí čerpat produkty i s proměnnou viskozitou.

Vřetenové čerpadlo[1], [17] – čerpadlo s 2, 3 i 4 šroubovými závitovými vřeteny, které do sebe vzájemně zapadají. Dvouvřetenový typ je velice výhodný vzhledem ke své účinnosti (až 90 %[17]).

Vřetenové čerpadlo má klidný bezhlučný chod s rovnoměrnými dodávkami kapaliny (V pracovním prostoru nenastává komprese kapaliny). Lze jej připojit k motoru bez převodovky (provoz ve vysokých otáčkách). Vřetena synchronizují ozubená kola. Na sání se doporučuje dát filtr.

Čerpané media:

Čerpadlo je vhodné pro čerpání čistých viskózních kapalin.

Lamelové čerpadlo[1] – charakterizuje ho válcový rotor s výsuvnými lamelami (deskami, noži) umístněnými v radiálních výřezech. Jsou však velmi náročná na konstrukci a na kvalitu materiálu, zejména lamel, která jsou namáhána na ohyb. Podle tvaru rotoru (skříně) se dělí:

Vyvážené – Spojení oválné skříně a rotoru umístněného ve středu, umožňuje dodávat dvojnásobné množství kapaliny při jedné otáčce než u nevyváženého lamelového čerpadla. Navíc je čerpadlo lépe dynamicky vyváženo.

Nevyvážené – Skříň má válcový tvar a je opatřena čely, rotor k těmto čelům přimyká s malou axiální vůlí a je umístněn ve skříni výstředně a má menší průměr jako stator. Tímto způsobem se mezi statorem a rotorem vytvoří uzavřený prostor, který se postupně zvětšuje a zmenšuje. Jestliže tento prostor vyplňuje kapalina, dojde k jejímu čerpání. Sací a výtlačné otvory jsou umístněny na čele skříně.

Čerpané media:

Lamelová čerpadla jsou vhodná pro čerpání čistých viskózních kapalin a to až do teploty 80 °C.

Čerpadlo s rotujícími písty[1], [7] – Hydrostatické rotační čerpadlo, jehož pohyblivé činné prvky - rotující písty - při vzájemném záběru a odvalování v tělese čerpadla utěsňují v každé poloze výtlak od sání. Vzájemný pohyb pístů je nuceně vázán.

Čerpané media:

Čerpadlo je určeno pro čisté viskózní kapaliny.

Čerpadlo peristaltické[1] – jejich princip spočívá v stlačování hadice kladkami. Kladky po hadici postupují, tlačí uzavřený úsek před sebou a tím i kapalinu. Hadice za kladkou se vrací do původního tvaru a pod tlakem nasává další kapalinu.

Čerpadlo dodává kapalinu téměř kontinuálně. Jeho použití je především v laboratořích.

Čerpané media:
Může čerpat pitnou vodu nebo i silně agresivní kapaliny, pokud to materiál hadice dovoluje

4 NĚKTERÉ VLASTNOSTI PIVOVARSKÉHO MLÁTA

Hustota sušiny pivovarského mláta:

Hustotu sušiny pivovarského mláta lze obtížně stanovit. Ale jelikož jeho výchozí surovinou je ječmen, kterého hustotu známe (rozmezí 1330 až 1130 kg/m^3 [4] – dle odrůdy), může se s těmito hodnotami bez větších chyb počítat.

Obsah vody ve vzorku:

Dle laboratoře v pivovaru má mláto obsah vody: 80,21 hm. % (**Příloha 1**).

Nasákavost:

Vzorek zatopený vodou byl ponechán v klidu jeden den. Nebyl zjištěn pokles objemu vody v odměrném válci.

Hustota rozplaveného mláta:

Hustota 7% suspenze – cca 1017 kg.m^{-3} při 20 ºC

Hustota 5% suspenze – cca 1012 kg.m^{-3} při 20 ºC

Sedimentace:

Mláto ve vodě velmi rychle sedimentuje. (více v Návrhových výpočtech)

Zrnitost mláta:

Na **obr. č. 01** vidíte mnoho různých velikostí zrn

Tabulka č. T01: Stanovená zrnitost

Velikost zrn	Zastoupení [%]
≥ 2 mm	62,29
1 mm	4,91
500 μm	4,91
250 μm	4,91
125 μm	3,28
Filtrace (<125 μm)	19,67

Obr. č. 01: Pivovarské mláto

5 NÁVRH TECHNOLOGIE ČERPÁNÍ PIVOVARSKÉHO MLÁTA

Jak bylo v úvodu této práce naznačeno, areál výrobce piva (Plzeňský Prazdroj, a. s..) při jehož výrobě vzniká pivovarské mláto, sídlí přímo vedle areálu producenta tepelné a elektrické energie (Plzeňská teplárenská, a. s.).

Tato poloha je pro hydraulickou dopravu příhodná, protože nemusí překonávat veliké vzdálenosti. Na druhou stranu je pivovar poměrně hustě zastavěn, což návrhu jednoduché a tím pádem ztrátově výhodné, potrubní trasy neprospěje.

Navrhovaná doprava pivovarského mláta bude probíhat ze dvou odběrných míst:

1) Odběrné místo „Gambrinus“; vzdálenost od místa zpracování cca 570 m.
2) Odběrné místo „Prazdroj“; vzdálenost od místa zpracování cca 1260 m.

5.1 Návrh potrubní trasy

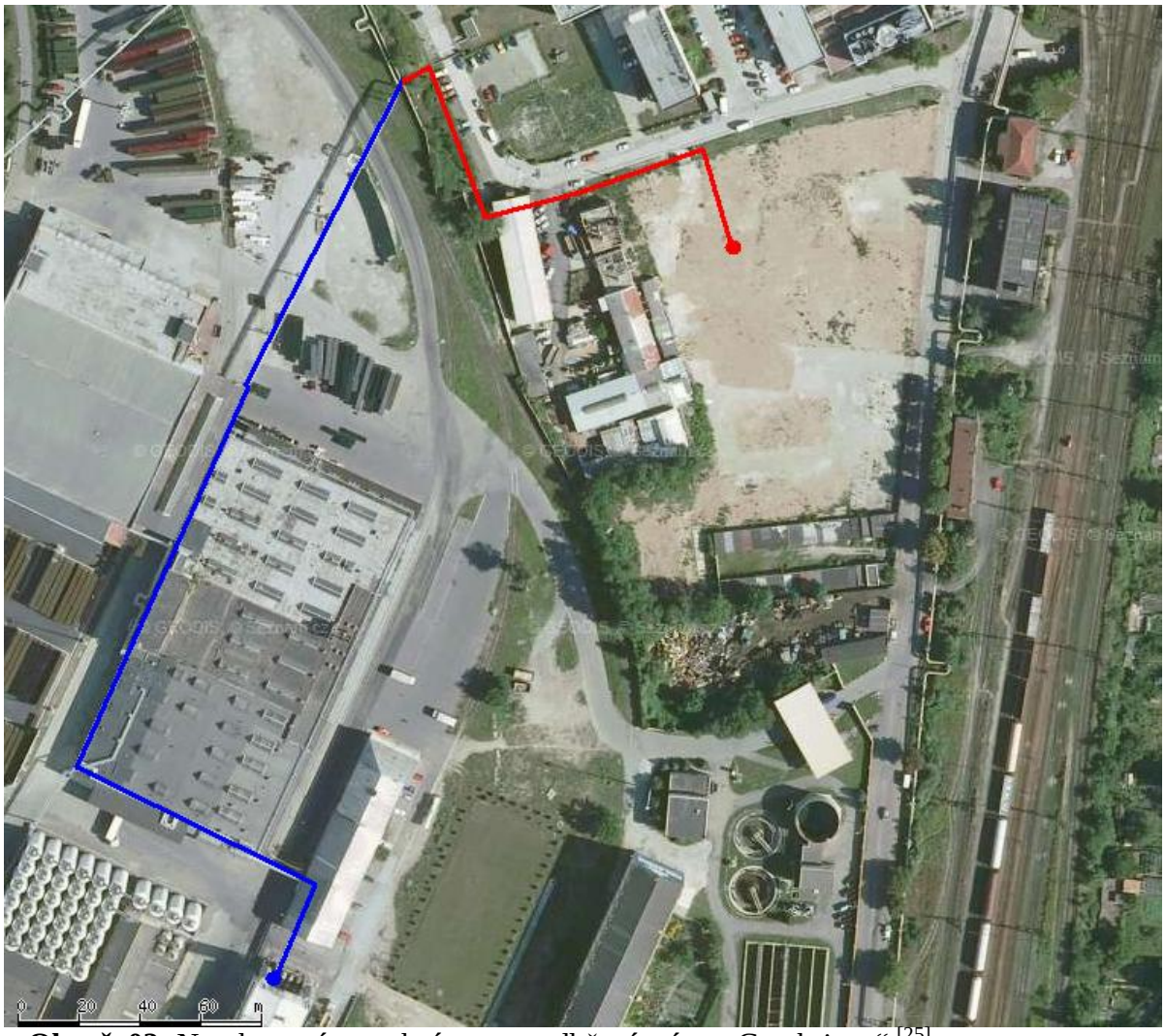
U všech druhů dopravy platí, že se využívá té nejkratší a zároveň nejrychlejší trasy, které lze dosáhnout. Takovýto přístup šetří náklady (investiční i provozní), materiál, životní prostředí a také, dle druhu dopravy, čas.

Při návrhu nové potrubní trasy (sítě) se z výchozího bodu dopravy vede přímka na místo určení. Tato přímka představuje nejideálnější dopravní cestu. Nicméně ne vždy jde takto vytvořená fiktivní trasa uskutečnit. Překážka může být přírodní (např. pohoří), umělá (např. stavby) nebo legislativní (např. půdní fond). I přes tyto obtíže by se měl projektant co nejvíce přiblížit ideální trase[3].

V tomto případě je zkomplikována situace tím, že v pivovaru Plzeňský Prazdroj a. s. je podmínkou, co nejvíce využít stávající potrubní trasy a mosty. Hydraulická doprava se tím stává velice obtížnou. Mosty a trasy zavěšené či položené na budovách nemusí být dostatečně dimenzovány (nebyla konzultována únosnost stávajících potrubních tras) a také jejich komplikovanost povede k velkým tlakovým ztrátám.

5.1.1 Odběrné místo „Gambrinus“

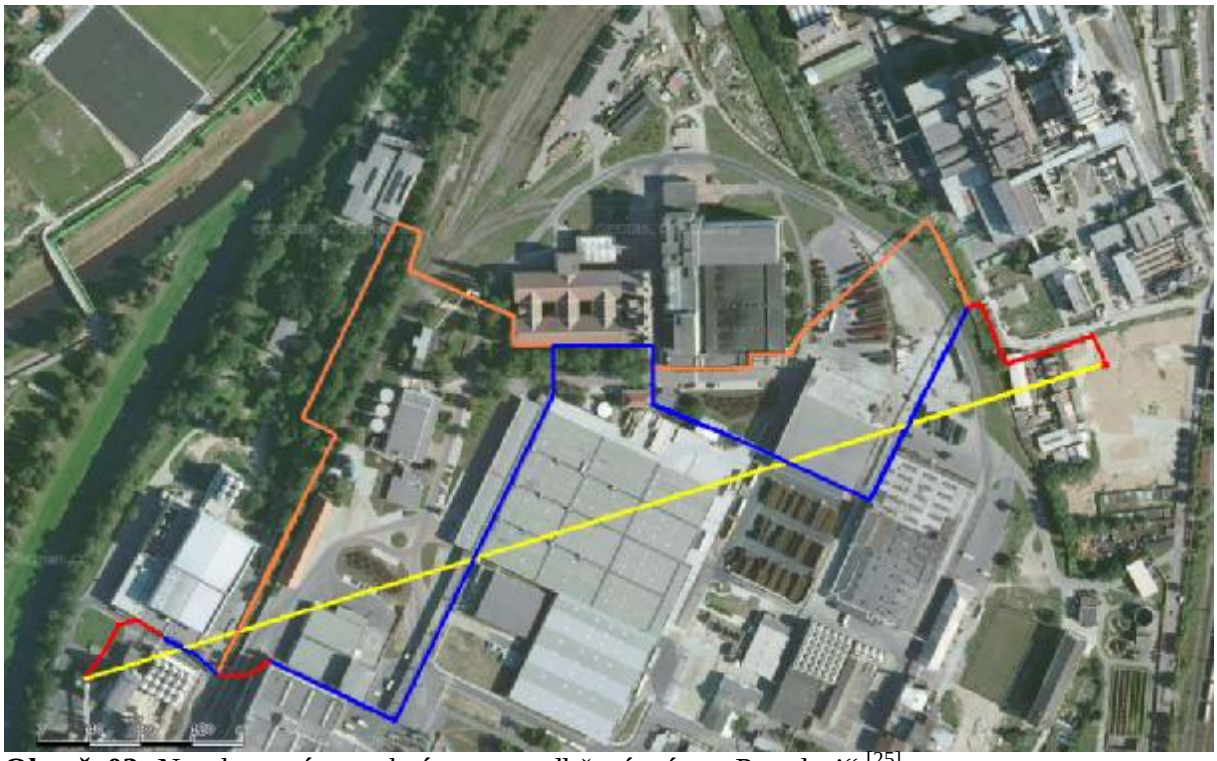
Na **obr. č. 02** je zobrazena navrhovaná potrubní trasu pro odběrné místo „Gambrinus“:
Žlutá barva – reprezentuje ideální potrubní trasu.
Modrá barva – vyznačena možná trasa, bez velkých stavebních prací, po stávajících potrubních mostech a trasách položených na budovách.
Červená barva – je vyznačen úsek, kde se bude muset potrubní trasa zcela vybudovat.



Obr. č. 02: Navrhovaná potrubní trasa – odběrné místo „Gambrinus“ [25]

5.1.2 Odběrné místo „Prazdoj“

Na **obr. č. 03** je zobrazena navrhovaná potrubní trasa pro odběrné místo „Prazdroj“:
Žlutá barva – reprezentuje ideální potrubní trasu.
Modrá barva – vyznačena možná trasa, bez velkých stavebních prací, po stávajících potrubních mostech a trasách položených na budovách.
Červená barva – vyznačen úsek, kde se bude muset potrubní trasa zcela vybudovat.
Oranžová barva – označuje další možné využití potrubních tras a mostů. Tato varianta je vzhledem ke své komplikovanosti vhodná pro vratnou vodu a to jen za akceptace vyšších ztrát.



Obr. č. 03: Navrhovaná potrubní trasa – odběrné místo „Prazdroj“ [25]

5.1.3 Navrhované trasy - shrnutí

Potrubí vratné vody lze bez větších obtíží přizpůsobit složitosti stávajících potrubních tras v areálu Plzeňský Prazdroj a. s . Největší problémy způsobí jen tlakové ztráty, které zvýší pořizovací i provozní náklady.

Potrubní trasy pro dopravu rozplaveného pivovarského mláta bude komplikovanější vystavět tak, aby měly co nejmenší ztráty. Toho může být docíleno jednak jemnějšími zakřiveními trasy (místo „ostrých“ kolen využívat oblouky nebo vhodné spojení 45º oblouků). Toto snižování vlivů místních odporů samozřejmě musí umožnit stavební prostor, který pro vedení potrubí bude k dispozici. Dalším snížení tlakových ztrát mohou docílit upravené vnitřní drsnosti potrubí.

Ale takovéto úpravy přijdou vniveč, pokud nedokážeme udržet rozplavené pivovarské mláto ve vznosu a tím pádem bude usazováním zanášet potrubí až do úplného ucpání.

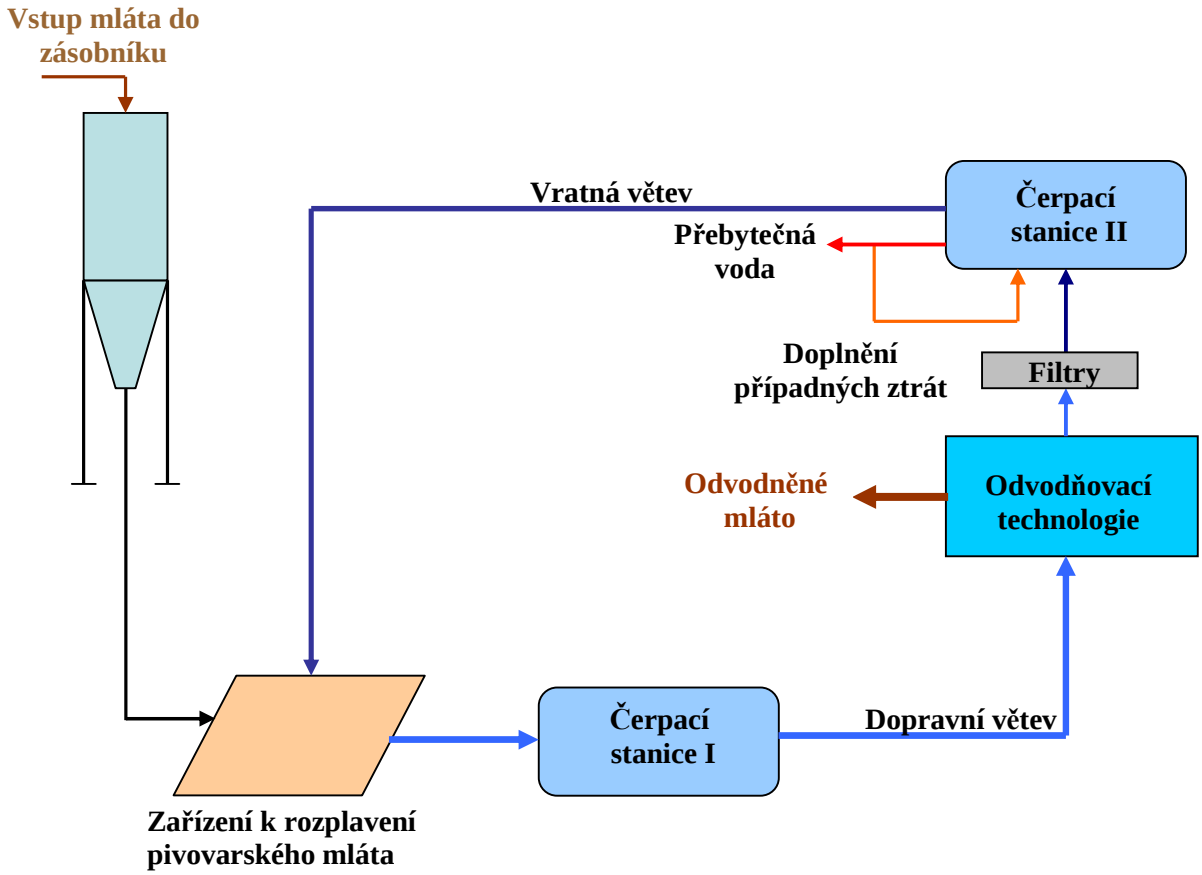
Dopravní potrubí je doporučeno osadit průhledítky na přístupných místech tak, aby bylo možné kontrolovat správnost průtoku suspenze a odhalit případné úsady.

Další obtiž spočívá v provozu zařízení v zimě. Potrubí bude vystaveno nízkým teplotám, z toho vyplívá – musí být dobře izolováno.
U šaržovitého provozu, po většinu dne a hlavně v noci, nebude voda proudit, ale bude v potrubní trase stát a tím se stane náchylnější k zamrzání. Jedním řešením by mohlo být malý sklon, kterým by voda samospádem vytekla z potrubí.

Pokud samospádné vytečení vody nebude možné, musíme ochránit potrubí proti zamrzání jiným způsobem – temperováním.

5.2 Popis technologie

5.2.1 Zjednodušený popis celé technologie



Obr. č. 04: Zjednodušené schéma technologie čerpání pivovarského mláta

Technologie čerpání rozplaveného pivovarského mláta (**obr. č. 04**) začíná u zásobníků, kde je mláto skladováno před úpravou a hydraulickou dopravou.

Ze zásobníků je pivovarské mláto dopravováno šnekovým dopravníkem k rozplavení. Smícháním pivovarského mláta s vodou vzniklá suspenze o určitém hm.% sušiny.

Takto rozplavená suspenze je odstředivým čerpadlem dopravována tepelně izolovanou dopravní větví na odvodňovací pásový lis, kde je pivovarské mláto zbaveno rozplavovací a další vody vstupující do technologie v pivovarském mlátu.

Voda z pásového lisu je přes filtry a odstředivé čerpadlo vrácena tepelně izolovanou vratnou větví zpět k zařízení na rozplavení pivovarského mláta.
Vzniká tak uzavřený okruh. Přebytečná voda je přepadem odváděna pryč (k dalšímu využití či do kanalizace).

5.2.2 Popis technologie čerpání pivovarského mláta

Rozplavené pivovarské mláto vstupuje z vyrovnávací nádrže s míchadlem (udržení vznosu před samotnou dopravou) do odstředivého čerpadla. Předpokládaná teplota vratné vody a suspenze může dosáhnout až 70 ºC, proto musí být zaručeno zaplavení čerpadla. Pokud by tomu tak nebylo, nelze vyloučit chod na prázdno a tím pádem poškození čerpadla.

Čerpadlo dopravuje za určité rychlosti (částice mláta jsou ve vznosu) rozplavené pivovarské mláto Dopravní větví k sítům. Tady se pivovarské mláto zbaví rozplavovací vody, protože na pásový lis nemůže vstupovat rovnou suspenze s 5 hm. % sušiny.

Od pásových sít mláto putuje k pásovému lisu, kde se pod tlakem odloučí další část vody. Takto vzniklá sušina postupuje dále k technologii sušení, aby se při spalování využila vyšší výhřevnost (část energie ve spalovací komoře nebude zmařena odpařením vody).

Voda ze sít a pásového lisu je čerpadlem dopravována přes filtry, kde se odloučí zbylá jemné pevná fáze, do vyrovnávací nádrže. Přebytečná voda odchází přepadem do další technologie nebo do kanalizačního řadu. Přepad zařídí konstantní množství vody potřebné k rozplavení pivovarského mláta. Pokud hladina klesne pod určitou mez, voda se doplní z vodovodního řadu nebo z řadu pro užitkovou vodu.

Odstředivé čerpadlo připojené k vyrovnávací nádrži vhání přefiltrovanou vodu do Vratné větve, která končí další nádrží sloužící k odběru vody k přípravě suspenze. Tato nádrž je také v případě potřeby rychle doplněna vodou z vodovodního řadu nebo z řadu pro užitkovou vodu.

Celá technologie se opakuje, dokud nebude přepravena denní produkce mláta, respektive maximální denní produkce.

Po dokončení čerpání propláchneme Dopravní větev proudem čisté kapaliny z pracovních nádrží, abychom zamezili usedání mláta na dno potrubí.

5.3 Provoz

Máme na výběr z dvou typů provozu:

Kontinuální provoz – čerpání pivovarského mláta probíhá bez přerušení (mimo plánované odstávky na údržbu nebo havarijní stav - nežádoucí) dvacet čtyři hodin denně.

Nevýhodou je nestejnorodá produkce mláta v pivovaru. Tím pádem by nebyl plně využit celý výkon čerpadel.

Další problém spočívá ve stanovení ideálního průměru potrubí a rychlosti proudění pro různá průtočná množství suspenze i vratné vody. Velké průtočné rychlosti by měly za následek zvýšení tlakových ztrát v potrubí a to hlavně u vratné vody. U čerpání suspenze malými rychlostmi (malé průtočné množství při nízké produkci mláta) by mohlo docházet k sedimentování pevných částic suspenze a mohlo by být ucpáno potrubí. Tento problém vyřeší vyšší obsah vody v suspenzi, ale s následkem zvýšení provozních a investičních nákladů.

Šaržovitý (Přerušovaný) provoz – doprava v několika hodinách. Při využití stávajících sil pro skladování mláta před prodejem ke zkrmení.

Čerpání mláta by probíhalo vždy po naplnění jednoho ze sil. Využila by se tak plná kapacita čerpadel. Usnadnil by se návrh průměru potrubí a rychlosti proudění suspenze i vratné vody.

Nevýhodou může být stání vody ve vratném potrubí při přerušení dopravy suspenze. To by mohlo mít za následek zamrzání vody v zimních měsících (řeší dobře provedená izolace potrubí, mírný spát potrubní trasy nebo ohřívání odporovým drátem, příp. parou).

Potrubí pro dopravu pivovarského mláta by mělo být před odstávkou propláchnuto vodou bez pevných částic, aby nedocházelo k sedimentaci a možnému ucpávání potrubí.

5.4 Volba čerpadel

Volba čerpadel se odvíjí od zvoleného způsobu dopravy pivovarského mláta. V tomto případě bude uvažováno využití hydraulické doprava rozplaveného mláta na 5 hm. % sušiny. Tato možnost je investičně nákladnější, ale existuje možnost, že bude možno přepravit takto upravené mláto i na větší vzdálenosti (odběrné místo „Prazdroj“).

Z krátkého výčtu všech čerpadel v podkapitole **3.1.** se nabízí hned několik čerpadel k využití čerpání pivovarského mláta:

- MONO čerpadlo
- Plunžrové (pístové) čerpadlo
- Odstředivé čerpadlo
- Membránové čerpadlo

Volba padla na odstředivé čerpadlo pro velké rozpětí čerpaných množství, výtlačných výšek a rozsahů teplot, v který dokáže pracovat. Také se v praxi používá pro čerpaní uhlí, popílku a dalších suspenzí a viskózních kapalin.

Pístová čerpadla (hlavně plunžrová) dokáží čerpat hrubé suspenze(beton), ale pivovarské mláto ne.
MONO čerpadlo dokáže vyvinout velký tlak, ale ten se odvíjí od velikosti rotoru a statoru, který je velmi obtížné vyrobit.
Membránové čerpadlo je náchylné k poškození membrán, které jsou navíc drahé, zvláště u čerpadel s většími průtoky.

6 NÁVRHOVÉ VÝPOČTY

Doprava pivovarského mláta bude provozována při ranní směně (osm hodin). Za předpokladu odpoledního a nočního plnění sil, která slouží na uskladnění pivovarského mláta před prodejem na zkrmení.

Toto řešení si vyžaduje dostatečnou kapacitu zásobníků, které svým objemem pokryjí i maximální produkci.

Nejprve si vypočteme časovou rezervu, pro řešení problémů v hydraulické dopravě:

Časová rezerva odběrného místa „Prazdroj“

Maximální denní produkce – m_P = 180 t/den
Maximální hodinová produkce – $m_{P,h}$ = 7,5 t/h
Využitelná kapacita zásobníků – m_{zP} = 2 x 150 t

$$t_P = \frac{2.m_{zP} - m_{tP}}{m_{tP,h}} = \frac{2.150 - 180}{7{,}5} = 16\ h$$

Časová rezerva pro odběrné místo „Prazdroj“ činí 16 hodin.

Časová rezerva odběrného místa „Gambrinus“

Maximální denní produkce – m_G = 166 t/den
Maximální hodinová produkce – $m_{G,h}$ = 7 t/h
Využitelná kapacita zásobníků – m_{zG1} = 112 t
m_{zG2} = 90 t

$$t_G = \frac{m_{zG1} + m_{zG12} - m_{tG}}{m_{tG,h}} = \frac{112 + 90 - 166}{7} = 5\ h\ 8\ \text{min}$$

Časová rezerva pro odběrné místo „Gambrinus“ činí 5 hodin a 8 minut.

6.1 Odběrné místo Gambrinus:

Vratná voda (od nádrže O_G po výstup do nádrže R_G):

Potřebné množství vody pro rozplavení maximální průměrné denní produkce v odběrném místě „Gambrinus“:

Z tabulky uvedené v příloze (**Příloha 3** a **Příloha 4),** které reprezentují produkci pivovarského mláta v roce 2009 a předpokládanou produkci v roce 2010, bude pro výpočet užita nejvyšší týdenní produkce pro odběrné místo „Gambrinus“:

m_{7G} = 1160 t

Tato týdenní produkce je pro dané odběrné místo nejvyšší. Proto můžeme zjistit maximální denní produkci:

$$m_{dG} = \frac{m_{7G}}{7} = \frac{1160}{7} = 165{,}714t \approx 166t$$

Z výpočtu v příloze (**Příloha 2 -** *Laboratorní protokol č. 1*) lze vidět, že pro rozplavení 100 g pivovarského mláta potřebujeme:

5% sušina ~ 296 g vody, na 1 kg 2 960 g vody = m_{1kgG}

Pro rozplavení 166 t mláta bude potřeba přečerpat vody:

$$m_{vG} = m_{dG}.1\,000.m_{1kgG} = 166.1\,000.2{,}960 = 491\,471kg$$

m_{1kgG} – hmotnost rozplavovací vody na 1 kg pivovarského mláta [kg]
m_{dG} – hmotnost maximální produkce pivovarského mláta za den [t]

V tabulce **č. T02** je zobrazen celkový objem (závislý na teplotě) vody, kterou použijeme pro rozplavení pivovarského mláta (Ve skutečnosti bude využit jen zlomek vypočteného množství vody - bude osvětleno níže.).

Tabulka č. T02: Závislost změny objemu rozplavovací vody na teplotě

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
ρ_v [kgm^{-3}]	999,973	999,701	998,205	995,651	992,220	988,040	983,200	977,760
$V_{i,7hod}$ [m^3.7h.$^{-1}$]	491,041	491,175	491,911	493,172	494,172	496,972	499,418	502,197

Toto množství jednoduchým přepočtem vztáhneme na hodinovou potřebu:

$$V_{i,hod} = \frac{V_{i,7hod}}{t}\,[m^3.h^{-1}]$$

$V_{i,7hod}$ – hodinový průtočný objem vody (při určité teplotě), který je nutno zajistit pro rozplavování pivovarského mláta [m^3.h^{-1}]
t – stanovená doba (v tomto případě 7 hodin) čerpání rozplaveného mláta [hod]

$$V_{70,hod} = \frac{V_{70,7hod}}{t} = \frac{502{,}197}{7} \approx 71{,}242\ m^3.hod^{-1}$$

Další vypočtená průtočná hodinová množství lze nalézt v následující tabulce **č. T03**.

Tabulka č. T03: Průtočné množství rozplavovací vody za hodinu

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
$V_{i,hod}$ [m^3.hod^{-1}]	70,149	70,168	70,273	70,453	70,697	70,996	71,345	71,742

Průměr potrubí a průtočná rychlost vody:
Můžeme zvolit dva různé přístupy:

a) Zvolíme průměr potrubí a dopočteme rychlost proudění kapaliny.

b) Zvolíme rychlost proudění kapaliny v potrubí z doporučeného rozmezí a z něj vypočteme průměr potrubí.
Doporučené průtočné rychlosti pro vodu: 0,5 až 2 m.s^{-1}

Využijeme druhý přístup – volím $\bar{c} = 1\, m.s^{-1}$

Průměr potrubí vypočteme z rovnice pro objemový průtok: $\dot{V} = S.\bar{c}\ [m^3.h^{-1}]$

S – plocha vnitřního průměru potrubí [m^2]
$\bar{c}$ – průtočná rychlost proudění vody v potrubí [m.s^{-1}]

Za průtočný objem $\dot{V}_i$ volím tu nejhorší možnou variantu, tedy předpoklad 70 ºC vody ve vratné vodě.

$$\dot{V} = S.\bar{c} = \frac{p d_h^{\ 2}}{4}.\bar{c} \Rightarrow d_h = \sqrt{\frac{4.\dot{V}_{i,hod}}{p.\bar{c}}}$$

d_h – hledaný průměr potrubí [m]
S – Vnitřní průřez potrubí [m^2]

$$d_h = \sqrt{\frac{4.\dot{V}_{70,hod}}{p.\bar{c}}} = \sqrt{\frac{4.71{,}742}{p.1.3\,600}} \doteq 0{,}1585\ m$$

Pro vypočtené průměry potrubí vybereme nejbližší normalizované potrubí.
$d_h \Rightarrow$ vnitřní průměr d_{nG} = 150 mm
Volbou vnitřního průměru trubky musíme přepočítat maximální rychlost proudění vody:

$$\bar{c}_{70} = \frac{\dot{V}_{70,hod}}{\frac{p d_{nG}^{\ 2}}{4}} = \frac{4.71{,}742}{p.0{,}150^2.3\,600} \doteq 1{,}128 m.s^{-1}$$

Pro rychlosti proudění vody určíme Reynoldsovo kritérium – určíme, jestli voda proudí v potrubí laminárně či turbulentně:

Tabulka č. T04: Reynoldsovo kritérium vratné vody

T_v [ºC]	4	10	20	30
n 10^{-3}[m^2.s^{-1}]	1,567	1,307	1,004	0,801
$\bar{c}$ [m.s^{-1}]	1,103	1,103	1,105	1,108
Re [-]	105 555	126 588	165 374	208 177
Tv [ºC]	40	50	60	70
n 10^{-3}[m^2.s^{-1}]	0,658	0,553	0,475	0,413
$\bar{c}$ [m.s-1]	1,111	1,116	1,122	1,128
Re [-]	255 276	306 033	353 421	405 327

Všechna Reynoldsova čísla jsou v tabulce **č. T04** v turbulentním režimu.

Reynoldsovo kritérium: $$\mathrm{Re}_i = \frac{\bar{c}_i . d_{nG}}{u} [-]$$

$\bar{c}_i$ – rychlost proudění kapaliny [m.s^{-1}]
d_{nG}– nalezený průměr potrubí [m]
n – kinematická viskozita[18], [19] [m^2.s^{-1}]

$$\mathrm{Re}_{70} = \frac{\bar{c}.d_{nG}}{u} = \frac{1{,}128.0{,}150.977{,}76}{0{,}413.10^{-6}} \approx 405\,326{,}9 \Rightarrow \text{turbulentní proudění}$$

6.1.1 Tlaková ztráta Vratné větve „Gambrinus“

V tabulce **č. T05** jsou vypsány součinitele místních odporů, délka potrubí a výtlačná výška pro odběrné místo „Gambrinus“.

Tabulka č. T05: Přehled místních odporů [20], [21]

		Součinitel místního odporu (hodnota ξ pro 1 ks)
Délka rovného potrubí [m]	570	-
Výtlačná výška [m]	5	-
Počet 90° kolen (R=1,5.DN)	6	6,3 (1,26)
Počet 90° oblouků (R=3.DN)	6	1,5 (0,25)
Počet 45º oblouků	1	0,3 (0,3)
Ostrý vtok do potrubí	1	0,5 (0,5)
Výtok z potrubí	1	1 (1)
Uzavírací ventil přímý	4	12 (3)
Σx		20,34

I když jsou v potrubní trase vřazeny axiální kompenzátory s vodící tyčí, neměly by se dle distributora (COREX – Pardubice s.r.o.) a výrobce projevit ve ztrátě místními odpory. Vodící tyč má stejný průměr jako samotný kompenzátor. Proto bude s kompenzátorem počítáno jako s normálním potrubím.

Tlaková ztráta místními odpory vratné větve:

$$\Delta p_x = \Sigma x . \frac{\bar{c}_{70}^{\,2}}{2} . r_v = 20{,}34 . \frac{1{,}128^2}{2} . 977{,}76 \approx 13\,244{,}82\,Pa$$

A jako obvykle další údaje v tabulce **č. T06.**

Tabulka č. T06: Tlaková ztráta místními odpory

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
ρ_v [kgm^{-3}]	999,973	999,701	998,205	995,651	992,220	988,040	983,200	977,760
Δp_x [Pa]	12 366	12 369	12 389	12 420	12 462	12 515	12 577	12 348

Součinitel tlakových ztrát λ:

Implicitní tvar Coolebrookova rovnice[1] vyžaduje iterační řešení.

$$\frac{1}{\sqrt{l}} = -2.\log\left(\frac{2{,}51}{\mathrm{Re}.\sqrt{l}} + \frac{e/d}{3{,}76}\right)$$

Re – Reynoldsovo číslo (platnost pro Coolebrookovu rovnici Re ≥ 4000 – turbulentní proudění) [-]
ε – drsnost vnitřního povrchu potrubí [m]
d – průměr potrubí [m]

V tomto případě je drsnost potrubí [1], [22]:
ε =0,1– ocelové trubky svařované podélným švem, nekorodované
ε =0,2 až 0,3 – ocelové svařované podélným švem mírně korodovaná

Pro výpočet vybereme ε =0,3, abychom věděli, jaké ztráty po čase čerpadlo musí překonat. Vypočtený součinitel tlakové ztráty je v následující tabulce **č. T07**:

Tabulka č. T07: Součinitel tlakové ztráty

Re_i [-]	105 555	126 588	165 374	208 177	255 276	306 032	353 421	405 327
λ [-]	0,025	0,0246	0,0244	0,0242	0,024	0,024	0,0238	0,0237

Tlaková ztráta v potrubí vratné větve:
Nalezené hodnoty pro tlakovou ztrátu v potrubí je v tabulce **č. T08.**

$$\Delta p_{zt} = l.\frac{L}{d_{nG}}.\frac{\bar{c}^2}{2}.r\ [Pa]$$

λ – součinitel tlakové ztráty [-]
d_{nG} – nalezený průměr potrubí [m]
ρ_v – hustota vody [kg.m^{-3}]
$\bar{c}$ – rychlost proudění kapaliny [m.s^{-1}]
Ll – délka potrubí [m]

Tabulka č. T08: Tlaková ztráta Δp_{zti} pro vratnou vodu

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
Δp_{zt} [Pa]	57 787	56 847	56 474	56 152	55 877	56 114	55 920	56 001

$$\Delta p_{zt,5} = 0{,}025.\frac{570}{0{,}15}.\frac{1{,}103^2}{2}.999{,}973 = 57\ 787\ Pa$$

Celková tlaková ztráta:

$$\Delta p_{Cvv} = \Delta p_{zt} + \Delta p_x$$

Δp_{zt} – tlaková ztráta na rovném úseku potrubí [Pa]
Δp_{ξ} – tlaková ztráta místními odpory [Pa]

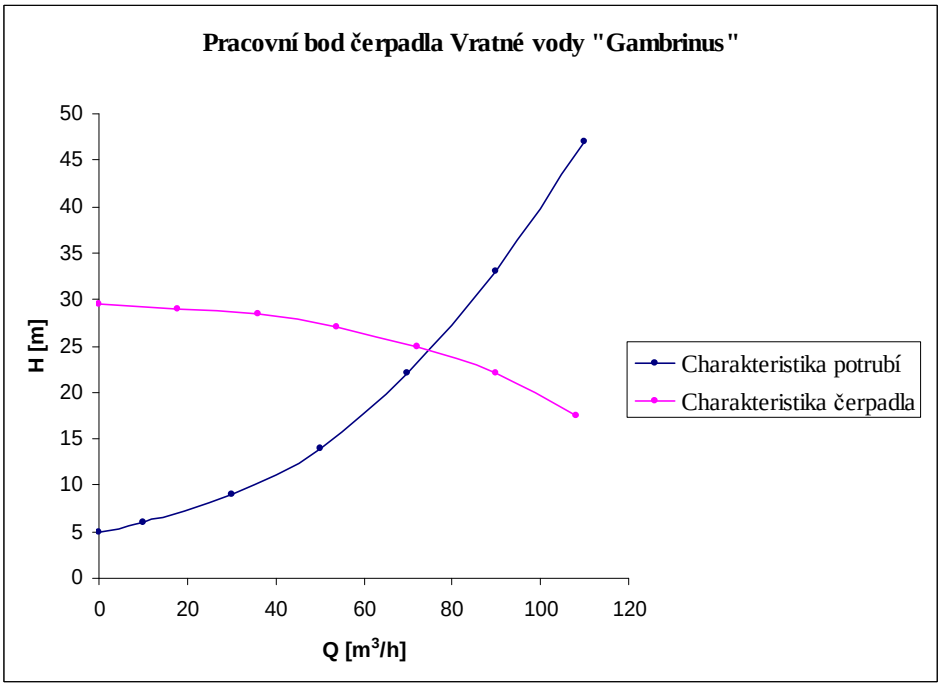
$$\Delta p_{Cvv} = \Delta p_{zt} + \Delta p_x = 57\ 765 + 12\ 368 \approx 70\ 136\ Pa \approx 70{,}14\ kPa$$

Podle největší celkové tlakové ztráty a výtlačné výšky nalezneme vhodné čerpadlo.

Typ čerpadla: META-PLUS 16 100-80-160-26-L [23]
Sací hrdlo DN 100 od PN 1 až do PN 16
Výtlačné hrdlo DN 80 od PN 2 až do PN 16
Oběžné kolo o průměru 153 mm
Příkon do 15 kW
Pohon patkovým elektromotorem
Hnací síla se přenáší pomocí pružné spojky - pružná spojka s mezikusem
Dodací lhůta 2 – 3 týdny

Čerpadlo bude potřebovat přechodku z DN 80 na DN 150

Na **obrázku č. 05** je znázorněn pracovní bod čerpadla META-PLUS Vratné vody „Gambrinus“. Další podrobnější charakteristiky naleznete v příloze (**Příloha 7**).



Obr. č. 05.: Pracovní bod čerpadla

Čerpadla budou využita dvě. Jedno pracovní a druhé havarijní.

6.1.2 Pevnost potrubí Vratné větve „Gambrinus“

Z materiálových charakteristik oceli a provozního tlaku v potrubí zjistíme tloušťku potrubí.

Materiál potrubí: 1.4301 – nerezová ocel

Materiálové charakteristiky dle [24]:

- minimální mez pevnosti materiálu při 20 °C – $R_{m/20}$ = 540 MPa
- minimální mez pevnosti materiálu při 150 °C – $R_{m/150}$ = 357 MPa
- minimální mez kluzu materiálu při 20 °C –$R_{p1,0/20}$ = 260 MPa
- minimální mez kluzu materiálu při 150 °C – $R_{p1,0/150}$ = 172 MPa

Součinitele bezpečnosti

n_e – součinitel bezpečnosti meze kluzu; n_e = 1,5.

n_m – součinitel bezpečnosti meze pevnosti; n_m = 3.

Dovolené napětí v tahu[24]:

$$f = \min\left\{\frac{R_{p1,0/150}}{1,5}, \frac{R_{m/150}}{3}\right\}$$

$$f = \min\left\{\frac{172}{1,5}, \frac{357}{3}\right\}$$

$$f = 114,667\ MPa$$

Tloušťka stěny se pak vypočítá ze vztahu:

$$e = \frac{p.d_{nG}}{2.f.z - p}[mm]$$

p – tlak v potrubí (pracovní tlak čerpadla) [MPa]

d_i – vnitřní průměr potrubí [mm]

f – dovolené napětí v tahu [MPa]

z – součinitel svarového spoje – u podélně svařovaných trubek z = 0,7[24].

Pracovní tlak čerpadla je 4 bar = 0,4 MPa.

Pak minimální tloušťka stěny pro d_{nG} = 150 mm je: $e_m = \frac{0,4.150}{2.114,667.0,7 - 0,4} = 0,375\ mm$

Volená tloušťka stěny u d_{nG} = 150 mm je e_G = 2 mm.

Tyto tloušťky stěn jsou vybrány s ohledem na výrobní nepřesnost (±10 % [24]), abraze a eroze oceli čerpanými pevnými částicemi nepředpokládáme vzhledem k hustotě částic, která je několikanásobně menší jako u oceli.

6.1.3 Objem pracovních nádob O_G a R_G a reálná potřeba vody

Pracovní nádoba R_G napojená na Vratnou větev vody (přívod vody), technologii předpřípravy na 10 hm. % suspenzi (odběr vody) a úpravu suspenze na konečných 5 hm. % sušiny (odběr vody) bude dimenzována na objem tří minut odběru vody na přípravu suspenze a bude se plit z 80 %.

Objem potřebný pro tří minutový chod s 80% plněním:

$$V_{RG} = \frac{\dot{V}_{č}.3.60.0,8}{1\,000}\,[m^3]$$

$\dot{V}_{č}$ - průtok vratným čerpadlem (19,80 l/s)

$$V_{RG} = \frac{19,80.3.60.0,8}{1000} \approx 4,28\ m^3$$

Nádrže na vodu se většinou vyrábějí v rozmezí velikostí 4 000 nebo 5 000 l. V tomto případě raději využijeme 5 000 l nádrž. Kapacita nádrže se zvýší o 22 sekund, což odpovídá cca 4 m^3.

Pracovní nádoba O_G slouží k akumulaci a vyrovnávání množství vody pro rozplavování pivovarského mláta. Její dimenzování závisí na konstrukčních detailech Vratné větve, která buď bude pod sklonem dostačujícím k vypuštění všechny vody z Vratné i Dopravní větve nebo musíme zajistit 100% zaplnění potrubí (Pokud by se potrubí zbavilo vody jen částečně, bylo by náchylnější k zamrzání.).

Potrubí bude vybaveno odporovou temperancí, proto není na místě obava ze zamrzání a voda může zůstat v potrubí. Tento krok zmenší potřebnou velikost nádrže o desítky procent.

Voda vstupující do pracovní nádrže O_G má stejný průtok jako voda vratná.

Objem potřebný pro tří minutový chod s 80% plněním:

$$V_{OG} = \frac{\dot{V}_{č}.3.60.0,8}{1000}\,[m^3]$$

$\dot{V}_{č}$ - průtok vratným čerpadlem (19,80 l/s)

$$V_{OG} = \frac{19,80.3.60.0,8}{1000} \approx 4,28\ m^3$$

Nádrž na vodu je volena 8 000 l. Tedy s účinným objemem 6 400 l. Usnadní plnění potrubí po výstavbě a také tím docílíme rezervu pro případ ztrát. Nádrž může plnit i jiné funkce v dalších technologiích.

Zbylý objem nádrže bude sloužit také k akumulaci vody obsažené v pivovarském mlátu, která se sušinou mláta vystupuje z výroby piva.

Nádrž vybavíme přepadem, který zamezí vyšší naplnění než 80%.

Reálná potřeba vody:

Je to množství vody, která zaplní na požadovaný stav pracovní nádrže O_G a R_G a celou délku potrubí uzavřeného okruhu.

$$V_{rpv} = V_{OG} + V_{RG} + V_{VV} + V_{DV}\ [m^3]$$

V_{VV} – objem vody ve Vratné větvi [m^3]

$$V_{VV} = \frac{p.d_{nG}^{\ 2}}{4}.L = \frac{p.0,150^2}{4}.570 \approx 10,07\ m^3$$

V_{DV} – objem vody v Dopravní větvi [m^3]; V_{DV} = 10,07 m^3 (Dopravní větev má stejnou délku i průměr potrubí)

$$V_{rpv} = 4 + 4 + 10{,}07 + 10{,}07 \approx 28{,}145\ m^3$$

6.1.4 Čerpání rozplaveného pivovarského mláta z odběrného místa „Gambrinus“ *(od hrdla čerpadla po výstup na odvodnění):*

Dle reologie naměřené ve firmě TECHMIX s.r.o., která se nalézá v příloze (**Příloha 6**) bylo zjištěno:

Vzorek s 5 hm. % sušiny sedimentoval moc rychle a tak "závislost" neodpovídá realitě. Tak prudký pokles viskozity není fyzikálně možný, bude zřejmě třeba uvažovat, že reálná je pouze hodnota pro otáčky míchadla 12a, tj. D_r = 45,76 s^{-1}. Tedy, že medium je newtonské s dynamickou viskozitou cca 0,13 Pa.s.

Hydraulický výpočet vratné vody z obou odběrných míst zahrnuje vliv rozdílných teplot (od 4 ºC do 70 ºC) na čerpání.

Pro výpočet hydraulické dopravy rozplaveného pivovarského mláta na 5 hm. % sušiny, nebude dodržen ze dvou důvodů:

a) Není známa teplota mláta vystupující ze zásobníků – jedná se o důvěrnou informaci.

b) Vytíženost laboratoře v areálu firmy TECHMIX s. r. o. nedovolovala zajistit osm respektive šestnáct reologií ve zvoleném intervalu teplot.

I proto byla vybrána teplota 20 ºC. Vyšší teplota, za předpokladu setrvání v laminárním proudění, bude mít za následek snižování viskozity a tím pokles jak tlakové ztráty tak změnu H - Q charakteristiky (zvýšení účinnosti čerpadla, dopravní výšky a průtoku).

6.1.5 Tlakové ztráty při průtoku suspenze Dopravní větve „Gambrinus“

Průtočný objem suspenze bude výrazně větší jak průtok vratného proudu vody. V příloze (**Příloha 2** - *Laboratorní protokol č. 3***)** lze vidět, že přidáním pivovarského mláta do vody vzroste objem o 31,67 % (při teplotě vody 15 ºC).

Objem, který zaujímá suspenze, a který je nutno přečerpat při určité teplotě, se nalézá v tabulce **č. T09,** která také odhaluje rozpor mezi naměřenou a vypočtenou hodnotou zvýšení objemu vody v důsledku přidání mláta.

Vypočtené hodnoty zvýšení objemu z_v jsou brány jako správné.

$$m_{SG} = m_{dG}.1\,000.m_{1kgG}.(1 + 0{,}3167) = 166.1\,000.2{,}960.(1 + 0{,}3167) = 657{,}689kg$$

Tabulka č. T09: Závislost změny objemu rozplavovací vody na teplotě

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
ρ_v [kgm^{-3}]	999,973	999,701	998,205	995,651	992,220	988,040	983,200	977,760
z_v [%]	31,67	31,66	31,61	31,53	31,42	31,29	31,13	30,96
$V_{S,7hod}$ [$m^3.7h.^{-1}$]	646,533	646,667	647,403	648,665	650,370	652,464	654,910	657,689

Toto množství jednoduchým přepočtem vztáhneme na hodinový průtok (tabulka **č. T10**):

$$\dot{V}_{S,i} = \frac{V_{i,den}}{7} \left[m^3.h^{-1}\right]$$

$V_{i,den}$ - objem suspenze (při určité teplotě), který musíme přepravit za 7 hodin [$m^3.7h^{-1}$]

$$\dot{V}_{S,70} = \frac{V_{S,70,den}}{t} = \frac{657,689}{7} \approx 93,96\ m^3.hod^{-1}$$

Tabulka č. T10: Čerpané množství suspenze za hodinu

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
$\dot{V}_{S,i}$ [$m^3.hod^{-1}$]	92,36	32,38	92,49	92,67	92,91	93,21	93,56	93,96

Průměr potrubí a průtočná rychlost vody:

K výpočtu využijeme stejný postup jako při stanovování průměru potrubí Vratné větve.

Zvolíme rychlost proudění suspenze potrubím $v_S = 1\ m.s^{-1}$

Průměr potrubí vypočteme z rovnice pro objemový průtok:

$$\dot{V} = S.v_S\ [m^3.h^{-1}]$$

S – plocha vnitřního průměru potrubí [m^2]

v_S – průtočná rychlost proudění vody v potrubí [$m.s^{-1}$]

Za objemový průtok $\dot{V}_{S,i}$ je vybrána ta nejhorší možná varianta, tedy předpoklad 70 ºC vody ve vratné vodě.

$$\dot{V} = S.v_S = \frac{p d_h^{\ 2}}{4}.v_S \Rightarrow d_i = \sqrt{\frac{4.\dot{V}}{p.v_S}}$$

d_h – hledaný průměr potrubí [m]

$$d_h = \sqrt{\frac{4.\dot{V}_{S,70}}{p.v_S}} = \sqrt{\frac{4.93,96}{p.1.3\,600}} \approx 0,18157\ m$$

Pro vypočtené průměry potrubí vybereme nejbližší normalizované potrubí.

$d_h \Rightarrow$ vnitřní průměr d_{nG} = 150,00 mm

Přepočet rychlosti proudění suspenze pro vybraný průměr potrubí:

$$v_{S70} = \frac{\dot{V}_{S5,i}}{\frac{p d_{nG}^{\ 2}}{4}} = \frac{4.93,96}{p.0,150^2.3\,600} \approx 1,466\ m.s^{-1}$$

Tato rychlost proudění však nemusí být taková, aby udržela částice ve vznosu. Proto bude stanovena tzv. kritická rychlost. Tato rychlost je mezní pro pohyb skoky (saltací) nebo ve vznosu[5].

6.1.6 Stanovení kritické rychlosti

Nejprve bude zjištěn střední průměr částic zastoupených v pivovarském mlátu, jejích střední usazovací rychlost a sféricitu.

Stanovení středního průměru částic

Bude předpokládáno, že v pivovarském mlátu bude největší částicí nerozdrcené ječmenné zrno.

Rozměry ječmenného zrna[6]*:*

Šířka 1až 4,5 mm
Délka 8 až 14 mm

Ekvivalentní průměr zrna:

Je to průměr, který má koule o stejném objemu jako objem zrna.

Pro zjednodušení je uvažováno zrno o objemu válce V_z s největšími rozměry (průměr zrna d_z = 4,5 mm a délka zrna l_z = 14 mm).

$$V_z = \frac{p.dz^2}{4}.l_z = \frac{p.4{,}5^2}{4}.14 \approx 222{,}7\ mm^2$$

$$d_{ez} = \left(\frac{6.V_z}{p}\right)^{1/3} = \left(\frac{6.222{,}7}{p}\right)^{1/3} = 7{,}52\ mm$$

Vypočtený ekvivalentní průměr d_{ez} je zahrnut do tabulky **č. T11**, která ukazuje zastoupení velikostí zrn jednotlivých frakcí.

Tabulka č. T11: Zastoupení frakcí zrn

Rozmezí průměrů frakce	Střední průměr frakce	Zastoupení
$d_{2\text{-}dez}$ = 2 až 7,52 mm	4,76 mm	62,3 %
d_1 = 2 až 1 mm	1,5 mm	4,9 %
$d_{0,5}$ = 1 až 0,5 mm	0,75 mm	4,9 %
$d_{0,25}$ = 0,5 až 0,25 mm	0,375 mm	4,9 %
$d_{0,125}$ = 0,25 až 0,125 mm	0,1875 mm	3,3 %
d_{filtr} = 0,125 až 0 mm	0,0625 mm	19,7 %

Střední velikost zrna směsi stanoví vzorec [5]*:*

$$d_s = \frac{\sum d_i.p_i}{100}\ [mm]$$

d_i – střední průměr frakce [mm]
p_i – procentní zastoupení frakce [%]

$$d_s = \frac{296{,}548 + 7{,}35 + 3{,}675 + 1{,}8375 + 0{,}61875 + 1{,}23125}{100} = \frac{311{,}2605}{100} = 3{,}113\ mm$$

Výpočet střední usazovací rychlosti

K výpočtu bude použito Archimédova kriteria, Reynoldsova kritéria a výpočet pro odporový součinitel.

Archimédovo kritérium[1] - $Ar = \frac{d^3.\Delta r.r_k.g}{h^2}$ [–]

$d_č$ – průměr sedimentující částice [mm]
$\Delta\rho$ – rozdíl hustot pevné a kapalné fáze [kg.m^{-3}]
ρ_k – hustota kapalné fáze [kg.m^{-3}]
g – gravitační zrychlení [m.s^{-2}]
η – dynamická viskozita [Pa.s]

Zjištěním Archimédova kritéria se určí, ve které jsme oblasti. (I. – Stokesova; II – Přechodová oblast; III. – Newtonova oblast). Pro každou z nich lze určit Reynoldsovo kritérium (Re_p) a odporový součinitel ξ_p pro kulovou částici dle vzorců v následující tabulce **č. T12**.

Tabulka č. T12: Přehled rovnic pro výpočet pádové rychlosti kulové částice[1]

oblast	Rozsah Re_p	Rozsah Ar	$\xi_p = Re_p$	$Re_p = f(Ar)$
I – Stokesova	$Re_p < 0,2$	$Ar \leq 3,6$	$\xi_p = 24/ Re_p$	$Re_p = Ar/18$
II - přechodová	$0,2 \leq Re_p \leq 500$	$3,6 \leq Ar \leq 6,4.10^4$	$\xi_p = 18,5. Re_p^{-6}$	$Re_p^{0,7}=(Ar/13,9)^{0,5}$
III - Newtonova	$500 \leq Re_p \leq 1,5.10^5$	$6,4.10^4 \leq Ar \leq 7,4.10^9$	$\xi_p = 0,44$	$Re_p=1,73(Ar)^{0,5}$

$$Ar_1 = \frac{4,76.10^{-3}.(1330-998,25).998,25.9,81}{(1,002.10^{-3})^2} = 349015 \Rightarrow \text{ nacházíme se v III.oblasti}$$

$$Re_{p1} = 1,73.(Ar)^{0,5} = 1,73.(349015)^{0,5} = 1022,04$$

Pro třetí oblast je odporový součinitel kulové částice ξ = 0,44.

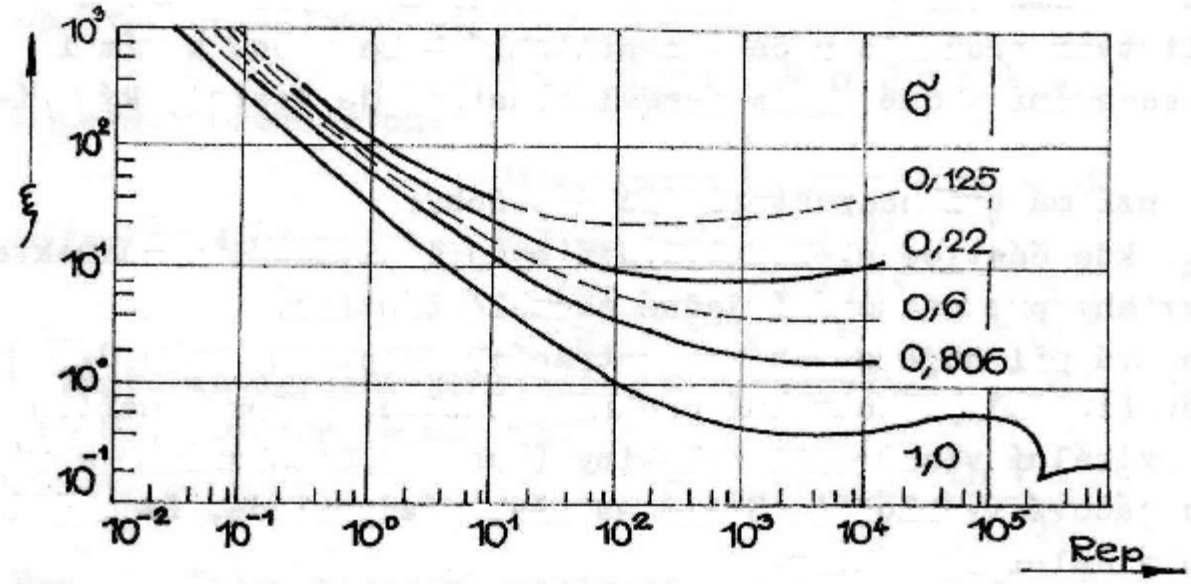
Nyní schází jen dopočítat usazovací rychlost[1] kolové částice:

$$u_g = \sqrt{\frac{4}{3}.g.\frac{\Delta r}{r_k}.\frac{d_č}{x_p}} \; [-]$$

$d_č$ – průměr sedimentující částice [mm]
$\Delta\rho$ – rozdíl hustot pevné a kapalné fáze [kg.m^{-3}]
ρ_k – hustota kapalné fáze [kg.m^{-3}]
g – gravitační zrychlení [m.s^{-2}]
ξ_p – odporový součinitel [-]

Jelikož pivovarské mláto nepřipomíná ani vzdáleně kulovou částici, bude do výpočtu zahrnuta sféricita částice, která je navíc velice složitě stanovitelná. Proto bude tato sféricita odhadnuta a výsledná hodnota usazovací rychlost, z tohoto odhadu, porovnána s experimentálně stanovenou usazovací rychlostí, zapsanou v příloze (**Příloha 2 -** *Laboratorní protokol č. 2*).

Nový odporový součinitel ξ_{nk} odečteme z **obr. č. 06**[1].



Obr. č. 06: Závislost odporového součinitele ξ_p na sféricitě σ [1]

Dle křivky pro sféricitu σ = 0,22 a Reynoldsova kritéria vychází odporový součinitel ξ_{nk} = 9. Pak usazovací rychlost je:

$$u_{g_1} = \sqrt{\frac{4}{3}.9{,}81\frac{1330-332}{998{,}205}.\frac{4{,}76.10^{-3}}{9}} = 0{,}04796\ m.s^{-1}$$

Experimentálně stanovená sedimentační rychlost, při téměř totožné teplotě (teplota při experimentu – 18 ºC) vody, byla 0,031 m.s^{-1}.

Rychlost usazovací (pádové) rychlosti může ovlivňovat také množství částic v okolí sledované částice. Korekci pádové rychlosti provedeme Richardsonovou-Zarkiho rovnicí[26].

$$u_{g_k} = u_g.(1-c_v)^m\ [m.s^{-1}]$$

u_{gk} – zkorigovaná usazovací rychlost [m.s^{-1}]
u_g – vypočtená pádová rychlost samostatně sedimentující částice [m.s^{-1}]
c_v – objemová koncentrace pevných částic v kapalině [-]
m – index určující např. Wallisova rovnice[26] $m = \frac{4{,}7.(1+0{,}15.\mathrm{Re}_p^{\ 0{,}687})}{1+0{,}253.\mathrm{Re}_p^{\ 0{,}687}}$

$$m = \frac{4{,}7.(1+0{,}15.1022{,}04^{0{,}687})}{1+0{,}253.1022{,}04^{0{,}687}} = 2{,}85$$

Objemová koncentrace suspenze

Objemovou koncentraci suspenze ovlivňuje také teplota, která zvyšuje objem kapaliny (vody) a tím se nepatrně snižuje koncentrace jak lze vidět v tabulce **č. T13**. Stanovená hustota

směsi v příloze (**Příloha 2** - *Laboratorní protokol č. 1*)se částečně liší od naměřené v reologii (**Příloha 6**), proto ihned nebude předpokládána správnost stanovených hustot.

Ale pokud je známo, že 100 g mláta obsahuje přibližně 20 g sušiny (rozdrcené ječmenné zrno) a 80 g vody, může být jednoduchou úvahou dosaženo objemu, který pivovarské mláto zaujímá a tím stanovena objemová koncentrace a také výpočtem stanovena hustotu směsi.

$$V_{t1} = \frac{M_t}{r_t} = \frac{19{,}79.10^{-3}}{1\,330}.10^6 = 14{,}88\ ml$$

M_t – hmotnost sušiny (tuhé fáze) v nerozplavovaném pivovarském mlátu [kg]
ρ_t - hustota sušiny (tuhé fáze) [kg.m^{-3}]

$$r_{smv} = \frac{V_{t1}.r_t + V_v.r_v}{V_{sv}} = \frac{14{,}88.10^{-6}.1\,330 + 80{,}86.10^{-6}.998{,}205}{95{,}74.10^{-6}} = 1\,049{,}8\ kg.m^{-3}$$

ρ_{smv} – hustota nerozplaveného pivovarského mláta [kg.m^{-3}]
V_v – objem vody nerozplaveného pivovarského mláta [m^{-3}]
V_{sv} – objem nerozplaveného pivovarského mláta [m^{-3}]

$$V_{sv} = V_{t1} + V_v = 14{,}88.10^{-6} + 80{,}86.10^{-6} = 95{,}74.10^{-6}\ m^3$$

$$r_{sm} = \frac{V_{sv}.r_{smv} + V_v.r_v}{V_s} = \frac{95{,}74.10^{-6}.1\,049{,}8 + 300{,}54.998{,}205}{396{,}28.10^{-6}} \approx 1\,012\ kg.m^{-3}$$

Tabulka č. T13: Přehled hustoty směsi za určité teploty

Teplota [ºC]	0	4	10	20	30	40	50	60	70
ρ_{sm} [kg.m^{-3}]	1 013	1 013	1 013	1 012	1 010	1 007	1 004	1 000	996
c_v [-]	0,04	0,04	0,0403	0,042	0,043	0,044	0,047	0,049	0,052

Objemová koncentrace suspenze [3]*:*

$$c_v = \frac{r_{sm} - r_v}{r_p - r_v} = \frac{1\,012 - 998{,}205}{1\,330 - 998{,}205} \approx 0{,}042$$

ρ_{sm} – hustota rozplaveného pivovarského mláta [kg.m^{-3}]
ρ_v – hustota vody za určité teploty [kg.m^{-3}]
ρ_p – hustota pevné fáze [kg.m^{-3}]

Z *Laboratorního protokolu č. 1* **(Příloha 2)** v příloze víme, že obě pivovarská mláta (jak z odběrného místa „Gambrinus“ tak z odběrného místa „Prazdroj“) jsou téměř totožná. A pro zjednodušení výpočtů budeme uvažovat se stejnou hustotou směsi ρ_{sm} [kg.m^{-3}].

$$u_{g_k} = 0{,}04796.(1 - 0{,}042)^{2{,}85} \approx 0{,}043\ m.s^{-1}$$

V příloze (**Příloha 5**) je uvedeno několik tabulek s výpočty hodnot usazovací rychlosti jednotlivých frakcí v suspenzi o 5 hm. %. Z těchto hodnot vypočteme střední usazovací rychlost.

Střední usazovací rychlost stanoví vzorec[5]:

$$u_s = \frac{\sum u_i . p_i}{100} \, [mm]$$

u_i –usazovací rychlost frakce [mm]
p_i – procentní zastoupení frakce [%]

$$u_s = \frac{0{,}0418.62{,}3 + 0{,}0252.4{,}9 + 0{,}0144.4{,}9 + 0{,}005.4{,}9 + 0{,}003.3{,}3 + 0{,}0005*19{,}7}{100} = 0{,}0284 \; m.s^{-1}$$

V následující tabulce **č. T14** jsou všechny střední pádové rychlosti pro určitou teplotu. Paradoxně se rychlost usazování snižuje, protože částice klade v kapalině větší odpor.

Tabulka č. T14: Přehled středních usazovacích rychlostí

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
u_s [m.s^{-1}]	0,03	0,0284	0,0284	0,028	0,0278	0,027	0,0265	0,026

Následuje výpočet samotné kritické rychlosti dle Duranda[5]:

$$v_{kri} = \sqrt{g.D} \, . \sqrt{\frac{u_{si} . \sqrt{s-1}}{\sqrt{g.d_s}}} . \sqrt[3]{\frac{121}{2} . c_{vi}} \, [m.s^{-1}]$$

g – gravitační zrychlení [m.s^{-2}]
D – průměr potrubí [m]
u_{si} – střední usazovací rychlost [m.s^{-1}]
s – poměr $\frac{r_t}{r_v}$
d_s – střední průměr částice [m]
c_{vi} – objemová koncentrace

$$v_{kr} = \sqrt{9{,}81.0{,}15} \, . \sqrt{\frac{0{,}02994 . \sqrt{\frac{1\,330}{999{,}941} - 1}}{\sqrt{9{,}81.3{,}11.10^{-3}}}} . \sqrt[3]{\frac{121}{2} . 0{,}0396} = 0{,}509 \; m.s^{-1}$$

Následuje tabulka **č. T15** s kritickou rychlostí pro určitou teplotu a hmotnostní objem sušiny.

Tabulka č. T15: Kritická rychlost dle teploty suspenze

T_S [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
v_{kr} [m.s^{-1}]	0,509	0,499	0,505	0,509	0,512	0,519	0,522	0,520

Pro zvolený průměr potrubí a objemový průtok suspenze byla stanovena rychlost v potrubí (pro nejnižší průtok) v_4 = 1,452 m.s^{-1}. Z toho vyplývá, že rychlost proudění suspenze je téměř třikrát větší jako rychlost kritická.

Jelikož byly výpočty podrobeny několika zjednodušením a vypočtená rychlost se může od skutečnosti lišit, nebude se snižovat rychlost proudění v potrubí popř. průměr potrubí.

Po výpočtu kritické rychlosti bude stanovena **tlaková ztráta Dopravní větve „Gambrinus“** pro rychlosti proudění suspenze z tabulky **č. T16** na následující straně.

Jako u výpočtů pro vratnou vodu i zde bude stanoveno Reynoldsovo kritérium.

Vpočet kinematické viskozity z dynamické viskozity:

$$u_S = \frac{h_S}{r_{sm}} [m^2.s^{-1}] \qquad u_S = \frac{h_S}{r_{sm}} = \frac{0{,}13}{1\,012} = 0{,}1285\ m^2.s^{-1}$$

η_S – dynamická viskozita suspenze [Pa.s]
ρ_{sm} – hustota směsi [kg.m^{-3}]

$$\mathrm{Re}_S = \frac{1{,}454.0{,}150.1\,012}{0{,}1285} = 1\,680 \Rightarrow \text{ laminární proudění}$$

Re_S – Reynoldsovo kritérium pro suspenze [-]

Tlaková ztráta místními odpory Dopravní větve:

Tlakové ztráty místními odpory nejsou závislé na viskozitě suspenze, proto jsou v tabulce **č. T16** uváděny v celém zvoleném teplotním rozsahu.

Vřazené místní odpory do potrubní trasy, jsou stejné jako u Vratné větve.

$$\Delta p_{xS} = \Sigma x.\frac{v_i^2}{2}.r = 20{,}34.\frac{1{,}454^2}{2}.1012 \approx 21\,759\ Pa$$

Tabulka č. T16: Tlaková ztráta místními odpory prouděním suspenze

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
ρ_v [kgm^{-3}]	1 013	1 013	1 012	1 010	1 007	1 004	1 000	996
v_S [m.s^{-1}]	1,452	1,453	1,454	1,457	1,461	1,466	1,471	1,477
Δp_{xS} [Pa]	21 720	21 750	21 759	21 805	21 860	21 944	22 006	22 097

Tlaková ztráta vryvných úsecích potrubí Dopravní větve:

Výpočet tlakových ztrát je stejný jako u Vratné větve, ale s tím rozdílem, že zde probíhá proudění laminárně, proto je součinitel tlakových ztrát stanoven ze vztahu:

$$l_{DG} = \frac{64}{\mathrm{Re}_S} [-] \qquad l_{DG} = \frac{64}{1680} = 0{,}0381$$

Re_s – Reynoldsovo kritérium proudící suspenze [-]

Pak je tlaková ztráta v rovných úsecích:

$$\Delta p_{ztS} = 0{,}0381 . \frac{570}{0{,}15} . \frac{1{,}454^2}{2} . 1012 = 154\,877\ Pa$$

Celková tlaková ztráta při 20 °C:

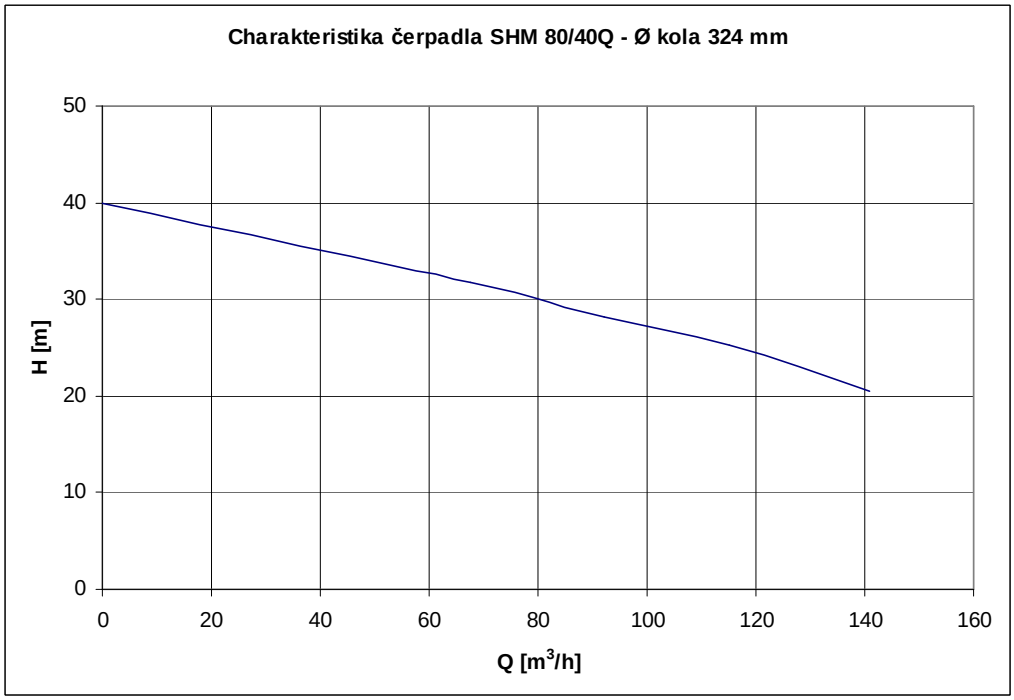
$$\Delta p_{CS} = \Delta p_{ztS} + \Delta p_{xS} = 21\,759 + 154\,877 = 176\,636 Pa$$

Podle celkové tlakové ztráty a výtlačné výšky nalezneme vhodné čerpadlo. Zde si musíme dávat pozor, protože výtlačná výška a účinnost čerpadla bude jiná jako u čerpání vody.

Typ čerpadla: SHM 80/40Q[27], průměr oběžného kola 324
Sací hrdlo DN 100
Výtlačné hrdlo DN 80
Výkon 22 kW
Dodací lhůta 13 týdnů

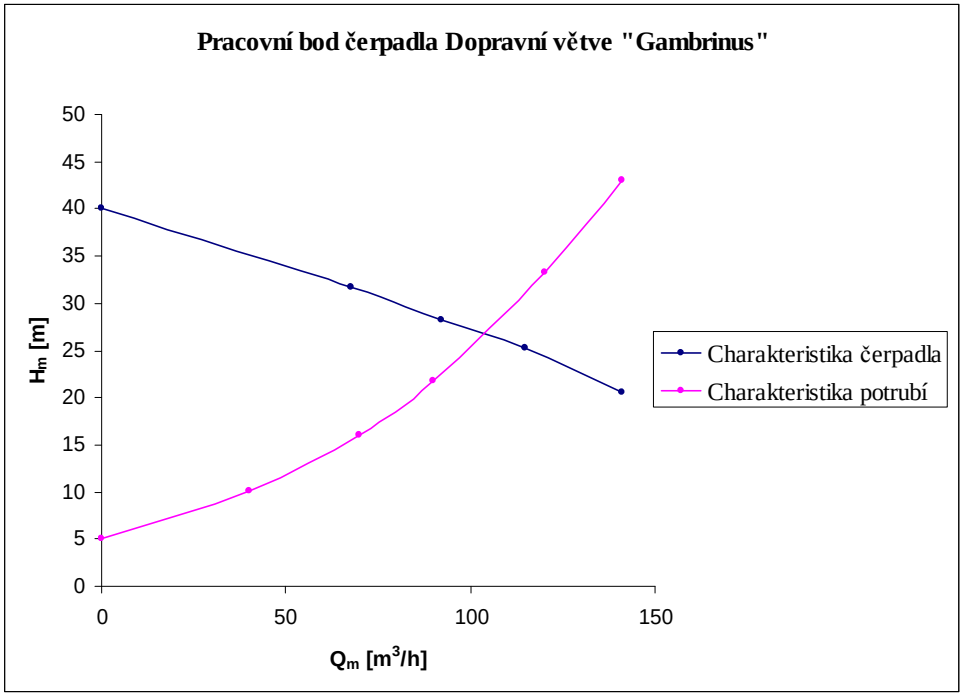
Čerpadlo bude potřebovat přechodku z DN 80 na DN 150

H – Q charakteristiky čerpadla stanovené pro vodu (**Příloha 8**) musíme převést na H – Q charakteristiky pro suspenzi dle [1], která bude tímto čerpadlem dopravována.
Převedené H - Q charakteristiky lze vidět na následujícím obrázku **č. 07**



Obr. č. 07: Charakteristika čerpadla přepočtená pro suspenzi

Dále na **obrázku č. 08** je stanoven pracovní bod čerpadla SHM 80/40Q Dopravní větve „Gambrinus“. Další podrobnější charakteristiky (pro vodu) naleznete v příloze (**Příloha 8**).



Obr. č. 08: Pracovní bod čerpadla

6.2 Odběrné místo „Prazdroj“

Vratná voda (od nádrže O_P po výstup do nádrže R_P):

Všechny výpočty budou probíhat jako u Vratné větve odběrného místa „Gambrinus“ Proto zde již nebudou uváděny některé vzorce, které se vyskytují v předešlých výpočtech .

Potřebné množství vody pro rozplavení maximální průměrné denní produkce v odběrném místě „Prazdroj“:

Z tabulky v příloze (**Příloha 3**), které reprezentují produkci pivovarského mláta v roce 2009 a předpokládanou produkci v roce 2010, je vybrána nejvyšší týdenní produkce pro odběrné místo „Prazdroj“

m_{7P} = 1258 t

Tato týdenní produkce je pro dané odběrné místo nejvyšší. Proto můžeme zjistit maximální denní produkci:

$$m_{dP} = \frac{m_{7P}}{7} = \frac{1\,258}{7} \approx 179{,}7\ t \approx 180\ t$$

Z výpočtu v příloze (**Příloha 2 -** *Laboratorní protokol č. 1*) lze vidět, že pro rozplavení 100 g pivovarského mláta potřebujeme:

5% sušina ~ 296 g vody, na 1 kg 2 960 g vody = m_{1kgG}

Pro rozplavení 180 t = 180 000 kg mláta bude potřeba vody:

$$m_{vP} = m_{dP}.1\,000.m_{1kgP} = 180.1\,000.2{,}960 = 532\,800\ kg$$

V tabulc**e č T17** jsou uvedeny objemy rozplavovací vody závislé na teplotě vody, které se musí za 7 hodin přečerpat.

Tabulka č. T17: Závislost změny objemu rozplavovací vody na teplotě

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
ρ_v [kgm^{-3}]	999,973	999,701	998,205	995,651	992,220	988,040	983,200	977,760
$\dot{V}_{p,7hod}$ [m^3.7h.$^{-1}$]	532,5	532,6	533,4	534,8	536,6	538,9	541,5	544,6

Toto množství se jednoduchým přepočtem vztáhne na hodinovou potřebu a vloží do tabulky **č. T18**.

Tabulka č. T18: Spotřeba rozplavovací vody za hodinu

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
$\dot{V}_{i,hod}$ [m^3.hod^{-1}]	76,1	76,1	76,2	76,4	76,7	77,0	77,4	77,8

Průměr potrubí a průtočná rychlost vody:

Pro výpočet průměru potrubí volíme $\bar{c} = 1\ m.s^{-1}$

Za průtočný objem $\dot{V}_i$ volíme tu nejhorší možnou variantu, tedy předpoklad 70 ºC vody ve vratné vodě.

Pak hledaný průměr potrubí je:

$$d_h = \sqrt{\frac{4.\dot{V}_{70,hod}}{p.\bar{c}}} = \sqrt{\frac{4.77{,}8}{p.1.3\,600}} \doteq 0{,}1659\ m$$

Pro vypočtený průměr potrubí vybereme nejbližší normalizované potrubí.

$d_h \Rightarrow$ vnitřní průměr d_{nP} = 150,00 mm

Volbou vnitřního průměru trubky, se změní rychlost proudění vody v potrubí:

$$\bar{c}_{70} = \frac{\dot{V}_{70,hod}}{\frac{p d_{nP}^{\ 2}}{4}} = \frac{4.77{,}793}{p.0{,}150^2.3\,600} \doteq 1{,}223\ m.s^{-1}$$

Pro rychlosti proudění vody určíme Reynoldsovo kritérium (**tabulka č. T19**), určíme, jestli voda proudí v potrubí laminárně či turbulentně:

Tabulka č. T19: Reynoldsovo kritérium vratné vody

T_v [ºC]	4	10	20	30
n $10^{-3}[m^2.s^{-1}]$ [18], [19]	1,567	1,307	1,004	0,801
$\bar{c}$ $[m.s^{-1}]$	1,196	1,196	1,198	1,201
Re [-]	114 458	137 261	178 954	224 888
Tv [ºC]	40	50	60	70
n $10^{-3}[m^2.s^{-1}]$ [18], [19]	0,661	0,553	0,475	0,413
$\bar{c}$ [m.s-1]	1,205	1,210	1,216	1,223
Re [-]	273 472	328 264	384 032	444 153

V tabulce **č. T19** jsou všechny hodnoty Reynoldsova čísla v turbulentním režimu.

6.2.1 Tlaková ztráta Vratné větve „Prazdroj“

V tabulce **č. T20** jsou vypsány součinitele místních odporů, délka potrubí a výtlačná výška pro odběrné místo „Prazdroj“.

Tabulka č. 20: Přehled místních odporů[20], [21]

		Součinitel místního odporu (hodnota ξ pro 1 ks)
Délka rovného potrubí [m]	1260	-
Výtlačná výška [m]	5	-
Počet 90° oblouků (R=3.DN)	9	2,25 (0,25)
Počet 60º oblouků	2	0,94 (0,47)
Počet 45º oblouků	2	0,6 (0,3)
Počet 30º oblouků	1	0,13 (0,13)
Počet 10º oblouků	2	0,084 (0,042)
Ostrý vtok do potrubí	1	0,5 (0,5)
Výtok z potrubí	1	1 (1)
Uzavírací ventil přímý	4	12 (3)
Σx		17,504

*Tlaková ztráta místními odpory vratné větve (**Tabulka T21**):*

Tabulka č. T21: Tlaková ztráta místními odpory za určité teploty

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
ρ_v $[kgm^{-3}]$	999,973	999,701	998,205	995,651	992,220	988,040	983,200	977,760
Δp_x [Pa]	12 512	12 515	12 534	12 567	12 611	12 665	12 726	12 797

Tlaková ztráta třením v potrubí

Součinitel tlakové ztráty λ pro výpočet tlakových ztrát třením v potrubí nalezneme v následující tabulce **č. T22**.

Drsnost potrubí uvažujeme 0,3 mm.

Tabulka č. T22: Součinitel tlakové ztráty odběrného místa „Prazdroj“

Re_P [-]	114 458	137 261	178 954	224 888	273 472	328 264	384 032	444 153
λ [-]	0,0248	0,0246	0,0243	0,0241	0,024	0,0239	0,0238	0,0237

Pak můžeme stanovit tlakové ztráty potrubí, které jsou v následující tabulce **č. T23**.

Tabulka č. T23: Tlaková ztráta pro vratnou vodu odběrného místa „Prazdroj“

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
Δp_{zt} [Pa]	148 913	147 746	146 165	145 341	145 250	145 257	145 347	145 550

Celková tlaková ztráta:

Celková tlaková ztráta ve vratném potrubí pro odběrné místo „Prazdroj“:

$$\Delta p_{Cvv} = \Delta p_{zt} + \Delta p_x = 148\,913 + 12\,512 = 161\,425\ Pa$$

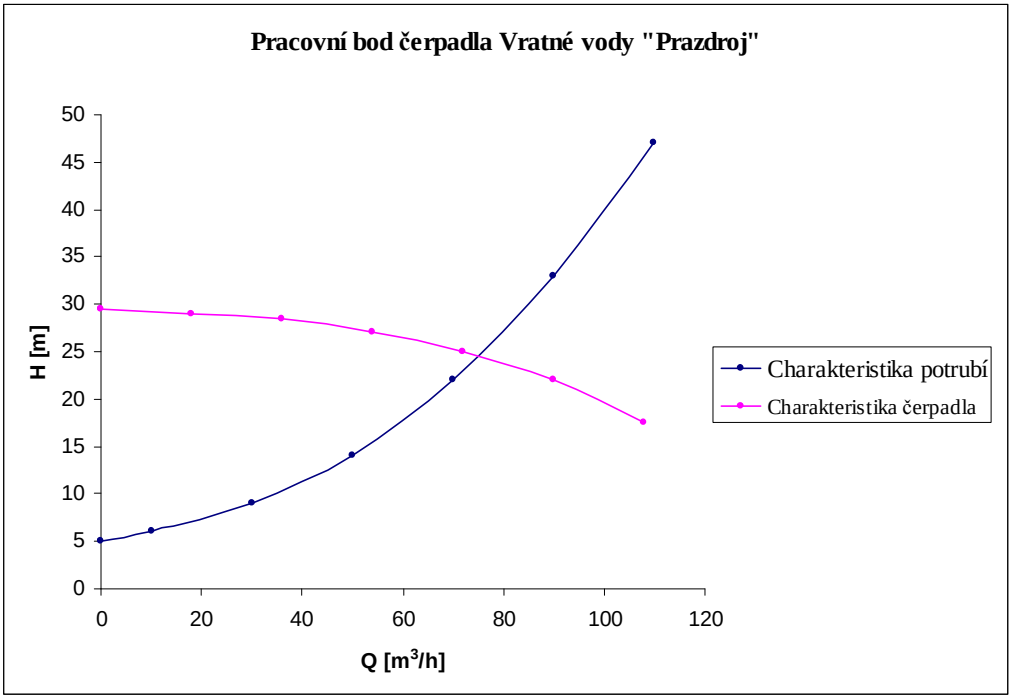
Pro tento ztrátový tlak vybereme vhodné čerpadlo.

Typ čerpadla: META-PLUS 16 100-80-160-26-L[23]

Sací hrdlo DN 100 od PN 1 až do PN 16
Výtlačné hrdlo DN 80 od PN 2 až do PN 16
Oběžné kolo o průměru 153 mm
Příkon do 15 kW
Pohon patkovým elektromotorem
Hnací síla se přenáší pomocí pružné spojky - pružná spojka s mezikusem
Soustrojí na společném rámu, svařovaném
Dodací lhůta 2 – 3 týdny

Čerpadlo bude potřebovat přechodku z DN 80 na DN 150

Obrázek č. 09 znázorňuje pracovní bod čerpadla META-PLUS Vratné vody „Prazdroj“. Další podrobnější charakteristiky naleznete v příloze (**Příloha 7**).



Obr. č. 09.: Pracovní bod čerpadla

Čerpadla budou využita dvě. Jedno pracovní a druhé havarijní.

6.2.2 Pevnost potrubí Vratné větve „Prazdroj“

Z materiálových charakteristik oceli a provozního tlaku v potrubí zjistíme tloušťku potrubí.

Materiál potrubí: 1.4301 – Stejný výpočet jako u vratného potrubí odběrného místa „Gambrinus“

Pracovní tlak čerpadla je 4 bary.

Minimální tloušťka stěny pro d_{nP} = 150 mm je: $e_m = \dfrac{0{,}4.150}{2.114{,}667.0{,}7 - 0{,}4} = 0{,}375\ mm$

Volená tloušťka stěny u d_{nP} = 150 mm je e_P = 2 mm.

Tyto tloušťky stěn jsou vybrány s ohledem na výrobní nepřesnost (c = 0,2 mm), abraze a eroze oceli čerpanými pevnými částicemi nepředpokládáme vzhledem k hustotě částic, která je několikanásobně menší jako u oceli.

6.2.3 Objem pracovních nádob O_P a R_P a reálná potřeba vody

Stejná úvaha jako u výpočtu objemů pracovních nádob odběrného místa „Prazdroj“. Jen objem rozplavovací vody je rozdílný.

Objem potřebný pro tří minutový chod s 80% plněním:

$$V_{RG} = \frac{\dot{V}_{čP}.3.60.0,8}{1\,000}\,[m^3]$$

$\dot{V}_{čP}$ - průtok vratným čerpadlem (22,00 l/s)

$$V_{RP} = \frac{22.3.60.0,8}{1\,000} \approx 4,752\ m^3$$

V tomto případě využijeme 5 000 l nádrž.

Objem pracovní nádrže O_P potřebný pro tří minutový chod s 80% plněním:

$$V_{OP} = \frac{22,00.3.60.0,8}{1\,000} \approx 4,752\ m^3$$

Nádrž na vodu volena 8 000 l. Tedy s účinným objemem 6 400 l.

Reálná potřeba vody:

Je to množství vody, která zaplní na požadovaný stav pracovní nádrže O_G a R_G a celou délku potrubí.

$$V_{rpv} = V_{OP} + V_{RP} + V_{VV} + V_{DV}\ [m^3]$$

V_{VV} – objem vody ve Vratné větvi [m^3]

$$V_{VV} = \frac{p.d_n^{\ 2}}{4}.L = \frac{p.0,150^2}{4}.1\,260 \approx 22,27\ m^3$$

V_{DV} – objem vody v Dopravní větvi [m^3]; V_{DV} = 22,27 m^3 (Dopravní větev má stejnou délku i průměr potrubí)

$$V_{rpv} = 4 + 4 + 22,27 + 22,27 \approx 52,54\ m^3$$

6.2.4 Čerpání rozplaveného pivovarského mláta z odběrného místa „Prazdroj“ *(od hrdla čerpadla po výstup na odvodnění):*

Pro čerpání rozplaveného pivovarského mláta na 5 hm. % z odběrného místa „Prazdroj“, platí stejná reologie i se stejným komentářem, jako pro čerpání pivovarského mláta z odběrného místa „Gambrinus“.

6.2.5 Tlakové ztráty při průtoku suspenze Dopravní větví „Prazdroj“

Vzorce opakující se z předchozích podkapitol nebudou dále uváděny.

Objem, který zaujímá suspenze, a který je nutno přečerpat při určité teplotě, se nalézá v tabulce **č. T24.** Kde jsou také vypočtené hodnoty zvýšení objemu vody v důsledku přidání mláta.

$$m_{SP} = m_{dP}.1\,000.m_{1kgP}.(1+z_v) = 180.1\,000.2{,}960.(1+0{,}3096) = 713\,200\ kg$$

Tabulka č. T24: Závislost změny objemu rozplavovací vodě na teplotě – 5% sušina

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
ρ_v [kgm^{-3}]	999,973	999,701	998,205	995,651	992,220	988,040	983,200	977,760
z_v [%]	31,67	31,66	31,61	31,53	31,42	31,29	31,13	30,96
$V_{S5,den}$ [m^3.7h.$^{-1}$]	701,06	701,21	702	703,4	705,2	707,5	710,1	713,2

Toto množství vztáhneme na hodinový průtok (**tabulka č. T25**):

Tabulka č. T25: Čerpané množství suspenze za hodinu

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
$\dot{V}_{S5,i}$ [m^3.hod^{-1}]	100,15	100,17	100,29	100,48	100,75	101,07	101,45	101,88

Průměr potrubí a průtočná rychlost vody:

K výpočtu využijeme stejný postup jako při stanovování průměru potrubí Vratné větve.

Zvolíme rychlost proudění suspenze potrubím $v_S = 1\ m.s^{-1}$

Za objemový průtok $\dot{V}_{S5,i}$ vybereme ten největší možný, potom bude průměr potrubí:

$$d_h = \sqrt{\frac{4.\dot{V}_{S,70}}{p.v_S}} = \sqrt{\frac{4.101{,}88}{p.1.3\,600}} \approx 0{,}188\ m$$

Pro vypočtené průměry potrubí vybereme nejbližší normalizované potrubí.

$d_h \Rightarrow$ vnitřní průměr d_{nS} = 150 mm.

Přepočet rychlosti proudění suspenze pro vybraný průměr potrubí:

$$v_S = \frac{\dot{V}_{SP,70}}{\frac{p d_{nS}^{\ 2}}{4}} = \frac{4.101{,}88}{p.0{,}150^2.3\,600} \approx 1{,}575\ m.s^{-1}$$

Tato rychlost nemusí odpovídat takové rychlosti, aby udržela částice pivovarského mláta ve vznosu. Proto musíme vypočítat tzv. Kritickou rychlost.

6.2.6 Stanovení kritické rychlosti

Je to taková rychlost, při které se částice pevné hmoty udrží ve vznosu, nebo se pohybují přískoky (saltací). Zvýšením průtočné rychlosti nad tuto kritickou rychlost udržíme částice pivovarského mláta ve vznosu[5].
K jejímu vypočtení však potřebujeme znát několik následujících údajů:

Stanovení středního průměru částic

Výpočet středního průměru částic byl již proveden výše, proto je uvedena jen tabulku **č. T26**, ve které naleznete výsledky výpočtů:

Tabulka č. T26: Střední průměry a zastoupení částic frakcí

Rozmezí průměrů frakce	Střední průměr frakce	Zastoupení
$d_{2\text{-dez}}$ = 2 až 7,52 mm	4,76 mm	62,3 %
d_1 = 2 až 1 mm	1,5 mm	4,9 %
$d_{0,5}$ = 1 až 0,5 mm	0,75 mm	4,9 %
$d_{0,25}$ = 0,5 až 0,25 mm	0,375 mm	4,9 %
$d_{0,125}$ = 0,25 až 0,125 mm	0,1875 mm	3,3 %
d_{filtr} = 0,125 až 0 mm	0,0625 mm	19,7 %

Výpočet střední usazovací rychlosti

Střední usazovací rychlost částic je stejná jako v předchozích výpočtech. Můžeme Tedy vynechat i výpočet objemové koncentrace suspenze.
Střední rychlost usazování pro určitou teplotu je v tabulce **č. T27**.

Tabulka č. T27: Přehled středních usazovacích rychlostí

T_S [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
u_s [m.s^{-1}]	0,03	0,0284	0,0284	0,028	0,0278	0,027	0,0265	0,026

Následuje tabulka **č. T28** s kritickou rychlostí pro určitou teplotu a hmotnostní objem sušiny, která je přepočtena na průměr potrubí d_{nP} = 150 mm:

Tabulka č. T28: Kritická rychlost dle teploty suspenze

T_S [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
v_{kr}	0,525	0,514	0,52	0,524	0,527	0,535	0,537	0,546

Pro zvolený průměr potrubí (d_{nS} = 150 mm) a objemový průtok suspenze byla stanovena rychlost v potrubí (pro nejnižší průtok) v_4 = 1,575 m.s^{-1}. Z toho vyplívá, že rychlost proudění suspenze je téměř třikrát větší jako rychlost kritická.

Jelikož byly výpočty podrobeny několika zjednodušením a vypočtená rychlost se může od skutečnosti lišit, nebude se snižovat rychlost proudění v potrubí popř. průměr potrubí.

Po výpočtu kritické rychlosti bude stanovena **tlaková ztráta Dopravní větve „Prazdroj“** pro rychlosti proudění suspenze z tabulky **č. T29**.

Jako u výpočtů pro vratnou vodu i zde bude stanoveno Reynoldsovo kritérium.

Stanovení kinematické viskozity z dynamické viskozity:

$$u_S = \frac{h_S}{r_{sm}} = \frac{0{,}13}{1\,012} = 0{,}1285\ m^2.s^{-1}$$

η_S – dynamická viskozita suspenze [Pa.s]
ρ_{sm} – hustota směsi [kg.m^{-3}]

$$\mathrm{Re}_S = \frac{1{,}575.0{,}150.1\,012}{0{,}1285} = 1\,841 \Rightarrow \text{ laminární proudění}$$

Re_S – Reynoldsovo kritérium pro suspenze [-]

Tlaková ztráta vratné větve:

Tlaková ztráta místními odpory vratné větve:

Tlakové ztráty místními odpory nejsou závislé na viskozitě suspenze, proto jsou v tabulce **č. T29** uváděny v celém zvoleném teplotním rozsahu.

Vřazené místní odpory do potrubní trasy, jsou stejné jako u Vratné větve.

Tabulka č. T29: Tlaková ztráta místními odpory prouděním suspenze

T_v [ºC]	4	10	20	30	40	50	60	70
ρ_v [kgm^{-3}]	1 013	1 013	1 012	1 010	1 007	1 004	1 000	996
v_S [m.s^{-1}]	1,575	1,575	1,577	1,580	1,584	1,589	1,595	1,602
$\Delta p_{x\,5\%}$ [Pa]	21 993	21 993	22 027	22 067	22 113	22 187	22 265	22 371

$$\Delta p_x = \Sigma x.\frac{v_S^{\ 2}}{2}.r = 17{,}504.\frac{1{,}577^2}{2}.1\,012 \approx 22\,027\ Pa$$

Tlaková ztráta v potrubí dopravní větve:

Výpočet tlakových ztrát je stejný jako u Vratné větve, ale s tím rozdílem, že zde probíhá proudění laminárně, proto lze součinitel tlakových ztrát stanovit ze vztahu:

$$l_{DP} = \frac{64}{1\,841} = 0{,}0348$$

Pak je tlaková ztráta v rovných úsecích potrubí:

$$\Delta p_{zt} = 0{,}0348.\frac{1\,260}{0{,}15}.\frac{1{,}577^2}{2}.1\,012 = 367\,851\ Pa$$

Celková tlaková ztráta při 20 ºC:

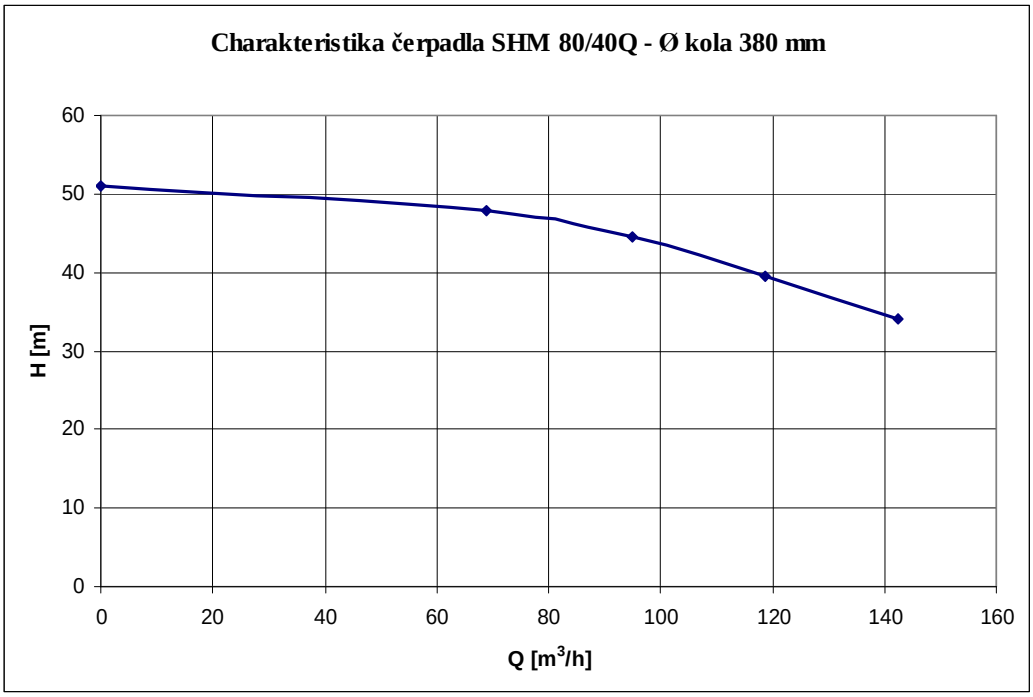
$$\Delta p_{CS} = \Delta p_{zt} + \Delta p_x = 22\,027 + 367\,851 = 389\,878\ Pa$$

Podle největší celkové tlakové ztráty a výtlačné výšky nalezneme vhodné čerpadlo. Zde si musíme dávat pozor, protože výtlačná výška a účinnost čerpadla bude odlišná od čerpání vody.

Typ čerpadla: SHM 80/40Q[27], průměr oběžného kola 380
Sací hrdlo DN 100
Výtlačné hrdlo DN 80
Výkon 22 kW
Dodací lhůta 13 týdnů

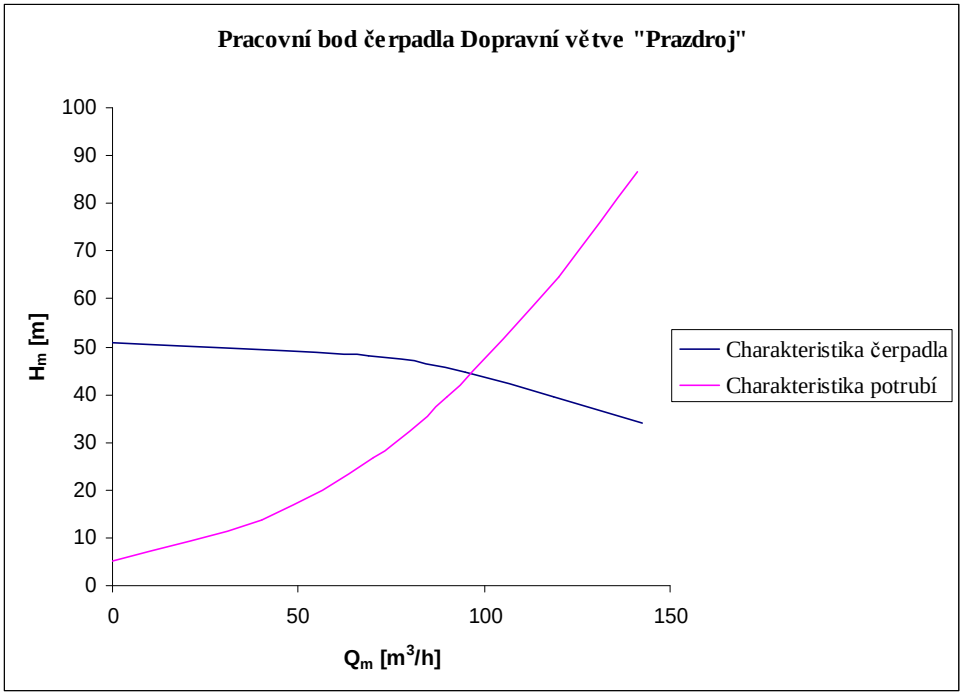
Čerpadlo bude potřebovat přechodku z DN 80 na DN 150

H – Q charakteristiky čerpadla stanovené pro vodu (**Příloha 8**) musíme převést na H – Q charakteristiky pro suspenzi dle [1], která bude tímto čerpadlem dopravována.
Převedené H - Q charakteristiky lze vidět na následujícím obrázku **č. 10**



Obr. č. 10: Charakteristika čerpadla přepočtená pro suspenzi

Na **obr. č. 11** vidíme pracovní bod čerpadla SHM 80/40Q dopravní větve „Prazdroj“. Další podrobnější charakteristiky (stanoveno pro vodu) naleznete v příloze (**Příloha 8**).



Obr. č. 11: Pracovní bod čerpadla

Čerpadla budou dvě, jedno pracuje, druhé je v záloze.

6.3 Tepelná roztažnost potrubní trasy:

Všeobecné informace:

Technické informace oceli [28]*:*

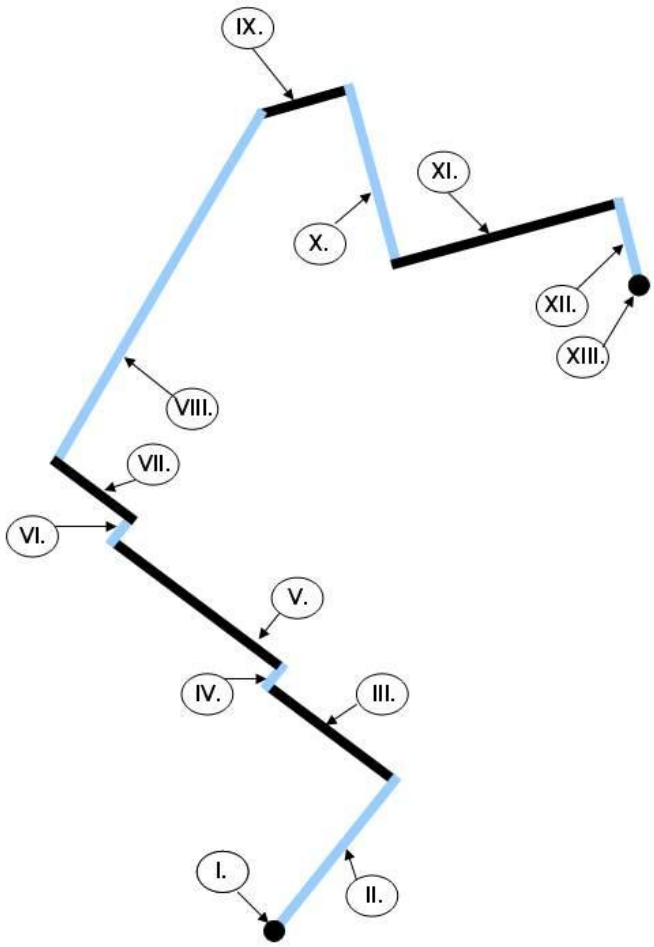
Konstrukční materiál Chrom-niklová ocel 1.4301 (DIN EN 10088)
Součinitel teplotní roztažnost – 0,016 mm/m.K
Tepelná vodivost trubky – 15 W/m.K

Předpoklady v montáži a dopravovaném mediu:

Maximální teplota v potrubí cca – 70 ºC
Teplota montáže (předpoklad) – 20 ºC
Uvažujeme rozdíl teplot (liší se od skutečnosti) – 100 ºC

Odběrné místo „Gambrinus“:

Kompenzace úseků (**obr. č. 12**) jsou provedeny stejným způsobem jak na větvi Vratné vody tak i na Dopravní větvi.



Obr. č. 12: Schéma rozdělení potrubní trasy na úseky k výpočtu tepelných roztažností – odběrné místo „Gambrinus“

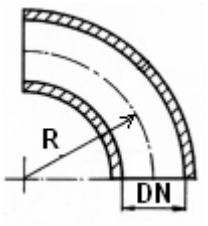
Předpoklady pro výpočet počtu kusů kompenzátorů a teplotní roztažnosti oceli:

- Všechny oblouky a kolena upevněny bez možnosti posuvu, kompenzátor hned za pevné uložení.
- Dlouhé rovné části potrubí (do 52 m) kompenzovány na začátku a na konci úseku. Uprostřed pevné spojení s konstrukcí.
- Kolena v úseku IV. a VI. (**obr. č. 18**) upevnit napevno na konci úseku III. respektive V. a na začátku úseku V. respektive VII.
  Kompenzátory ve zmiňovaných úsecích nebudou (příliš krátký úsek).
- Oblouk mezi úsekem VIII. a IX pevně upevnit pokud to bude možné.
- Úsek VIII. rozdělen na 9 částí.
- V úseku VII.a IX. bude kompenzátor uprostřed.

Výpočet tepelné roztažnosti oblouku / kolena[29]*:*

Rozdíl mezi obloukem a kolenem je patrný z **obr. č. 13** a tabulky **č. T30**.

Obr. č. 13: 90º ohyb potrubí
Rádius 1,5 DN – koleno
Rádius 3,0 DN – oblouk



$$\Delta X = X_0 . g . \Delta T \; [mm]$$

ΔX – teplotní roztažnost [mm]
X_{0ok} – rameno kolena / oblouku ovlivněné teplotou [m]
g – součinitel teplotní roztažnosti oceli [$mm.m^{-1}.K^{-1}$]

$$\Delta X = 2.(3.DN).g.\Delta T = 2.(3.0{,}150).0{,}016.100 = 1{,}44 \; mm$$

Tabulka č. T30: Tepelná roztažnosti kolen a oblouků pro DN 150

Druh	Roztažnost [mm]- DN 150 mm	Počet [ks]
Koleno	1,44	6
Oblouk	0,72	4

Oblouky jiných úhlů (jak 90º) by měly být pevně uchyceny tak, aby jejich ramena byla co nejmenší, ale aby zajišťovala kompenzátorům jenom axiální posuv od rovného potrubí.

Výpočet tepelné roztažnosti jednotlivých úseků[29]*:*

$$\Delta X = X_{0,i} . g . \Delta T \; [mm]$$

ΔX – teplotní roztažnost [mm]
$X_{0,i}$ – úsek ovlivněný teplotou [m]
g – součinitel teplotní roztažnosti oceli [mm/m.K]

$$\Delta X = X_{0,I.} . g . \Delta T = 5.0{,}016.100 = 8 \; mm$$

Velikost prodloužení a počet užitých kompenzátorů na určité úseky, u odběrného místa „Gambrinus“, jsou v následující tabulce **č. T31**.

Tabulka č. T31: Tepelná roztažnosti jednotlivých úseků

Číslo úseku	Délka [m]	Rozdíl teplot [K]	Prodloužení [mm]	Počet kompenzátorů (± axiální posuv)	Poznámka:
I. / XIII.	5	100	**8**	1 (12,5)	Vertikální potrubí
II.	34	100	**54,4**	2 (37,5)	Horizontální potrubí
III.	28	100	**44,8**	2 (37,5)	
IV. / VI.	1	100	**1,6**	Bez kompenzace.	
V.	52	100	**83,2**	2 (50)	
VII.	6	100	**9,6**	1 (25)	
VIII.	244	100	**390,4**	10 (50)	
IX.	13	100	**20,8**	1 (37,5)	
X.	47	100	**75,2**	2 (50)	
XI.	77	100	**123,2**	3 (50)	
XII.	20	100	**32**	2 (25)	

Je využito osových kompenzátorů z axiálním posuvem 12,5 mm, 25 mm, 37,5 m a 50 mm.

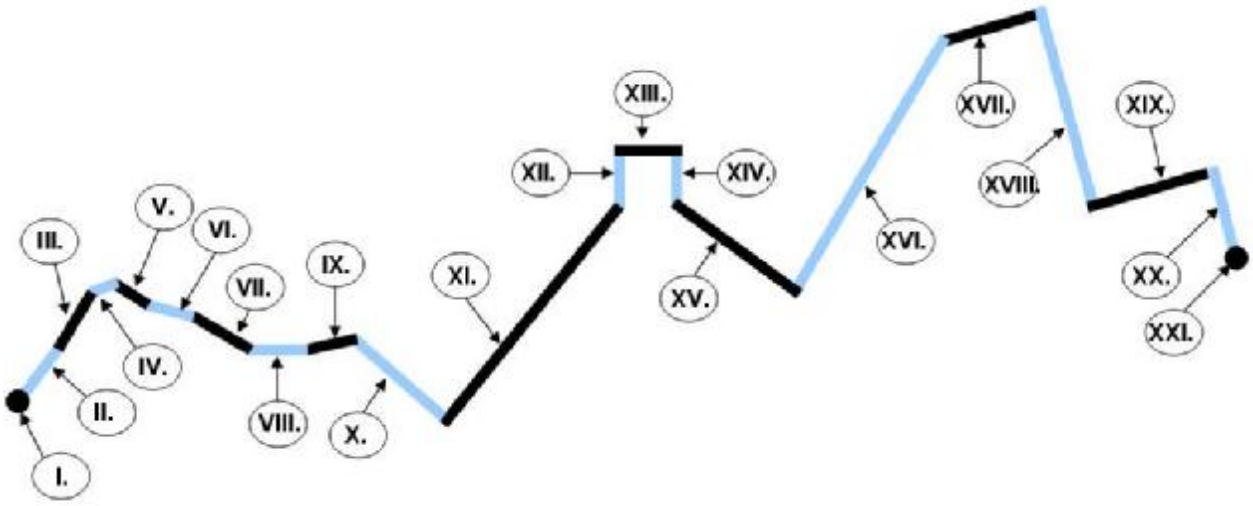
Jak bylo uvedeno v bodě: *Předpoklady pro výpočet počtu kusů kompenzátorů a teplotní roztažnosti oceli;* Úsek VIII. rozdělíme na 9 částí. Na vzniklé prodloužení vlivem teplotní roztažnosti využijeme 10 osových kompenzátorů s axiálním posuvem 50 mm.

$$X_{K,AX} = \frac{\Delta X_{VIII}}{K_{AX\,50}} = \frac{390,4}{50} \approx 7,81 \Rightarrow 10\ ks$$

$X_{K,AX}$ – Potřebný počet axiálních kompenzátorů [ks]
X_{VIII} – Prodloužení vlivem tepelné roztažnosti v úseku VIII. [mm].
K_{AX50} – axiální posuv jednoho kompenzátoru (v tomto případě ± 50 mm) [mm].

Odběrné místo „Prazdroj“:

Kompenzace úseků (**obr. č. 14**) jsou provedeny stejným způsobem jako na větvi Vratné vody tak i na Dopravní větvi.



Obr. č. 14: Schéma rozdělení potrubní trasy na úseky k výpočtu tepelných roztažností – odběrné místo „Prazdroj“

Předpoklady pro výpočet počtu kusů kompenzátorů a teplotní roztažnosti oceli:

- Všechny oblouky a kolena, jejichž roztažnost se nalézá v tabulce **č. T32,** upevněna bez možnosti posuvu, kompenzátor hned za pevné uložení.
- Pokud není stanoveno jinak, všechny úseky kompenzovat na začátku a na konci, za předpokladu pevného uložení oblouků a kolen.
- Oblouk mezi úsekem II. a III. Neukládat napevno. Tyto dva úseky kompenzovat jako celek.
- Úsek IV. kompenzovat uprostřed.
- Úsek X. rozdělen na 3 díly z toho plyne použití 4 kompenzátorů.
- Úsek XII rozdělen na 2 díly ⇒ 3 kompenzátory.
- Úsek XV rozdělen na 6 dílů ⇒ 7 kompenzátorů.

§ Zbylé úseky (XVI až XX) kompenzovány jak je popsáno v podkapitole ***Odběrné místo „Gambrinus.*** Shodují se z úseky VIII. až XII.

Výpočet tepelné roztažnosti oblouku / kolena[29]*:*

$$\Delta X = X_0 . g . \Delta T \; [mm]$$

ΔX – teplotní roztažnost [mm]
X_{0ok} – rameno kolena / oblouku ovlivněné teplotou [m]
g – součinitel teplotní roztažnosti oceli [mm/m.K]

$$\Delta X = 2.(3.DN).g . \Delta T = 2.(3.0{,}150).0{,}016.100 = 1{,}44 \; mm$$

Tabulka č. T32: Tepelná roztažnosti kolen a oblouků pro DN 150

Druh	Roztažnost [mm] DN 150 mm	Počet [ks]
Oblouk	1,44	9

Oblouky jiných úhlů (jak 90º) by měly být pevně uchyceny tak, aby jejich ramena byla co nejmenší, ale aby zajišťovala kompenzátorům jenom axiální posuv od rovného potrubí.

Výpočet tepelné roztažnosti jednotlivých úseků[29]*:*

$$\Delta X = X_{0,i} . g . \Delta T \; [mm]$$

ΔX – teplotní roztažnost [mm]
$X_{0,i}$ – úsek ovlivněný teplotou [m]
g – součinitel teplotní roztažnosti oceli [mm/m.K]

$$\Delta X = X_{0,I.} . g . \Delta T = 22.0{,}016.100 = 35{,}2 \; mm$$

Velikost prodloužení a počet užitých kompenzátorů na určité úseky, u odběrného místa „Prazdroj“, jsou v následující tabulce **č. T33**.

Tabulka č. T33: Tepelná roztažnosti jednotlivých úseků

Číslo úseku	Délka [m]	Rozdíl teplot [K]	Prodloužení [mm]	Počet kompenzátorů (± axiální posuv)	Poznámka:
I. / XXI.	5	100	**8**	1 (12,5)	Vertikální potrubí
II.	29	100	**46,4**	2 (50)	Horizontální potrubí
III.	22	100	**35,2**		
IV.	16	100	**25,6**	1 (37,5)	
V.	25	100	**40**	2 (25)	
VI.	27	100	**43,2**	2 (25)	
VII.	26	100	**41,6**	2 (25)	
VIII.	21	100	**33,6**	2 (25)	
IX.	21	100	**33,6**	2 (25)	
X.	110	100	**176**	4 (50)	
XI.	280	100	**448**	10 (50)	
XII.	37	100	**59,2**	2 (37,5)	
XIII.	73	100	**116,8**	3 (50)	
XIV.	46	100	**73,6**	2 (50)	
XV.	185	100	**296**	7 (50)	
XVI.	244	100	**390,4**	10 (50)	
XVII.	13	100	**20,8**	1 (37,5)	
XVIII.	47	100	**75,2**	2 (50)	
XIX.	77	100	**123,2**	3 (50)	
XX.	20	100	**32**	2 (25)	

Je využito osových kompenzátorů z axiálním posuvem 12,5 mm, 25 mm, 37,5 m a 50 mm.

$$X_{K,AX} = \frac{\Delta X_{VIII}}{K_{AX50}} = \frac{33,6}{25} \approx 1,344 \Rightarrow 2\ ks$$

$X_{K,AX}$ – Potřebný počet axiálních kompenzátorů [ks]
X_{VIII} – Prodloužení vlivem tepelné roztažnosti v úseku VIII. [mm].
K_{AX50} – axiální posuv jednoho kompenzátoru (v tomto případě ± 25 mm) [mm].

6.4 Návrh tloušťky tepelné izolace a ztráty tepla

Byly vytvořeny dva výpočtové moduly:

1) Zjištění tepelného ztrátového toku z neizolovaného potrubí při proudění vody
2) Stanovení potřebné tloušťky izolace, která ochrání potrubí před zamrznutím po skončení hydraulické dopravy do druhého dne.

Pro další úvahu postačí ukázat výpočet pro Vratnou větev odběrného místa „Gambrinus“, která má nejmenší průtoky vody a tudíž v sobě nese nejméně tepelné energie (**tabulka č. T34**).

Tepelná energie nesená vodou:

$$Q_v = \dot{m}_v . c_p . (t_i + 273{,}15) [W]$$

$\dot{m}_v$ - hmotnostní průtok vody [kg.s^{-1}] – $\dot{m}_v$ = 19,485 kg.s^{-1}
c_p – měrná tepelná kapacita [kJ.kg^{-1}.K^{-1}]
t_i – teplota vody [ºC]

Tabulka č. T34: Tepelný výkon přenášený vodou odběrného místa „Gambrinus“

T [ºC]	10	20	30	40
c_p [kJ.kg^{-1}.K^{-1}] [30]	4,1947	4,1817	4,1763	4,1755
Q_v [W]	817 347	1 629 628	2 441 286	3 254 425
T [ºC]	50	60	70	
c_p [kJ.kg^{-1}.K^{-1}] [30]	4,1776	4,1816	4,1868	
Q_v [W]	4 070 076	4 888 768	5 710 656	

Bod 1.: Výpočtový modul stanovení ztrátového toku

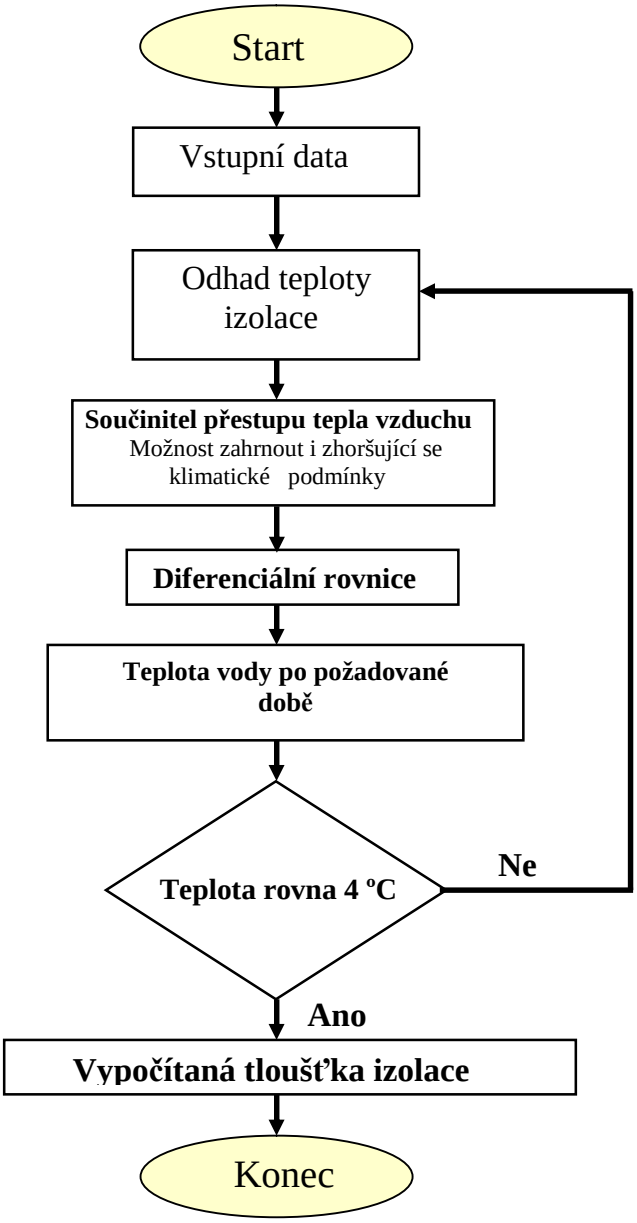
Tento výpočtový modul (**Příloha 9**) ověřuje, zda za zvolených podmínek (Volná konvekce, okolní teplota t_{vz} = -25 ºC, teplota proudící vody t_v = 10 ºC) nedojde k zamrzání neizolovaného potrubí. To by se mohlo stát v tom případě, že ztrátové teplo Q_{vz} bude větší jak teplo nesené vodou Q_v, respektive teplo, které může odejít do okolí, aby výstupní teplota vody byla minimálně 4 ºC.

Bylo vypočteno:
Teplo nesené vodou: Qv = 490 718 W
Teplo ztrátové Q_{vz} = 46 819 W

Za zvolených podmínek nedojde k zamrzání vody při hydraulické dopravě.

Bod 2.: Výpočtový modul stanovení tloušťky izolace

Výpočtový modul (**Příloha 9**), jehož vývojový diagram lze vidět na **obr. 15**, stanovuje vhodnou povrchovou teplotu izolace pro ochlazení stojaté vody v potrubí o teplotě t_1 = 70 ºC (po skončení hydraulické dopravě a průplachu) na minimální teplotu t_2 = 4 ºC v době mezi ukončením a rozběhnutím čerpání, tj. šestnáct a půl hodiny (59 400 s).



Obr. č. 15: Vývojový diagram výpočtu potřebné tloušťky izolace pro udržení teploty nad bodem mrazu po dobu šestnácti a půl hodiny.

Tento modul využívá pro řešení diferenciální rovnici dle [33] jenž má při zanedbání tloušťky stěny trubky tvar

$$\frac{dt}{dt} = \frac{a_v.A.(t_{vz} - t_p(t))}{V_v.r_v.c_{pv}}$$

v níž:

$\frac{dt}{dt}$ - změna teploty v čase

α_v – součinitel přestupu tepla do okolního prostředí (vzduchu) [$W.m^{-2}.K^{-1}$]

A – plocha výměny tepla [m^2]

t_p – teplota vody u stěny (povrchu) trubky [ºC]

t_{vz} – teplota okolního vzduchu [ºC]

V_{vp} – objem vody v potrubí [m^3]
ρ_v – hustota vody [$kg.m^{-3}$]
c_{pv} – měrná tepelná kapacita vody [$J.kg^{-1}.K^{-1}$]

Rovnice popisuje časovou změnu teploty stojaté vody (uzavřené) v potrubí v závislosti na ztrátách tepla do okolí. Propojení této rovnice s výpočtem ztrát tepla do okolí (výpočet součinitele přestupu tepla do okolního vzduchu α_v, (viz **obr. č.21**) umožňuje stanovit potřebnou tloušťku izolace pro různé případy klimatických podmínek, zejména:

a) při volné konvekci (tj. ideální podmínky, bezvětří, vzduch v okolí potrubí se nepohybuje);
b) při zhoršených klimatických podmínkách (vliv větru).

Po spuštění a dokončení výpočtu získáme tyto hlavní výsledky:

Při volné konvekci za ideálních podmínek (bezvětří) je potřeba, pro udržení ochlazení vody na 4°C v požadované době, dosáhnout teploty na povrchu izolace cca -22,25 °C, z čehož plyne užití izolace s λ_{iz} = 0,038 $W.m^{-1}.K^{-1}$ [32] o tloušťce cca 42 cm.

Při zhoršených klimatických podmínkách je situace výrazně odlišná (horší). Pokud se součinitel přestupu tepla zvýší 1,5 krát, tedy na α_{vz} = 4,463 $W.m^{-2}.K^{-1}$, je potřeba dosáhnout na povrchu izolace teplotu cca -24,47°C. Tomu odpovídá izolace o tloušťce 2,286 m.

Podrobnější výsledky a jednotlivé výpočty naleznete v příloze **(Příloha 9).**

Shrnutí výsledků jednotlivých modulů:

I když při průtoku suspenze nebo vody potrubí nezamrzá, nemůže být bez patřičné ochrany a to z důvodů šaržovitého provozu čerpání pivovarského mláta a výskytu vody i po přerušení hydraulické dopravy.

Samozřejmě nebude využita ani ekonomicky neúnosná varianta několikametrové vrstvy izolace.

Ekonomicky optimální řešení se musí hledat v kombinaci využití temperování potrubí odporovým drátem v době nevyužívání potrubních tras a izolací, která vytvořené teplo udrží na povrchu potrubí. Bude platit rovnost mezi ztrátami do okolí a vytvořeným teplem odporového drátu. Nebo bude dodávat jen tolik tepla, aby voda za dobu přerušení dopravy nezamrzla v potrubí.

Výběr odporového temperování potrubí není jednoduchou záležitostí a musí se dále konzultovat s výrobcem nebo distributorem.

7 STANOVENÍ INVESTIČNÍCH A PROVOZNÍCH NÁKLADŮ

Stanovení přesných provozních a investičních nákladů nebude, s ohledem na rozsah této práce, zcela možné. A to z několika důvodů:

- Není známa cena projektové části.
- Není známa cena konstrukčních prací.
- Není známa cena některých částí technologie (absence odpovědí na poptávku).

Investiční náklady:

Tabulka č. T35: Známé nebo odhadnuté investiční náklady [23], [27], [31]

Popis	Množ.	Cena [Kč]	Poznámka:
META PLUS 16-LC 15kW, 2925ot.	4 ks	226 640	provedení s mechanickou ucpávkou, spojkou, základ. deskou a elektromotorem
SHM 80/40Q, průměr oběžného kola 324 mm	2 ks	160 880	provedení s motorem na základ. rámu
SHM 80/40Q, průměr oběžného kola 380 mm	2 ks	177 380	provedení s motorem na základ. rámu
Nerezové potrubí 154x2 mm	3 660 m	2 529 060	cena poptána v Nerezové materiály s.r.o
Izolace potrubí; Rockwool KLIMAROCK – tl. 100 mm	1 771 m^2	949 256	kvalifikovaný odhad
Izolace pracovních nádrží; Rockwool WM 105, tl.100 mm	32 m^2	16 416	kvalifikovaný odhad
Kulový kohout uzavírací bez elektrického servopohonu	16 ks	192 000	kvalifikovaný odhad
Pracovní nádrž 5 000 l	2 ks	293 970	kvalifikovaný odhad
Pracovní nádrž 8 000 l	2 ks	321 100	kvalifikovaný odhad
Voda	81 m^3	3 726	cena za pitnou vodu
Celková cena v Kč bez DPH[4]		4 870 828	

Provozní náklady:

Předpoklad:
Čerpání probíhá 330 dní za rok při plné produkci, tj. 2310 hodin.

Tabulka č. T36: Známé provozní náklady

Popis	Množ.	Cena [Kč/rok]	Poznámka:
Elektrická energie (2 500 Kč/MWh [5])	189,42 MWh	473 550	provoz čerpadel, kvalifikovaný odhad
Celková cena v Kč bez DPH[4]		473 550	-

[4] DPH - daň z přidané hodnoty
[5] Cena elektrické energie se odvíjí od sazby a jističe, kterého je použito.

8 ZÁVĚR

Z celé práce je patrné, že pivovarské mláto rozplavené na 5 hm. % sušiny, lze bez větších problémů čerpat jak z odběrného místa „Gambrinus“, tak odběrného místa „Prazdroj“. A to i v zimních měsících díky izolaci a temperování potrubí odporovým drátem zamezujícím zamrzání vody, která v potrubí může zůstat i po přerušení hydraulické dopravy a průplachu dopravní větve.

Tato technologie je velice moderní, může být zcela automatizována a díky využití strojů a zařízení napájených elektrickou energií vyráběnou také z obnovitelných zdrojů energie, šetřící životní prostředí. V tomto ohledu je výhodnější, než spalování motorové nafty v nákladních automobilech.

Nalezením optimálního dopravního času, po který musí být určité množství mláta přečerpáno ze zásobníků ke zpracování, může snížit investiční náklady a to snížením výkonnostních nároků na čerpadla a snížením průměru potrubí.

Při případné realizaci by mělo být část úsilí zaměřeno na podrobnější stanovení kritické rychlosti a ta pak podložena řadou laboratorních zkoušek. Dále omezením části předpokladů (na základě podrobných zkoušek) užitých v této práci může být nalezeno optimálnější řešení, které by mohlo vést ke snížení investičních a provozních nákladů a zvýhodnit tento typ dopravy.

Ať bude vybrána varianta dopravy pivovarského mláta čerpáním nebo nákladní automobilovou dopravou, vždy to více či méně povede k zmírnění dopadů využívání fosilních paliv na životního prostředí. A to je více než dobře.

Seznam použité literatury

[1] MEDEK JAROSLAV: *Hydraulické pochody*, Akademické nakladatelství CERN, s. r. o. Brno, (2007)

[2] MEDEK JAROSLAV: *Mechanické pochody*, třetí přepracované vydání, PC-DIR Real, s. r.o. Brno, (1998). ISBN 80-214-1264-X

[3] KUPKA FR., HRBEK J., JANÍK J.: *Hydraulická doprava v potrubí*, SNTL Praha I, (1970)

[4] HAMPL JAN: *Cereální chemie a technologie*, SNTL/ALFA, první vydání (1970)

[5] Strojírenství 9 (1959), čísl. 9.
NOVÁK J.: *Rychlost v potrubí při hydraulické dopravě hmot*, str. 198, až 202.

[6] PŘÍHODA J., SKŘIVAN P., HRUŠKOVÁ M.: *Cereální chemie a technologie I: cereální chemie, mlýnská technologie, technologie výroby těstovin*. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2004. Str. 027. ISBN 80-7080-530-7

[7] *Cerpadlo.cz : Slovník pojmů* [online]. c2009 [cit. 2010-03-10]. Dostupné z WWW: < http://www.cerpadlo.cz/slovnik-pojmu.php>.

[8] EMIL, Jirák; EKRT, Ondřej. *Základy strojnictví : Zařízení a prostředky pro dopravu tekutin* [online]. 2008 [cit. 2010-03-13]. Dostupné z WWW: <www.vscht.cz/ufmt/cs/pomucky/jirake/docs/ZS_modul5.pps>.

[9] PRAŽÁK FRANTIŠEK: *18. Objemová čerpadla a kompresory* [online] Dostupné na: WWW: <www.sps-ko.cz/documents/SPS_prazak/18.%20OBJEMOV%C3%81%20%C4%8CERPADLA%20A%20KOMPRESORY.doc>.

[10] *Informace studentům - Katedra fyziky Přf OU* [online]. 2005 [cit. 2010-05-23]. Dostupné z WWW: <www.artemis.osu.cz/molfs/Smesi.doc>.

[11] PRUŠKA, Jan. *OS Pruška : Přednášky Mechanika hornin* [online]. 2008-05-22 [cit. 2010-05-23]. Dostupné z WWW: <departments.fsv.cvut.cz/k135/data/wp-upload/2008/05/reologie.pdf>.

[12] MICHAL, Varchola. *HYDROSTATICKÉ ČERPADLÁ : Membránové čerpadlá* [online]. Vysokoškolská učebnica : STU Bratislava, 2003 [cit. 2010-04-20]. Dostupné z WWW: <www.khs.sjf.stuba.sk/data/staff/varchola/skripta1_files/04_kapitola_2_memb.pdf>.

[13] *Čerpací a závlahová technika | DOOS s.r.o.* [online]. [cit. 2010-05-23]. Křídlová | K | Křídlové čerpadlo. Dostupné z WWW: <www.doos.cz/index.php/cinnost/12/hydrostaticka_cerpadla/kridlova>.

[14] *DISA v.o.s. : Vřetenová čerpadla SEEPEX* [online]. c2006 [cit. 2010-01-23]. Vřetenová čerpadla SEEPEX. Dostupné z WWW: <www.disa.cz/Article.asp?nDepartmentID=17&nArticleID=195&nLanguageID=1>.

[15] *Abeceda vodních pohonů* [online]. 2009 [cit. 2009-12-22]. Archimédův šroub. Dostupné z WWW: <http://mve.energetika.cz/jineturbiny/archimedes.htm>.

[16] *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001-06-06 [cit. 2009-12-19]. Technické řešení vřetenových čerpadel. Dostupné z WWW: <www.mmspektrum.com/clanek/technicke-reseni-vretenovych-cerpadel>.

[17] MICHAL, Varchola. *HYDROSTATICKÉ ČERPADLÁ : Membránové čerpadlá* [online]. Vysokoškolská učebnica : STU Bratislava, 2003 [cit. 2010-04-20]. Dostupné z WWW: <www.khs.sjf.stuba.sk/data/staff/varchola/skripta1_files/06_kapitola_3b.pdf>.

[18] *Katedra hydrauliky a hydrologie - K141* [online]. 2005-10-10 [cit. 2010-02-10]. HYA - cvičení. Dostupné z WWW: <hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Predmety/Hya/ke_stazeni/cviceni/laboratore/tabulky.pdf>.

[19] *ConVERTER* [online]. c2002 [cit. 2010-01-09]. Viskozita vody (kinematická a dynamická). Dostupné z WWW: <www.converter.cz/tabulky/viskozita-vody.htm>.
[20] *ÚChI* [online]. 2009-09-15 [cit. 2010-05-23]. ÚChI - výuka: CHI II. Dostupné z WWW: <http://www.vscht.cz/uchi/ped/chi/chi.ii.ulohy.k03.tok.tekutin.pdf>.
[21] *Brandnew Chapters* [online]. 2006-09-28 [cit. 2010-05-01]. Toprak Home Page. Dostupné z WWW: <web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/friction.html>.
[22] JIROUT, Tomáš. *FS ČVUT: FS* [online]. 2006-10-06 [cit. 2010-02-21]. Tomáš JIROUT - Home page. Dostupné z WWW: <users.fs.cvut.cz/~jiroutom/vyuka/hmz/hmz1.pdf>.
[23] *ISH&MSA ČERPADLA a.s. Olomouc* [online]. c2005 [cit. 2010-05-23]. ISH&MSA ČERPADLA a.s. Olomouc - META-PLUS. Dostupné z WWW: <www.cerpadla.cz>.
[24] *BS design* [online]. 2009-12-03 [cit. 2010-04-28]. BS design - Výpočty. Dostupné z WWW: <www.bsdesign.cz/data/skorepina%20tlakove%20nadoby.pdf>.
[25] *GEODIS © Seznam.cz* [online]. 2009 [cit. c2009-11-30]. Mapy.cz. Dostupné z WWW: <http://www.mapy.cz/#mm=F@x=130699104@y=134790816@z=15>.
[26] MATOUŠEK, Václav. *Katedra hydrauliky a hydrologie* [online]. 2007 [cit. 2010-04-02]. Výuka. Dostupné z WWW: <hydraulika.fsv.cvut.cz/users/matousek/downloads/web_HY3V_12_Obtekani_a_pevne_castice_v_kapaline.pdf>
[27] SMÉKAL, Martin. *Siwatec, a.s.* [Online] 2010-05-12 [cit. 2010-05-13]. *SIWATEC, a.s.* – Výrobky. Dostupné z WWW: <www.siwatec.cz>.
[28] *Stavebniny Vaše-Stavba.cz* [online]. c2010 [cit. 2010-04-30]. Geberit Mapress systémová trubka z nerezové oceli 1.4301. Dostupné z WWW: <www.vase-stavba.cz/p/17788/geberit-mapress-systemova-trubka-z-nerezove-oceli-1-4301.html>.
[29] Tepelná roztažnost. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 6. 12. 2006, last modified on 19. 2. 2010 [cit. 2010-05-23]. Dostupné z WWW: <cs.wikipedia.org/wiki/Teplotn%C3%AD_rozta%C5%BEnost>.
[30] *Odbor termomechaniky a techniky prostředí* [online]. 2006-10-22 [cit. 2010-03-21]. Vlastnosti vody. Dostupné z WWW: <ottp.fme.vutbr.cz/vyuka/voda.htm>.
[31] KARLACH, Radim. *Úspory energie, izolace, zdravý životní styl, biopotraviny, ekologie | Nalezeno.cz* [online]. 2010-01-18 [cit. 2010-05-01]. Cena vody 2010: Kolik zaplatíme za m3?. Dostupné z WWW: <www.nazeleno.cz/energie/cena-vody-2010-kolik-zaplatime-za-m3.aspx>.
[32] *Rockwool Tepelná a protipožárná izolace* [online]. 2010 [cit. 2010-05-10]. Prospekty | Nástroje a dokumenty | Rockwool průvodce. Dostupné z WWW: <pruvodce.rockwool.cz/media/229523/rockwool%20800,880.pdf>.
[33] Jegla Z.: *Systémové inženýrství III – integrace a optimalizace*, Soubor cvičení předmětu, ÚPEI VUT FSI Brno, 2010.

Přílohy

Seznam příloh:

Příloha 1 Základní vstupní údaje pro dopravu (hydraulickou i automobilovou)
Příloha 2 Laboratorní protokol č. 1; č. 2; č. 3; č.4
Příloha 3 Týdenní produkce mláta od 4. týdne roku 2009
Příloha 4 Předpokládaná produkce mláta v roce 2010
Příloha 5 Stanovené usazovací rychlosti pro jednotlivé frakce
Příloha 6 Reologie rozplaveného mláta na 5 a 7 hm. % sušiny
Příloha 7 Charakteristika čerpadel META-PLUS firmy ISH&MSA ČERPADLA a. s. Olomouc
Příloha 8 Charakteristika a rozměry čerpadel SHM80/40Q od firmy SIWATEC a. s. Olomouc
Příloha 9 Modul stanovení ztrátového toku a Modul stanovení tloušťky izolace dle [33]

Příloha 1

Základní vstupní údaje pro dopravu (hydraulickou i automobilovou)

Parametr	**Jednotka**	**Hodnota**
obsah vody ve vzorku	hm. %	80,21
denní produkce mláta (max.)	t	320
potrubní dopravní vzdálenost ze zásobníků G.	m	570
potrubní dopravní vzdálenost ze zásobníků P. U.	m	1260
automobilová doprava ze zásobníků P. U.	m	2000
automobilová doprava ze zásobníků G.	m	700
Teplota mláta vstupujícího do zásobníků	ºC	cca 70
Účinná kapacita zásobníků – P. U.	t	2 x 150
Účinná kapacita zásobníků – G.	t	112 a 90

Příloha 2

Laboratorní protokol č. 1

Příprava suspenze pro čerpání (Rozplavení)

Vypracoval: Jaromír Hrubý 24. 03. 2010

Úvod / Zadání:

Příprava suspenze pro čerpání rozplavením je důležitá pro zjištění množství vody potřebné k rozředění pivovarnického mláta a hustoty této nové suspenze.

Použité pomůcky:

Odměrný válec - Simax 500ml : 5ml; 20 ºC; DIN B +-5,0 ml
Digitální váha – AND EK-1200 G; max. 1200 g; d = 0,1 g
Miska na odvážení mláta
Umělohmotná lžíce
Hustoměr: 1000-1050 $kg.m^{-3}$, dělení 0,5 $kg.m^{-3}$

Podmínky měření:

Teplota vody – 15 ºC
Okolní teplota – 21 ºC
Vlhkost – 60%

Postup při měření:

Nejprve si snadným výpočtem stanovíme potřebné množství vody pro vzorek 100 g mláta:

$$m_V = \frac{\left(100\frac{m_s}{100}\right) - \left(\frac{s_r m_m}{100}\right)}{\frac{s_r}{100}}$$

kde m_s je hmotnostní procento sušiny [%]
s_r je sušina v rozředěném vzorku (5 nebo 7 hmotnostních procent) [%]
m_m je hmotnost mláta před rozplavením [g]

V dalším kroku položíme odměrný válec na váhu a vynulujeme naměřený údaj. Tím docílíme toho, že vážíme jen obsah odměrného válce. Nemusíme pak složitě váhu odměrného válce odečítat.
Po přípravě suspenze, kdy připravené množství mláta smícháme s vodou, odečteme váhu rozředěné suspenze a odečteme její objem. Tím pádem můžeme vypočítat hustotu, kterou ověříme hustotu naměřenou hustoměrem.
Hustoměrem změříme hustotu tak, že mláto dostaneme mícháním do vznosu a vložíme do kádinky hustoměr. Toto měření není nějak přesné, ale alespoň budeme mít rámcovou představu o hustotě.

Vyhodnocení:

Stanovené potřebného množství vody k rozplavení mláta

Příprava 5% sušiny

Pro rozplavení 100g mláta, které má mít 5% sušiny potřebujeme 300 g vody.

Odběrné místo „Prazdroj“:

Do 100g mláta přidáno 305g vody, což je 4,935% sušina
Celkový objem po rozmíchání činí 400 ml o váze 405 g
Naměřená hustota hustoměrem při teplotě 17,5 °C je 1010kg/m^3
Vypočtená hustota: 1012,5 kg/m^3

Závěr z rozplavení a vizuálního zjištění:
Takto rozplavené mláto je možno čerpat.

Odběrné místo „Gambrinus“:

Do 100,2 g mláta přidáno 306,4 g vody, což je asi 4,929% sušina
Celkový objem po rozmíchání je 401 ml o váze 406,6 g
Naměřená hustota hustoměrem při teplotě 17,5°C je 1010 kg/m^3
Vypočtená hustota: 1013,97 kg/m^3

Závěr z rozplavení a vizuálního zjištění:
Takto rozplavené mláto je možno čerpat.

Příprava 7% sušiny

Pro rozplavení 100g mláta, které má mít 7% sušiny potřebujeme 185,7 g vody.

Odběrné místo „Prazdroj“:

Do 100g mláta přidáno 186g vody, což je 6,99% sušina
Celkový objem po rozmíchání činí 285 ml o váze 286 g
Hustoměrem nelze změřit hustotu suspenze

Závěr z rozplavení a vizuálního zjištění:
Takto rozplavené mláto je možno čerpat s úsporou vody oproti rozplavování na 5% sušinu.

Odběrné místo „Gambrinus“:

Do 100 g mláta přidáno 185,5 g vody, což je asi 7,005% sušina
Celkový objem po rozmíchání je 285 ml o váze 285,5 g
Hustoměrem nelze změřit hustotu suspenze

Závěr z rozplavení a vizuálního zjištění:
Takto rozplavené mláto je možno čerpat s úsporou vody oproti rozplavování na 5% sušinu.

Závěr:

Suspenze byla vytvářena za předpokladu, že v pivovarnickém mlátu je přesně cca 20 hm. % sušiny.

Dva první předpoklady nám ukázaly, že mláta z výroby piva Prazdroj a Gambrinus jsou prakticky stejná. Tudíž je můžeme rozplavovat stejným poměrem.

Je na nás, jak moc mláto rozplavíme. Vzhledem k poměrně rychlé sedimentaci navrhuji rozplavovat mláto na 5% sušinu. Mínusem je ovšem větší spotřeba vody a tudíž větší investiční a provozní náklady. Možné ztráty z okruhu lze nahradit vodou z pásových lisů, kde se obsah vody zmenší na 62 hm. %.

Laboratorní protokol č. 2

Sedimentace

Vypracoval: Jaromír Hrubý 24. 03. 2010

Úvod / Zadání:

Zjištění rychlosti sedimentace je důležité zejména pro vertikální potrubí, kde rychlost proudění nosného média musí překonávat sedimentační rychlost pevné fáze. Kdyby tomu tak nebylo, pevná fáze by se nikdy nedostala přes vertikální úsek potrubí. Hrozí ucpání potrubí a tím havarijní situace.

Použité pomůcky:

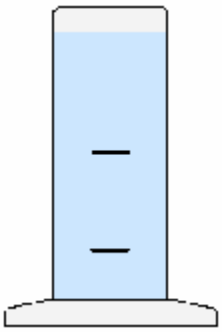
Odměrný válec - Simax 1000ml : 10ml; 20 ºC; DIN B +-10,0 ml
Stopky
Umělohmotná lžíce
Lihový fix
Pravítko

Podmínky měření:

Teplota vody – 15 ºC
Okolní teplota – 21 ºC
Vlhkost – 60%

Postup při měření:

Na odměrný válec byl fixou vyznačen úsek měření. Poté naplněn vodou až téměř po okraj. Lžící bylo nabráno libovolné množství mláta a byla opatrně vložena pod hladinu. Obrácením lžíce pod vodou zajistíte nulovou počáteční rychlost. Jakmile část vzorku protne horní rysku úseku, zapneme stopky. Vypínáme při překonání spodní rysky. Čas sedimentační rychlosti zaznamenáme.



Obr. č. 22: Schéma označení odměrného válce

Vyhodnocení:

Počet měření	**Čas** [s]	**Sedimentační rychlost** [m.s^{-1}]
1.	4,50	0,0003
2.	4,60	0,000307
3.	4,70	0,000313
4.	5,20	0,000347
5.	4,60	0,000307
6.	4,80	0,00032

Průměrný čas: 4,733333 s

Chyba měření: *http://herodes.feld.cvut.cz/mereni/chyby/chyby.php*

Aritmetický průměr:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i = \frac{4{,}5 + 4{,}6 + 4{,}7 + 5{,}2 + 4{,}6 + 4{,}8}{6} = 4{,}733s$$

Střední kvadratická chyba aritmetického průměru:

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\bar{x} - x_i\right)^2}{n(n-1)}} = 0{,}102198\text{s}$$

Pravděpodobná chyba aritmetického průměru:

$$\bar{J} = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\bar{x} - x_i\right)^2}{n(n-1)}} = 0{,}068132\text{s}$$

Krajní chyba měření:

$$\bar{k} = 3\bar{s} = 3.0{,}102198 = 0{,}306594s$$

Je to taková chyba, v jejímž rozmezí se nachází správná hodnota s pravděpodobností 99,73%

Závěr:

Ze zkoušky je zřejmé, že mláto sedimentuje velice rychle. Sedimentační rychlost mláta je 3,169014 cm.s^{-1}, což odpovídá 0.03169 m.s^{-1}.

Laboratorní protokol č. 3

Změna objemu

Vypracoval: Jaromír Hrubý 24. 03. 2010

Úvod / Zadání:

Abychom věděli, jaký objem bude mít dopravovaná suspenze, musíme zjistit o kolik procent nám vzroste objem vody potřebné k rozplavení mláta na 5% a 7% sušinu.

Použité pomůcky:

Odměrný válec - Simax 500ml : 5ml; 20 ºC; DIN B +-5,0 ml
Digitální váha – AND EK-1200 G; max. 1200 g; d = 0,1 g
Miska na odvážení mláta
Umělohmotná lžíce

Podmínky měření:

Teplota vody – 15 ºC
Okolní teplota – 21 ºC
Vlhkost – 60%

Postup stanovení změny objemu:

Nejprve si snadným výpočtem stanovíme potřebné množství vody pro vzorek 100 g mláta:

$$m_V = \frac{\left(100\frac{m_s}{100}\right) - \left(\frac{s_r m_m}{100}\right)}{\frac{s_r}{100}}$$

kde m_s je hmotnostní procento sušiny [%]
s_r je sušina v rozředěném vzorku (5 nebo 7 hmotnostních procent) [%]
m_m je hmotnost mláta před rozplavením [g]

Vypočtené množství vody nalijeme do odměrného válce a přidáme mláto. Výslednou změnu objemu odečteme ze stupnice odměrného válce.
Postup opakujeme i pro jiné suspenze s určitým obsahem mláta.

Závěr:

Objem u 5% suspenze se zvýšil o cca 31,67% a u 7% suspenze je to cca 51,91%.

Laboratorní protokol č. 4

Mokrá granulometrie

Vypracoval: Jaromír Hrubý 24. 03. 2010

Úvod / Zadání:

Zjištěním velikosti částic zastoupených v pivovarnickém mlátu můžeme použít při stanovování potřebné velikosti děr pásového lisu, aby nedocházelo k nežádoucímu propadávání částeček mláta do vylisované vody.

Použité pomůcky:

Sítovačka Retsch AS 200 control
Digitální váha – AND EK-1200 G; max. 1200 g; d = 0,1 g
Kbelík – 5 l až 10 l (dle délky analýzy)

Podmínky měření:

Teplota vody – 15 ºC
Okolní teplota – 21 ºC
Vlhkost – 60%

Postup při mokré granulometrii:

Zvolíme počet frakcí a velikost otvorů sít, které sestavíme vzestupně. Nastavíme dobu trvání analýzy a amplitudu. Na první síto s největšími oky vložíme vzorek a uzavřeme víkem. Víko připojíme hadicí k vodovodu. Vodu, která bude odtékat z přístroje zachytíme do kbelíku.
Zapneme přístroj a pustíme vodu. Po uplynutí doby trvání analýzy se přístroj vypne. Zastavíme vodu. Necháme z přístroje odtéci vodu z přístroje. Odstraníme hadici a víko. Jednotlivé frakce vysušíme a zvážíme. Vodu zachycenou v kbelíku přefiltrujeme, abychom zjistili, kolik materiálu nám prošlo bez zachycení na sítech.

Vyhodnocení:

V našem případě byly vzorky vysušeny přímo na sítech. Čas analýzy 2 min. Z toho jedna minuta na vlastní analýzu a druhá minuta na lepší odtok vody z přístroje. Amplituda přístroje nastavena na 2,00 m/„g“.

Velikost otvorů sít	Váha mláta se sítem [g]	Váha misky [g]	Rozdíl [g]	Zastoupení [%]
2 mm	378,1	370,5	7,6	62,29
1 mm	332,1	331,5	0,6	4,91
500 µm	307,8	307,2	0,6	4,91
250 µm	279,6	279,0	0,6	4,91
125 µm	270,3	269,9	0,4	3,28
		Filtrace	2,4	19,67
		Σ	12,2	-

Závěr:

Největší zastoupení mají částice o velikosti 2 mm a vyšší, které nejrychleji sedimentují. Zanedbatelný není ani nezachycený zbytek, který prošel všemi síty do záchytného kbelíku. Tím bylo dokázáno, že mláto obsahuje částečky menší jak 125 μm. Pokud chceme vodu po lisování použít zpět k rozplavení anebo do jiné technologie, musíme technologii obohatit o filtry, které nám zamezí akumulaci jemných nečistot ve vratné vodě.

Příloha 3

Týdenní produkce mláta od 4. týdne roku 2009

Týden	**Součet GVARNA** [t]	**Součet PUVARNAN** [t]	**Týden**	**Součet GVARNA** [t]	**Součet PUVARNAN** [t]
2009/04	514	556	2009/29	1 008	773
2009/05	800	832	2009/30	1 027	860
2009/06	762	949	2009/31	912	760
2009/07	533	949	2009/32	799	714
2009/08	419	1 012	2009/33	875	729
2009/09	665	339	2009/34	952	917
2009/10	1 065	1 185	2009/35	799	827
2009/11	1 063	483	2009/36	705	841
2009/12	1 140	1 253	2009/37	990	998
2009/13	286	578	2009/38	971	865
2009/14	894	1 258	2009/39	933	768
2009/15	1 027	700	2009/40	970	773
2009/16	971	1 185	2009/41	855	941
2009/17	1 065	849	2009/42	874	909
2009/18	1 160	949	2009/43	286	1 134
2009/19	1 160	1 077	2009/44	742	1 017
2009/20	1 160	1 012	2009/45	780	914
2009/21	1 160	1 036	2009/46	894	746
2009/22	1 141	868	2009/47	838	808
2009/23	1 160	914	2009/48	704	339
2009/24	1 141	958	2009/49	456	814
2009/25	1 008	882	2009/50	400	483
2009/26	989	931	2009/51	760	760
2009/27	1 103	892	2009/52	779	553
2009/28	1 045	890	2009/53	496	651

Příloha 4

Předpokládaná produkce mláta v roce 2010

2010/01	742	700
2010/02	818	841
2010/03	799	887
2010/04	894	746
2010/05	912	977
2010/06	893	876
2010/07	286	800
2010/08	799	1 017
2010/09	856	1 117
2010/10	837	339
2010/11	894	1 080
2010/12	989	458
2010/13	988	808

Příloha 5

Střední průměr frakce – 4,76 mm							
Teplota [ºC]	Ar_1 [-]	Re_{p1} [-]	ξ_p [-]	ξ_{nk} [-]	u_{g1} [m.s^{-1}]	u_{g1k5} [m.s^{-1}]	u_{g1k7} [m.s^{-1}]
0	109347	572,08	0,44	8	0,0507	0,0447	0,0439
4	142197	652,37			0,0507	0,0447	0,0439
10	204511	782,36		9	0,0479	0,0421	0,0414
20	349015	1022,04			0,0480	0,0418	0,0410
30	553084	1286,60			0,0482	0,0411	0,0403
40	831583	1577,61			0,0486	0,0402	0,0395
50	1194717	1890,95			0,0490	0,0392	0,0385
60	1654158	2225,03			0,0494	0,0380	0,0373
70	2232534	2584,91			0,0500	0,0368	0,0361

Střední průměr frakce – 1,5 mm						
Teplota [ºC]	Ar_2 [-]	Re_{p2} [-]	ξ_{nk} [-]	u_{g2} [m.s^{-1}]	u_{g2k5} [m.s^{-1}]	u_{g2k7} [m.s^{-1}]
0	3422	51	10	0,0255	0,0225	0,021
4	4450	62	9,5	0,0262	0,0231	0,022
10	6400	80	9	0,0269	0,0237	0,023
20	10922	117	8	0,0286	0,0252	0,024
30	17308	163	8	0,0287	0,0252	0,024
40	26023	217	8	0,029	0,0254	0,024
50	37387	282	8	0,0292	0,0254	0,024
60	51764	355	8	0,0295	0,0256	0,024
70	69864	440	8,5	0,0289	0,0248	0,024

Střední průměr frakce – 0,75 mm						
Teplota [ºC]	Ar_3 [-]	Re_{p3} [-]	ξ_{nk} [-]	u_{g3} [m.s^{-1}]	u_{g3k5} [m.s^{-1}]	u_{g3k7} [m.s^{-1}]
0	428	12	20	0,0128	0,0111	0,0105
4	556	14	20	0,0128	0,0111	0,0105
10	800	18	18	0,0135	0,0118	0,0111
20	1365	26	15	0,0148	0,0129	0,0122
30	2163	37	12	0,0165	0,0144	0,0136
40	3252	49	10	0,0183	0,0159	0,0151
50	4673	64	9	0,0195	0,0168	0,0159
60	6471	80	9	0,0197	0,0169	0,0158
70	8733	100	8	0,0211	0,018	0,0168

Střední průměr frakce – 0,375 mm						
Teplota [ºC]	Ar_4 [-]	Re_{p4} [-]	ξ_{nk} [-]	u_{g4} [m.s^{-1}]	u_{g4k5} [m.s^{-1}]	u_{g4k7} [m.s^{-1}]
0	53	2,6	78	0,004	0,005	0,004
4	70	3	72	0,004	0,005	0,004
10	100	4	55	0,004	0,005	0,005
20	171	6	50	0,006	0,005	0,005
30	270	8	35	0,007	0,006	0,006
40	407	11	20	0,009	0,008	0,007
50	584	14	19	0,0095	0,008	0,008
60	809	18	18	0,01	0,008	0,008
70	1092	23	16	0,011	0,009	0,008

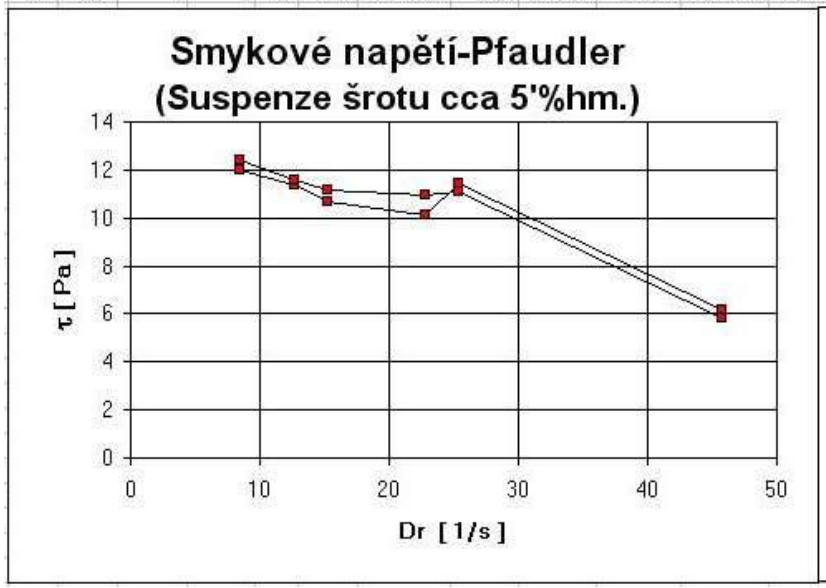
Střední průměr frakce – 0,1875 mm						
Teplota [ºC]	Ar_5 [-]	Re_{p5} [-]	ξ_{nk} [-]	u_{g5} [m.s^{-1}]	u_{g5k5} [m.s^{-1}]	u_{g5k7} [m.s^{-1}]
0	7	0,6	100	0,003	0,003	0,002
4	9	0,7	95	0,003	0,003	0,002
10	12	1	90	0,003	0,003	0,003
20	21	1,4	85	0,003	0,003	0,003
30	34	2	80	0,003	0,003	0,003
40	51	2,5	78	0,004	0,003	0,003
50	73	3	72	0,004	0,003	0,003
60	101	4	55	0,004	0,003	0,003
70	136	5	50	0,004	0,004	0,003

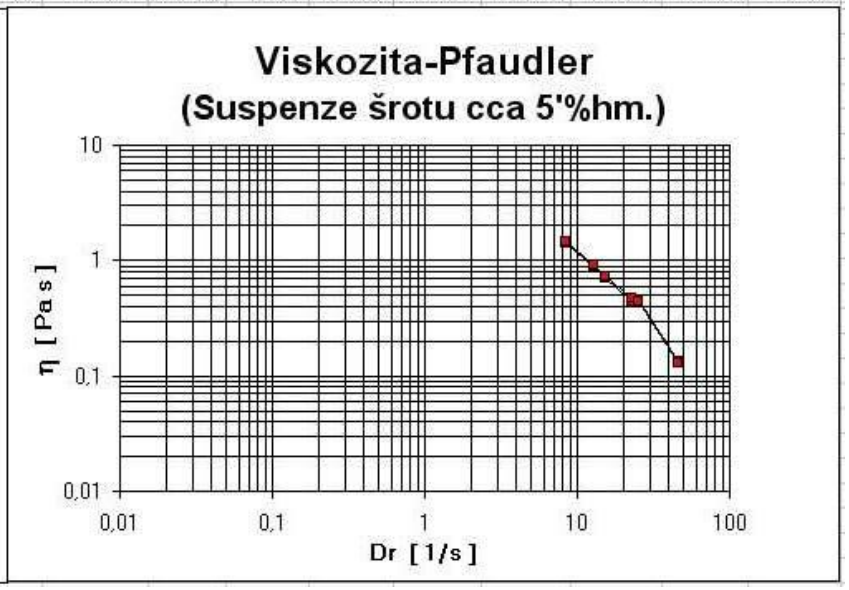
Střední průměr frakce – 0,0625 mm						
Teplota [ºC]	Ar_6 [-]	Re_{p6} [-]	ξ_{nk} [-]	u_{g6} [m.s^{-1}]	u_{g6k5} [m.s^{-1}]	u_{g6k7} [m.s^{-1}]
0	0,2	0,02	1300	0,0005	0,0005	0,0004
4	0,3	0,02	1300	0,0005	0,0005	0,0004
10	0,5	0,03	1200	0,0005	0,0005	0,0004
20	0,8	0,05	1000	0,0006	0,0005	0,0005
30	1,3	0,07	800	0,0006	0,0005	0,0005
40	1,9	0,11	140	0,0015	0,0013	0,0012
50	3	0,16	120	0,0016	0,0013	0,0012
60	4	0,4	110	0,0017	0,0014	0,0013
70	5	0,5	100	0,0018	0,0015	0,0013

Příloha 6

Reologie rozplaveného mláta s 5 hm. % sušiny provedená ve firmě TECHMIX a.s.

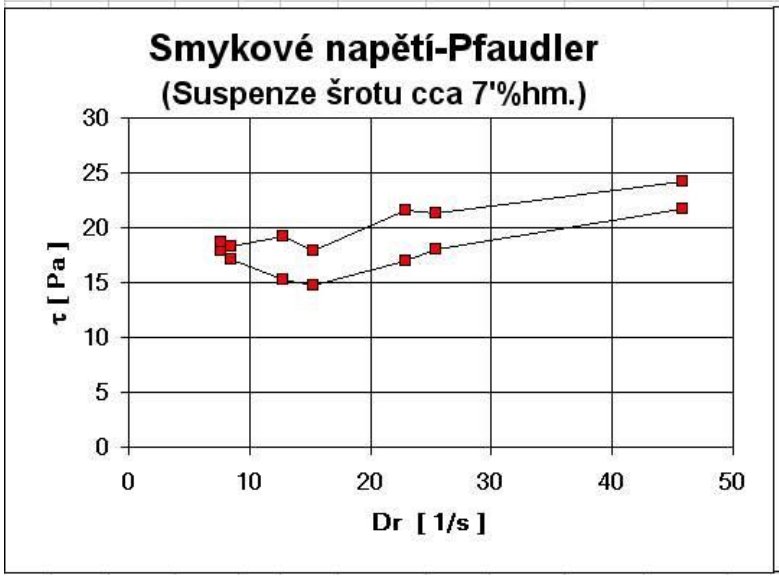
MĚŘENÍ VISKOZITY						- Rheotest s míchadlem ON 691027:									Do sloupce "P" dosatit "M" nebo "N" (větší hodnotu!)					
Měřená látka:			**Suspenze šrotu cca 5'%hm.+ voda**												- viz posl.sloupec "U" (už není třeba ručně)					
						Zak.č.:		**???**				Měřil:	Svozil							
	Hustota:		**1013**	kg/m3		Zákazník:		**???**				Datum:	**25.3.2010**							
	Teplota poč.:		23,3	oC		Teplota kon.:		23,5	oC		"M"	"N"		"P"						"U"
Č.m.	Otáč.:	Rozs. I	Rozs. II	f	α	Mk	n	ω	P	P0	lnP0	ReP	ReL	Dr	η	τ	LDr	LETA	ETALR	zvol.Re
	-	-	-	Hz	dílky	Nm	1/min	1/s	W	-	-	-	-	1/s	Pas	Pa	-	-	mPas	-
25	12a	1	0	50	39,3	0,003855	243	25,434	0,09806	0,911234	-0,09296	146,22828	51,7514	45,765	0,1348	6,169341	1,660533	-0,87029	1,02748	146,2283
26	11a	1	0	50	29,5	0,002894	135	14,13	0,04089	2,216176	0,79578	24,36245	21,16	25,425	0,44951	11,42889	1,405261	-0,34726	1,29667	24,36245
27	12b	1	0	50	25,4	0,002492	121,5	12,717	0,03169	2,35576	0,85686	22,246841	19,8986	22,8825	0,44304	10,13776	1,359503	-0,35356	1,35189	22,24684
28	10a	1	0	50	23,8	0,002335	81	8,478	0,01979	4,966572	1,60273	8,5240255	9,39411	15,255	0,69946	10,67019	1,183412	-0,15524	1,58728	9,394108
29	11b	1	0	50	25,3	0,002482	67,5	7,065	0,01753	7,602611	2,02849	4,9925101	6,12047	12,7125	0,89464	11,37314	1,104231	-0,04835	1,70608	6,120468
30	9a	1	0	50	26,5	0,0026	45	4,71	0,01224	17,91722	2,88576	1,165859	2,58304	8,475	1,41323	11,97709	0,92814	0,150212	2,00313	2,58304
19	9a	1	0	50	27,5	0,002698	45	4,71	0,01271	18,59334	2,9228	1,0739098	2,48853	8,475	1,4669	12,43196	0,92814	0,1664	2,00313	2,488531
20	11b	1	0	50	25,8	0,002531	67,5	7,065	0,01788	7,75286	2,04806	4,8631466	6,00111	12,7125	0,91244	11,59934	1,104231	-0,0398	1,70608	6,001114
21	10a	1	0	50	24,9	0,002443	81	8,478	0,02071	5,196119	1,64791	8,0699995	8,97655	15,255	0,73199	11,16653	1,183412	-0,13549	1,58728	8,976552
22	12b	1	0	50	26,8	0,002629	121,5	12,717	0,03343	2,485605	0,91052	20,588061	18,8527	22,8825	0,47873	10,95455	1,359503	-0,31991	1,35189	20,58806
23	11a	1	0	50	28,9	0,002835	135	14,13	0,04006	2,171101	0,77523	25,135338	21,6021	25,425	0,43569	11,07747	1,405261	-0,36082	1,29667	25,13534
24	12a	1	0	50	38,5	0,003777	243	25,434	0,09606	0,892684	-0,11352	154,52494	52,8336	45,765	0,12757	5,838101	1,660533	-0,89426	1,02748	154,5249

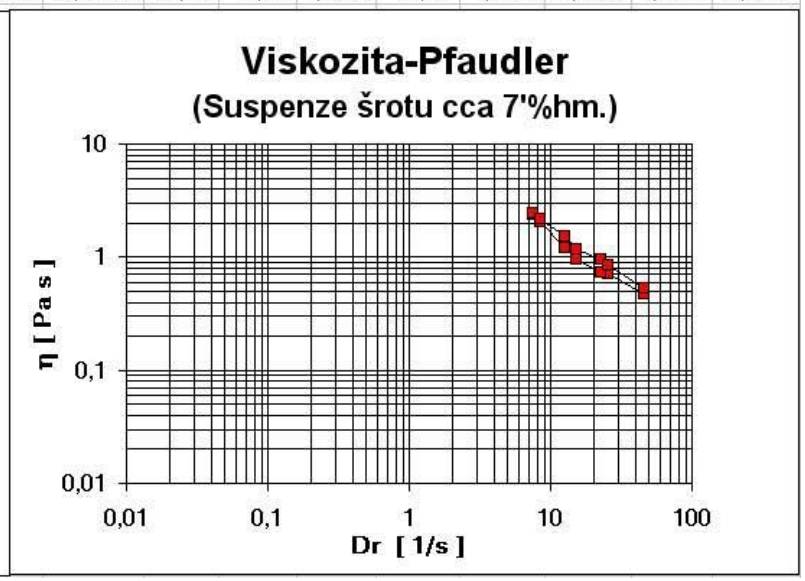




Reologie rozplaveného mláta s 7 hm. % sušiny provedená ve firmě TEXHMIX a.s.

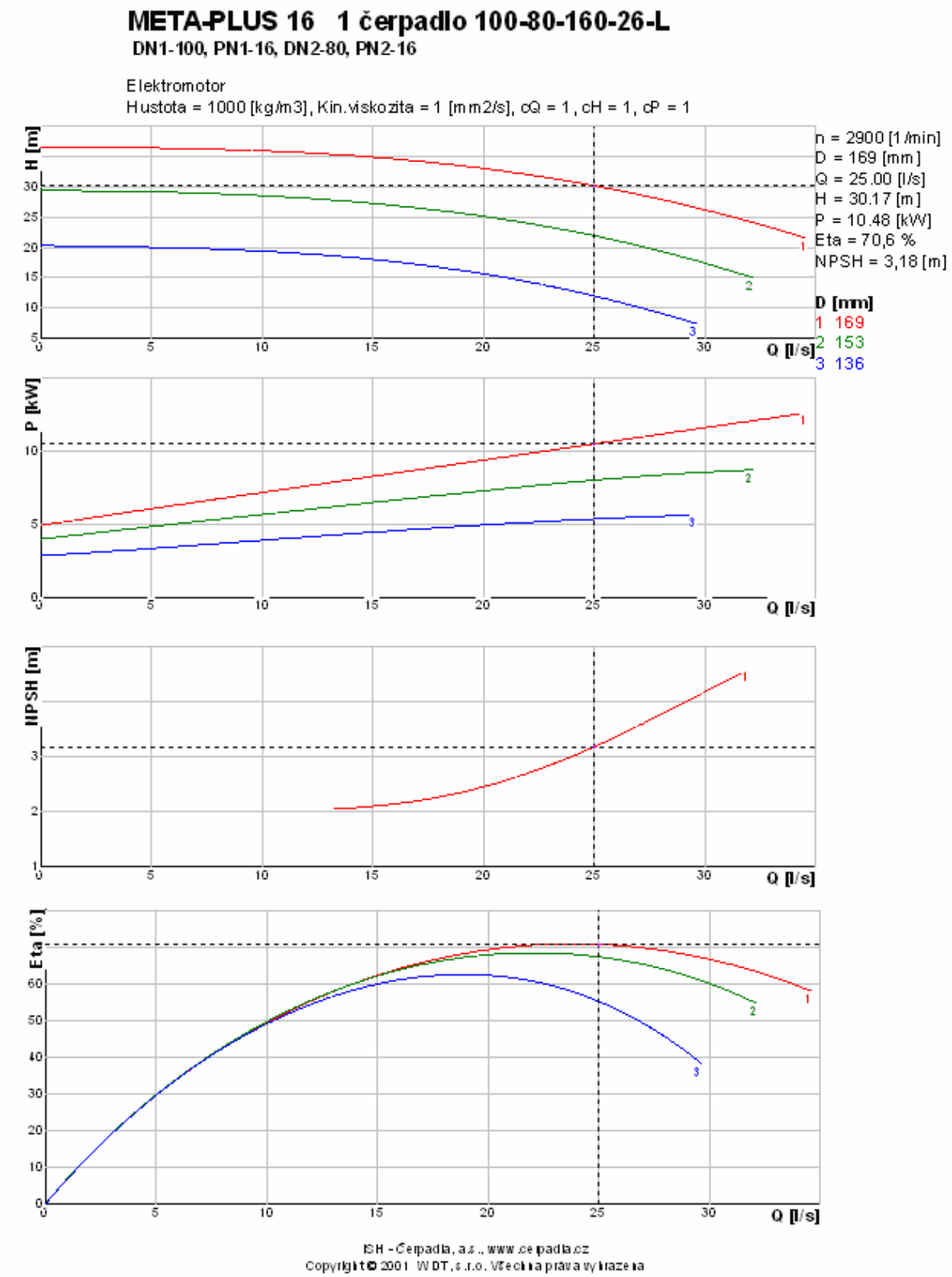
MĚŘENÍ VISKOZITY			- Rheotest s míchadlem ON 691027a				d=0,0693m								Do sloupce "P" dosatit "M" nebo "N" (větší hodnotu!)					
Měřená látka:			**Suspenze šrotu cca 7'%hm.+ voda**												- viz posl.sloupec "U" (už není třeba ručně)					
						Zak.č.:		???					Měřil:	Svozil						
	Hustota:		**1016**	kg/m3		Zákazník:		**???**					Datum:	**25.3.2010**						
	Teplota poč.:		23,4	oC		Teplota kon.:		23,5	oC		" M "		" N "		" P "					" U "
Č.m.	Otáč.:	Rozs. I	Rozs. II	f	α	Mk	n	ω	P	P0	lnP0	ReP	ReL	Dr	η	τ	LDr	LETA	ETALR	zvol.Re
	-	-	-	Hz	dílky	Nm	1/min	1/s	W	-	-	-	-	1/s	Pas	Pa	-	-	mPas	-
25	12a	1	0	50	69,5	0,006818	243	25,434	0,17341	1,60724	0,47452	41,539264	29,236	45,765	0,4758	21,7748	1,66053	-0,32258	1,02748	41,53926
26	11a	1	0	50	40,8	0,004002	135	14,13	0,05656	3,05703	1,11744	15,532267	15,309	25,425	0,70692	17,9735	1,40526	-0,15063	1,29667	15,53227
27	12b	1	0	50	37,9	0,003718	121,5	12,717	0,04728	3,50585	1,25443	13,038143	13,337	22,8825	0,74093	16,9544	1,3595	-0,13022	1,35189	13,33741
28	10a	1	0	50	32,7	0,003208	81	8,478	0,0272	6,80589	1,91779	5,7711284	6,8417	15,255	0,96293	14,6894	1,18341	-0,01641	1,58728	6,841722
29	11b	1	0	50	34	0,003335	67,5	7,065	0,02356	10,1901	2,32142	3,2845869	4,5579	12,7125	1,20451	15,3123	1,10423	0,08081	1,70608	4,557927
30	9a	1	0	50	37,8	0,003708	45	4,71	0,01747	25,4902	3,2383	0,4878897	1,8116	8,475	2,02033	17,1223	0,92814	0,30542	2,00313	1,811604
31	10b	1	0	50	39,5	0,003875	40,5	4,239	0,01643	32,8847	3,49301	0,2260014	1,402	7,6275	2,34953	17,9211	0,88238	0,37098	2,08845	1,401994
18	10b	1	0	50	41,3	0,004052	40,5	4,239	0,01717	34,3833	3,53757	0,1948533	1,3405	7,6275	2,45729	18,743	0,88238	0,39046	2,08845	1,340514
19	9a	1	0	50	40,5	0,003973	45	4,71	0,01871	27,311	3,30729	0,40111	1,6901	8,475	2,16558	18,3533	0,92814	0,33557	2,00313	1,690096
20	11b	1	0	50	42,5	0,004169	67,5	7,065	0,02946	12,7376	2,54456	2,2770565	3,6412	12,7125	1,50775	19,1673	1,10423	0,17833	1,70608	3,641219
21	10a	1	0	50	39,7	0,003895	81	8,478	0,03302	8,26281	2,11176	4,458114	5,6285	15,255	1,17049	17,8558	1,18341	0,06837	1,58728	5,62849
22	12b	1	0	50	48,3	0,004738	121,5	12,717	0,06026	4,46788	1,49691	9,6864625	10,45	22,8825	0,94569	21,6398	1,3595	-0,02425	1,35189	10,44961
23	11a	1	0	50	47,7	0,004679	135	14,13	0,06612	3,57403	1,27369	12,728037	13,081	25,425	0,83937	21,3409	1,40526	-0,07605	1,29667	13,08141
24	12a	1	0	50	73,8	0,00724	243	25,434	0,18414	1,70668	0,53455	37,296224	27,522	45,765	0,52993	24,252	1,66053	-0,27579	1,02748	37,29622





Příloha 7

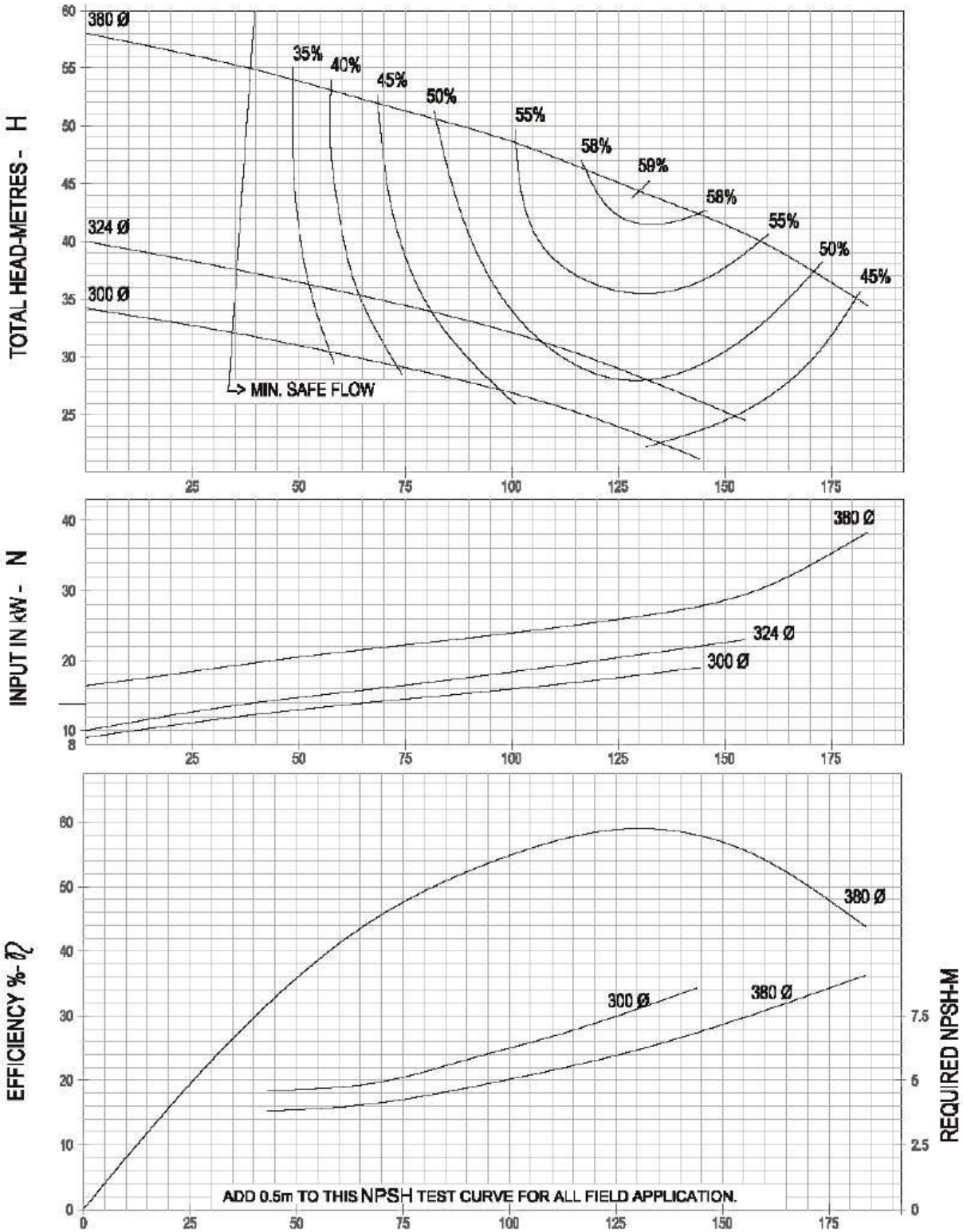
Charakteristika čerpadel META-PLUS firmy ISH&MSA ČERPADLA a. s. Olomouc, zaslány na vyžádání.



Příloha 8

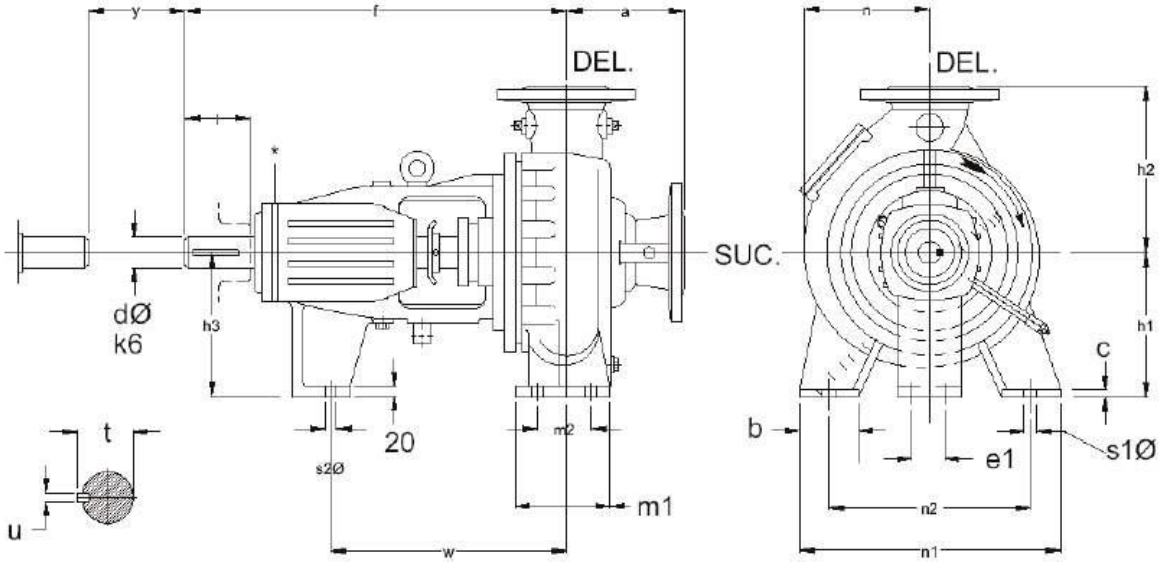
Charakteristika čerpadel SHM80/40Q od firmy SIWATEC a. s. Olomouc zaslaná v nabídce č.: 375/KBL/10

SIWATEC, a. s.
WATER TECHNOLOGY



Rozměry čerpadel SHM80/40Q od firmy SIWATEC a. s. Olomouc zaslány v nabídce č.: 375/KBL/10

SIWATEC, a. s.
WATER TECHNOLOGY



Shaft End **View from Driving End**

Pump	Driving Unit	SUC Ø	DEL Ø	Pump Dimension a	f	h1	h2	n	Foot Dimensions b	c	m1	m2	n1	n2	s_b^1	s_b^2	e1	w	Shaft End h3	dØ	l	t	u	y	Wt. Kg.
SHM 50/26	SHM 7	65	50	150	570	200	250	180	65	18	135	95	320	250	14	15	110	400	200	32	80	35	10	140	100
SHM 50/26 NB																									
SHM 65/32		80	65	180		225	280	210	80		160	120	400	315	18				225						126
SHM 65/32 NB																									
SHM 80/26		100	80			200	250	195											200						120
SHM 100/26	SHM 9	125	100	180	630	225	280	217	80	18	160	80	400	315	18	15	110	400	225	42	80	45	12	140	140
SHM 100/32						250	315	237																	165
SHM 80/40		100	80			280	355	253				90													168
SHM 150/26 NB		150	150	200	640			270	100				450	355				410						180	140
SHM 100/40	SHM 11	125	100	180	710	280	355	272	100	20	160	90	450	355	18	15	110	450	280	50	110	55.5	14	180	200
SHM 150/26								270																	170
SHM 150/32		150	150	200		315	400	265																	210
SHM 150/40								296																	230
SHM 200/32		200	200					329																	300
SHM 150/50	SHM 13	150	150	225	885	330	450	343	120	22	200	130	560	460	18	15	110	650	330	60	110	63.5	18	180	325
SHM 200/40		200	200			320	400	302		20			500	400											350

Příloha 9

Modul stanovení ztrátového toku (Výpočet proveden v **Maple 11**)

```
> restart;
```

Zadané, volené hodnoty

```
> tvz:=-25.:#ºC L:=570:#m t1:=10.: #ºC t2:=4.:#ºC mv:=491028:#kg D1:=0.15:#m hod:=7:
D2:=0.154:#m lambdatr:=15:#W.m^-1.K^-1 lambdaiz:=0.038:#W.m^-1.K^-1
```

Vlastnosti vzduchu závislé na teplotě

```
> fcpvz:=T->spline([-50, 20,0,10,20,30],[1010,1010,1010,1010,1010,1010],T,cubic):
frhovz:=T->spline([-50,20,0,10,20,30],[1.534,1.365,1.252,1.206,1.164,1.127],
T,cubic):
flambdavz:=T->spline([-50,-20,0,10,20,30],[2.04e-2,2.26e-2,2.37e-2,2.45e-2,2.52e-2,2.58e-
2],T,cubic):
fetavz:=T->spline([-50,-20,0,10,20,30],[14.63*10^(-6),16.24*10^(-6),17.15*10^(-6),
17.73*10^(-6),18.27*10^(-6),18.71*10^(-6)],T,cubic):
```

Vlastnosti vody závislé na teplotě

```
> frhov:=T->spline([0,10,20,30,40,50,60,70],[999.8,999.6,998.2,995.6,992.2,988.0,
983.2,977.7],T,cubic):
fetav:=T->spline([0,10,20,30,40,50,60,70],[17.926*10^(-4),13.07*10^(-4),
10.05*10^(-4),8.0*10^(-4),6.56*10^(-4),5.49*10^(-4),4.69*10^(-4),
4.06*10^(-4)],T,cubic):
fcpv:=T->spline([0,10,20,30,40,50,60,70],[4220,4190,4180,4180,4180,4180,4180,
4190],T,cubic):
flambdav:=T->spline([0,10,20,30,40,50,60,70],[0.551,0.575,0.599,0.618,0.634,
0.648,0.66,0.668],T,cubic):
```

Strana vody:

a) Součinitel přestupu tepla z jádra proudu:

```
> tsv:=(t1+t2)/2;
```

$$tsv := 7.000000000$$

```
> rhov:=frhov(tsv): etav:=fetav(tsv): cpv:=fcpv(tsv): lambdav:=flambdav(tsv):
> Vvp:=mv/(rhov*3600*hod): u:=Vvp/evalf(D1^2*Pi/4);
```

$$u := 1.102916564$$

```
> Rey:=D1*u*rhov/etav;
```

$$Rey := 115078.6734$$

```
> Pr:=cpv*etav/lambdav;
```

$$Pr := 10.62658345$$

```
> if Rey>1e4 then Nus:=0.023*Rey^(0.8)*Pr^(0.4);end if;
```

$$Nus := 662.3402941$$

```
> if (Rey<1e4) and (Rey>2300)
then Nus:=0.116*(Rey^(2/3)-125)*Pr^(1/3)*(1+D1/L)^(2/3)*(etav/etaw)^(0.114);
Nus:=evalf(Nus); end if; alphav:=Nus*lambdav/D1;
```

$$alphav := 2506.689799$$

b) Ztrátový tepelný tok:

Tepelný tok nesený vodou

```
> m:=evalf(mv/(7*3600));#kg/s
```

$$m := 19.48523810$$

```
> Qv:=m*cpv*(t1-t2);#W
```

$$Qv := 490717.5281$$

Teplota vnitřního povrchu potrubí

```
> Aw1:=evalf(Pi*D1*L);
```

$$Aw1 := 268.6061719$$

```
> tw1:=tsv-Qv/(alphav*Aw1);
```

$$tw1 := 6.271188881$$

Teplota vnějšího povrchu potrubí

```
> tw2:=evalf(tw1-Qv*ln(D2/D1)/(2*Pi*L*lambdatr));
```

$$tw2 := 6.030792978$$

Teplota vnějšího povrchu izolace

```
> D3:=D2;
```

$$D3 := 0.154$$

```
> tw3:=tw2;
```

$$tw3 := 6.030792978$$

Strana vzduchu:

Střední teplota

```
> t[stř]:=(tvz+tw3)/2;
```

$$t_{stø} := -9.484603511$$

Výpočet Prandtlova čísla vzduchu

```
> cpvz:=fcpvz(t[stř]): lambdavz:=flambdavz(t[stř]); etavz:=fetavz(t[stř]):
```

$$lambdavz := 0.02313471246$$

```
> Pr:=cpvz*etavz/lambdavz;
```

$$Pr := 0.7289467984$$

Výpočet Grashofova čísla vzduchu:

```
> beta:=1/(t[stř]+273.15): g:=9.81:
```

Rozdíl teplot

```
> Delta[t], dim:=abs(tvz-tw3), '°C';
```

$$\Delta_t, dim := 31.03079298, °C$$

```
> rhovz:=frhovz(t[stř]);
```

$$rhovz := 1.303356701$$

```
> Gr:='D3^3*rhovz^2*g*beta*Delta[t]/etavz^2': Gr:=evalf(Gr);
```

$$Gr := 0.2569332767\ 10^8$$

Volná konvekce:

```
> GrPr:=(Gr*Pr);
if((Gr*Pr)>0.001)and((Gr*Pr)<500) then C:=1.18;n:=1/8; end if;
if((Gr*Pr)>500)and((Gr*Pr)<2e7) then C:=0.54;n:=1/4; end if;
if((Gr*Pr)>2e7)and((Gr*Pr)<1e13) then C:=0.135;n:=1/3; end if;
```

$$GrPr := 0.1872906895\ 10^{8} \quad C := 0.54 \quad n := \frac{1}{4}$$

> GrPr:=(Gr*Pr); Nus:=C*(Gr*Pr)^n;

$$GrPr := 0.1872906895\ 10^{8} \quad Nus := 35.52407734$$

Součinitel přestupu tepla vzduchu

> alphavz:=Nus*lambdavz/D3;

$$alphavz := 5.336618927$$

Celkový součinitel přestupu tepla

> k:='1/((D3/(D1*alphav))+((D2/(2*lambdatr)*ln(D2/D1))+(D3/(2*lambdaiz)*ln(D3/D2))+(1/alphavz)))'; k:=k;

$$k := \frac{1}{\frac{D3}{D1\ alphav} + \frac{1}{2}\frac{D2\ \ln\left(\frac{D2}{D1}\right)}{lambdatr} + \frac{1}{2}\frac{D3\ \ln\left(\frac{D3}{D2}\right)}{lambdaiz} + \frac{1}{alphavz}}$$

$$k := 5.321152061$$

Plocha výměny tepla

> A:=evalf(Pi*D3*L);

$$A := 275.7690032$$

> alphavzx:=Qv/(A*(tw3-tvz));

$$alphavzx := 57.34469506$$

Formulace ztrátového tepelného toku:

> dT:=((t1-tvz)-(t2-tvz))/ln((t1-tvz)/(t2-tvz));

$$dT := 31.90602922$$

> Qvz:=k*A*dT;

$$Qvz := 46819.18805$$

Konec.

Modul stanovení tloušťky izolace dle [33] (Výpočet proveden v **Maple 11**)

> **restart;**

Z.J.-05/2010

Vlastnosti vzduchu závislé na teplotě

Stejné jako v předchozím výpočtovém modulu.

Vlastnosti vody závislé na teplotě

Stejné jako v předchozím výpočtovém modulu.

Vstupní data:

> t1:=70.; t2:=4.; lambdaiz:=0.038;#W/(m.K) tvz:=-25.;#°C D1:=0.15;#m D2:=0.159;#m L:=570;#m Vvp:=evalf((Pi*(D1^2)/4)*L);#m3 A:=evalf(Pi*D2*L);#m2

*******Počátek iterace:*******

Odhad (ručně iterovaný) povrchové teploty izolace a tloušťky:
> tpiz:=-22.25; #teplota povrchu izolace,°C
> tw2:=tpiz;

Výpočet:
Střední teplota:
> t[stř]:=(tvz+tw2)/2;

$$t_{stø} := -23.62500000$$

Výpočet Prandtlova čísla vzduchu
> cpvz:=fcpvz(t[stř]); lambdavz:=flambdavz(t[stř]); etavz:=fetavz(t[stř]);

$$cpvz := 1010 \quad lambdavz := 0.02238776701 \quad etavz := 0.00001606992284$$

> Pr:=cpvz*etavz/lambdavz;

$$Pr := 0.7249772638$$

Výpočet Grashofova čísla vzduchu
> **beta**:=1/(t[stř]+273.15): g:=9.81:
Rozdíl teplot
> Delta[t],dim:=abs(tvz-tw2), '°C';

$$\Delta_t, dim := 2.75, °C$$

> rhovz:=frhovz(t[stř]);

$$rhovz := 1.386111050$$

> Gr:='D2^3*rhovz^2*g*beta*Delta[t]/etavz^2': Gr:=evalf(Gr);

$$Gr := 0.3233310988\ 10^7$$

Jestliže voda v plně zaplněném potrubí stojí, je Re = 0 a jde pouze o volnou konvekci z povrchu do okolního vzduchu:
Tedy:
> **Rey:=0.0:**
Volná konvekce:
> GrPr:=(Gr*Pr);

$$GrPr := 0.2344076953\ 10^7$$

> if((Gr*Pr)>0.001)and((Gr*Pr)<500) then C:=1.18;n:=1/8; end if;
if((Gr*Pr)>500)and((Gr*Pr)<2e7) then C:=0.54;n:=1/4; end if;
if((Gr*Pr)>2e7)and((Gr*Pr)<1e13) then C:=0.135;n:=1/3; end if;

$$C := 0.54 \quad n := \frac{1}{4}$$

> GrPr:=(Gr*Pr);C:=C;n:=n; Nus:=C*(Gr*Pr)^n;

$$GrPr := 0.2344076953\ 10^7 \quad Nus := 21.12937865$$

Součinitel přestupu tepla vzduchu
> alphavz:=Nus*lambdavz/D2; cpv:=fcpv(tw2);

$$alphavz := 2.975091864 \quad cpv := 4245.985006$$

Strana vody
> tsv:=(t1+t2)/2; rhov:=frhov(tsv);

$$tsv := 37.00000000 \quad rhov := 993.3049113$$

Plocha:
> A:=evalf(Pi*D2*L);

$$A := 284.7225422$$

Zápis dif. rovnice:
> dr1:=diff(tp(tau),tau)=(alpha*A*(tvz-tp(tau)))/(Vvp*rho*cp);

$$dr1 := \frac{d}{d\tau}\,\mathrm{tp}(\tau) = \frac{28.26666665\ \alpha\,(-25. - \mathrm{tp}(\tau))}{\rho\ cp}$$

Přiřazení dat do dif.modelu:
> alpha:=alphavz; cp := cpv; rho:= rhov;

$$\alpha := 2.975091864 \quad cp := 4245.985006 \quad \rho := 993.3049113$$

Dosazení dat do dif.rovnice:
> dr1;

$$\frac{d}{d\tau}\,\mathrm{tp}(\tau) = -0.0004984871269 - 0.00001993948507\ \mathrm{tp}(\tau)$$

Zákazníkem požadovaná minimální doba chládnutí na teplotu 4 °C:
> PozadDobaSek:=(24-7.5)*3600; PozadDobaHod:=(24-7.5);

$$PozadDobaSek := 59400.0 \quad PozadDobaHod := 16.5$$

Kontrolní vyčíslení teploty vody po zadané době PozadDobaSek=59400 sekund a počáteční teplotu náplně 70 °C:
> rx:=dsolve({dr1,tp(0)=70}): tv:=unapply(rhs(rx),tau): tv:=evalf(tv(PozadDobaSek));

$$tv := 4.06316249$$

Je tedy potřeba, aby povrchová teplota izolace byla alespoň -22.25°C a nebo nižší.
*******Konec iterace.*******

Této teplotě přibližně odpovídá (při zanedbání křivosti potrubí) tloušťka izolace:
> q:=alpha*(tpiz-tvz); #merny ztratovy tepelny tok,W/m2

$$q := 8.181502626$$

> delta:=lambdaiz*(70-tpiz)/q;#tloustka izolace, m

$$\delta := 0.4284665251$$

Závěr:
Potřebná teoretická minimální tloušťka izolace (při zanedbání křivosti potrubí) vychází cca 428.5 mm.
Je však potřeba mít na paměti, že jde o zjednodušené řešení. Pro přesné řešení by bylo nutno zohlednit nárůst plochy výměny tepla A v dif. rovnici (a také průměru D3 v Grashofově čísle) vlivem nárůstu tloušťky izolace. Reálná instalovaná tloušťka tedy musí být větší.
Navíc řešení je provedeno pro ideální klimatické podmínky (bezvětří), což udržiuje součinitel přestupu tepla do okolí na nízké úrovni. Změna podmínek může významně změnit výsledky. Doporučuje se proto při návrhu zahrnout reálné klimatické podmínky.

Zjednodušená kontrola předpokladu, že teplota vnějšího povrchu trubky tw2 je přibližně rovna teplotě vnitřního povrchu trubky tw1 =70°C (při zanedbání křivosti potrubí):
> tw1:=70.; deltatr:=(D2-D1)/2; lambdatr:=15; tw2:=tw1-q*deltatr/lambdatr;

$$tw1 := 70. \quad deltatr := 0.00450000000 \quad lambdatr := 15 \quad tw2 := 69.99754555$$

Předpoklad je oprávněný. **Konec.**

Závěrečná poznámka:
I přes značné zjednodušení vystihuje model věrně situaci. Při zhoršení klimatických podmínek se potřeba izolace rapidně zvyšuje.
Například při zvýšení souč. přestupu tepla do okolního vzduchu o 50%, je již pro udržení ochlazení vody na 4 °C v požadované době potřeba dosáhnout teploty na povrchu izolace cca -24.47 °C, což představuje použít danou izolaci o tloušťce minimálně 2.286m (při zanedbání křivosti potrubí), což je již neekonomické.
A to tento příklad nepředstavuje nijak drastické zhoršení klimatických podmínek.
Jakékoliv další zhoršení klimatických podmínek už znamená, že s danou izolací nelze udržet vodu do teploty nad 4°C po požadovanou dobu a je potřeba použít vyhřívání stěny potrubí.