



Univerza v Mariboru

Fakulteta za strojništvo

DOLOČANJE MEŠALNE MOČI PRI DISPERGIRANJU PLINA Z ABT TURBINSKIM MEŠALOM

Diplomsko delo

Študent: Tadej GORENŠEK
Študijski program: Univerzitetni študijski program 1. stopnje

Smer: Tehniško varstvo okolja

Mentor: Red. prof. dr., Matjaž HRIBERŠEK
Somentor: Doc. dr., Matej ZADRAVEC

Maribor, avgust 2016

I Z J A V A

Podpisani Gorenšek Tadej, izjavljam, da:

- je diplomsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela,
- da je predloženo delo v celoti ali v delih ni bilo predloženo za pridobitev kakršnekoli izobrazbe po študijskem programu druge fakultete ali univerze,
- da so rezultati korektno navedeni,
- da nisem kršil-a avtorskih pravic in intelektualne lastnine drugih,
- da soglašam z javno dostopnostjo diplomskega dela v Knjižnici tehniških fakultet ter Digitalni knjižnici Univerze v Mariboru, v skladu z Izjavo o istovetnosti tiskane in elektronske verzije zaključnega dela.

Maribor, _____

Podpis: _____

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju red. prof. dr. Matjažu Hriberšku in somentorju doc. dr. Mateju Zdravcu za pomoč in vodenje pri opravljanju diplomskega dela.

DOLOČANJE MEŠALNE MOČI PRI DISPERGIRANJU PLINA Z ABT TURBINSKIM MEŠALOM

Ključne besede: ABT mešalo, dispergiranje, mešanje, poplavljanje mešala

UDK: 532.529(043.2)

POVZETEK

V diplomskem delu je obravnavano dispergiranje različnih količin plina v kapljevino z uporabo treh različnih geometrij ABT mešala in določanje moči mešal. Meritve navorov pri različnih vrtljajih in pretokih plina so potekale na obstoječi napravi na Fakulteti za strojništvo. Meritve so bile izvedene pri pretokih plina 0 l/min, 6 l/min, 12 l/min in 15 l/min. Vsaka meritev je bila petkrat ponovljena. Rezultati pri manjših vrtljajih so bili zaradi napak nesmiselni, zato so obravnavani le rezultati meritev od 450 vrt/min naprej. Pri teh je bilo lepo videno, da se z večanjem pretoka plina, zmanjša navor.

DETERMINATION OF MIXING POWER FOR GAS DISPERSION WITH ABT TURBINE STIRRER

Key words: ABT Stirrer, dispersion, mixing, flooded stirrer

UDK: 532.529(043.2)

ABSTRACT

Diploma work contains dispersion of different quantities of gas into liquid with the use of three ABT stirrers, with different geometry and the determination of mixing power. The measurements of torque, with different stirrer speeds and overflow of gas took place on existing device at Faculty of Mechanical Engineering in Maribor. The measurements were conducted within the overflow of gas 0 l/min, 6 l/min, 12 l/min and 15 l/min. Each measurement was repeated five times. At the lowest stirrer speed the results were meaningless because of the error. Because of that, we only took into the consideration the results with the stirrer speed more than 450 rot/min. With those it was evident that with the increasing gas flow the torque reduces.

KAZALO

1	UVOD	- 9 -
1.1	Opredelitev oz. opis problema	- 9 -
1.2	Predpostavke in omejitve	- 9 -
1.3	Cilji in teze	- 9 -
2	TEORETIČNE OSNOVE	- 10 -
2.1	Mešanje	- 10 -
2.2	Dispergiranje plina v kapljevini	- 10 -
2.3	Razmere v okolici mešala, ko poteka razprševanje plina	- 11 -
2.4	Poplavno stanje	- 11 -
2.5	Razprševanje plina	- 12 -
2.6	Mešala	- 13 -
2.7	Moč mešala	- 14 -
2.8	Newtonovo in Reynoldsovo število	- 15 -
3	GEOMETRIJA	- 16 -
3.1	Preračun geometrije	- 17 -
4	PRETOČNOST NA MEJI POPLAVLJENJA	- 19 -
5	MERILNA PROGA	- 22 -
6	IZVEDBA MERITEV	- 23 -
7	REZULTATI	- 26 -
7.1	Ne število v odvisnosti od Re za mešanje brez dispergiranja plina	- 29 -
7.2	Moč mešanja (oz. P_g/P) v odvisnosti od pretočnega števila	- 30 -
8	SKLEP	- 32 -
	SEZNAM UPORABLJENIH VIROV	- 33 -

UPORABLJENI SIMBOLI

b	širina lopatice mešala
D	premer mešala
d	notranji premer mešala
Fl	pretočno število
Fr	Froudovo število
g	gravitacijski pospešek
T	premer posode
l	debelina lopatic
M	navor
n	vrtljaji
P	moč mešala
P_g	moč mešala pri dispergiranju plina
P_{izg}	moč za premagovanje izgub
P_p	najmanjša moč za pogon mešala
\dot{V}_g	pretok plina
w	višina lopatice mešala
Q_g	plinsko pretočno število
α	kot manj odprtega dela lopatice
β	kot bolj odprtega dela lopatice
ω	vrtilna frekvenca

1 UVOD

1.1 Opredelitev oz. opis problema

Za mešanje je potrebno izbrati primeren elektromotor, ki bo zagotavljal primerno moč mešanja. Pri mešanju se pojavlja tudi problem poplavljanja, zaradi česar mešalo ne zmore več dispergirati plina v kapljevino. To se ob konstantnem pretoku plina pojavi pri določenih vrtilnih frekvencah, zato je pomembno poznati karakteristiko moči mešala, na osnovi katere preprečimo delovanje mešala v stanju poplavljanja. V središču raziskave bo ABT mešalo, turbinsko mešalo z zavitimi lopaticami, za katerega v strokovni literaturi še obstaja dovolj zanesljivih podatkov o njegovem delovanju.

1.2 Predpostavke in omejitve

Za izvedbo meritev bo uporabljena obstoječa merilna naprava Laboratorija za računalniško dinamiko tekočin na Fakulteti za strojništvo. Omejitve so maksimalna kapaciteta pretoka plina, saj ta znaša le 15 l/min in velikost mešalne posode. Predvidoma zaradi teh omejitev, ne bo možno doseči stanja poplavljanja. Pri našem primeru je razmerje med višino in premerom mešalne posode 1:1, kar pa v tehniških izvedbah ne drži, saj vemo da so, na primer, razni fermentorji precej višji, kot pa znaša njihov premer. Z obstoječim elektromotorjem je možno doseči vrtljaje od 50 do 2500 vrt/min.

1.3 Cilji in teze

Cilji diplomske naloge so izmeriti moč mešanja za vsa tri ABT mešala z različnimi premeri, ugotoviti vpliv pretoka plina na mešalno moč ter izpeljati odvisnosti Newtonovega števila in aeracijskega števila za različne vrtljaje za vsa tri mešala.

Teze diplomskega dela so, da večje kot je mešalo, večja je potrebna moč mešanja, pri čemer pa se s povečanjem pretoka dispergiranega plina, mešalna moč zmanjšuje.

2 TEORETIČNE OSNOVE

2.1 Mešanje

Mešanje je procesni postopek, ki se zelo pogosto pojavlja v raznih procesih. Mešanje lahko poteka samostojno, kot sam svoj proces, lahko pa se pojavlja tudi skupaj z drugimi procesi in je le kot spremljevalec drugim procesnim postopkom. Mešamo zato, da dosežemo in potem tudi ohranjamo maksimalno enakomerno snovno in toplotno porazdelitev v procesni napravi. To je tudi glavna naloga samega mešanja. [1]

Glavnih pet nalog mešanja so: [2]

- Homogeniziranje
- Prenos toplote
- Suspendiranje
- Emulgiranje
- Zaplinjevanje

2.2 Dispergiranje plina v kapljevini

Dispergiranju plina v kapljevino pravimo tudi drugače zaplinjevanje. V določenih procesih je zelo pomemben potek aerobnih procesov, pri čemer pa je bistveno, da iz mehurčkov zraka, kisik pride v kapljevino. Primer so kakšne biološke čistilne naprave, ki se uporabljajo za čiščenje odpadnih voda. [1]

Plin, ki se nahaja v obliki mehurčkov, lahko v kapljevino porazdelimo z uporabo razpršilnikov plina in mešal. To lahko storimo tudi brez mehanskih mešal, in sicer takrat, ko ne potrebujemo prevelikega prostorninskega pretoka plina in ne potrebujemo daljših zadrževalnih časov plina v kapljevini. Drugače pa se je potrebno odločiti za prvo omenjeno možnost z uporabo mešal in razpršilnikov. [1]

Osnovna naloga teh mešal je, da razbijajo mehurčke s plinom. Za to so najbolj primerna radialna mešala, katere sestavljajo lopatice z ostrimi robovi. Ostri robovi odigrajo pomembno

vlogo pri razbijanju mehurčkov, saj ustvarjajo primerno velike strižne sile v okolici mešala. [1]

2.3 Razmere v okolici mešala, ko poteka razprševanje plina

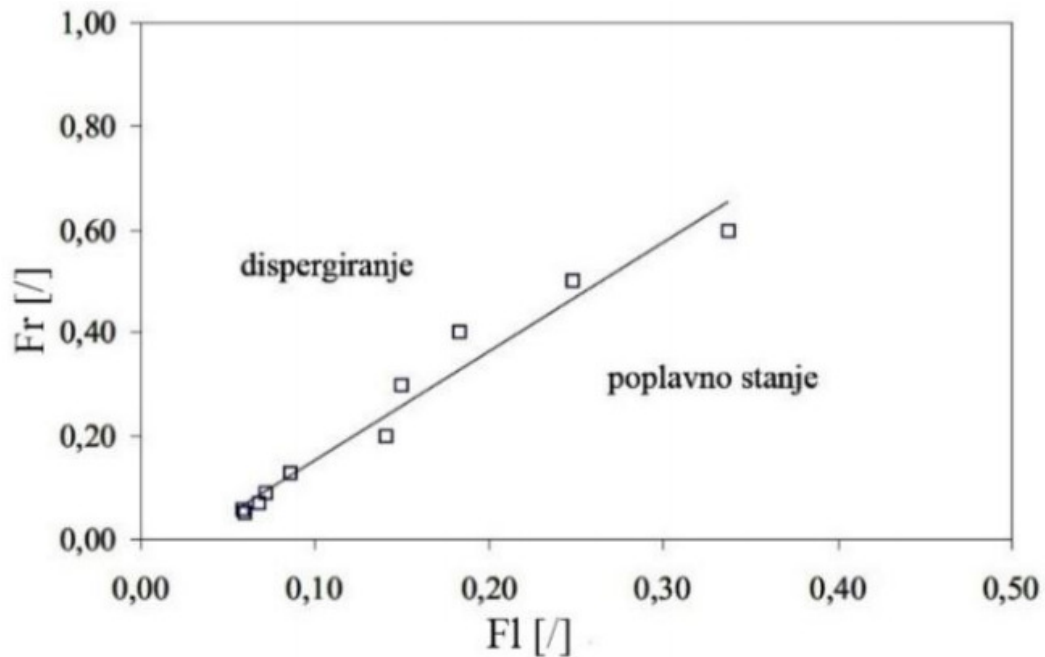
Hitrost s katero se vrtil mešalo in prostorninski pretok plina, ki ga skozi razpršilni obroč dovajamo, najbolj vplivata na tokovne razmere v bližini lopatic mešala in s tem na učinkovitost razprševanja. [1]

Takrat, ko je prostorninski pretok plina s katerim poteka razprševanje še majhen, se v obliki majhnih mehurčkov ujame v vrtinčne strukture, katerih nastanek za lopaticami, je posledica vrtenja mešala. S povečanjem pretoka plina se večja tudi nastajanje vse večjega območja povratnega toka za lopaticami. V tem povratnem toku pa so večji kot je pretok plina, večje so kotanje plina. Ob dovolj malem pretoku so te kotanje le na robovih lopatic. Takrat še poteka dobra razpršitev plina. Ob povečanju pretoka pa se začnejo kotanje plina širiti po celotni lopatici mešala. Začnejo se trgati, kar povzroči nastanek velikih mehurjev, kateri pa zaradi velikih vzgonskih sil začnejo potovati proti gladini. Ko se omenjeno zgodi, temu pravimo stanje poplavljanja. [1]

2.4 Poplavno stanje

Stanje poplavljanja je izrazito nehomogena porazdelitev plina, ki ga razpršujemo. Mešalo ne more več dispergirati plina v kapljevino. To se ob konstantnem pretoku plina pojavi pri določenih vrtilnih frekvencah, zato je pomembno poznati karakteristiko moči mešala, na osnovi katere preprečimo delovanje mešala v stanju poplavljanja. [3]

Mejo poplavnega stanja lahko določimo na več načinov. Dva izmed njih sta metoda zmanjšanja moči in metoda prirastka deleža plinske faze. Pomembni sta Froudovo število in pa pretočno število. [3]

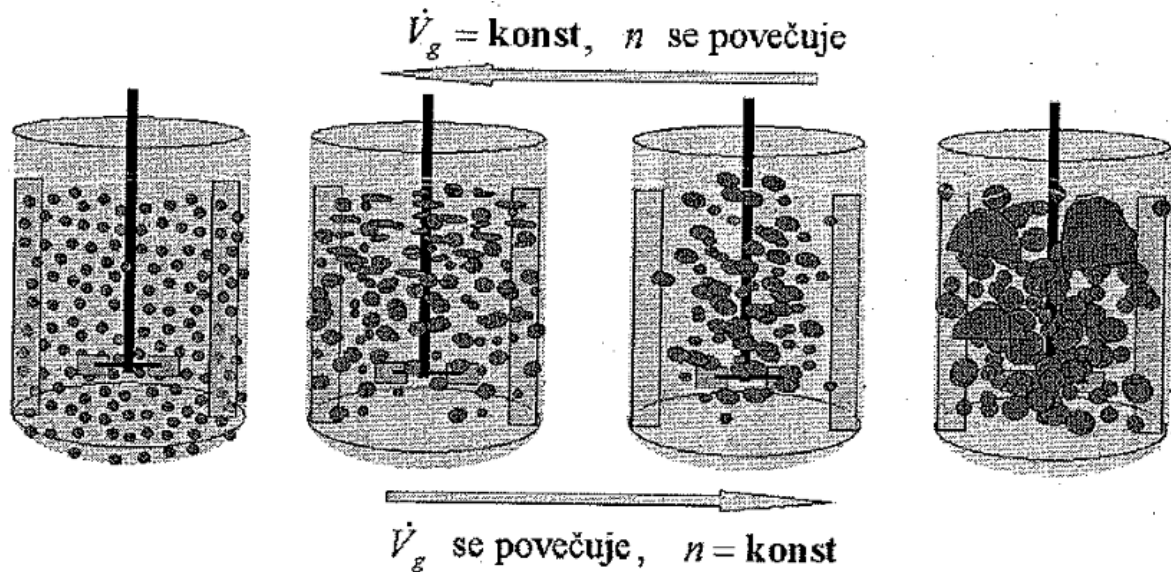


Slika 1: Meja stanja poplavljanja. [3]

Na sliki 1 je prikazana odvisnost pretočnega in Froudovega števila. Krivulja prikazuje mejo med dispergiranjem in poplavnim stanjem. Nad krivuljo poteka dispergiranje, pod krivuljo smo pa že v poplavnem stanju. Graf je bil narejen na podlagi meritev in po metodi deleža plinaste faze. [3]

2.5 Razprševanje plina

Pri mešanju z visokimi vrtljaji pri nizkem pretoku plina poteka zelo velika razpršitev plina. Pri takšnem mešanju nastajajo majhni mehurčki, ki se ujamejo v tokovno polje, ki je posledica samega vrtenja mešala. V takšnem primeru se plinska faza po celotni posodi dokaj enakomerno porazdeli. Ta se bistveno poslabša v primeru, če ob istih vrtljajih povečamo prostorninski pretok plina. Takrat postajajo mehurčki vse večji in vedno težje sledijo tokovnemu polju. Med silami tudi vse bolj prevladuje sila vzgona. Po vedno večjih nastalih mehurčkih, je na koncu celotno mešalo ujeta v oblak plina in nastane stanje poplavljanja. [1]



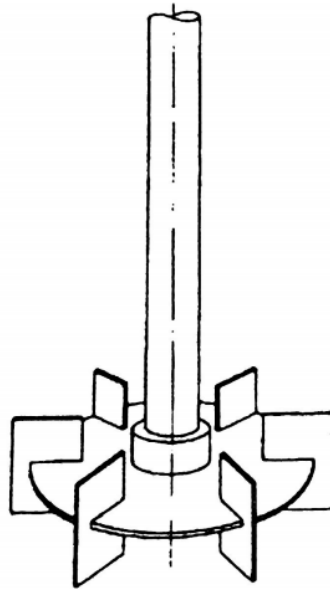
Slika 2: Spreminjanje tokovnega režima skupaj z mehurčki pri dispergiranju plina. [1]

Na sliki 2 lahko vidimo, kako odvisnost med vrtiljaji in pretokom vpliva na tokovni režim mehurčkov. Če povečamo pretok, se mehurčki večajo in porazdelitev plinske faze se poslabša. Če povečamo vrtiljaje, pa se mehurčki zmanjšajo in se porazdelitev plinske faze izboljša.

2.6 Mešala

Mešalo je glavni sestavni del mešalne posode. Naloga mešala je prenos mehanske energije v kinetično energijo tekočine. Glede na obliko mešala se razlikujejo tokovna polja v mešalni posodi. Izbira pravilnega mešala za določen primer je zelo pomembna, saj tako izboljšamo kakovost mešanja in zmanjšamo čas mešanja. Kriteriji pri izbiri mešala so: kakšna je viskoznost kapljevine, kolikšno moč mešala potrebujemo, kolikšen je čas, ki ga imamo na voljo in pa največje strižne napetosti, ki jih lahko mešana snov prenese. [1]

Poznamo več vrst mešal. Nekatera so propellerska, turbinska, vijačna, sidrna, protitočna mešala, pa tudi disperzijski diski. Pri dispergiranju plina v kapljevini je najbolj znano turbinsko diskasto mešalo, ki ga imenujemo Rushtonovo mešalo. Vidimo ga lahko na spodnji sliki 3. To mešalo je najpogosteje sestavljeno iz 6 do 8 lopatic, ki so pritrjena na obod osrednje plošče. Naloga te plošče je, da preusmerja mehurčke proti lopaticam, da jih razbijejo. Značilnost Rushtonovega mešala je ustvarjeno radialno tokovno polje, ki vsebuje dva močna vrtinca. Slabost mešala je pri navpičnem mešanju. [1]



Slika 3: Rushtonovo mešalo. [2]

2.7 Moč mešala

Pri mešanju v mešalni posodi moramo za uspešen pogon mešala, le-temu omogočiti neko minimalno moč P_p , ki bo omogočila zadovoljivo mešanje. To dobimo, če seštejemo mehansko moč P , s katero se vrti mešalo in pa moč, ki je potrebna za premagovanje izgub, ko poteka prenos moči med mešalom in pogonskim strojem. Izračun prikazuje spodnja enačba (2.1). Z izgubami, ki zahtevajo dodatno moč P_{izg} , so mišljene izgube v tesnilih, ležajih in sklopki. [4]

$$P_p = P + P_{izg} \quad (2.1)$$

Moč za mešanje P lahko izračunamo po spodnji enačbi (2.2). Za to pa moramo poznati vrednost vrtilnega momenta, saj moč izračunamo iz zmnožka vrtilne frekvence in vrtilnega momenta. [4]

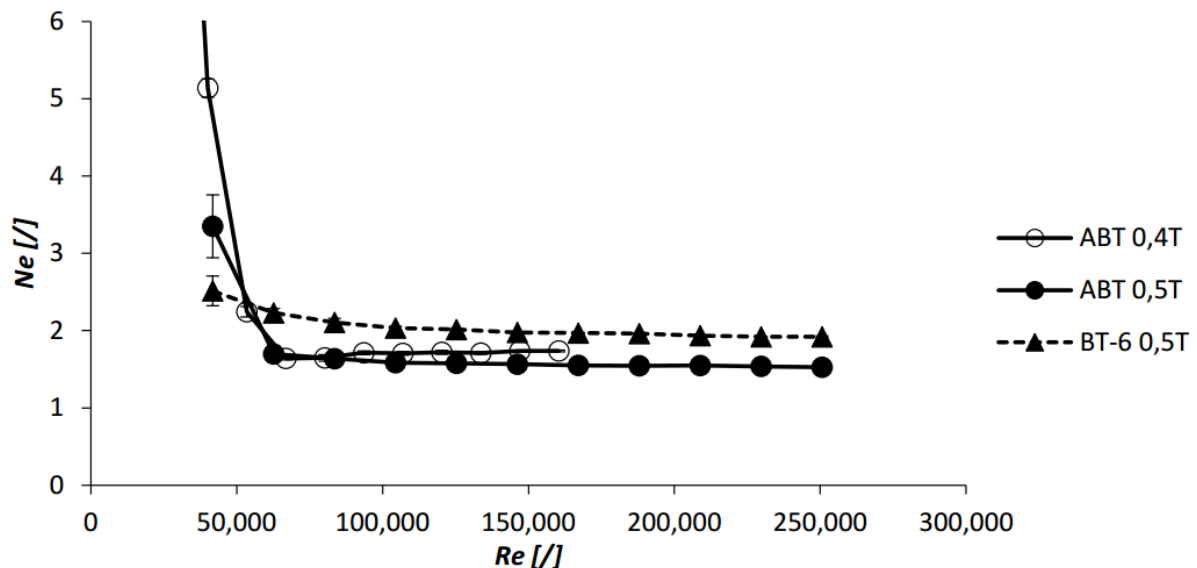
$$P = M \cdot \omega = M \cdot 2\pi n \quad (2.2)$$

2.8 Newtonovo in Reynoldsovo število

Newtonovo število izračunamo po spodnji enačbi (2.3), Reynoldsovo pa po enačbi (2.4). S pomočjo Re števila lahko ugotovimo za kakšno tokovno polje gre. Turbulentno ali laminarno. Potem lahko tudi uporabljamo razne korelacije za turbulentno oz. laminarno območje. Pri mešanju newtonskih tekočin je Re število tudi glavni vplivni parameter. S pomočjo grafa Ne v odvisnosti od Re dobimo značilni potek karakteristike moči mešala. [1,5]

$$Ne = P/(\rho \cdot n^3 \cdot D^5) \quad (2.3)$$

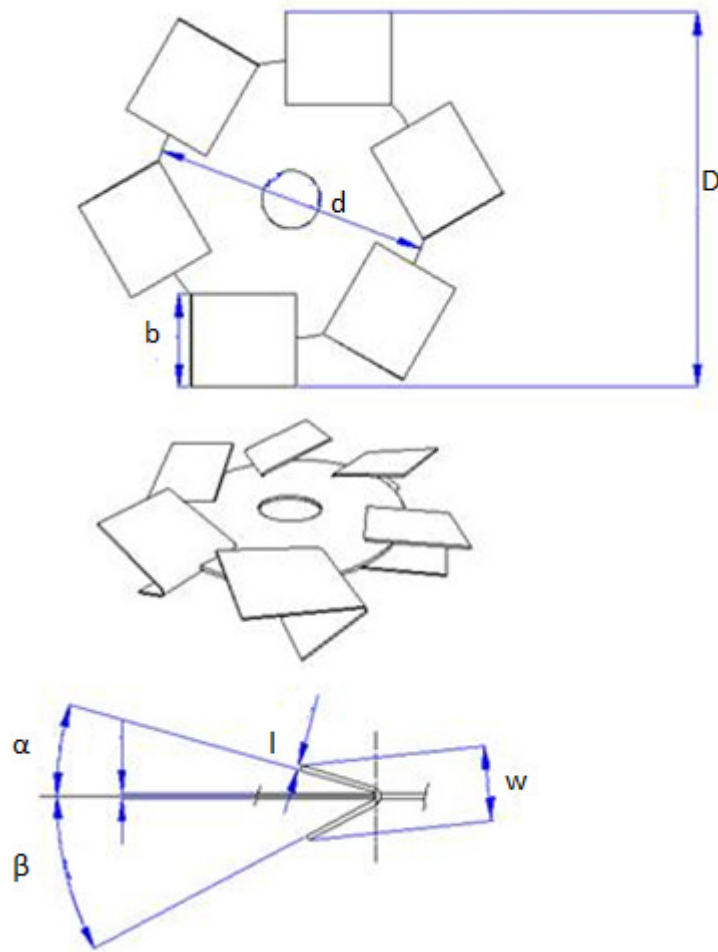
$$Re = (n \cdot D^2)/\nu \quad (2.4)$$



Slika 4: Ne število v odvisnosti od Re števila. [3]

Na Slika 4 so prikazani rezultati Ne števila v odvisnosti od Re , ki so bili narejeni tudi za ABT mešalo. Te so napravili avtorji vira [3]. S tem bomo lahko primerjali tudi naše rezultate, da bomo videli, če smo dobili podobne rezultate.

3 GEOMETRIJA



Slika 5: Geometrija mešala.

Na zgornji sliki 5 lahko vidimo geometrijske dimenzije turbinskega mešala ABT, ki je sestavljeno iz šestih asimetrično zapognjenih lopatic. Gre za radialno diskasto mešalo, ki se je razvijalo in tudi pridobilo patent, v Laboratoriju za dinamiko in termodinamiko na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani. [6]

3.1 Preračun geometrije

V sklopu naloge bodo izvedene meritve s tremi različnimi velikostmi ABT mešala. Dimenzije ABT mešala, povzetega iz članka [6], je bilo potrebno dimenzijsko zmanjšati glede na obstoječo mešalno posodo na kateri bodo izvedene meritve. Uporabljena posoda ima notranji premer 170 mm. Spodaj so predstavljene dimenzije za vse tri velikosti mešala, in sicer za mešala s premerom 0,5T, 0,4T in 0,33T. Pri vseh treh sta kota med kraki lopatic in debelina lopatice enaka. Kota med kraki lopatice sta 16° in 28°. Debelina lopatice pa znaša 1,5 mm. S pomočjo enačbe (3.1) smo izračunali premer vseh treh mešal.

$$D = T \cdot 0,5 \text{ (0,4 ali 0,33)} \quad (3.1)$$

150mm = premer mešala iz izhodiščnega članka [6].

$$X(\text{razmerni faktor}) = \frac{D}{150 \text{ mm}} \quad (3.2)$$

Z razmernim faktorjem X so potem pomnožene dimenzije, da dobimo potrebno geometrijo. Vse tri so predstavljene spodaj. Enačba za izračun X je prikazana v enačbi (3.2)

Geometrija 1: za 0,5T

$$D = 85 \text{ mm}$$

$$d = 62,9 \text{ mm}$$

$$b = 20,96666667 \text{ mm}$$

$$w = 17 \text{ mm}$$

$$l = 1,5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 16^\circ$$

$$\beta = 28^\circ$$

Geometrija 2: za 0,4T

$$D = 68 \text{ mm}$$

$$d = 50,32 \text{ mm}$$

$$b = 16,77333 \text{ mm}$$

$$w = 13,6 \text{ mm}$$

$$l = 1,5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 16^\circ$$

$$\beta = 28^\circ$$

Geometrija 3: za 0,33T

$$D = 56,1 \text{ mm}$$

$$d = 41,514 \text{ mm}$$

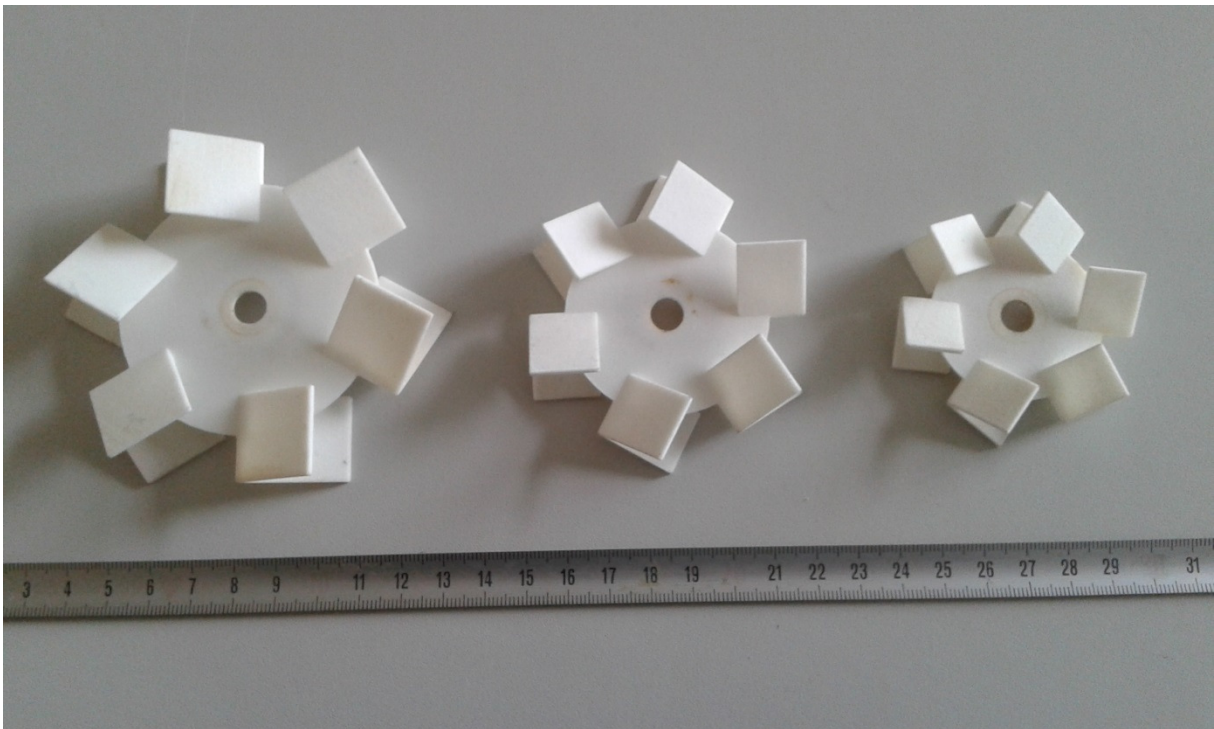
$$b = 13,838 \text{ mm}$$

$$w = 11,22 \text{ mm}$$

$$l = 1,5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 16^\circ$$

$$\beta = 28^\circ$$



Slika 6: Vsa tri mešala naprintana s 3D printerjem.

Na zgornji sliki 6 lahko vidimo, kako so videti vsa tri mešala. Čisto levo je veliko mešalo s premerom 85 mm, na sredini je srednje s premerom 68 mm in na desni malo mešalo s premerom 56,1 mm.

4 PRETOČNOST NA MEJI POPLAVLJANJA

Pretočnost na meji poplavljanja smo izračunali s pomočjo grafa, ki ga prikazuje slika 1 v teoretičnem delu diplomske naloge. Najprej je bilo potrebno izračunati Froudovo število, katerega izračun prikazuje enačba (4.1).

$$Fr = \frac{D \cdot n^2}{g} = Y \quad (4.1)$$

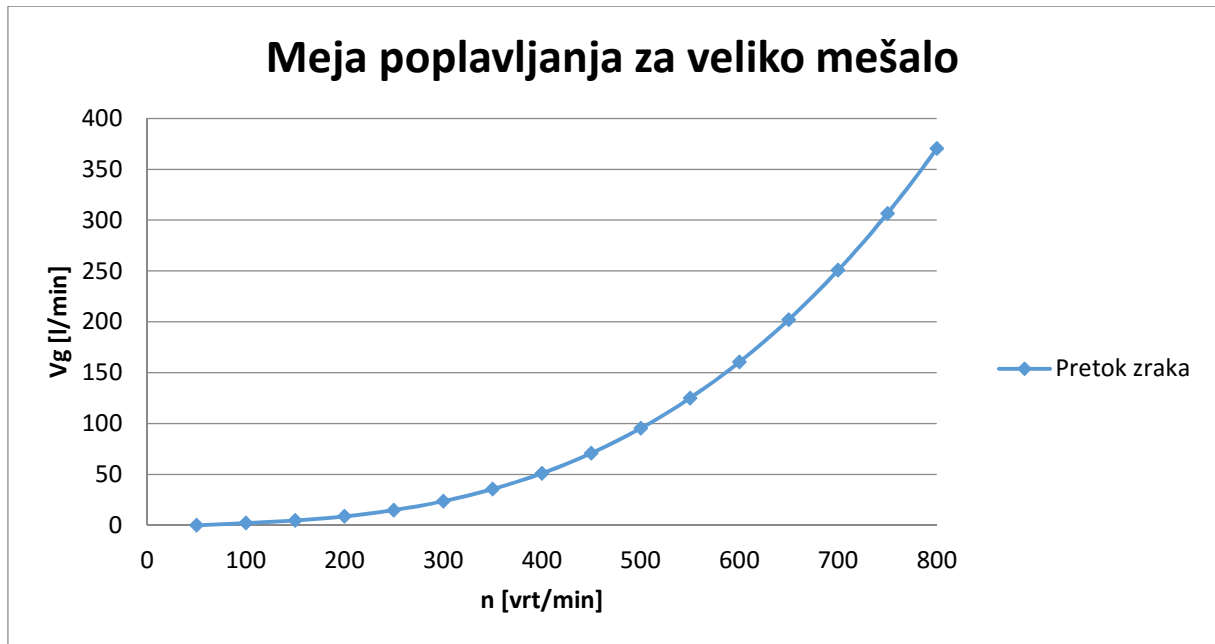
Potem smo s pomočjo programa Web Plot Digitizer dobili točke premice grafa Fr/FI, prikazanega na sliki 1. Ta premica predstavlja mejo poplavljanja. Nato smo vse točke, ki so predstavljale premico vnesli v program Excel in zrisali graf. Grafu smo dodali linearno trendno črto in tako dobili enačbo linearne trendne črte. Prikazuje jo enačba (4.3).

$$Fl = \frac{V_g}{n \cdot D^3} = X \quad (4.2)$$

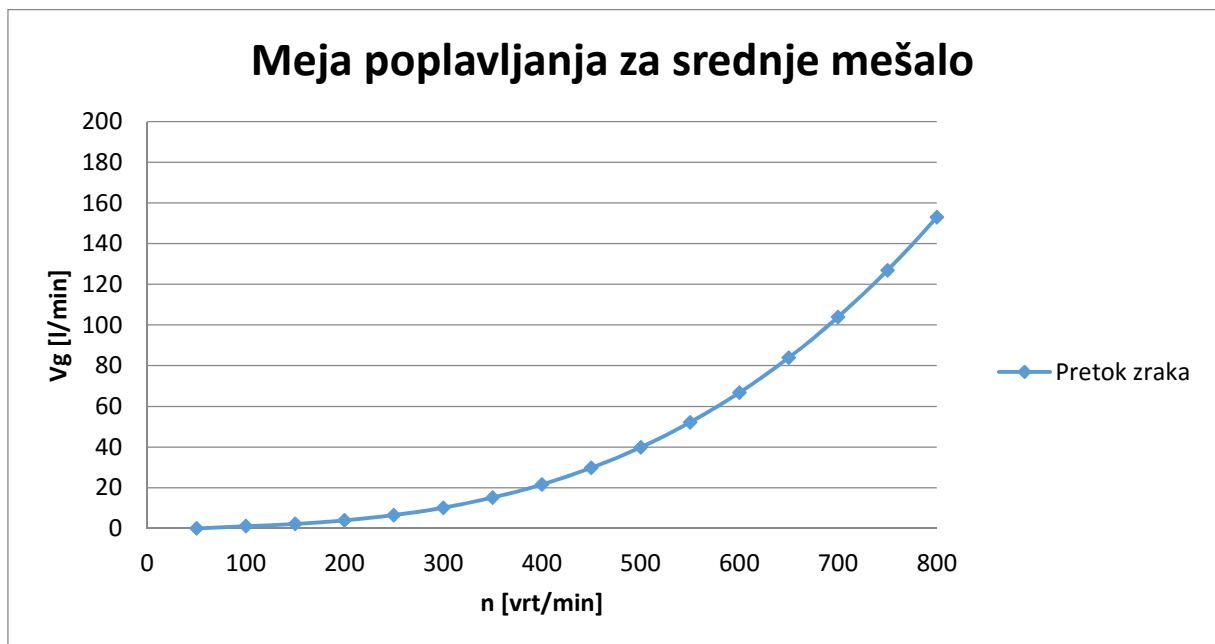
$$Y = 2,1174X - 0,0561 \rightarrow X = \frac{Y+0,0561}{2,1174} \quad (4.3)$$

V to enačbo smo vstavili za Y, enačbo za Fr število in za X, enačbo za Pretočno število FI (4.2). Po izpostavitvi pretoka zraka smo dobili ustrezno enačbo (4.4), s katero smo lahko za poljubne vrtljaje izračunali pretok zraka na meji poplavljanja pri določenih vrtljajih za vse tri primere mešal. Na ta način smo lahko izračunali, kakšen pretok plina bi zagotovil nastanek stanja poplavljenosti mešala.

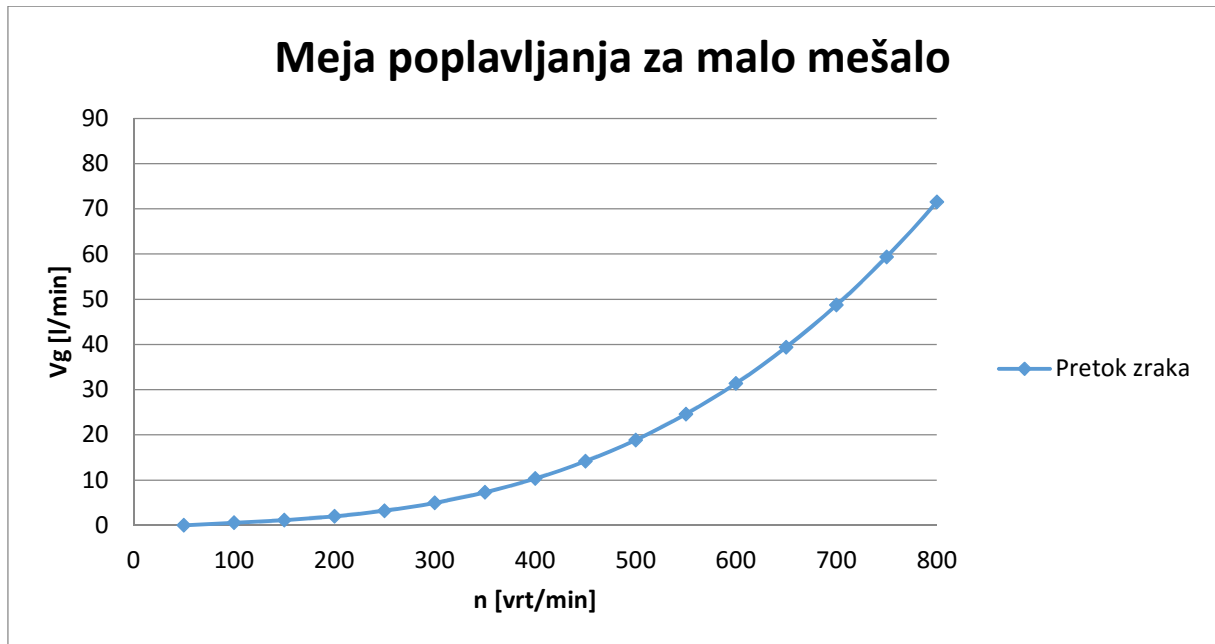
$$\dot{V}_g = \frac{\left(\frac{D \cdot n^2}{g}\right) + 0,0561}{2,1174} \cdot n \cdot D^3 \quad (4.4)$$



Graf 1: Pretok zraka v odvisnosti od vrtljajev, ko bi naj prišlo do točke poplavljenosti velikega mešala.



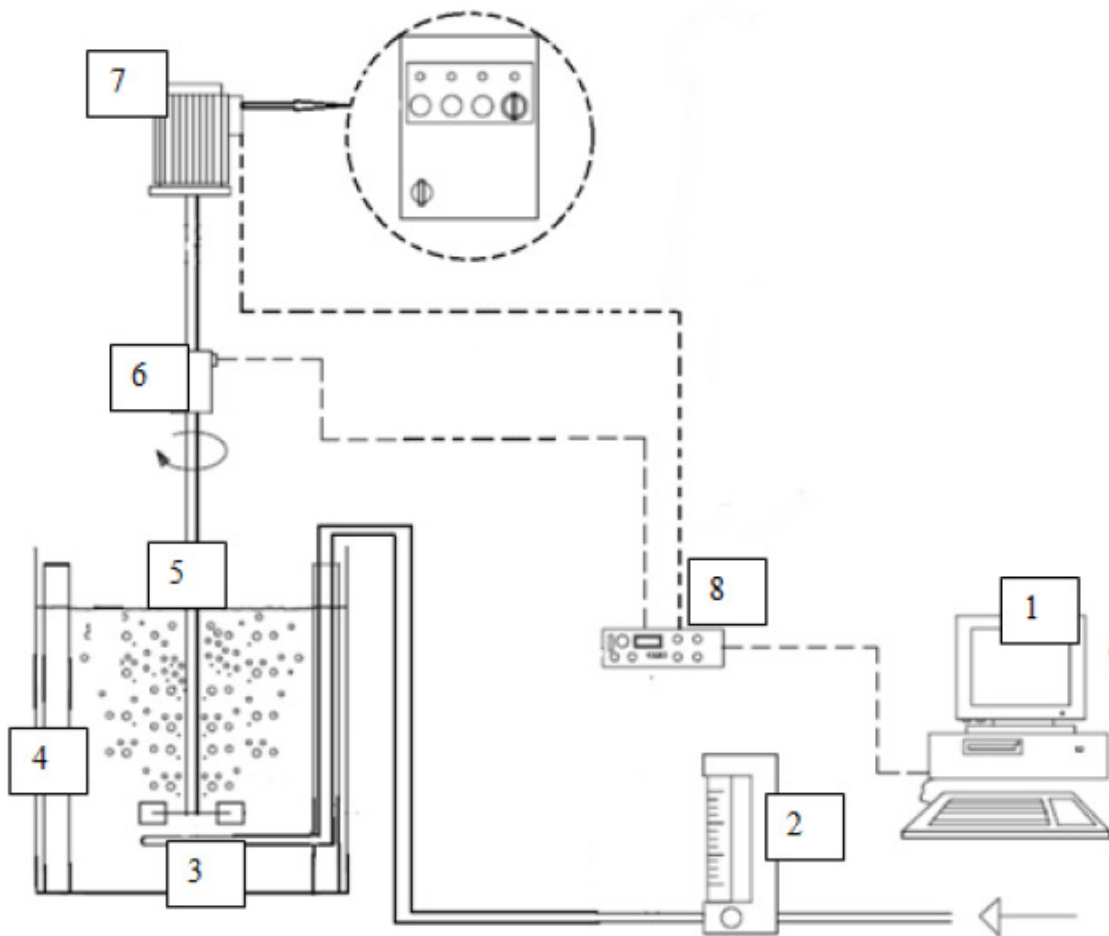
Graf 2: Pretok zraka v odvisnosti od vrtljajev, ko bi naj prišlo do točke poplavljenosti srednjega mešala.



Graf 3: Pretok zraka v odvisnosti od vrtljajev, ko bi naj prišlo do točke poplavljenosti malega mešala.

Glede na zgornje grafe, Graf 1, Graf 2 in Graf 3, lahko rečemo, da večje kot je mešalo, večji pretok zraka lahko dosežemo do meje poplavljanja. Pri večjem mešalu je večja maksimalna pretočnost. Vidimo lahko, da pri večjih vrtljajih ne bomo mogli doseči meje poplavljanja, saj bi morali dovajati precej večje količine plina, kot nam dopušča naša naprava.

5 MERILNA PROGA



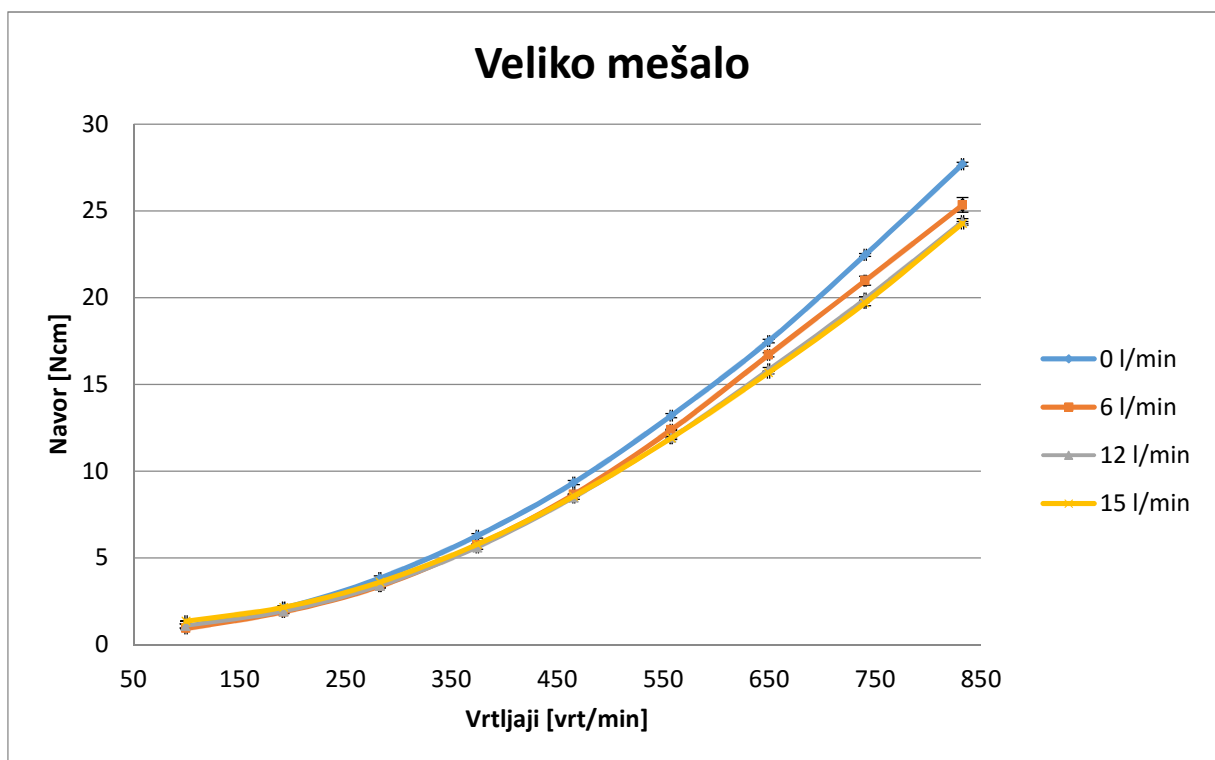
Slika 7: Shema merilne proge. [7]

V merilni progi imamo mešalno posodo s štirimi pregradami. Na shemi je prikazana pod številko 4. Vanjo je vstavljeno, na primerno višino, mešalo na palici, številka 5, ki je vpeta v elektromotor. Elektromotor lahko vidimo pod številko 7. V posodo pod mešalom je tudi nameščen razpršilni obroč, prikazan na shemi pod številko 3, s pomočjo katerega v posodo dispergiramo plin. Skozi razprševalni obroč dovajamo plin iz jeklenke. Količino dovedenega plina pa določamo s aerometrom, ki je na shemi prikazan pod številko 2. Pod številko 6 je označen merilnik navora, ki je nameščen pod elektromotorjem. Merilnik navora je povezan s prikazovalnikom navora, številka 8, kjer lahko vidimo, kolikšen je pri določenem mešanju navor mešala. Vsi podatki se nam beležijo na računalniku, številka 1, kjer na samem začetku meritve nastavimo ustrezne pogoje in na koncu meritve vidimo vse merjene podatke.

6 IZVEDBA MERITEV

Dispergirni obroč je nastavljen na višino T/6, mešalo pa na višino T/3. Tako smo obroč nastavili na višino 28,3 mm od dna in mešalo na 56,7 mm. Zaradi omejenih pogojev, kot je velikost posode in kapaciteta vnosa plina, nismo mogli delati meritev pri višjem pretoku, kot 15 l/min.

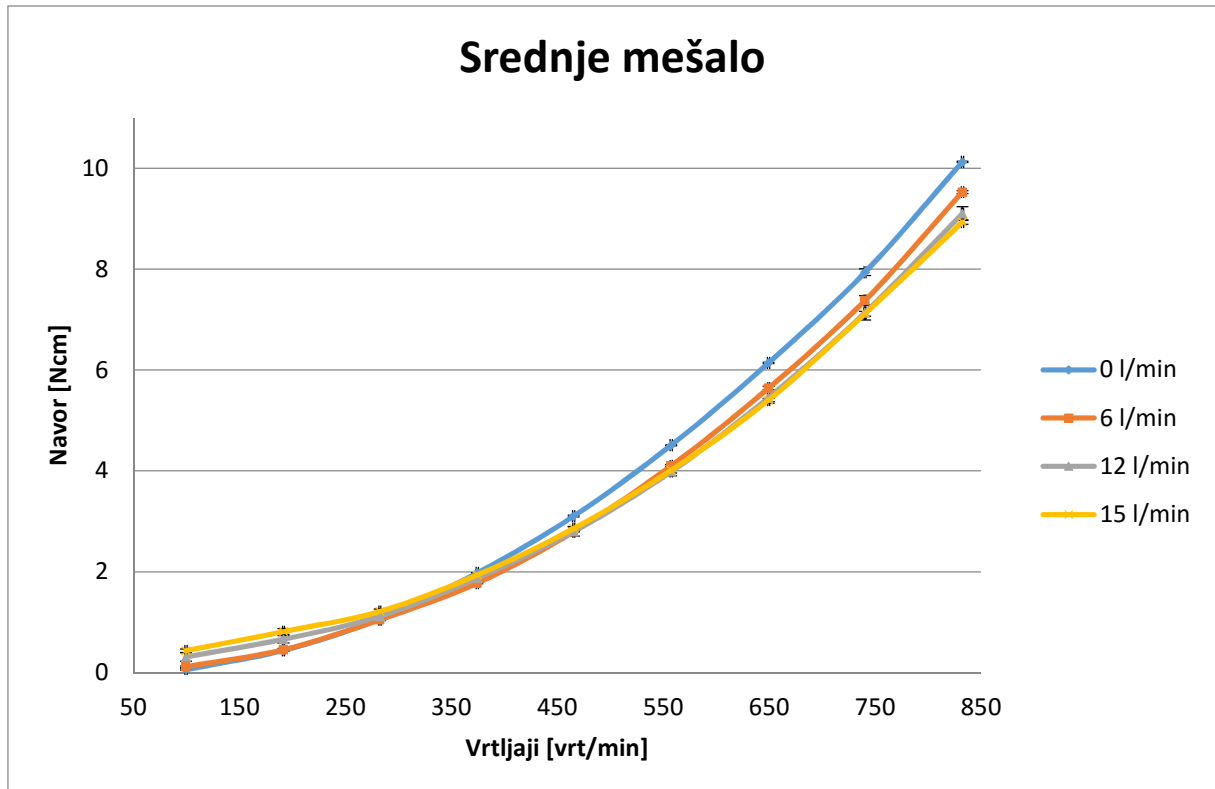
Odločili smo se, da bomo izvedli meritve za vsa tri mešala pri pretokih 0 l/min, 6 l/min, 12 l/min in 15 l/min. Vsako meritev smo ponovili petkrat in nato izračunali povprečne vrednosti.



Graf 4: Meritve navora v odvisnosti od vrtljajev pri velikem mešalu z intervalom napak, da lahko vidimo obseg vseh meritev. Uporabljena so povprečja vseh petih meritev.

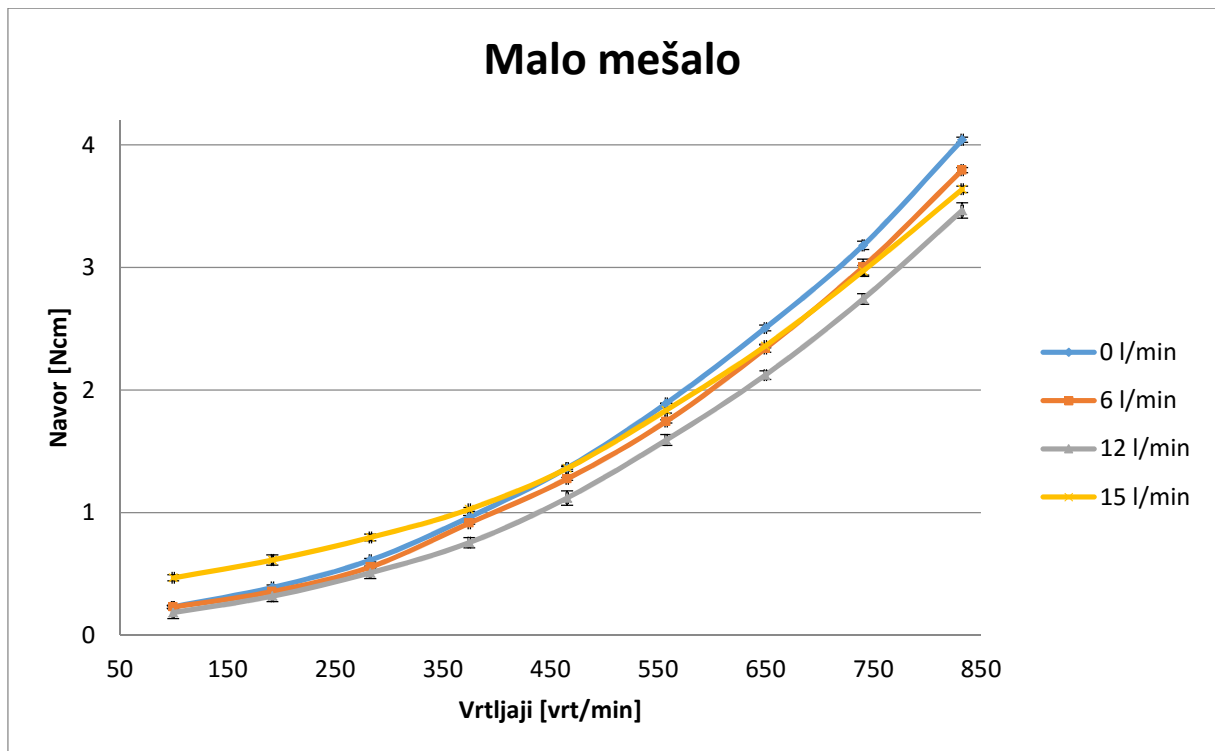
Glede na zgornji Graf 4, lahko vidimo, da s povečanjem vrtljajev, navor narašča. Če pogledamo kako navor narašča z vrtljaji glede na različne pretoke zraka, lahko ugotovimo, da pri majhnih vrtljajih ni tako očitne razlike. Pri analizi velikega mešala bomo upoštevali samo podatke od 450 vrt/min naprej, saj je pri manjših vrtljajih napaka (opletanje vpenjalne glave mešala in nato opletanje samega mešala, kar pri manjših vrednostih navora bistveno vpliva na odčitavanje navora) prevelika in analiza ni smiselna. To lahko opazimo, ker pod omenjenimi vrtljaji dobimo ravno obratni trend. Od tu naprej lahko vidimo, da večji kot je pretok plina,

manjši je navor mešala. Večji kot so vrtljaji, bolj je to očitno in večja je razlika. Najbolj se vpliv pretočnosti pozna do 6 vrt/min. Potem pa z nadaljnjim večanjem, ta vpliv ni več tako izrazit. Posebej od 12 l/min naprej so razlike male, če primerjamo meritve pri 12 in 15 l/min.



Graf 5: Meritve navora v odvisnosti od vrtljajev pri srednjem mešalu z intervalom napak, da lahko vidimo obseg vseh meritev. Uporabljena so povprečja vseh petih meritev.

Če pogledamo Graf 5 vidimo, da je trend meritev pri srednjem mešalu podoben, kot pri velikem mešalu. Tudi pri srednjem mešalu so napake pri majhnih vrtljajih prevelike in dobimo rezultate, ki so v nasprotju z realnim stanjem. Zato bomo v nadaljevanju obravnavali le meritve od 450 vrt/min naprej. Rezultati meritev so na začetku precej skupaj, potem pri večanju vrtljajev pa se opazijo vedno večje razlike v odvisnosti od pretoka plina. Večji kot je pretok plina, manjši je navor mešala. Tudi tukaj je tako, kot pri velikem mešalu največja sprememba pri pretoku 6 l/min. Pri nadaljnjem večanju pretoka plina pa je navor manjši, ampak za manjšo razliko. Tako sta pretoka 12 l/min in 15 l/min precej skupaj z meritvami.

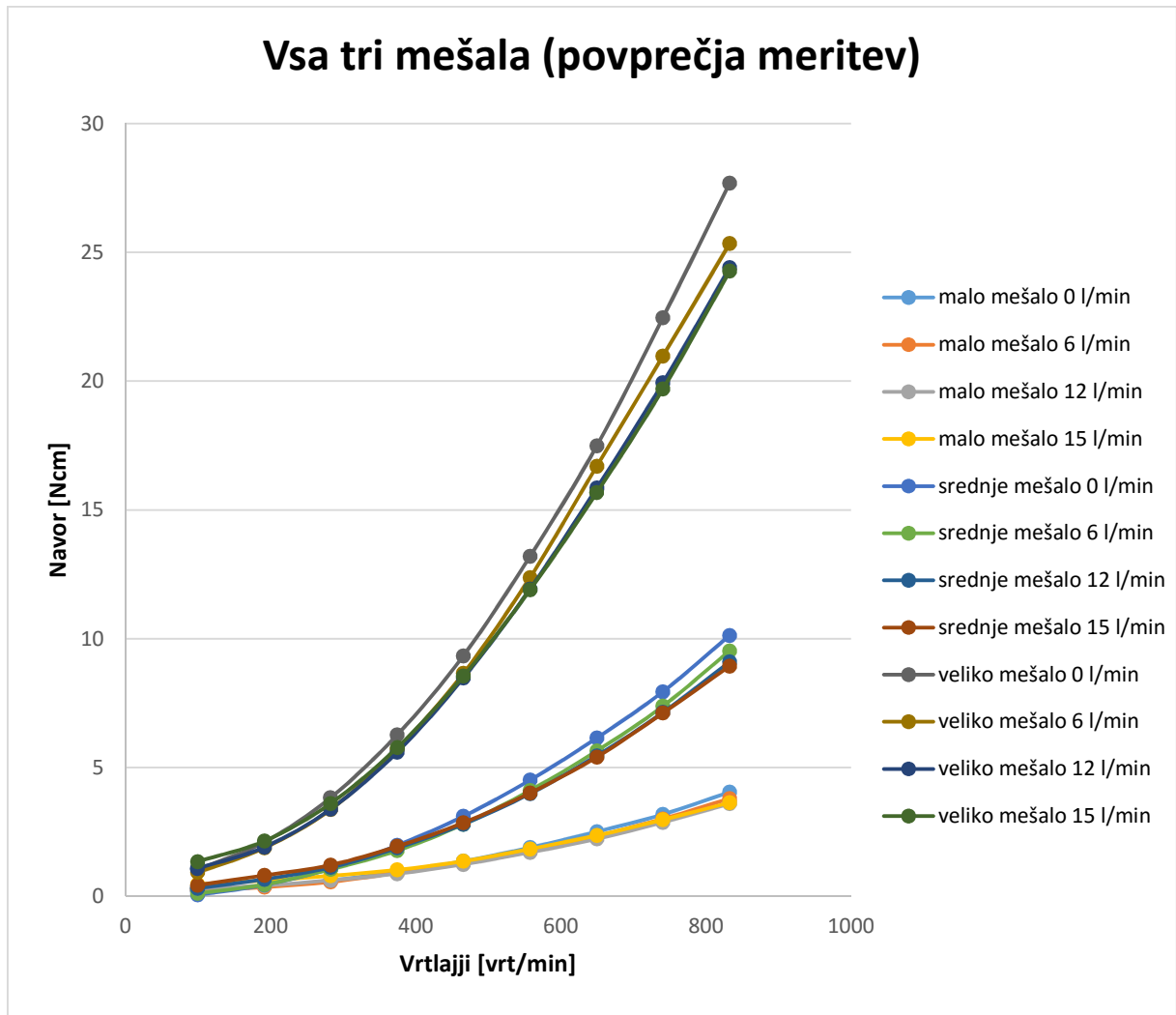


Graf 6: Meritve navora v odvisnosti od vrtljajev pri malem mešalu z intervalom napak, da lahko vidimo obseg vseh meritev. Uporabljena so povprečja vseh petih meritev.

Glede na Graf 6 lahko rečemo, da tudi za to malo mešalo velja večinoma enako, kot je bilo ugotovljeno pri srednjem in velikem mešalu. Vendar pa rezultati niso tako natančni, kot pri prvih dveh mešalih. Razlog je ta, da so izmerjeni navori precej manjši in je zaradi tega vpliv napak na meritve precej večji. V nadaljevanju bomo za to mešalo obravnavali podatke za vrtljaje 450 vrt/min in naprej, saj so pri manjših vrtljajih rezultati meritev nesmiselni. Od tu naprej pa vidimo, da večji kot je pretok, manjši je navor. Vidimo, da meritev pri tem mešalu, pri 12 l/min pretoka plina, odstopa od ugotovljenega pri meritvah vseh treh mešal. Razlog je v omenjenih napakah, ki so prisotne pri meritvah.

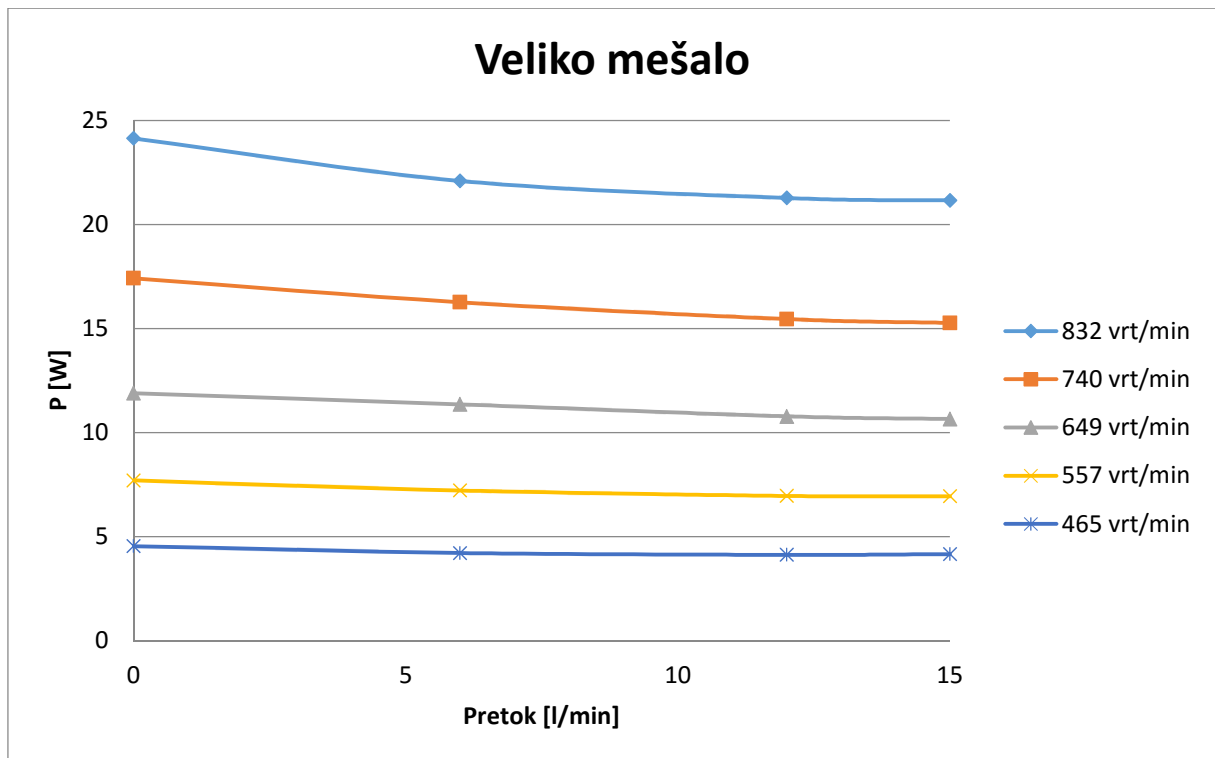
Mešalo je nameščeno na dolgi vpeti palici, ki rahlo opleta. To povzroča vibracije, ki posledično vplivajo na kot na merilniku navora na elektromotorju. Merilnik deluje tako, da meri spremembo kota, ki jo povzroči sila mešala. Tako na koncu dobimo podatek, kolikšen je navor mešala. Omenjene vibracije vplivajo na ta kot, zaradi česar potem pride do napake pri meritvi.

7 REZULTATI

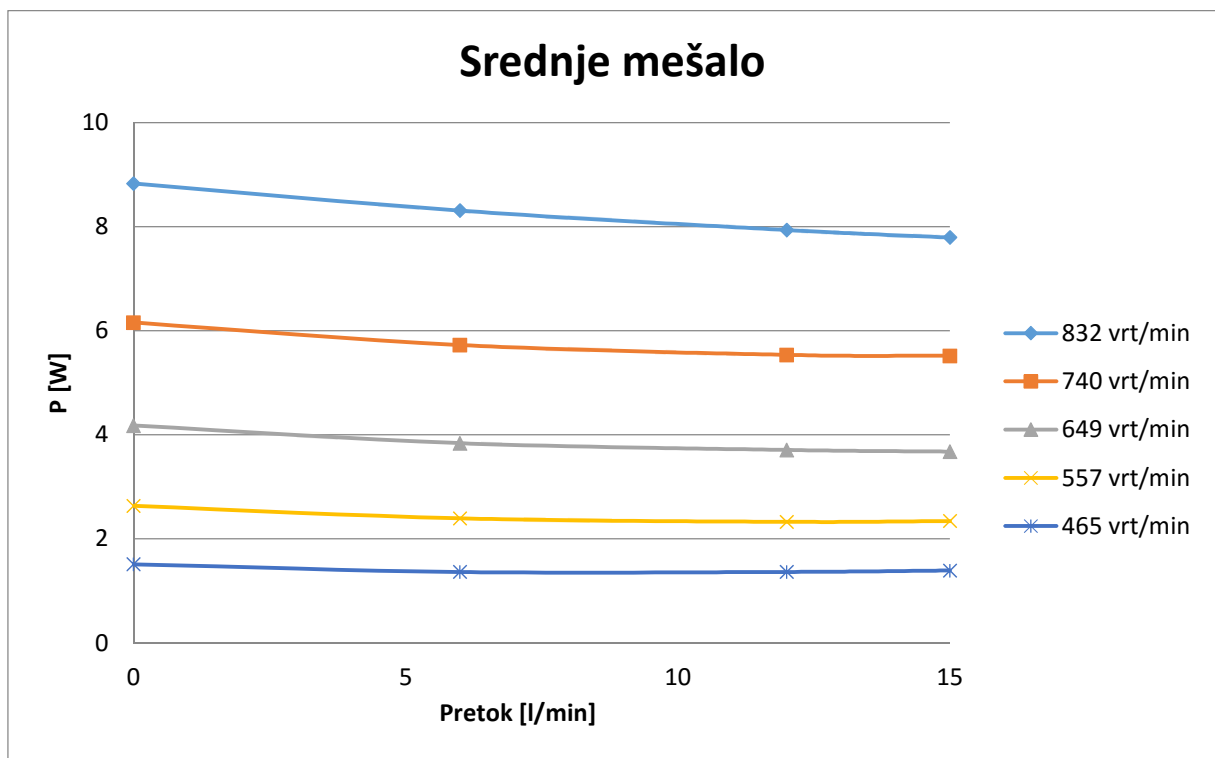


Graf 7: Povprečni rezultati vseh petih meritev za vsa tri mešala.

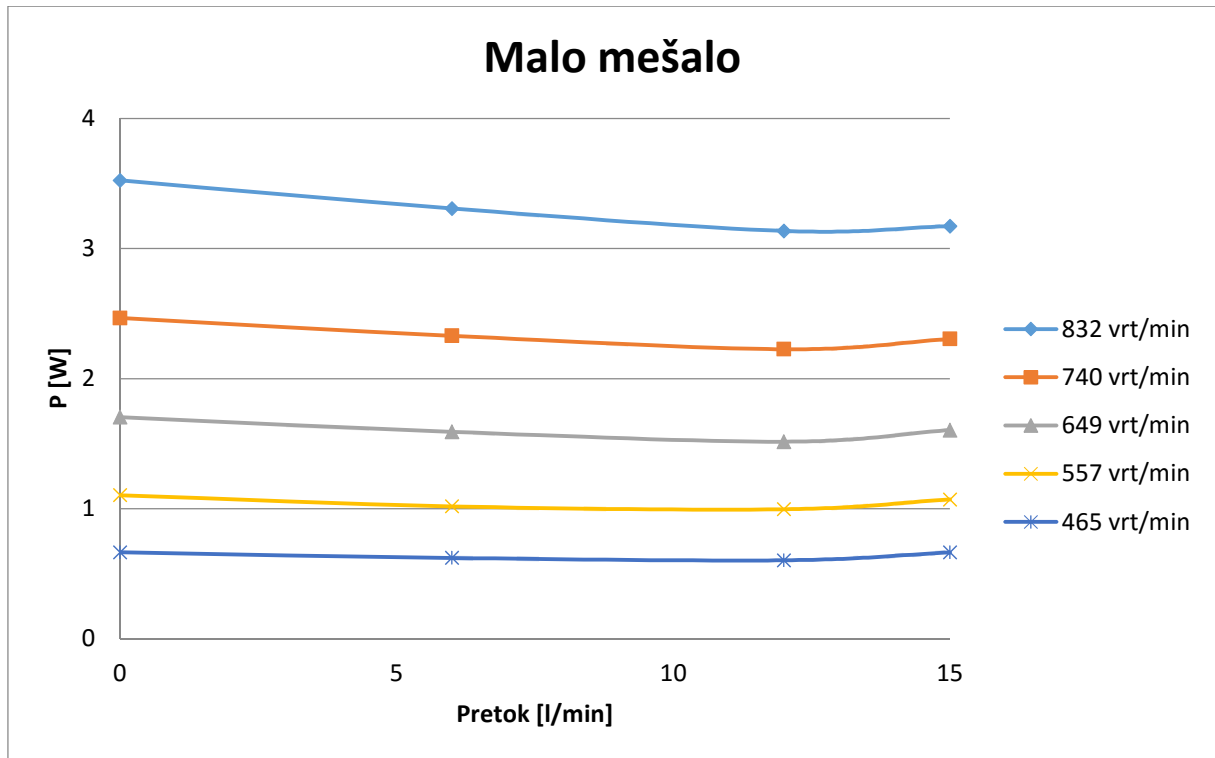
Glede na Graf 7, kjer je prikazana odvisnost navora od vrtljajev za vsa tri mešala pri različnih pretokih plina lahko vidimo, da je največji navor potreben za veliko mešalo. Pri velikem mešalu so tudi razlike rezultatov v odvisnosti od različnih pretokov največje. V primerjavi vseh treh mešal ima pretok najmanjši vpliv pri malem mešalu. Lahko bi rekli, da večje kot je mešalo, večji vpliv ima pretok plina. Večje kot je mešalo, večji so tudi navori.



Graf 8: Moč mešala v odvisnosti od pretoka pri različnih vrtljajih, večjih od 450 vrt/min, za veliko mešalo.



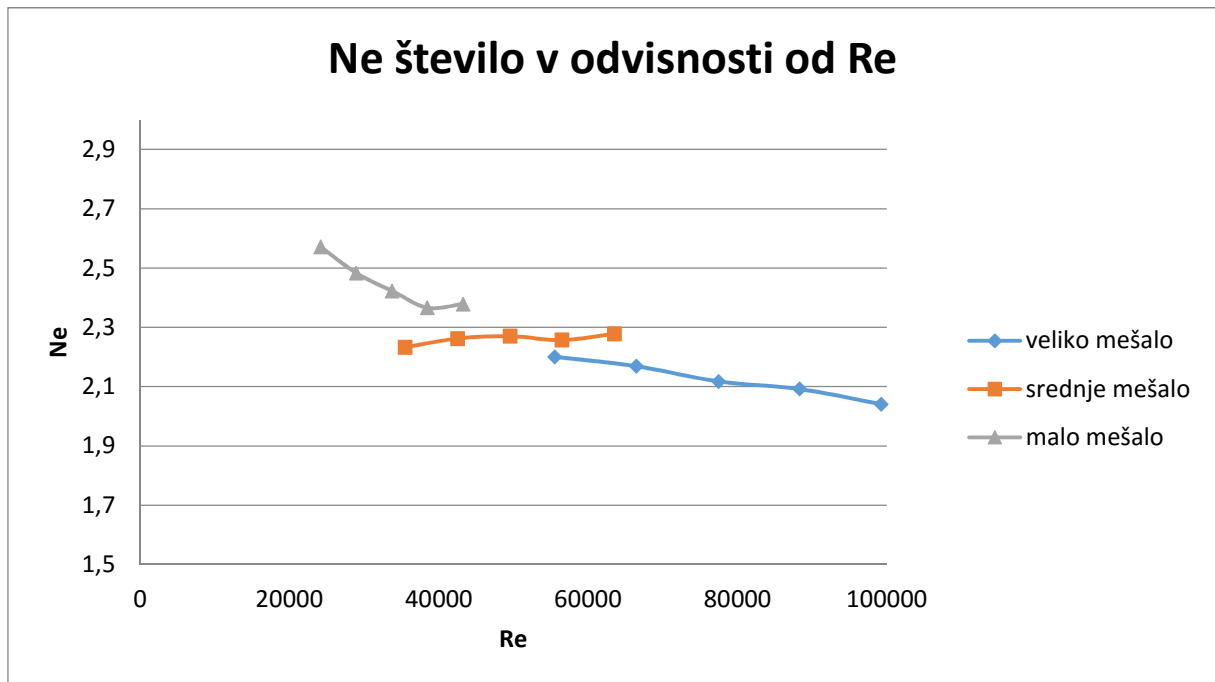
Graf 9: Moč mešala v odvisnosti od pretoka pri različnih vrtljajih za srednje mešalo.



Graf 10: Moč mešala v odvisnosti od pretoka pri različnih vrtljajih za malo mešalo.

Zgornji Graf 8, Graf 9 in Graf 10, prikazujejo moč mešala v odvisnosti od pretoka zraka za določene vrtljaje. Kot je bilo omenjeno že pri prikazu meritev, zgoraj obravnavamo samo vrtljaje večje od 450 vrt/min. Opazimo lahko, da se pri vseh treh mešalih moč mešala manjša z večanjem pretoka. To se še posebej dobro vidi pri večjih vrtljajih, kjer je ta razlika najbolj očitna. Če primerjamo vse tri grafe s Graf 4, Graf 5 in Graf 6, ki prikazujejo navor v odvisnosti od vrtljajev za določene pretoke pri vseh treh mešalih, lahko vidimo, da je trend podoben. Temu je tako, ker je moč v sorazmerni odvisnosti od navora.

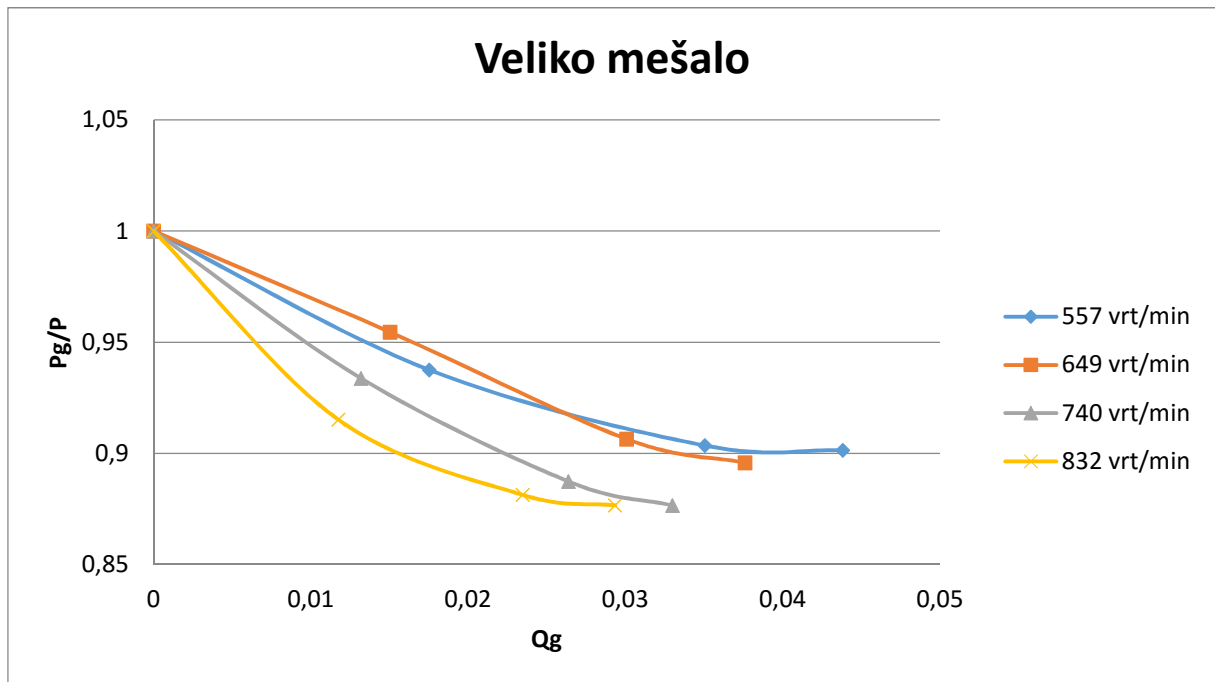
7.1 Ne število v odvisnosti od Re za mešanje brez dispergiranja plina



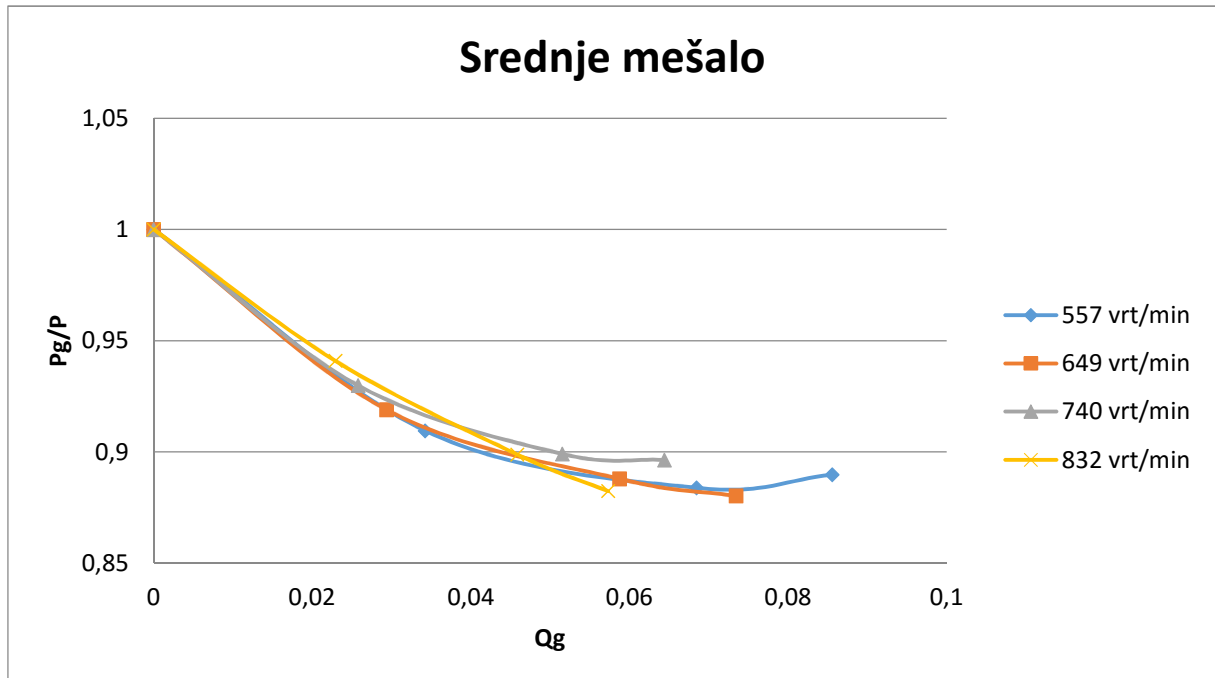
Graf 11: Ne število v odvisnosti od Re za vsa tri mešala.

Zgornji Graf 11 prikazuje odvisnost Ne in Re števila za vrtljaje večje od 450 vrt/min. Rezultati so prikazani za vsa tri mešala. Graf prikazuje rezultate za mešanje brez pretoka plina. Vidimo lahko, da smo pri malem mešalu dosegli največje vrednosti Ne števila. Tam med 2,5 in 2,35. Pri velikem mešalu smo dosegli najnižje vrednosti Ne števila med 2 in 2,2. Za srednje mešalo, pa so bile dosežene vmesne vrednosti med ostalima mešaloma. Opazimo lahko, da večje kot je mešalo, manjše Ne število dosežemo, hkrati pa lahko dispergiramo več zraka v kapljevino. Če primerjamo naš Graf 11 s Slika 4 vidimo, da smo dosegli precej manjše vrednosti Ne števila. Razlog je v tem, da smo imeli precej manjšo posodo. Pri primerjanem grafu so za meritve uporabljali posodo s 450 mm premera. Rezultati Ne števila pa so zelo blizu.

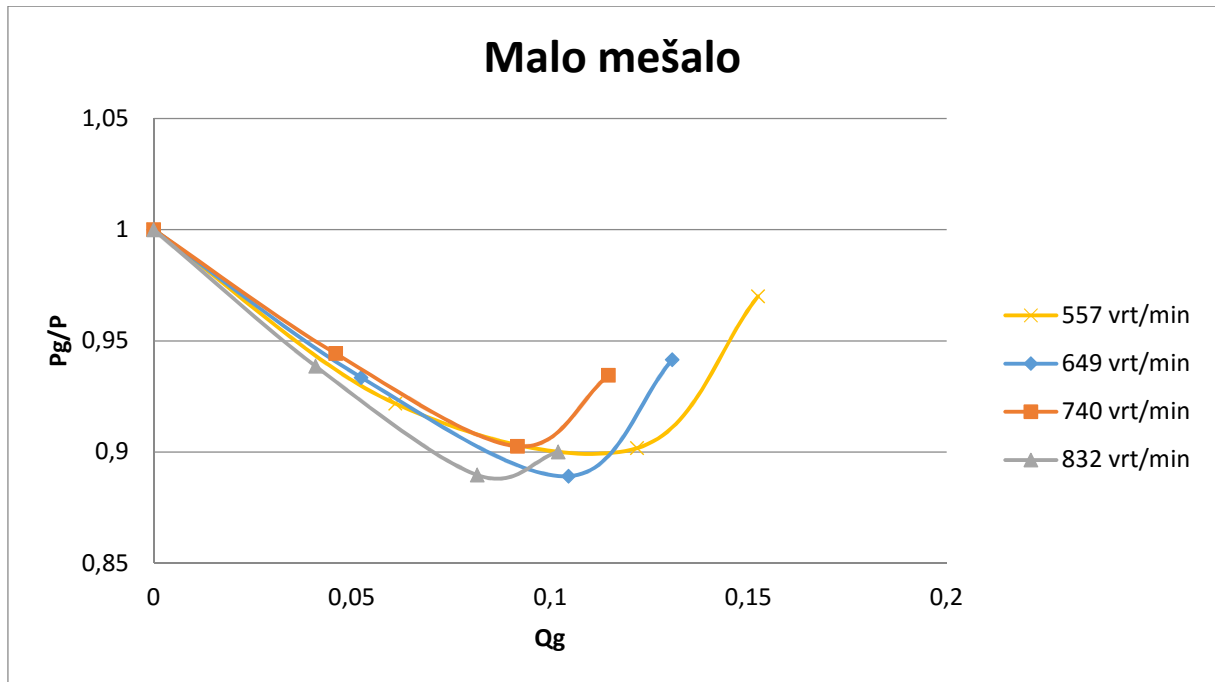
7.2 Razmerje moči P_g/P v odvisnosti od pretočnega števila



Graf 12: P_g/P v odvisnosti od Q_g pri velikem mešalu.



Graf 13: P_g/P v odvisnosti od Q_g pri srednjem mešalu.



Graf 14: P_g/P v odvisnosti od Q_g pri malem mešalu.

Na Graf 12, Graf 13 in Graf 14 je prikazan potek razmerja moči v odvisnosti od pretočnega števila. Razmerje moči P_g/P je razmerje med močjo mešanja z dispergiranjem plina in močjo mešanja brez dodajanja plina. Pri vseh treh mešalih poteka zmanjšanje potrebne moči mešala, pri večanju pretoka plina. Vidimo lahko, da pri malem mešalu proti koncu sicer razmerje moči naraste, vendar pa to pripisujemo napaki naprave, zaradi majhnih navorov. V primeru, da pride v naslednji točki do povečanja moči pomeni, da je prišlo do stanja poplavljenosti. Ker pa smo si v poglavju 4 izračunali, kdaj bi naj prišlo do poplavljenosti mešala, pa lahko potrdimo, da gre za napako. Opazimo lahko, da drugače nikjer v grafih za vsa tri mešala ne pride do povečanja moči v naslednji točki, zato ni prišlo do stanja poplavljenosti mešala.

8 SKLEP

V diplomskem delu so bili merjeni navori pri določenih pretokih plina z uporabo ABT mešala, na obstoječi napravi Laboratorija za računalniško dinamiko tekočin na Fakulteti za strojništvo.

Z meritvami in rezultati lahko potrdimo tezo, ki smo si jo postavili na začetku, da večje kot je mešalo, večja je potrebna moč mešanja, pri čemer pa se s povečanjem pretoka dispergirane plina mešalna moč zmanjšuje. Ugotovili smo tudi, da večji kot so vrtljaji bolj se pozna vpliv dovedene količine pretoka zraka. Skozi diplomsko nalogo smo ugotovili, da je mešalo ABT res zelo primerno za dispergiranje plina, saj lahko do stanja poplavljanja dovajamo velike količine plina, še posebej pri večjih vrtljajih. Zaradi tega tudi nismo mogli doseči poplavljenosti mešala pri večjih vrtljajih. Pri manjših, ko bi v nekaterih pogojih poplavljanje lahko dosegli, pa smo zaradi napake dobili nesmiselne rezultate. Tako v naših meritvah nismo dosegli stanja poplavljenosti mešala.

Meritve so bile sicer zadovoljive. Morda je bilo pri malem mešalu videti malo bolj izrazite napake, ker so zaradi manjše površine navori dosti manjši, kot na srednjem in velikem mešalu. Zato napake pridejo še toliko bolj do izraza in imajo večji vpliv.

Naše rezultate bi bilo zanimivo primerjati z računalniško simulacijo, ki bi bila izvedena v enakih pogojih.

SEZNAM UPORABLJENIH VIROV

- [1] M. Hriberšek, Procesna tehnika 1 del: osnove, mešanje, sušenje. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2005.
- [2] M. Zlokarnik, Stirring. Theory and Practice. Federal Republic of Germany, 2001.
- [3] M. Vidic, A. Bombač in D. Senica: Analiza osnovnih karakteristik posameznih mešal pri mešanju in dispergiranju zraka v vodo. V: M. Hriberšek, J. Ravnik, Kuhljevi dnevi 2015, Zbornik del, str. 177-184. Ljubljana: Slovensko društvo za mehaniko, 2015.
- [4] M. Hriberšek, M. Zadavec, "Numerično modeliranje mešanja v posodi z Rushtonovim mešalom," Strojniški Vestnik-Journal of Mechanical Engineering, vol. 51, pp. 798-809, Dec 2005.
- [5] M. Cotič, M. Vidic in A. Bombač: Primerjava dveh radialnih mešal v tristopenjskem mešalu. V: M. Hriberšek, J. Ravnik, Kuhljevi dnevi 2015, Zbornik del, str. 17-24. Ljubljana: Slovensko društvo za mehaniko, 2015.
- [6] A. Bombač, "Modificirano diskasto mešalo z asimetričnimi lopaticami za dispergiranje velikih količin plina v fermentorju" Ventil (Ljubljana), letnik 21, številka 3, 2015.
- [7] S. Urbas, Določitev procesnih značilnosti aeracijskega mešala. Fakulteta za strojništvo: diplomsko delo, 2011.