დოქტორანტი სერგო სამხარაძე

ეკოლოგიურად სუფთა ბიოსაწვავის ბრიკეტირების პროცესის რეჟიმული პარამეტრების კვლევა - ოპტიმიზაცია

სადისერტაციო ნამუშევარი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
თბილისი, 0175, საქართველო

საავტორო უფლება © 2013 წელი, სერგო სამხარაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემორე ხელისმომწერნი ვადასტურებ, რომ გავეცანით სერგო სამხარაძის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: ,,ეკოლოგიურად სუფთა ბიოსაწვავის ბრიკეტირების პროცესის რეჟიმული პარამეტრების კვლევა-ოპტიმიზაცია'' და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

თარიღი: / / წ.

ხელმძღვანელი: ასოც. პროფესორი გივი გოლეთიანი

რაცენზენტი: სრ. პროფესორი ზაურ ჩიტიძე

რაცენზენტი: ტექ. მეცნიერებათა დოქტორი თამაზ ნატრიაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

2013 წელი

ავტორი: სერგო სამხარაძე

დასახელება: ,,ეკოლოგურად სუფთა ბიოსაწვავის ბრიკეტირების პროცესის რეჟიმული პარამეტრების კვლევა-ოპტიმიზაცია''

ფაკულტეტი: სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობა

აკადემიური ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა: ,,_______,, ,,_____________________,, 2013 წ.

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემოთმოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭვდა და რაიმე სხვა მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა ის მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

თანამედროვე მსოფლიო თითქმის წარმოუდგენელია ენერგიის წყაროების გარეშე, მსოფლიოში ყოველწლიურად იზრდება ენერგიის მოთხოვნილება, რაც გამოწვეულია ტექნოლოგიებისა და ყოფაცხოვრების დონის ზრდის გამო. ენერგიის გაზრდა ძირითადად ხდება ე.წ ამოწურვად ენერგომატარებლების ხარჯზე, როგორიცაა ნავთობი, ბუნებრივი აირი, ქვანახშირი, ტორფი და ა.შ.

აღნიშნული მიზეზებიდან გამომდინარე, თანამედროვე მსოფლიოსთვის, აქტუალურ საკითხს წარმოადგენს ალტერნატიული ენერგო რესურსების მოძიება და მათი გამოყენება. საქართველო გამოირჩევა ამ პრობლემატიკის აქტუალურობით, რადგან წარმოადგენს ენერგო დამოკიდებულ ქვეყანას, რასაც ემატება მოსახლეობის და ქვეყნის რთული ეკონომიკური ვითარება.

მსოფლიოში სულ უფრო აქტუალური ხდება ე.წ ალტერნატიული საწვავის – ბიოსაწვავის წარმოება. მის დასამზადებლად გამოიყენება ყველა ბიოლოგიური წარმოშობის ნედლეული და ნარჩენები.

ბიოსაწვავის ერთ–ერთ სახეობას წარმოადგენს მყარი ბიოსაწვავი, რომლის დამზადებაც მოითხოვს მნიშვნელოვან ტექნოლოგიურ პროცესებს, როგორიცაა შრობა, სეპარაცია, დაწნეხა და სხვ.

საქართველოს გააჩნია ბიონარჩენების სერიოზული მარაგი, როგორც სასოფლო–სამეურნეო (მზესუმზირას, სიმინდის, თხილის, ხილის და სხვ. ნარჩენები) ნარჩენების, აგრეთვე ხე–ტყის გადამუშავებით მიღებული ნარჩენების (ნახერხი, ტოტები, ფოთლები და სხვ.) სახით.

აღნიშნული ნედლეულის გადამუშავებით შესაძლებელია მიღებული იქნას ბიოსაწვავი, რომელიც მნიშვნელოვნად შეამცირებს ქვეყნის და მოსახლეობის მიერ ე.წ ძვირადღირებული ენერგო რესურსების გამოყენებას.

აღნიშნული საკითხის გადაწყვეტას სჭირდება ტექნოლოგიური მოწყობილობები, რომელთა ფასები თანამედროვე ბაზარზე შეადგენს რამდენიმე ათას ევროს. ამასთან აღნიშნული ბიოსაწვავის წარმოებას სჭირდება სწორი რეჟიმული პარამეტრების დადგენა, რათა გათვალისწინებული იქნას ადგილობრივი ბიონარჩენების თვისებები, იმისათვის, რომ მიღწეული იქნას ბიოსაწვავის მაღალი ხარისხი.

ტექნოლოგიური ხაზი მოიცავს საშრობ დანადგარს, სეპარატორს, ნედლეულის გადამტან კონვეიერს, წნეხს და მზა პროდუქტის გადმომტან კონვეიერს.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, ვინაიდან ბიოსაწვავის წარმოება სულ უფრო აქტუალურ სახეს იძენს, ჩვენს წინაშე დასმული იქნა რამდენიმე საკითხი:

ა) შექმნილი ყოფილიყო თანამედროვე მაღალი წარმადობის ტექნოლოგიური ხაზი, კერძოდ მაღალი საიმედოობის და წარმადობის საშრობი და დამწნეხი მოწყობილობა;

ბ) დადგენილი ყოფილიყო ბრიკეტირების პროცესისთვის რეჟიმული პარამეტრები;

გ) დადგენილი ყოფილიყო ნედლეულის ძირითადი თვისებები, რომლებიც ახდენენ გავლენას ბიოსაწვავის ბრიკეტირებაზე;

დ) შეფასებული ყოფილიყო ბიოსაწვავის ბრიკეტირების ხარისხი და თბოუნარიანობა.

აღნიშნული საკითხების შესასწავლად ჩვენს მიერ შესრულებული იქნა კვლევითი სამუშაოები სხვადასხვა მიმართულებით. კერძოდ, შესწავლილი იქნა თანამედროვე ბაზარზე არსებული საწნეხი დანადგარები, გაანალიზირებული იქნა მათი კონსტრუქციების დადებითი და უარყოფითი მხარეები, შესწავლილი იქნა ბიონარჩენების, კერძოდ კი, ხის ნახერხის გავლენა მანქანების მუშა ორგანოებზე, შესწავლილი იქნა რეჟიმულ პარამეტრებზე მოქმედი ფაქტორები, როგორიცაა ნედლეულის დისპერსიულობა, ტენიანობა, დაწნეხვის ტემპერატურა, დაწნეხვის წნევა და სხვ.

აღნიშნული საკითხების დამუშავების შედეგად შემუშავებული იქნა ექსპერიმენტალური საწნეხი მოწყობილობის კონსტრუქცია, მოხდა აღნიშნული კონსტრუქციის დამზადება მეტალში და შესრულდა ექსპერიმენტული კვლევა კონსტრუქციის სიმტკიცის, ეფექტურობის და პროდუქციის ხარისხის შესასწავლად.

ექსპერიმენტებით მიღებული შედეგების გაანალიზებით, დამზადებული იქნა თანამედროვე ტიპის მაღალი წარმადობის წნეხი, მყარი ბიოსაწვავის - ბრიკეტების საწარმოებლად.

დისერტაციაში წარმოდგენილია კვლევის შედეგები, რომელმაც საშუალება მოგვცა შეგვექმნა თანამედროვე მაღალეფექტური დანადგარი, დაგვედგინა ოპტიმალური რეჟიმული პარამეტრები მაღალი ხარისხის მყარი ბიოსაწვავის - ბრიკეტების საწარმოებლად.

Abstract

Almost impossible to imagine the modern world without the energy sources. Energy demand is increasing every year due to the growth of technology and house holding level. In general, an increase of energy consumption was due to the inexhaustible energy sources such as oil, natural gas, coal, peat, etc.

Due to these reasons, investigation and use of alternative energy resources, for the modern world is topical issue. Georgia has same problems regarding it, because it is an energy dependent country, in which additionally the population has difficult economical situation as well as a country.

Production of alternative fuels – named as biofuel become more and more topical for all round of world. For manufacturing these kind of fuels, may be used all the biological origin of raw materials.

One kind of these biofuels is a solid biofuel, which manufacturing requires significant technological processes, such as dry, separation, pressing - briquetting and others.

Georgia has a huge stock of biological wastes and residues such are farm - agriculture (sunflower, corn, nuts, fruit, etc.) residues, as well as wood - processing waste (sawdust, branches, leaves, etc.).

By the raw material processing can be derived biofuel, which will significantly reduce using expensive energy resources into the country.

For solving this issue technological equipment is importantly needed, which costs several thousand Euros on the modern market. Additionally, above mentioned biofuel industry needs to establish correct regime parameters which used for determination the local bio residues properties in order to achieve a high degree quality of biofuel.

The technological line includes dryer, separation equipment, transferring raw material conveyor, briquetting equipment and finished product output line.

Therefore, since the production of biofuel become even more urgent at present day, some of the issues were raise up before us:

A) Create high performance modern technological line, particularly high reliability and efficiency of the drying and pressing equipment;

B) Establish regime parameters for briquetting process;

C) Establish main characteristics of the raw materials, which will influence on the biofuel briquetting process;

D) Evaluate the quality and conductance of briquetting biofuel.

To study these issues in our research works we have been perform many investigations in different directions. In particular, was studied the modern market and pressing machines, was analyzed their structural advantages and disadvantages, was studied bio wastes, such as how wood sawdust impact of the vehicles on the working bodies, was studied the regime parameters affecting

factors such as raw material dispersion, humidity, pressing temperature, pressing pressure and so forth.

After experimental research of these issues has been developed pressing device design, was manufactured this design in the metal construction and the construction was investigated of an experimental study of strength, efficiency and product quality study.

After analyzing the obtained results during the experiments, were produced modern high performance pressing equipment for solid biofuel briquettes manufacturing.

The thesis presents the results of research that has enabled us to create modern high-efficiency pressing equipment, find out the optimal parameters of high-quality solid biofuel regime - to produce briquettes.

შინაარსი

შესავალი......15
თავი 1. ლიტერატურული მიმოხილვა......18
1.1 ზოგადი ცნობები......18
1.2 ბიობრიკეტი - პერსპექტიული საწვავი......22
1.3 ბიომასის ნედლეულის ბაზა და სტანდარტიზაცია......25
1.4 ტექნოლოგიური ხაზი......28
1.5 მანქანა-დანადგარების ტიპები......31
1.6 ბრიკეტებისა და ბრიკეტირების პროცესის ზოგიერთი არსებული კვლევა......38
1.6.1 მაბრიკეტირებელი მექანიზმის ანალიზი მყარი ბიოსაწვავის წარმოებისათვის......38
1.6.2 ნახერხის ბრიკეტის გეომეტრიული პარამეტრების გავლენა, სითბოდ გარდაქმნის ეფექტურობაზე......45
თავი 2. შედეგები და განსჯა......50
2.1 საწნეხი მანქანის დამწნეხი ბუნკერის გეომეტრიის ოპტიმიზაცია......50
2.1.1 ბრიკეტირების პირობები ერთღერძიან ცილინდრული ფორმის დამწნეხ ბუნკერში......54
2.1.2 დაწნეხის პირობები კონუსური კვეთის დამწნეხ ბუნკერში......61
2.2 ბიონარჩენების ბრიკეტირების პროცესი უნივერსალური დგუშიანი წნეხის საშუალებით......65
2.3 დამწნეხ ბუნკერში წნევების განაწილების კანონზომიერებები......69
2.4 წნეხისა და საშრობის მათემატიკური ანგარიში......74
2.5 ბიოსაწვავის ბრიკეტირებისას გამოყენებული მანქანა - დანადგარების შედარება ენერგო ეფექტურობის მიხედვით......83
2.6 ბრიკეტების გამძლეობის შედარებითი კვლევა......90
2.7 გაზომვის მონაცემების შეფასება პარამეტრების კვლევით, რომლებიც მოქმედებენ ბრიკეტის საბოლოო სიმკვრივეზე......93
2.8 უნივერსალური დამწნეხი მოწყობილობა ეკოლოგიურად სუფთა ბიოსაწვავის წარმოებისათვის......103
2.8.1 უნივერსალური დამწნეხი მოწყობილობის ძირითადი დეტალების კვლევა კომპიუტერული ანალიზის საშუალებით......110
2.8.2 დაძაბულობის, დეფორმაციის და უსაფრთხოების ფაქტორის მონაცემების გაანგარიშება......112
3. დასკვნა......122
გამოყენებული ლიტერატურა......124

ნახაზების ნუსხა

№	დასახელება	გვერდი
1	ნავთობპროდუქტებზე მომუშავე საწარმო	18
2	მავნე ნივთიერებების ემისია მსოფლიოს მასშტაბით	19
3	გაჩეხილი ტყის მასივი	20
4	ხე - ტყის გადამამუშავებელი საწარმო	21
5	ნახერხის ბრიკეტები	23
6	ბიობრიკეტების წვის პროცესი	25
7	ბრიკეტირების ტექნოლოგიური პროცესის თანმიმდევრობა	29
8	კომპოზიტური ბრიკეტების წარმოების ხაზი	29
9	ნედლეულიდან მოხმარებამდე მიმდინარე პროცესები	30
10	ქაღალდის ნედლეულზე მომუშავე შნეკური ტიპის წნეხი	31
11	შნეკი	32
12	დამუშავებული შნეკი	32
13	დოლური წნეხ-გრანულატორის სქემა	33
14	დოლური ტიპის წნეხ-გრანულატორი	33
15	დოლური წნეხის მუშა თვალი ჩაღრმავებებით	34
16	დოლური წნეხით გრანულირებული ნახშირის მტვერი	34
17	დგუშიანი წნეხის სქემა	35
18	CFN ფირმის BP 5500 ავტომატური წნეხი	36
19	POR დგუშიანი წნეხი	37
20	ექსპერიმენტალური დამწნეხი მოწყობილობა	39
21	რომბისებური მექანიზმი Working Model Software	40
22	სტრუქტურული სქემა	41
23	დაწნეხის ძალთა გადანაწილების მახასიათებლები	44
24	გამოთვლილ ძალათა გადანაწილების მახასიათებლები	44
25	მექანიზმის რგოლების ინერციის ძალები	45
26	სასარგებლო ენერგიის ცვლილება საწვავთა კატეგორიის და ბრიკეტის სიგრძის მიხედვით	48
27	შთანთქმული ენერგიის ცვლილება საწვავთა კატეგორიის და ბრიკეტის სიგრძის მიხედვით	48
28	ენერგიის გარდაქმნის პროცესის ეფექტურობა საწვავთა კატეგორიისა და ბრიკეტის სიგრძის მიხედვით	49
29	ბრიკეტირების დროს დამწნეხ ბუნკერში არსებული	53

	წნევის (მპა) დამოკიდებულება ბრიკეტის სიგრძესთან H	
30	მოქმედი ძალები დახურული ტიპის დამწნეხ ბუნკერიან წნეხში	55
31	დაწნეხის წნევის დამოკიდებულება სხვადასხვა ტემპერატურისას ბრიკეტის სიმკვრივეზე (w_r=10%; L=2მმ)	57
32	ა) ერთღერძიანი დაწნეხის პროცესი დახურული დამწნეხი ბუნკერით; ბ) პირველი ბრიკეტის დაწნეხა + ფხვიერი მასალით შევსების პროცესი; გ)მეორე ბრიკეტის დაწნეხა + ფხვიერი მასალით შევსების პროცესი	58
33	ღია დამწნეხ ბუნკერში საწინააღმდეგო წნევის მოქმედება უწყვეტი დაწნეხისას	60
34	საწინააღმდეგო წნევის დამოკიდებულება დაწნეხის ბუნკერის სიგრძესთან	61
35	კონუსური დამწნეხი ბუნკერის მთავარი ნაწილი	62
36	მასალის წნეხვის მიმდინარეობა კონუსურ დამწნეხ ბუნკერში	63
37	წნევების განაწილება კონუსის კვეთის შიგნით	64
38	წნევების განაწილება კონუსის კვეთის მაგალითზე	64
39	ექსპერიმენტალური ბლოკ–დიაგრამა ბიობრიკეტების საწარმოებლად	67
40	ძალების განაწილები სქემა და წნევების ცვლილების დიაგრამა	71
41	წნეხის გეომეტრია	74
42	ღუმელის განივი კვეთი	80
43	ლაბორატორიული ჰიდრავლიკური წნეხის სქემა დახურული ყალიბით	85
44	ბრიკეტის სიმკვრივე	87
45	ბრიკეტირების ენერგიისა და ბრიკეტის სიმკვრივის დამოკიდებულება დაწნეხის წნევასთან	88
46	ბრიკეტის სიმკვრივის და ბრიკეტირების კუთრი ენერგიის დამოკიდებულება სასოფლო - სამეურნეო ნარჩენების პროპორციებზე	89
47	მბრუნავი დოლის პროტოტიპი	92
48	ბრიკეტების გამძლეობა დოლის ხუთი ბრუნვის პერიოდისთვის	92
49	ცვლადების დიაგრამა მათემატიკური მოდელის შესაქმნელად	98
50	ბრიკეტის სიმკვრივის დამოკიდებულება დაწნეხვის წნევასთან სხვადასხვა დაწნეხვის ტემპერატურების დროს (w_r = 10%; L = 2 მმ)	99
51	ბრიკეტის სიმკვრივის დამოკიდებულება მასალების	100

	სინესტესთან სხვადასხვა დაწნეხის ტემპერატურის დროს (p = 155 მპა; L = 2 მმ)	
52	ბრიკეტის სიმკვრივის დამოკიდებულება მასალების ფრაქციის ზომასთან სხვადასხვა დაწნეხის ტემპერატურის დროს (w_r = 10%; p = 155 მპა;)	100
53	ბრიკეტის ვიზუალური ხარისხის დამოკიდებულება ფრაქციის ზომასთან	102
54	პირველი ექსპერიმენტალური დანადგარის ნიმუში	103
55	პირველი ექსპერიმენტალური დამწნეხი მოწყობილობა მუშა პროცესისას	104
56	დამწნეხი მოწყობილობა ოთხკუთხა განიკვეთის დამწნეხი ბუნკერით	104
57	დამწნეხი ბუნკერის ხედი	105
58	საშრობიდან გამოსული დასაწნეხი მასალების მახასიათებლების შემოწმება	107
59	ბრიკეტის სრული ტექნოლოგიური ხაზის სქემა	107
60	დამწნეხი მოწყობილობის სქემა დამატებითი დგუშით	108
61	ტომარაში დაფასოებული ხის ნახერხის ბრიკეტები	110
62	დამწნეხი მოწყობილობის დგუში	111
63	ძალის ზემოქმედების ზედაპირი	113
64	დგუშის მიერ დაწოლისას ფიქსირებული ზედაპირი	114
65	ექვივალენტური დაძაბულობა დგუშზე ბრიკეტის მოქმედებისას	115
66	დგუშის დეფორმაცია ბრიკეტის მოქმედებისას	116
67	უსაფრთხოების ფაქტორი ბრიკეტის მიერ დგუშის დაწოლისას	116
68	წნევის მოქმედება ზედაპირზე	118
69	წნევის მოქმედებისას დაფიქსირებული ზედაპირები	119
70	ექვივალენტური დაძაბულობა დგუშზე ბრიკეტის მოქმედებისას	120
71	დგუშის დეფორმაცია ბრიკეტის მოქმედებისას	121
72	უსაფრთხოების ფაქტორი ბრიკეტის მიერ დგუშის დაწოლისას	121

ცხრილების ნუსხა

№	დასახელება	გვერდი
1	ნარჩენების წარმოქმნა ხე-ტყის გადამამუშავებელ საწარმოებში	27
2	ნახერხის ბრიკეტის მთავარი მახასიათებლები	47
3	საწინააღმდეგო წნევის გამოთვლილი შედეგები დახურული დამწნეხი ბუნკერის შემთხვევაში	59
4	საწინააღმდეგო წნევის შედეგები უწყვეტი დაწნეხის დროს	60
5	შნეკური ტიპის წნეხების პარამეტრები	86
6	ჰიდრავლიკურ დგუშიანი წნეხების პარამეტრები	87
7	ექსპერიმენტში მონაწილე ბრიკეტები	91
8	გაზომილი პარამეტრების დონეები	95
9	ექსპერიმენტით გაანგარიშებული ბრიკეტის საშუალო სიმკვრივე	96
10	ANOVA Test შედეგები	97
11	საუკეთესო მოდელი გამოთვლილი JMP 8 კრიტერიუმების მიხედვით	98
12	დგუშის ფიზიკური თვისებები	112
13	დგუშის მასალა	112
14	დგუშის მუშაობის პირობები	113
15	ძალის მოქმედება ფიქსირებულ შეზღუდვაზე	114
16	გრაფიკული ანალიზის შედეგების შეჯამება	115
17	დგუშის ფიზიკური თვისებები	117
18	დგუშის მასალა	117
19	დგუშის მუშაობის პირობები	118
20	ძალის მოქმედება ფიქსირებულ შეზღუდვაზე	119
21	გრაფიკული ანალიზის შედეგების შეჯამება	120

მადლიერება

სადისერტაციო ნაშრომზე მუშაობისას დიდი დახმარება გამიწია მეცნიერ-ხელმძღვანელმა ასოც. პროფესორმა გივი გოლეთიანმა, მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის დეპარტამენტის ხელმძღვანელმა სრ. პროფესორმა თამაზ მეგრელიძემ, № 47 მიმართულების ხელმძღვანელმა სრ. პროფესორმა ზურაბ ჯაფარიძემ, ასევე მიმართულების მთელმა კოლექტივმა.

განსაკუთრებული მადლიერება მინდა გამოვხატო სტუ-ს რექტორის სრ. პროფესორის არჩილ ფრანგიშვილის და სტუ-ს სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის დეკანის სრ. პროფესორის ოთარ გელაშვილის მიმართ, რომელთა ფინანსურმა მხარდაჭერამ საშუალება მომცა ჩამეტარებინა თეორიული და პრაქტიკული სამუშაოები გერმანიის ქ. იულიხის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში.

მადლიერება მინდა გამოვხატო ბატონების ანდრო კაჭარავას, ჰერმან შტელცერის და ულრიხ პაბსთის მიმართ, რომლებმაც მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანეს ჩემ მიერ გერმანიის ქ. იულიხის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში ჩატარებული სამუშაოების წარმართვაში.

ასევე დიდი მადლობა მინდა გადაუხადო, სტუ-ს მეცნიერებათა დეპარტამენტის უფროსს სრ. პროფესორს დავით თავხელიძეს, ვაჟა ქირიას და მარინა რაზმაძეს გაწეული თანადგომისთვის.

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

პრობლემის აქტუალურობა: საქართველოში, ისევე როგორც მთელ მსოფლიოში მწვავედ დგას ენერგო მატარებლებზე მაღალი ფასების პრობლემა, რაც მარაგების ამოწურვასთან ერთად უფრო და უფრო ღრმავდება. რადგან საქართველოს არ გააჩნია ნავთობის და ბუნებრივი აირის საკმარისი მარაგი იძულებულია ენერგომატარებლებზე გადაიხადოს მაღალი ფასები, რაც უარყოფითად აისახება ქვეყნის ეკონომიკურ ვითარებაზე.

მსოფლიოს წამყვან ქვეყნებში აღნიშნული პრობლემის გადასაწყვეტად მუშავდება უამრავი მეთოდი, რათა მოხდეს ალტერნატიული ენერგო რესურსების მოძიება.

ბოლო წლებში აქტუალური გახდა ე.წ მყარი ბიოსაწვავის - ბრიკეტების წარმოება. ბიობრიკეტები მზადდება ბიოლოგიური წარმოშობის მყარი ნარჩენებისგან, როგორებიცაა: სასოფლო-სამეურნეო - სიმინდის, მზესუმზირას, თხილის, ბალახის და სხვ. ნარჩენები, მრეწველობის - ხილის, ბოსტნეულის, ქაღალდის და სხვ. ნარჩენები, ხე - ტყის გადამუშავების - ტოტები, ნაფოტები, ბურბუშელა, ნახერხი და სხვ. ნარჩენები.

საქართველოს გააჩნია ბიონარჩენების დიდი მარაგი, რომლის გამოყენებაც ბიობრიკეტების დასამზადებლად თავისუფლად შეიძლება, აღნიშნული მარაგების გამოყენება საშუალებას მოგვცემს თავიდან ავიცილოთ ჩვენი აუნაზღაურებელი სიმდიდრის, ხე-ტყის განადგურება. ცნობისათვის, საქართველოში, მხოლოდ გასათბობად, დაახლოებით 5 მლნ. $მ^3$ ხე-ტყე იჩეხება.

მსოფლიოში არსებობს მრავალი ტიპის მოწყობილობა, რომლებიც დღესდღეობით გამოიყენება მყარი ბიონარჩენების ბრიკეტირებისთვის. არსებული დანადგარების ღირებულება რამდენიმე ათას ევროს შეადგენს, ამასთან დანადგარების ექსპულატაცია მოითხოვს ძვირადღირებული

სათადარიგო ნაწილების საჭიროებას, რაც საქართველოს ბაზარზე ხშირად დეფიციტურია.

ამის გამო, საუკეთესო გამოსავლად რჩება, საქართველოში შეიქმნას თანამედროვე ტიპის ტექნოლოგიური ხაზი, რომელიც დაკომპლექტებული იქნება ადგილობრივი წარმოების მარტივი და ეფექტური მანქანა-დანადგარებით, რაც საშუალებას მოგვცემს, შევქმნათ ადგილობრივ მომხმარებელზე გათვლილი მაღალი ხარისხის პროდუქცია.

ნაშრომის მიზანი: ბრიკეტირების პროცესის ოპტიმიზაციისათვის შემუშავებული იქნას თანამედროვე ტიპის წნეხის კონსტრუქცია, დადგენილი იქნას ბრიკეტირების პროცესისთვის საჭირო რეჟიმული პარამეტრები, რაც მოგვცემს საშუალებას მიღწეული იქნას ბრიკეტების მაღალი ხარისხი.

კვლევის ამოცანები: ნაშრომის მიზნებიდან გამომდინარე საჭირო იყო შემდეგი ამოცანების გადაჭრა:

- საწარმოო ტექნოლოგიური ციკლის - ბრიკეტირების შესწავლა და მისი სრულყოფა საბაზრო ეკონომიკის სადღეისო მოთხოვნების შესაბამისად;
- რეჟიმული პარამეტრების დადგენა ბრიკეტირების პროცესის სრულყოფისათვის;
- წნეხის ახალი კონსტრუქციის შექმნა - ოპტიმიზაცია;

კვლევის ობიექტი:

1. საქართველოში არსებული ხის ნახერხის ბრიკეტირებით მიღებული ეკოლოგიურად სუფთა ბიოსაწვავი;

2. ახალი კონსტრუქციის უნივერსალური საწნეხი დანადგარის ექსპერიმენტალური და საწარმოო მოდელები;

მეცნიერული სიახლე: თეორიული ანალიზის და ექსპერი-მენტალური კვლევების ჩატარების შედეგად:

- დამუშავდა მყარი ბიოსაწვავის - ბრიკეტის საწარმოო ხაზი;

- შესწავლილი იქნა, ხის ნახერხის მაგალითზე, ბრიკეტების დამზადებისთვის აუცილებელი მოთხოვნები და ფიზიკური თვისებები;
- გამოგონების დონეზე შეიქმნა ბრიკეტების საწნეხი დანადგარი, დამუშავდა წნეხის კონსტრუქციული პარამეტრები, დადგინდა წნეხვის პროცესის ოპტიმალური რეჟიმები და პარამეტრები.

პრაქტიკული ღირებულება: ნაშრომის პრაქტიკულ ღირებულებას შეადგენენ საწნეხი მოწყობილობების შემუშავებული სტრუქტურული და კონსტრუქციული სქემები, ასევე მათი მუშაობისათვის საჭირო რეჟიმული პარამეტრები.

თავი 1. ლიტერატურული მიმოხილვა

1.1 ზოგადი ცნობები

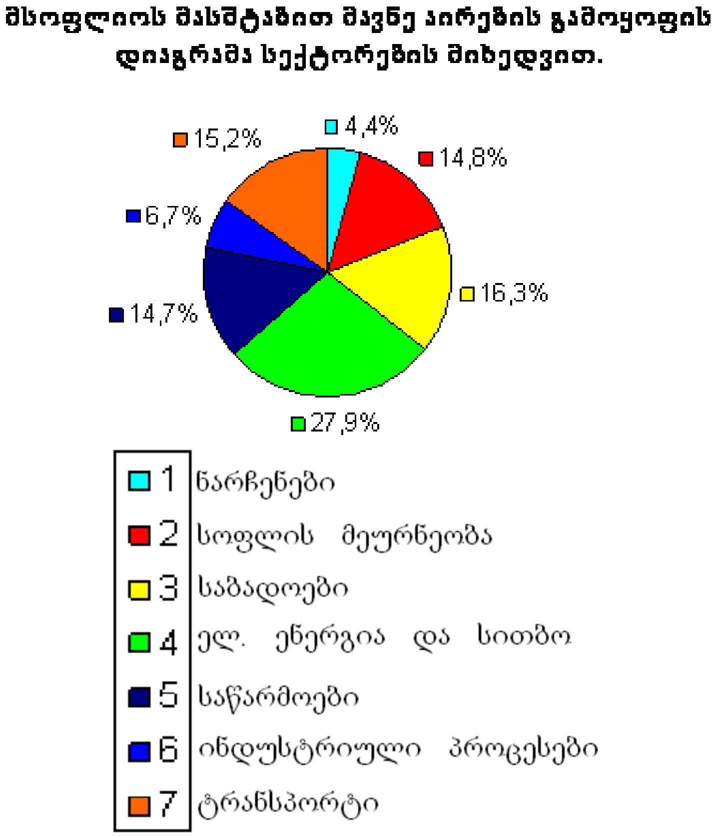
ეკოლოგიურად სუფთა მყარი ბიოსაწვავი წარმოადგენს მაღალ კალორიულ სათბობ საშუალებას, რომელიც წარმატებით შეიძლება იქნას გამოყენებული, როგორც საყოფაცხოვრებო, ისე საწარმოო მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად. ეკოლოგიურად სუფთა ბიოსაწვავი, მყარ მდგომარეობაში, არსებობს ე.წ ბრიკეტების და პელეტების სახით. მათი სახელწოდებები განისაზღვრა მათი წარმოების ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესის ,,ბრიკეტირების'' და ,,პელეტირების'' საშუალებით.

ეკოლოგიური თვალსაზრისით, ბიოსაწვავის გამოყენება, ასევე მნიშვნელოვანი ეფექტის მომცემია, იქიდან გამომდინარე, რომ ტრადიციული ენერგიის რესურსების ჭარბმა გამოყენებამ მსოფლიო მიიყვანა ე.წ. გლობალური დათბობის წინაშე, რისი მიზეზიც მსოფლიოს მასშტაბით მავნე აირების და ნივთიერებების გამოყოფის მკვეთრი მატებაა (ნახ. 1).

ნახ. 1 ნავთობპროდუქტებზე მომუშავე საწარმო

დღესდღეობით მოპოვებადი საწვავის რესურსები ფართოდ გამოიყენება ელექტროენერგიის და სითბოს მისაღებად, რომლებიც გარემოს უხვად აბინძურებენ სხვადასხვა მავნე გამონაბოლქვი გაზებით და ნივთიერებებით. მსოფლიოს წამყვანი სახელმწიფოების მიერ გამუდმებით ხდება ხაზგასმა იმისა, რომ უნდა იქნას შემცირებული გარემოზე მავნე ზემოქმედება, მაგრამ პრობლემა, რასაც გლობალურ დათბობამდე მივყავართ უფრო და უფრო მწვავე ხდება. მყარი ბიოსაწვავის გამოყენებით შესაძლებელია იმ მძიმე დაბინძურების თავიდან აცილება, რასაც დღესდღეობით აქვს ადგილი.

ნახ. 2–ზე ნაჩვენებია მსოფლიოს მასშტაბით მავნე აირების გამოყოფა სექტორების მიხედვით:



ნახ. 2 მავნე ნივთიერებების ემისია მსოფლიოს მასშტაბით

აღნიშნული პრობლემის წინაშე დგას საქართველოც, როგორც მსოფლიოს ნაწილი. საქართველოში ყოველწლიურად დაახლოებით 5 მლნ. კუბურ მეტრზე მეტი ხე-ტყე იჩეხება (ნახ. 3) მხოლოდ სათბობად, რაც ხელს უწყობს ქვეყნის ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუარესებას და ტყის, როგორც ფასდაუდებელი სიმდიდრის განადგურებას. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ მუდმივად ხდება ე.წ ხე-ტყის გადამამუშავებელი საამქროებიდან გამოსული ნარჩენებით მდინარეების, წყალსატევების, მინდვრების და სხვ. დაბინძურება (ნახ. 4), რითაც მნიშვნელოვანი ზარალი ადგება ფლორას და ფაუნას.

ნახ. 3 გაჩეხილი ტყის მასივი

თანამედროვე საზოგადოებაში ფართო ინფორმაცია არსებობს ე.წ თხევად ბიოსაწვავთან დაკავშირებით, ხოლო საპირისპიროდ ძალიან მცირე ინფორმაცია მოიპოვება მყარი ბიოსაწვავის კვლევის სექტორში.

ჩვენს მიერ გაანალიზირებული იქნა აღნიშნული მდგომარეობა და გადაწყდა, საქართველოში მომხდარიყო სხვადასხვა ხე-ტყის ბიოლოგიური ნარჩენების, როგორიცაა ნახერხი, ნაფოტები, ტოტები, ფოთლები და

სასოფლო-სამეურნეო ნარჩენების, როგორიცაა თხილის, სიმინდის, მზესუმზირის და სხვ. გადამუშავების ნარჩენების გამოყენება ეკოლოგიურად სუფთა ბიოსაწვავის საწარმოებლად.

ნახ. 4 ხე - ტყის გადამამუშავებელი საწარმო

აღნიშნული სადისერტაციო ნაშრომი წარმოადგენს ეკოლოგიურად სუფთა მყარი ბიოსაწვავის ბრიკეტირების პროცესის კვლევას და ოპტიმიზაციას, რომლის შესწავლაც განხორციელდა ჩვენს მიერ შექმნილი ექსპერიმენტალური წნეხის საშუალებით, რომელმაც საშუალება მოგვცა სრულფასოვანად შეგვესწავლა ბრიკეტირების პროცესი და აღნიშნულ პროცესზე მოქმედი ფაქტორები, რითაც მიღწეული იქნას ბრიკეტირებული პროდუქციის მაღალი ხარისხი. კვლევით მიღებული პარამეტრის გათვალისწინებით შექმნილი იქნა თანამედროვე სტანდარტების მქონე საიმედო დანადგარი, რომელიც სრულად ითვალისწინებს ბრიკეტირებისას მიმდინარე პროცესების ზემოქმედებას და უზრუნველყოფს ბრიკეტირების მაღალ ხარისხს.

1.2 ბიობრიკეტი - პერსპექტიული საწვავი

2006 წელში ბიოსაწვავის მოხმარებამ ევროკავშირის მასშტაბით 90 ტონა ნავთობის ექვივალენტი რაოდენობა შეადგინა. აქედან ყველაზე დიდი ნაწილი 70 ტონაზე მეტი მყარ ბიოსაწვავზე მოდიოდა, დანარჩენი ნაწილი ბიოგაზზე, თხევად ბიოსაწვავზე და სხვა განახლებად ენერგო რესურსებზე.

ბრიკეტირება წარმოადგენს პროცესს, რომლის დროსაც მიიღება მყარი სხეული, ფხვიერი ბიომასის დაწნეხის შედეგად, რომელის შემადგენელი ნაწილაკები შედგენილია სხვადასხვა კომპოზიტებისგან და შეკრულია წნევის საშუალებით. ნარჩენების ბრიკეტირება მიმდინარეობს წნევის, სითბოს და შემაკავშირებელი ნივთიერების ზემოქმედების შედეგად, რომელიც უშუალოდ ბრიკეტირების პროცესის დროს წარმოიქმნება.

ქვემოთ მოცემულია ბიობრიკეტის უპირატესობა, ალტერნატიული სახის მყარ საწვავებთან მიმართებაში:

- ადვილია მყარი საწვავის შენახვა და ტრანსპორტირება;
- ბიოსაწვავი წარმოადგენს ერთი ზომის და ხარისხის პროდუქტს;
- ბრიკეტირების პროცესი ხელს უწყობს ბიონარჩენების გახარჯვის პროცესს;
- პროცესი ხელს უწყობს ხე-ტყის შენარჩუნებას და ამცირებს ხე-ტყის საწვავად გამოყენებას;
- ბიობრიკეტების მოხმარების შემთხვევაში მავნე აირების და ნარჩენების გამოყოფა მინიმუმამდეა დაყვანილი;

ბრიკეტირების პროცესის რამდენიმე მეთოდია ცნობილი, თუმცა დღესდღეობით გამოიყენება ორი ტიპის დაწნეხის მეთოდი:

1) პიროლიზული ტექნოლოგია, რომელიც ემყარება ბიომასის ნაწილობრივ პიროლიზს, რომელსაც შემდეგ ერევა შემკვრელი ნივთიერება და ხდება მისი დაწნეხა, წნეხის გამოყენებით;

2) პირდაპირი დაწნეხის მეთოდი, სადაც დასაწნეხი მასა წინასწარ შრება და შემდეგ ხდება მისი დაწნეხა მაღალი ტემპერატურის და წნევის პირობებში;

ბიობრიკეტის დასამზადებლად შესაძლებელია შემდეგი მასალების გამოყენება:

- სოფლის მეურნეობის ნარჩენები (მზესუმზირას ნარჩენები, სიმინდის ნარჩენები, თხილის ნაჭუჭი და ა.შ);
- ხე-ტყის გადამუშავების ნარჩენები (ბურბუშელა, ნახერხი, ტოტები, ფოთლები, ქერქი და ა.შ);
- კვების პროდუქტების ნარჩენები და სხვ.

ბიომასისგან წარმოებული ბრიკეტების (სურ. 5) გამოყენება განსაკუთრებულად კარგია ქვანახშირის, რუხი ქვანახშირის, შეშის ჩასანაცვლებლად, შემდეგი მრავალი უპირატესობის გათვალისწინებით:

ნახ. 5 ნახერხის ბრიკეტები

- ბიობრიკეტი იაფია, ვიდრე ნავთობპროდუქტები ან შეშა;
- ბრიკეტების წვის შედეგად გამოიყოფა დიდი რაოდენობით სითბო და არ გამოიყოფა დიდი რაოდენობით გარემოსთვის მავნე ნივთიერებები (გოგირდი, ნახშირორჟანგი, ნახშირბადის მონოქსიდი და სხვ.).;

- ბიობრიკეტების ნაცრიანობა ტექნოლოგიური პროცესიდან გამომდინარე მინიმუმამდეა დაყვანილი;
- ტექნოლოგიური პროცესის სტაბილურობის გამო, ბიობრიკეტებს გააჩნიათ მუდმივი ხარისხი, სასურველი ზომა და ფორმა, რაც აიოლებს მათ გამოყენებას;
- ბიობრიკეტები წარმოადგენენ ადვილად აალებად პროდუქტს;
- ბიობრიკეტებს გააჩნიათ მაღალი წვის ეფექტურობა;
- წვის პროცესი (ნახ. 6) მიმდინარეობს თანაბრად, ვიდრე ქვანახშირის და შეშის შემთხვევაში;
- ქვანახშირისგან, რუხი ქვანახშირისგან ან ნავთობპროდუქტებისგან განსხვავებით, ბრიკეტები მზადდება განახლბადი რესურსების გამოყენებით;
- ბიობრიკეტების ტრანსპორტირების ხარჯები ბევრად ნაკლებია მისი თანაბარი ფორმების და ზომების გათვალისწინებით, ასევე შენახვისთვის მოთხოვნილი პირობები მინიმუმამდეა დაყვანილი;
- როგორც წესი, ბიობრიკეტების დამზადება ხდება ისეთ ადგილებში, საიდანაც მაქსიმალურად ადვილია მისი ტრანსპორტირება მომხმარებლამდე;
- ტექნოლოგიური პროცესი არავითარ ზიანს არ აყენებს გარემოს და სრულ თანხვედრაშია გარემოს დაცვის კონვენციასთან;

ნახ. 6 ბიობრიკეტების წვის პროცესი

აღნიშნული უპირატესობების გათვალისწინებით, ჩვენს მიერ წარმოდგენილი იქნება, მყარი ბიოსაწვავის წარმოების ერთ-ერთი ძირითადი პროცესის - ბრიკეტირების ანალიზური კვლევა და პროცესის ოპტიმიზაცია, თანამედროვე კონსტრუქციის წნეხის გამოყენებით.

1.3 ბიომასის ნედლეულის ბაზა და სტანდარტიზაცია

საქართველოს ყოველწლიურად დაახლოებით 500 ათასი ტონა ბიონარჩენი უგროვდება, აქედან გამომდინარე, სრულიად შესაძლებელია აღნიშნული მარაგის გამოყენება ბიობრიკეტების საწარმოებლად.

ბიომასის ნედლეულის ბაზა იყოფა შემდეგ კატეგორიებად: მცენარეული და ცხოველური წარმოშობის. მცენარეული წარმოშობის ბიომასის მიღება შესაძლებელია სასოფლო–სამეურნეო, ხე–ტყის და სხვ. გადამუშავების შედეგად, ხოლო ცხოველური ნარჩენები, ძირითადად ნაკელის სახით, მსხვილფეხა და წვრილფეხა საქონლის საშუალებით მიიღება.

სასოფლო–სამეურნეო ნარგავებისგან შესაძლებელია ორი ტიპის ნედლეულის მიღება: ხმელი ნარჩენები და მწვანე - ნედლი ნარჩენები.

მწვანე, ანუ ნედლ ნარჩენებს წარმოადგენენ შაქრის ჭარხლის, კარტოფილის, მზესუმზირას და სხვ. შემადგენელი ნაწილები, რომლებსაც გააჩნიათ ტენის დიდი შემცველობა და რომელთა 70% მოსავლის აღების შემდეგ რჩება მინდორში, მათგან მხოლოდ მცირე რაოდენობის გამოყენება ხდება პირუტყვის გამოსაკვებად.

ნარჩენების უმეტეობა მოსავლის აღების შემდეგ, მინდორში რჩება ნახევრად მშრალ ან მშრალ მდგომარეობაში, ესენი გახლავთ ძირითადად მარცვლეული კულტურების ნარჩენები (ხორბალი, მზესუმზირა, სიმინდი

და ა.შ.). ეს ნარჩენები უმეტესად გამოიყენება პირუტყვის საკვებად ან ხდება აღნიშნული ნარჩენების მიწაში ჩაბრუნება მინდვრების გადახვნისას.

ცხოველური ნარჩენები ძირითადად გამოიყენება, როგორც სასუქი, სასოფლო–სამეურნეო დანიშნულებით, ზოგიერთ რაიონში მას, როგორც სათბობ საშუალებას ისე იყენებენ. ყოველწლიურად აღნიშნული ცხოველური ნარჩენების საშუალებით, შესაძლებელია, მიღებული იქნას დიდი რაოდენობის ენერგო რესურსი - ბიოგაზის სახით.

საქართველოს სახმელეთო ტერიტორია დანიშნულების მიხედვით დაახლოებით შემდეგნაირად ნაწილდება: სახნავ-სათესი მიწა — 16 %, საძოვრები — 25 %, ტყეები — 34 %.

ხე-ტყე წარმოადგენს ერთ-ერთ ძირითად საშუალებას, რომელიც ოდითგანვე სათბობად გამოიყენებოდა. პოტენციურად სათბობ-საწვავად გამოყენებული ხე-ტყის რაოდენობა რეგიონების მიხედვით სხვადასხვაა, რაც დამოკიდებულია ტყეების ხელმისაწვდომობასთან.

FAO-ს (გაეროს კვებისა და სოფლის მეურნეობის ორგანიზაცია - http://www.fao.org) მონაცემებით მსოფლიოში მიმდინარე ტყეების ფართობების ცვლილება - შემცირება, გამოწვეულია ძირითადად ხე-ტყეზე მზარდი მოთხოვნებით და აგრეთვე სასოფლო სამეურნეო სავარგულების ნაკლებობის გამო.

ხე-ტყის ნარჩენები წარმოადგენენ მასალებს, რომლებიც რჩება ხე-ტყის გადამუშავებისას ტექნოლოგიური პროცესების (ნახერხი, ნაფოტები, ქერქი, ფოთლები და სხვ.) და ასევე, ბუნებრივი პროცესების შედეგად. მაგალითად, სახერხებზე მოხვედრილი საერთო ხე-ტყის მოცულობის მხოლოდ 45-55% წარმოადგენს სასურველ პროდუქტს გადამუშავების შემდეგ.

ცხრილში მოცემულია ნარჩენების წარმოქმნის შედეგები ხე-ტყის გადამამუშავებელ სხვადასხვა საწარმოებში:

ცხრილი 1 ნარჩენების წარმოქმნა ხე-ტყის გადამამუშავებელ საწარმოებში

	სახერხები (%)	ფანერების წარმოება (%)	მერქანბურბუშელის ფილა (%)	გაერთიანებული ოპერაციები (%)
მზა პროდუქცია (საშუალო)	50	45	90	68
ნარჩენები/საწვავი	43	45	5	24
დანაკარგები	7	10	5	8
სულ	100	100	100	100

აგრო–სამრეწველო ნარჩენები, მეორადი ან გადამუშავების პროცესების შედეგად გამოთავისუფლებული ნარჩენებია, რომლებიც კვების მრეწველობის საწარმოებში უხვად არსებობს, მაგალითად თხილის და მზესუმზირას ნაჭუჭების, სიმინდის ნაქუჩის და სხვ. სახით. აღნიშნული ნედლეულის გამოყენება სრულად შეიძლება ბიობრიკეტების დასამზადებლად.

როგორც ბიონარჩენებისთვის, ასევე ბიობრიკეტებისთვის შექმნილია სტანდარტები, რომლებიც განსაზღვრავენ ბიობრიკეტების წარმომავლობას და გამოყენების არეალს. ბიობრიკეტები გამოიყენება, როგორც საყოფაცხოვრებო, ასევე საწარმოო დანიშნულებით. ამ მიზნით ევროკავშირის ტექნიკურმა კომიტეტმა შექმნა სამუშაო სტანდარტი (CEN/TC 335) ყველა ტიპის მყარი ბიოსაწვავისთვის და გამოაქვეყნა 27 ტექნიკური სპეციფიკაცია. ამათგან ყველაზე მნიშვნელოვანია მყარი ბიოსაწვავების კლასიფიკაცია-სპეციფიკცია (CEN/TC 335) და ხარისხის გარანტია (CEN/TS 15234). 2011 წლის ბოლოსთვის აღნიშნული ტექნიკური სპეციფიკაციები სრულ ევროპულ სტანდარტად (EN) გარდაიქმნა.

აღნიშნული სრული ევროპული სტანდარტის EN 14961 პირველი ნაწილი ეთმობა ყველა მყარი ბიოსაწვავის ზოგად მოთხოვნებს, გამიზნულს ყველა მომხმარებელთა ჯგუფისთვის. სტანდარტის მეორე ნაწილი ეთმობა პროდუქტს, რომელიც გამოიყენება არასამეწარმეო დანიშნულებით. არასამეწარმეო დანიშნულებით გამოყენება ნიშნავს საწვავის გამოყენებას ე.წ

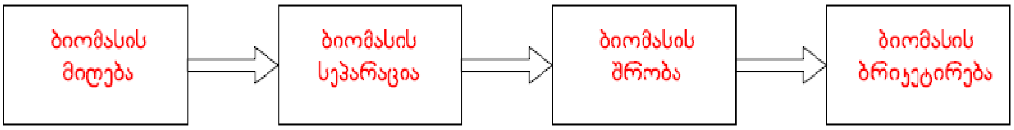
მცირე მეურნეობებში, სახლებისა და მცირე კომერციული და საზოგადოებრივი დანიშნულების შენობა-ნაგებობებისათვის, სადაც საწვავის ხარისხს განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება.

აღნიშნული სტანდარტი არის მთავარ დოკუმენტი, რომელიც წარმოადგენს საწვავის ხარისხის სახელმძღვანელოს მყარი ბიოსაწვავებისთვის.

1.4 ტექნოლოგიური ხაზი

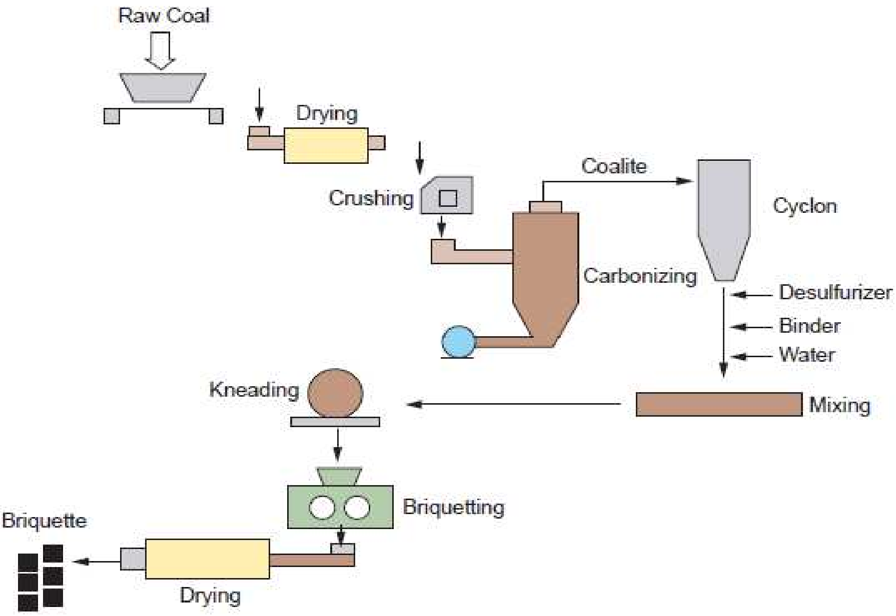
ბიობრიკეტების საწარმოო ტექნოლოგიური ხაზი მოიცავს: მიმღებ ხვიმირას, სადაც თავსდება ნედლეული, გადამტან ელევატორს, რისი საშუალებითაც მიღებული ბიომასა გადაადგილდება სეპარატორებისკენ, სადაც ხდება ნედლეულის სეპარაცია. სეპარატორებიდან ელევატორის საშუალებით, ბიომასა გადაადგილდება საშრობში, სადაც ხდება ბიომასის საჭირო სინესტემდე გამოშრობა. გამოშრობის შემდეგ, გამომტანი კონვეიერებით, გამშრალი ბიომასა გადაადგილდება წნეხის მიმღებ ბუნკერში, საიდანაც ხდება გამშრალი ბიომასის უწყვეტი მიწოდება წნეხისთვის. დაწნეხილი ბრიკეტების გამოტანა ხდება გამომტანი კონვეიერის საშუალებით.

მიუხედავად იმისა, რომ ტექნოლოგიური ხაზი შედგება სულ რამდენიმე დანადგარისგან (საშრობი, წნეხი, სეპარატორები, კონვეიერები), ტექნოლოგიურ პროცესზე დიდ გავლენას ახდენს, თითოეულ დანადგარში მიმდინარე პროცესები.



ნახ. 7 ბრიკეტირების ტექნოლოგიური პროცესის თანმიმდევრობა

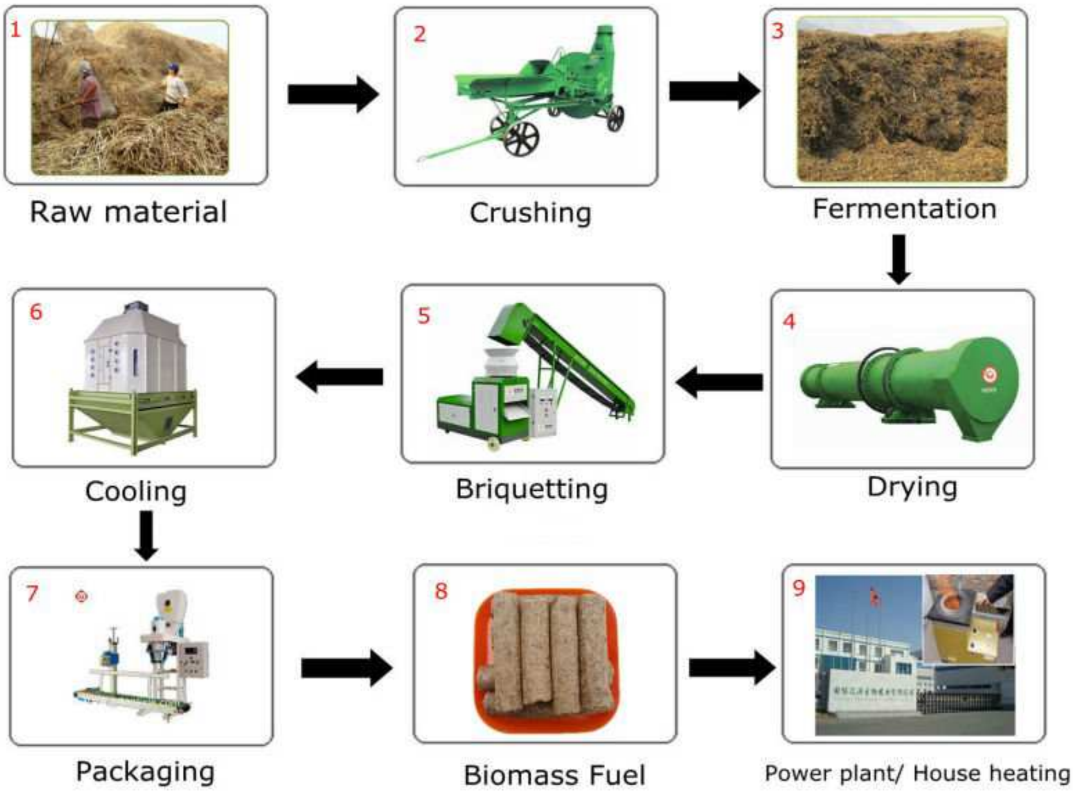
ტექნოლოგიური პროცესში ყველაზე მნიშვნელოვანი ეტაპებია: ბიომასის სასურველ ნიშნულამდე დაახლოებით 10 - 12 % - მდე გაშრობა და დაწნეხა. დაწნეხის პროცესზე, დიდ გავლენას ახდენს ბიომასის დისპერსიულობა, რადგან ნედლეულის ფრაქციის ზომებთან ერთად, იცვლება ბრიკეტირების პროცესის რეჟიმული პარამეტრები.



ნახ. 8 კომპოზიტური ბრიკეტების წარმოების ხაზი

შრობის პროცესზე ნედლეულის დიპერსიულობასთან ერთად, მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს, ნედლეულის ენდემურობა - წარმომავლობა.

ამ ფაქტორების გათვალისწინებით, ბრიკეტირების ტექნოლოგიური ხაზისათვის, შემუშავებულია მრავალი სხვადასხვა ტიპის და ქმედების საწნეხი დანადგარები. აღნიშნული დანადგარების მრავალფეროვნება განპირობებულია იმით, რომ პრაქტიკულად ბრიკეტირების პროცესისას წარმოქმნილი რეჟიმული პარამეტრები ძალზედ ცვალებადია.



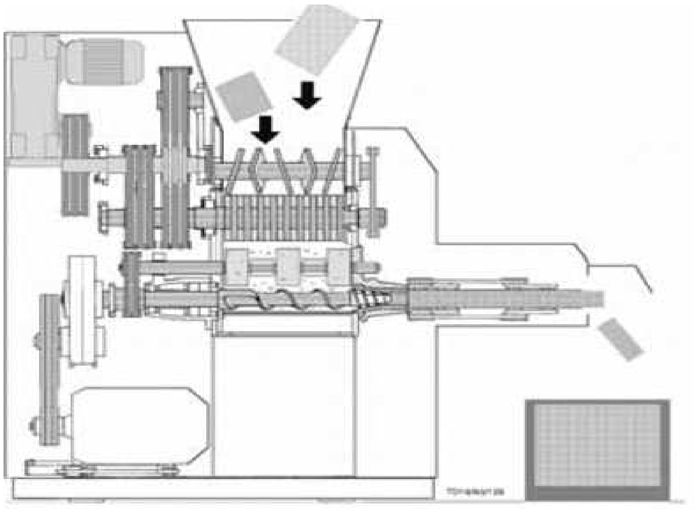
ნახ. 9 ნედლეულიდან მოხმარებამდე მიმდინარე პროცესები

ტექნოლოგიური ხაზები გვხვდება, როგორც უწყვეტი, ასევე პერიოდული ქმედების, შესაბამისად ტექნოლოგიურ ხაზში შემავალი დანადგარები კლასიფიცირდებიან უწყვეტი და პერიოდული ქმედების მანქანებად. საწნეხი მანქანა - დანადგარები, კონსტრუქციების მიხედვით, ძირითადად გვხვდება სამი ტიპის, ესენია: შნეკური ტიპის, დოლური ტიპის და დგუშისებური ტიპის, თითოეულ მათგანს გააჩნია თავისი დადებითი და უარყოფითი მხარეები, რაც შესაბამისად გავლენას ახდენს მთლიანი ტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობაზე.

1.5 მანქანა-დანადგარების ტიპები

მყარი ბიოსაწვავის წარმოების, ერთ-ერთ ძირითად ტექნოლოგიურ პროცესს წარმოადგენს დაწნეხის პროცესი, რომელიც სრულდება სპეციალური საწნეხი მოწყობილობების გამოყენებით.

აღნიშნულ მოწყობილობებს წნეხები ეწოდებათ. წნეხები თავის მხრივ, მწარმოებლობით, მუშაობის პრინციპით, კონსტრუქციით და სხვ. იყოფიან რამდენიმე ჯგუფად. ამათგან ყველაზე გავრცელებულ კონსტრუქციებს წარმოადგენენ ე.წ შნეკური (ნახ. 10), დოლური (ნახ. 14) და დგუშისებური ტიპის (ნახ. 17) წნეხები, რომლებიც თავის მხრივ იყოფიან პერიოდული და მუდმივი ქმედების მანქანა - დანადგარებად.



ნახ. 10 ქაღალდის ნედლეულზე მომუშავე შნეკური ტიპის წნეხი

შნეკური ტიპის წნეხები, წარმოადგენენ ერთ-ერთ ფართოდ გამოყენებულ საშუალებას, რომელიც ფართოდ გამოიყენება ბიობრიკეტების წარმოებისას. შნეკური ტიპის წნეხებისთვის, როგორც სახელწოდებიდან ჩანს, მთავარ მუშა ორგანოს წარმოადგენს შნეკი (ნახ. 11), რომლის საშუალებითაც ხდება სასურველი წნევის შექმნა ნედლეულის

ბრიკეტირებისთვის. შნეკური ტიპის წნეხები გამოირჩევიან მაღალი მწარმოებლობით, მცირე გაბარიტებით და დაწნეხვის კარგი ხარისხით.

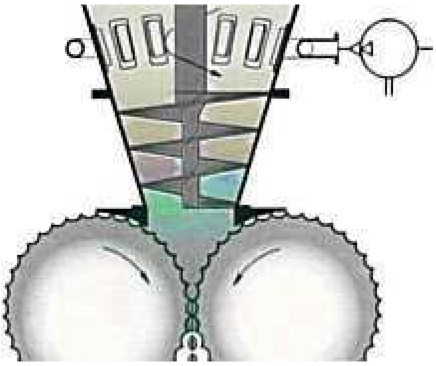
ნახ. 11 შნეკი

ერთადერთი პრობლემა, რაც განაპირობებს მის მთავარ უარყოფით მხარეს, არის ის, რომ განუწყვეტელი და დიდი ხახუნის ძალების გამო, შნეკი განიცდის განუწყვეტლივ ცვეთას (ნახ. 12) და საჭიროებს ხშირ შეცვლას ან აღდგენას.

ნახ. 12 დამუშავებული შნეკი

ამის გათვალისწინებით, აღნიშნული შნეკური ტიპის წნეხების მომსახურება, მოითხოვს ძვირადღირებული დეტალების ხშირ ცვლილებას, რაც აძვირებს წნეხის ექსპლუატაციის ხარჯებს.

დოლური ტიპის წნეხები (ნახ. 13) წარმოადგენენ მაღალი მწარმოებლობის წნეხ-გრანულატორებს, მათი სახელწოდება მოდის ამ წნეხების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კვანძის დოლის სახელწოდებიდან.



ნახ. 13 დოლური წნეხ-გრანულატორის სქემა

ნახ. 14 დოლური ტიპის წნეხ-გრანულატორი

იგი შესდგება, ორი ან მეტი წყვილი ურთიერთსაპირისპიროდ მოძრავი დოლისგან (ნახ. 15), რომლებზეც ერთმანეთის თანმხვედრად გაკეთებულია ჩაზნექილი ფორმები. ნედლეული, ბუნკერის საშუალებით მოთავსებულია ორივე ე.წ. მატრიცის მხებების ცენტრზე, საიდანაც ნედლეული შნეკის საშუალებით თავსდება მატრიცების ჩაზნექილ ადგილებში. დოლის შემობრუნება იწვევს აღნიშნული ნედლეულის

დაწნეხას, რის შემდეგაც დაწნეხილი ბრიკეტები (გრანულები) ვარდებიან წნეხის ქვემოთ განლაგებულ ბუნკერში.

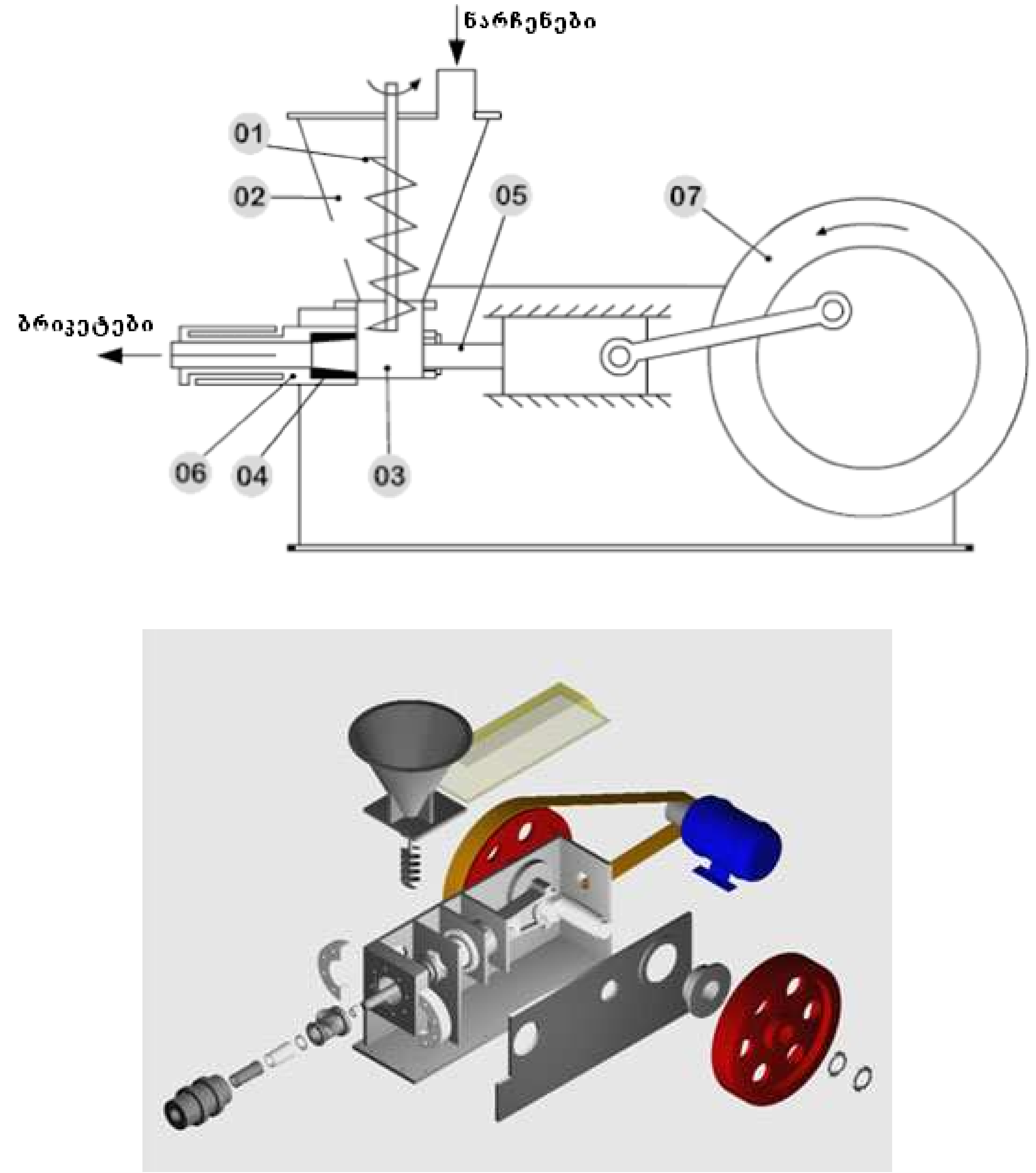
ნახ. 15 დოლური წნეხის მუშა თვალი ჩაღრმავებებით

დოლური წნეხები გამოირჩევიან მაღალი მედეგობით და მაღალი წარმადობით, მაგრამ ძალზედ მგრძნობიარენი არიან მასალების მიმართ, რადგან მოკლებული არიან დაწნეხის ძალის რეგულირებას, ასევე შეზღუდული არიან მასალების დისპერსიულობიდან გამომდინარეც, რადგან მათში მოხვედრილი ნედლეული უნდა იყოს განსაზღვრული ზომების და ფორმის, რათა შესრულდეს ტექნოლოგიური პროცესი.

ნახ. 16 დოლური წნეხით გრანულირებული ნახშირის მტვერი

დოლურმა წნეხ-გრანულატორებმა ფართო გამოყენება ჰპოვეს, ქვანახშირის მტვერის და სხვა ფხვიერი ნედლეულის ბრიკეტირებისთვის.

დგუშისებური წნეხები (ნახ. 18), წარმოადგენენ ყველაზე ფართოდ გავრცელებულ მოწყობილობებს ბიობრიკეტების დასამზადებლად.



ნახ. 17 დგუშიანი წნეხის სქემა

იგი პირობითად შესდგება ბუნკერისგან 1, სადაც მოთავსებულია ნედლეული, მუშა ორგანოსგან 7, რომლის საშუალებით დგუში 5 გადაადგილდება წინ და უკან, კორპუსისგან 6, სადაც ხდება ბრიკეტირების პროცესი.

დგუშისებური წნეხები წარმოადგენენ მაღალი მწარმოებლობის მუშა დანადგარებს, ისინი გამოირჩევიან მაღალი საიმედოობით და მექანიზმების სიმარტივით, დგუშიანი წნეხები ნაკლებად განიცდიან ცვეთას, ადვილია მათი მომსახურება, რადგან არ მოითხოვენ ძვირადღირებული და იშვიათი ტიპის მარაგ ნაწილებს.

გამომდინარე აქედან, ისინი წარმატებით გამოიყენება სხვადასხვა სახის ნედლეულისგან ბრიკეტების მისაღებად.

ნახ. 18 CFN ფირმის BP 5500 ავტომატური წნეხი

დგუშიანი წნეხები, მგრძნობიარენი არიან ნედლეულის ფრაქციის მიმართ, რადგან ფრაქციის მცირედი ცვლილებაც კი უარყოფითად აისახება პროდუქციის ხარისხზე, რის გამოც აუცილებელია გაკონტროლებული იქნას ბრიკეტირების პროცესი სრულად.

ნახ. 19 POR ფირმის დგუშიანი წნეხი

იმისათვის, რომ მიღებული იქნას ბიობრიკეტების მაღალი ხარისხი, აუცილებელია გათვალისწინებული იქნას, ბრიკეტირების პროცესის მიმდინარეობისას წარმოქმნილი მრავალი თავისებურება, ასევე ნედლეულის ბაზების, კონსტრუქციული მახასიათებლების და მასალების ფიზიკურ-მექანიკური თვისებების მრავალფეროვნება, რაც წარმოადგენს მაღალი ხარისხის დამწნეხი მოწყობილობის შექმნისა და ბრიკეტირების პროცესის მაღალ დონეზე ჩატარების წინაპირობას.

1.6 ბრიკეტებისა და ბრიკეტირების პროცესის ზოგიერთი არსებული კვლევა

1.6.1 მაბრიკეტირებელი მექანიზმის ანალიზი მყარი ბიოსაწვავის წარმოებისათვის

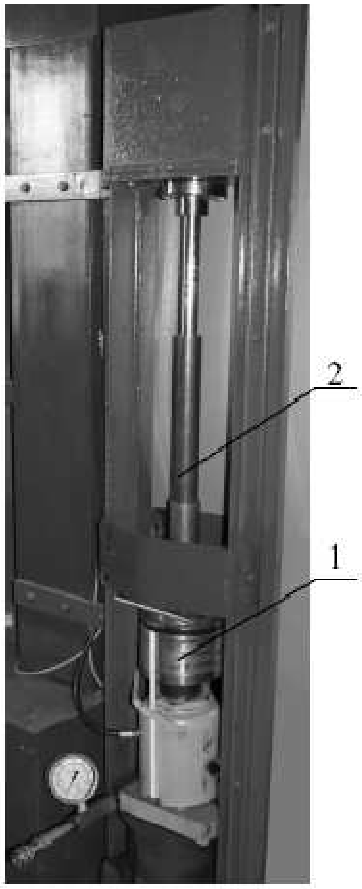
იმისათვის, რომ შეიქმნას ენერგო ეფექტური დამწნეხი მოწყობილობა საჭიროა შესწავლილი იქნას, ბიომასის შემჭიდროვების მახასიათებლები. ამ მიზნით ევროპელი მეცნიერების მიერ შესრულებული იქნა ექსპერიმენტი ლაბორატორიულ ჰიდრავლიკურ მოწყობილობაზე. ექსპერიმენტის დროს შემჭიდროვების მაქსიმალურმა წნევამ შეადგინა 21,2 მპა.

აღნიშნულ კვლევაში, ყურადღება არის გამახვილებული დაწნეხვის პროცესზე, ჰიდრავლიკურ დგუშიანი წნეხის საშუალებით. აღწერილია დაწნეხვის პროცესი ძალთა განაწილების მახასიათებლების მიხედვით. ბიომასალების დაწნეხვის კვლევების საფუძველზე შექმნილია მსგავსი არახაზოვანი მახასიათებლების მქონე დამწნეხი მექანიზმის რომბისებური მოდელი.

აღნიშნული კვლევის მიზანს წარმოადგენდა, გაანგარიშებულიყო ძალთა გადანაწილების მახასიათებლები შემუშავებულ მოდელში და მიღებული შედეგები შედარებულიყო ექსპერიმენტალური კვლევის შედეგებს.

კვლევის მეთოდები და შედეგები: კვლევის მთავარ დავალებას წარმოადენდა, განსაზღვრულიყო დაწეხვის ძალთა გადანაწილების მახასიათებლები, სხვადასხვა ზომის ნაწლაკების დაწნეხვისას. დაწნეხვის ექსპერიმენტი შესრულებული იქნა დახურული ტიპის დამწნეხ ყალიბში ლაბორატორიულ ჰიდრავლიკური მოწყობილობის გამოყენებით (სურ. 20). დაწნეხვის მაქსიმალურმა წნევამ შეადგინა 21,2 მპა, თითოეული ბრიკეტისათვის გამოყენებული მასალის წონა 35 გრ - ით განისაზღვრა.

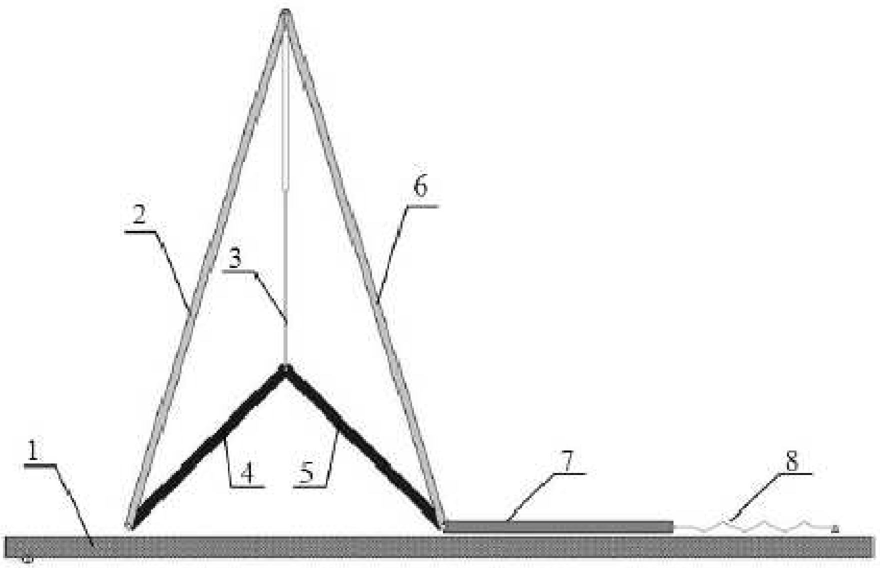
დასაწნეხი მასალებს გააჩნდათ სხვადასხვა ზომა, ხოლო მათი სინესტე 8 % შეადგენდა, რომელიც მიღწეული იქნა მასალების 24 საათით 103 ˚C - ზე გაჩერებით. მასალების ზომა განისაზღვრა სეპარატორის საშუალებით: < 0,5; 1-2; 3-4; 5-6; 7-8; 12-13; 22-23; 32-33 მმ.



ნახ. 20 ექსპერიმენტალური დამწნეხი მოწყობილობა 1 - დამწნეხი ცილინდრი; 2 - დახურული ყალიბი

გაანალიზებული იქნა, ბიომასის დაწნეხისათვის გამოსაყენებელი ექსპერიმენტალური, რომბისებური მოწყობილობა (ნახ. 21). მექანიზმის სიმულირებისათვის და შიდა ძალების განსასაზღვრად, გამოყენებული იქნა კომპიუტერული პროგრამა Working Model 2D Software. ზამბარა 8 აღწერს ბიომასის ქცევას დამწნეხ ცილინდრში. 4, 5 და 2, 6 მექანიზმთა მასები

სიმულაციისთვის დატვირთული იქნა 12,8 და 5,3 კგ ტვირთით,ხოლო მათმა სიგრძემ შეადგინა - 1,012 და 0,42 მ. ჰიდრავლიკური ცილინდრის დგუშის 3 სიჩქარე გამოთვლილი იქნა ფორმულით (1.1):



ნახ. 21 რომბისებური მექანიზმი Working Model Software

1 - სადგამი; 2, 4, 5, 6 - მექანიზმის რგოლები; 3 - ჰიდრავლიკური ცილინდრი; 7 - დგუში; 8 - ზამბარა

$$v = \frac{Q}{A}, \qquad (1.1)$$

სადაც v - ჰიდრავლიკური ცილინდრის დგუშის სიჩქარეა მ/წმ;

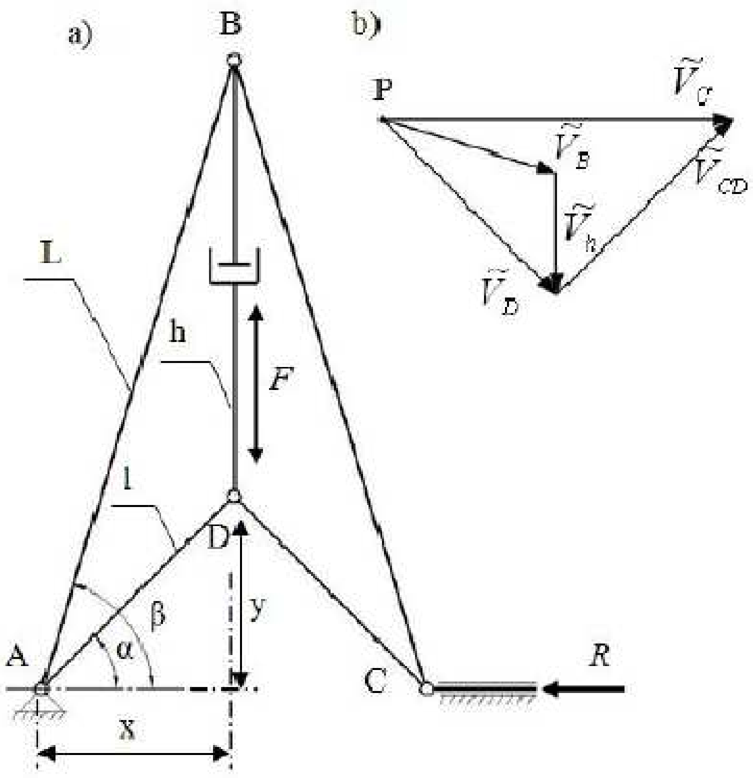
Q – ტუმბოს წარმადობაა $მ^3$/წმ;

A - ცილინდრის ფართობია $მ^2$.

სიჩქარის გამოთვლისას ჰიდრავლიკური სისტემის პარამეტრები იყო: Q=60 ლ/წმ და ჰიდრავლიკური ცილინდრის დიამეტრი 60 მმ.

რომბისებური წნეხის მექანიზმისთვის, ძალთა გადანაწილების მახასიათებლები მიღებული იქნა MathCAD Software საშუალებით,

უმნიშვნელო ინერციისა და ხახუნის ძალების გაუთვალისწინებლად. მექანიზმის სქემა ნაჩვენებია ნახ. 22 - ზე.



ნახ. 22 სტრუქტურული სქემა: a - რომბისებრი მექანიზმი; b - სიჩქარის ვექტორი; L, l - მექანიზმის რგოლების სიგრძე; h - ჰიდრავლიკური ცილინდრის სიგრძე

სიჩქარეთა ვექტორთა სქემიდან (ნახ. 22b):

$$V_h = V_D \cos\alpha - V_B \cos\beta; \quad (1.2)$$

$$V_C = 2V_D \sin\alpha = 2V_B \sin\beta, \quad (1.3)$$

სადაც

$$\cos\alpha = \frac{x}{l}; \cos\beta = \frac{x}{L};$$

$$\sin\alpha = \frac{y}{l};\ \sin\beta = \frac{h+y}{L};$$

სადაც

V_h – ჰიდრავლიკური ცილინდრის ამძრავის აჩქარებაა მ/წმ^2;

V_D – D წერტილის აჩქარებაა;

V_B – B წერტილის აჩქარებაა;

V_C – C წერტილის აჩქარებაა;

h - ჰიდრავლიკური ცილინდრის სიგრძეა;

x, y – D წერტილის მდგომარეობაა;

l, L – მექანიზმის რგოლების სიგრძეა;

α, β - მექანიზმის რგოლების მდებარეობის კუთხეებია;

აქედან

$$V_h = \frac{V_D x}{l} - \frac{V_B x}{L}. \quad (1.4)$$

ჩავანაცვლოთ V_B და V_D განტოლებიდან (1.3):

$$V_h = \frac{V_C x}{2\sin\alpha l} - \frac{V_C x}{2\sin\beta L}. \quad (1.5)$$

აქედან

$$V_h = \frac{V_C x}{2y} - \frac{V_C x}{2(h+y)}. \quad (1.6)$$

მათემატიკური გარდაქმნების შემდეგ:

$$V_h = \frac{V_C x}{2}\left(\frac{1}{\sqrt{l^2 - x^2}} - \frac{1}{\sqrt{L^2 - x^2}}\right). \quad (1.7)$$

უცნობი ძალების გაანგარიშემისთვის შეგვიძლია გამოვიყენოთ ენერგიის ტოლობა:

$$FV_h = RV_C. \quad (1.8)$$

აქედან

$$R = \frac{FV_h}{V_C} \tag{1.9}$$

საიდანაც

$$R = \frac{x}{2}\left(\frac{1}{\sqrt{l^2 - x^2}} - \frac{1}{\sqrt{L^2 - x^2}} \right) F, \tag{1.10}$$

სადაც

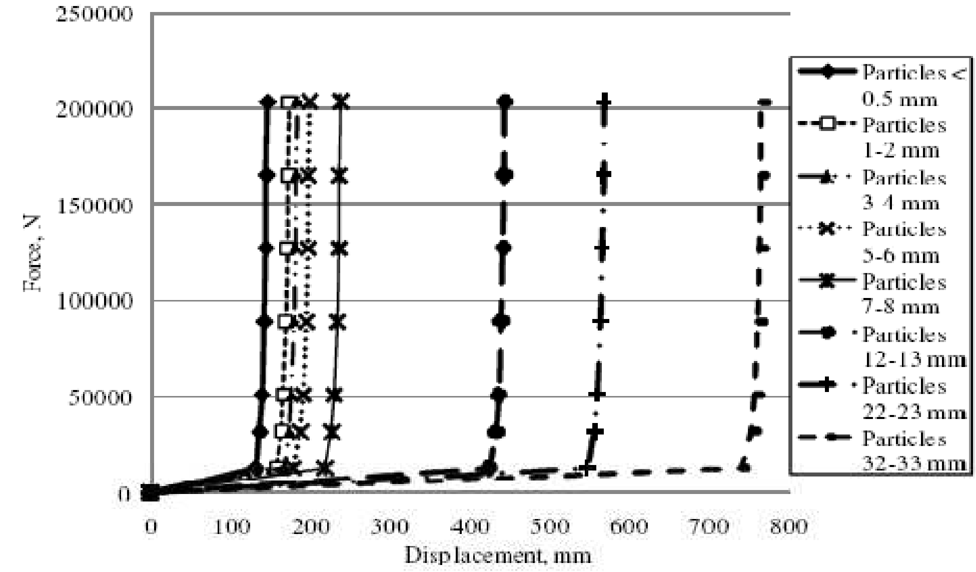
R - ბიომასის რეაქციის ძალაა დამწნეხ ყალიბში, ნ;

F - ჰიდრავლიკური ამძრავის ძალაა, ნ.

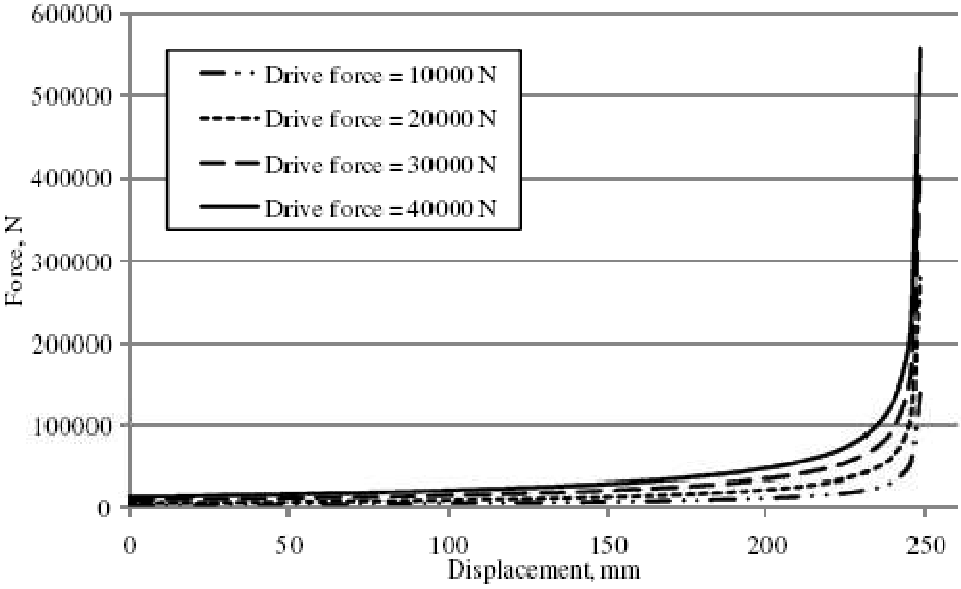
სხვადასხვა ზომის ნაწილაკების დაწნეხისას, ძალთა გადანაწილების მახასიათებლებს, ლაბორატორიული მოწყობილობისათვის ჰქონდა მსგავსი არახაზოვანი მრუდების სახე (ნახ. 23). დგუშის მაქსიმალური გადაადგილებისას (750 მმ 32-33 მმ ნაწილაკებისთვის), ნაწილაკების დაწნეხისათვის საჭირო გახდა 13 მპა წნევა. ასევე, მასალების საბოლოო დაწნეხა მოხდა დასაწნეხი წნევის უფრო სწრაფი გაზრდით დგუშის მცირე გადაადგილებისას (10 – 20 მმ). ბიომასალების დამწნეხი მოწყობილობის შექმნისათვის საჭიროა ამ ძალთა გადანაწილების მახასიათებლების ცოდნა.

შექმნილი რომბისებური მექანიზმის ძალთა გადანაწილების მახასიათებლები გაანგარიშებული იქნა MathCAD Software საშუალებით. გამოთვლისათვის განტოლებაში (10) გამოყენებული იქნა სხვადასხვა ამძრავის ძალები. ნახ. 25 ნაჩვენებია რომბისებურ მექანიზმის დამწნეხ ცილინდრში გაანგარიშებული დამწნეხი ძალა.

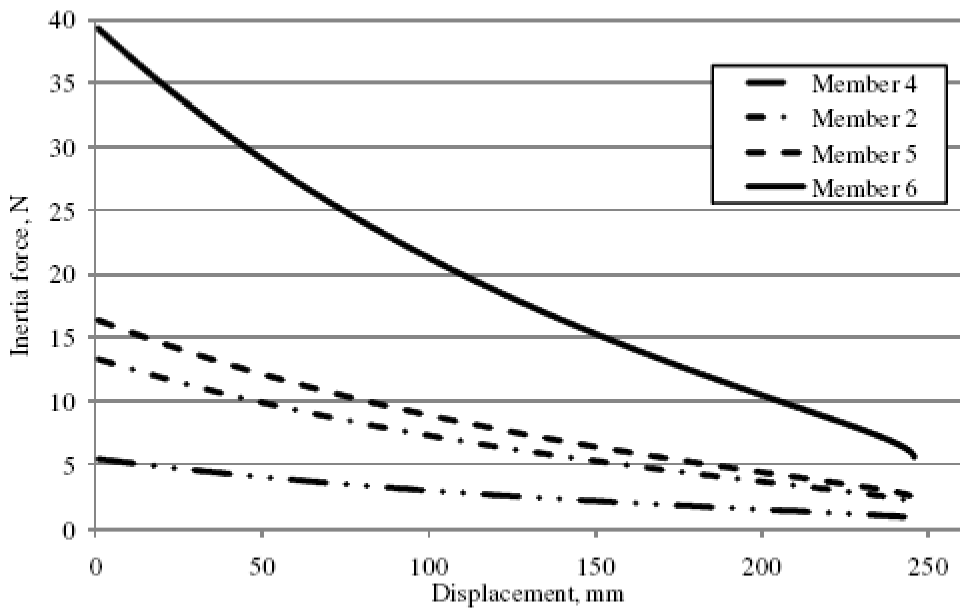
მექანიზმის რგოლების ინერციის ძალების (ნახ. 21) განსაზღვრა, Working Model 2D Software საშუალებით ნაჩვენებია ნახ. 25 - ზე.



ნახ. 23 დაწნეხვის ძალთა გადანაწილების მახასიათებლები



ნახ. 24 გამოთვლილ ძალათა გადანაწილების მახასიათებლები



ნახ. 25 მექანიზმის რგოლების ინერციის ძალები

ინერციის ძალების მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომბისებური მექანიზმის 6 რგოლისათვის, არის 40 ნ - ზე ნაკლები და არ აჭარბებს 17 ნ დანარჩენი რგოლებისთვის, აქედან გამომდინარე, ეს ძალები შეიძლება უგულველყოფილი იქნას მექანიზმის გაანგარიშებისას.

1.6.2 ნახერხის ბრიკეტის გეომეტრიული პარამეტრების გავლენა, სითბოდ გარდაქმნის ეფექტურობაზე

ხის ნახერხის ბრიკეტები ხასიათდებიან სხვადასხვა გეომეტრიული პარამეტრებით (სიგრძე, დიამეტრი და გეომეტრიული ფორმა), რაც დამოკიდებულია დამწნეხი მოწყობილობის თავისებურებაზე. დღესდღეობით არსებული დამწნეხი მოწყობილობები, საშუალებას გვაძლევენ მივიღოთ, ბრიკეტის სხვადასხვა სიგრძე. ქვემოთ მოცემულ კვლევაში მოცემულია ბრიკეტის სიგრძის გავლენა მისი სითბოდ გარდაქმნის ეფექტურობაზე.

გარდაქმნის პროცესის ეფექტურობა განისაზღვრება, როგორც გარდაქმნის პროცესის ბოლოსთვის მიღებული ენერგიის ფარდობა იმ სისტემაში მიცემულ ენერგიასთან, სადაც მყარი ბიოსაწვავი იქნა გამოყენებული:

$$E_{conv} = \frac{W_{at}^1}{W_{cb}^1} = \frac{V_{at} \cdot \rho_{at} \cdot c \cdot \int \Delta T_{(i,j)}}{m_{i,j,cb} \cdot H_{i,j,cb} \cdot 10^6} \cdot 100, [MJ/Kg] \quad (1.11)$$

სადაც

E_{conv} – გარდაქმნის პროცესის ენერგო ეფექტურობაა, [%];

V_{at} – თერმო აგენტის რაოდენობაა ბოილერში [მ^3];

ρ_{at} – თერმო აგენტის სიმკვრივეა, ρ = 1000 [კგ/მ^3] ტემპერატურულ ზღვარში $\Delta T_{(i,j)}$;

c – წყლის სითბოტევადობაა (c = 4,180 კჯ/კგK), ტემპერატურულ ინტერვალში $\Delta T_{(i,j)}$ და V_{at} = const.

$m_{i,j,cb}$ – i ტიპის ნახერხის ბრიკეტების და j ბრიკეტების სიგრძის (i =1, 2, 3 და j = 30, 50, 70 მმ) რაოდენობაა, [კგ];

$H_{i,j,cb}$ – i ტიპის მყარი ბიოსაწვავის კალორიულობაა, [მჯ/კგ];

$\Delta T_{(i,j)}$ - შემავალი თერმო აგენტის და გამომავალი თერმო აგენტის ტემპერატურებს შორის სხვაობაა, მთლიანი მუშა ციკლის განმავლობაში.

თითოეული ექსპერიმენტის დასაწყისში მყარი ბიოსაწვავი ჩატვირთული იქნა ხელით საწვავ კამერაში. საწვავის კალორიულობა განსაზღვრული იქნა ექსპერიმენტალურად კალორიმეტრიული მეთოდით (ცხრილი 2).

ცხრილი 2 ნახერხის ბრიკეტის მთავარი მახასიათებლები

Fuel	Geometric parameters of the cilindrical sawdust briquettes		Humidity W_t [%]	Technical analysis			Elemental composition			High calorific value H_s [MJ/kg]	Lower calorific value H_i [MJ/kg]
	D [mm]	L [mm]		V^{mc} [%]	A^a [%]	C^f_a [%]	C [%]	H [%]	O [%]		
Fuel 1 (fir)	55	30	7,042	70,4685	2,065	20,4240	45,0730	5,4311	39,7518	17,268	15,988
		50									
		70									
Fuel 2 (beech)	55	30	7,06	67,4081	4,1136	21,4182	44,3141	5,2931	38,5974	19,377	18,125
		50									
		70									
Fuel 3 (fir+beech)	55	30	6,784	70,3498	2,8238	20,04232	44,7761	5,4039	39,5794	19,174	17,905
		50									
		70									

$\int \Delta T_{(i,j)}$ არის ფართობი შემავალი და გამომავალი თერმო აგენტების ტემპერატურების ცვლად მრუდებს შორის, სრული მუშა ციკლის დროს.

ერთნაირი რაოდენობის (3 კგ ± 100 გრ.) მყარი ბიოსაწვავი იქნა გამოყენებული ყველა ცდისას. ბიოსაწვავის რაოდენობა განისაზღვრა ციფრული სასწორის საშუალებით, სიზუსტით 0,01 გრ. საწვავი ჰაერის მიწოდება ხდებოდა ნაცრის გამოსატვირთი კარების ღრეჩოდან, რომლის ზომა შეადგენდა 2 მმ.

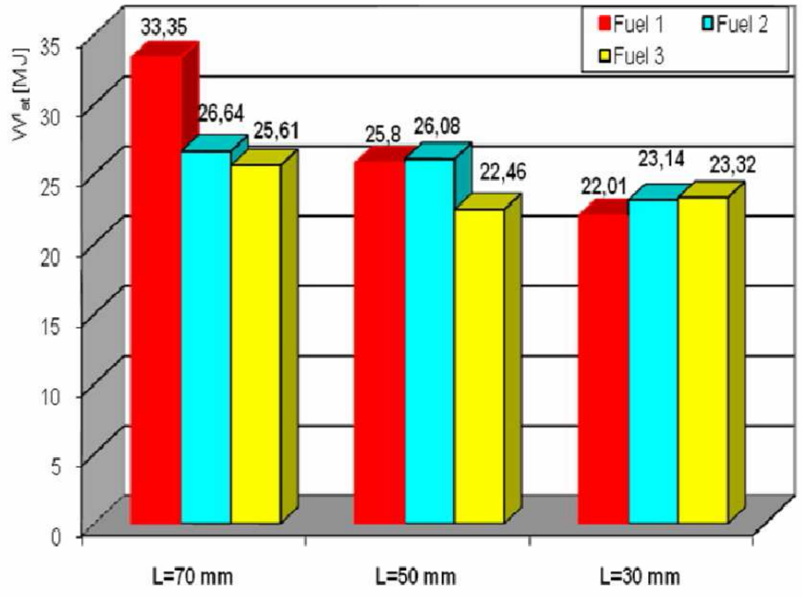
ექსპერიმენტის შედეგები: ექსპერიმენტის შედეგები ნაჩვენებია ნახ. 26 - ზე და 27 - ზე.

შედარებითი ანალიზი აჩვენებს, რომ სასარგებლო ენერგია გადასული თერმო აგენტში (ნახ. 26) დამოკიდებულია გამოყენებული ნახერხის ბრიკეტის სიგრძეზე. ანალიზი აჩვენებს მნიშვნელოვან განსხვავებებს მიღებულ მონაცემებს შორის სხვადასხვა სიგრძის ბრიკეტისათვის (33,35 მჯ საწვავისთვის 1, L = 70 მმ და 22,01 მჯ, როცა L = 30 მმ).

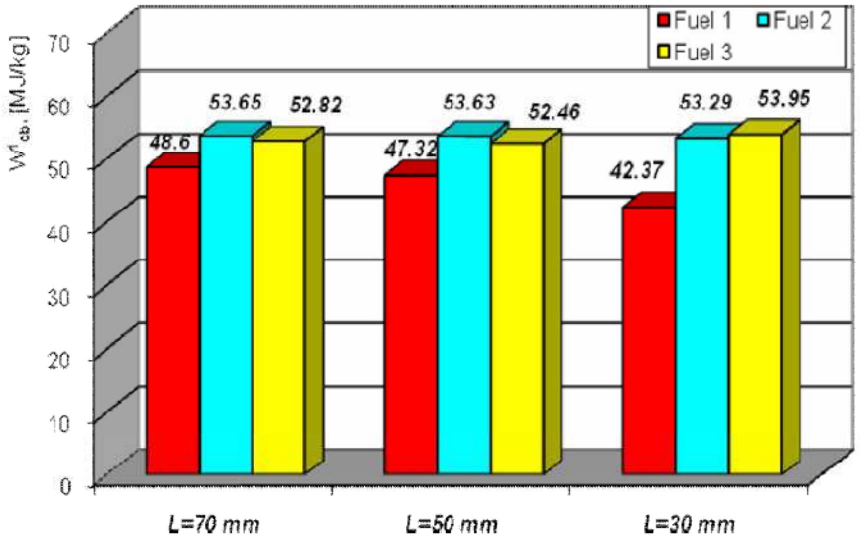
კალორიულობას და კუთრ ენერგიას, ასევე გააჩნიათ განსხვავებული მნიშვნელობა ყველა ტიპის საწვავისთვის (15,988 მჯ/კგ საწვავისთვის 1 და 17,9054მჯ,კგ საწვავისთვის 3).

აღნიშნული ხსნის ენერგიის მარაგების მონაცემებს შორის მცირე განსხვავებას ერთნაირი ტიპის საწვავებში, განსხვავებული სიგრძეებით. ეს

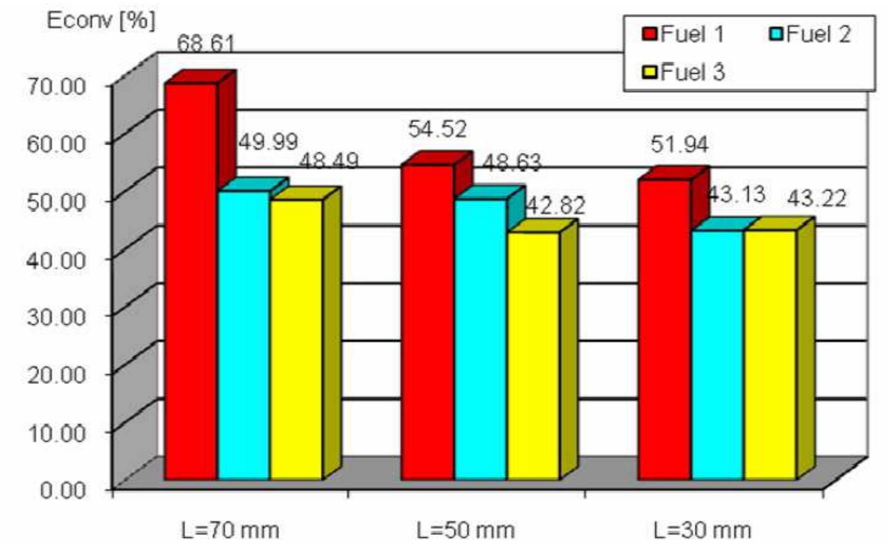
დადასტურებულია ენერგიის სიდიდით, რომელიც მიღებულია საწვავისგან 2, L = 70 მმ (53,65 მჯ) და L = 50 მმ (53,63 მჯ). ექსპერიმენტალური მონაცემების გამოყენებით გარდაქმნის პროცესის ენერგო ეფექტურობა თითოეული ექსპერიმენტისთვის შეფასებული იქნა. შედეგები მოყვანილია ნახ. 28 - ზე.



ნახ. 26 სასარგებლო ენერგიის ცვლილება საწვავთა კატეგორიის და ბრიკეტის სიგრძის მიხედვით



ნახ. 27 შთანთქმული ენერგიის ცვლილება საწვავთა კატეგორიის და ბრიკეტის სიგრძის მიხედვით



ნახ. 28 ენერგიის გარდაქმნის პროცესის ეფექტურობა საწვავთა კატეგორიისა და ბრიკეტის სიგრძის მიხედვით

შედარებითი ანალიზი გარდაქმნის პროცესის ენერგო ეფექტურობისთვის (E_{conv}), მიღებული იგივე პირობებში, მიანიშნებს, აღნიშნული მონაცემების ცვლილებას ნახერხის ბრიკეტის სიგრძის ცვლილებით.

მონაცემთა ანალიზი (ნახ. 28) აჩვენებს მნიშვნელოვან განსხვავებას ერთნაირი ტიპის საწვავისთვის, განსხვავებული ბრიკეტის სიგრძით: საწვავისთვის 1 და ბრიკეტი სიგრძით L = 50 მმ, გარდაქმნის პროცესის ენერგო ეფექტურობა იქნა შეფასებული 68,61 % და შესაბამისად 51,94 % L = 30 მმ - თვის.

თავი 2. შედეგები და განსჯა

2.1 საწნეხი მანქანის დამწნეხი ბუნკერის გეომეტრიის ოპტიმიზაცია

აღნიშნული ექსპერიმენტის მიზანი იყო წარმოდგენილი და გამოკვლეული ყოფილიყო, დამწნეხი მოწყობილობის წნეხის უბნის სტრუქტურული პარამეტრები, რომელიც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ბრიკეტირების პროცესზე. ექსპერიმენტის მთავარი მიზანს წარმოადგენდა, დახვეწილიყო სტრუქტურული მახასიათებლები, რომლებიც გავლენას ახდენს წნეხის მუშაობაზე და ბრიკეტირების პროცესზე.

ყველა შედეგი, რომელიც ქვემოთაა წარმოდგენილი, მიღწეულია ექსპერიმენტების, ანალიზის და გამოცდილების შედეგად, ბრიკეტირების პროცესის შესწავლისა დროს, ასევე აღწერილია სტრუქტურული პარამეტრები, რომლებიც გავლენას ახდენენ ბრიკეტირების პროცესზე.

ბრიკეტირების პროცესი არის ბიომასის გადამუშავების ძალიან საინტერესო პროცესი, ასევე არის ძალიან რთული პროცესი, იმიტომ, რომ პროცესის მიმდინარეობისას არსებობს ბევრი პარამეტრი, რომელიც გავლენას ახდენს ამ პროცესზე და ბრიკეტების საბოლოო ხარისხზე. ბრიკეტების ხარისხი განსაზღვრულია სტანდარტებით და იყოფა მექანიკური, ქიმიური და თერმული ინდიკატორების მიხედვით. ყველაზე მნიშვნელოვანია მექანიკური მახასიათებელი – სიმკვრივე, რომელიც განსაზღვრავს ბრიკეტის ხარისხს. ამ მახასიათებლის მიხედვით ძირითადად აღწერენ ბრიკეტირების პროცესს.

ბრიკეტირების პროცესზე მოქმედი პარამეტრები: ბრიკეტების ხარისხის განმსაზღვრელ მთავარ პარამეტრზე – სიმკვრივეზე გავლენას ახდენს მრავალი პარამეტრი. ჩვენ ექსპერიმენტებზე დაყრდნობით და

ანალიზის შედეგად, ისინი შეიძლება დაყოფილი იქნას სამ ძირითად ჯგუფად:

- მასალების პარამეტრები;
- ტექნოლოგიური პარამეტრები;
- სტრუქტურული პარამეტრები;

მასალების პარამეტრები გამომდინარეობს დაწნეხილი მასალების პარამეტრებიდან, როგორებიცაა: მასალის ტენიანობა, ფრაქციის სიდიდე, მასალების ქიმიური შემადგენლობა და ა.შ.

ტექნოლოგიურ პარამეტრებს განსაზღვრავს: დაწნეხვის ტემპერატურა, დაწნეხვის წნევა, დაწნეხვის სიჩქარე, დაწნეხვის დრო და ა.შ.

ეს პარამეტრები შეიძლება შეცვლილი იქნას დამწნეხი მანქანის შესაძლებლობების შესაბამისად. ასევე მნიშვნელოვანია, სტრუქტურული პარამეტრები, ჩვენ ვგულისხმობთ დანწნეხი ბუნკერის სტრუქტურულ პარამეტრებს. იმისათვის, რომ წარმატებით მოხდეს ბრიკეტირების პროცესი, ყველა ზემოთაღნიშნული პარამეტრი უნდა იყოს სინერგიაში (ურთიერთდამოკიდებულებაში).

ჩვენთვის, როგორც კონსტრუქტორებისთვის მნიშვნელოვანია ყველა პარამეტრის ქცევა – მოქმედება ცნობილი იყოს.

ჩვენ ვიცით, რომ ბრიკეტირების პროცესისთვის მნიშვნელოვან მახასიათებლებს წარმოადგენს ბრიკეტირების ტემპერატურა, მასალების ტენიანობა, ბრიკეტირების წნევა და ფრაქციის სიდიდე. როდესაც მოხდება აღნიშნული პარამეტრების ჯეროვნად შერჩევა, ჩვენ შეგვიძლია მივიღოთ დამაკმაყოფილებელი ხარისხის ბრიკეტი. მაგრამ, ასევე, ჩვენ ვიცით, რომ, თუ მაგალითად, შევცვლით, რომელიმე სტრუქტურულ პარამეტრს, ჩვენ შეგვიძლია უკეთესი შედეგების მიღება. ამიტომაც ძალიან მნიშვნელოვანია დამწნეხი ბუნკერის გეომეტრიის ოპტიმიზაცია. მთავარი სტრუქტურული პარამეტრები, რომლებიც გავლენას ახდენენ, ბრიკეტის სიმკვრივეზე არიან:

- დამწნეხი ბუნკერის ზომები;
- დამწნეხი ბუნკერის სიგრძე;

- დამწნეხი ბუნკერის კონუსურობა;
- ხახუნის კოეფიციენტი დამწნეხ ბუნკერსა და დგუშს შორის და ა.შ;

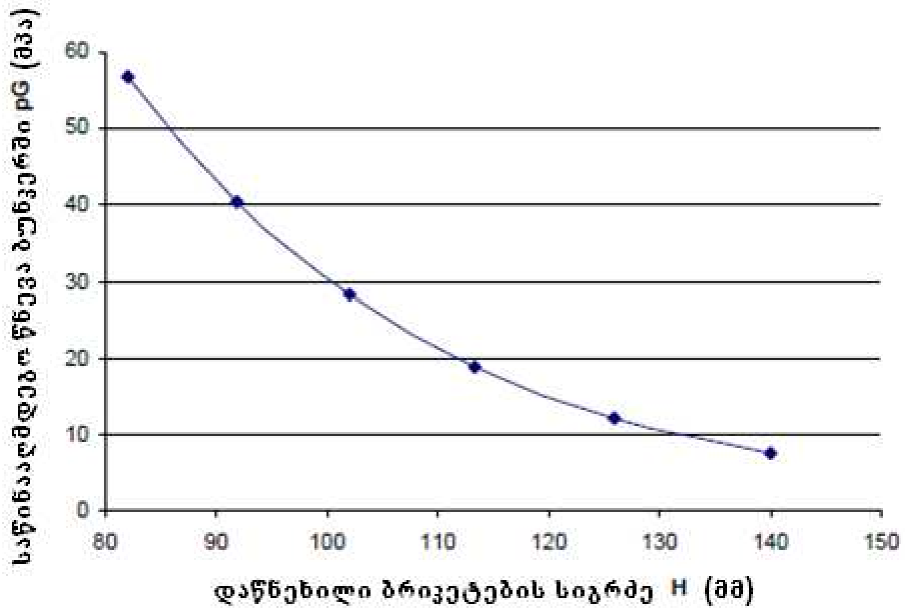
დამწნეხი ბუნკერის გეომეტრია, ძალიან მნიშვნელოვანია ბრიკეტირების პროცესისათვის. დღესდღეობით არ მოიპოვება წყაროები, სადაც შეიძლება აღწერილი იქნას ბრიკეტირების პროცესი, პროცესზე მოქმედი ცალკეული პარამეტრების თანხლებით. შედეგები, რომლებიც მოცემულია ქვემოთ, გამომდინარეობს უშუალოდ ჩვენი ექსპერიმენტების და ანალიზის შედეგად და აღწერილია მათემატიკური მოდელის სახით, ბრიკეტირების სრული პროცესის მიმდინარეობისას.

სტრუქტურული პარამეტრების მოქმედების ანალიზი ბრიკეტირების პროცესზე: დღესდღეობით ძალიან მცირე მასალები მოიპოვება, სადაც აღწერილია მატემატიკური მოდელი, ყველა მოქმედი ინდივიდუალური სტრუქტურული პარამეტრების შემადგენლობით. ჩვენს მიერ, გაანალიზებული იქნა პოროცესი და შექმნილი იქნა ორი მათემატიკური მოდელი, რომლებიც შეიცავენ სტრუქტურულ პარამეტრებს. მათი მიხედვით ჩვენ შეგვიძლია შევამოწმოთ მათი გავლენა სხვა პარამეტრებზე. პირველი მათემატიკური მოდელი წარმოადგენს განტოლებას (2.1):

$$p_G = p_k . e^{-\frac{4.\lambda.\mu.H}{D_k}} \quad \text{(MPa)} \tag{2.1}$$

დაწვრილებითი აღწერა აღნიშნული მათემატიკური მოდელის წარმოდგენილია ნახ. 30 - ის სახით. აღნიშნული მათემატიკური მოდელი, აღწერს ბრიკეტირების პროცესს წნეხში და წარმოადგენს დამწნეხ ბუნკერში არსებულ წნევის და ძალების აღწერას. ექსპერიმენტის დროს, ჩვენ გამოვცადეთ სიგრძის მოქმედება, დაწნეხილ ბრიკეტზე H. ამ შედეგების გათვალისწინებით, ჩვენთვის შესაძლებელი გახდა, გამოთვლილიყო ოპტიმალური სიგრძე დამწნეხი ბუნკერისათვის. გამოცდის დროს, ჩვენ ავიღეთ, საწყისი მნიშვნელობა სხვა პარამეტრებისთვის და თანდათან

დავიწყეთ ბრიკეტის სიგრძის გაზრდა 10%–ით. შედეგები მოყვანილია ნახ. 29 - ზე.



ნახ. 29 ბრიკეტირების დროს დამწნეხ ბუნკერში არსებული წნევის (მპა) დამოკიდებულება ბრიკეტის სიგრძესთან H

ჩვენ შეგიძლია დაინახოთ, რომ, როდესაც ჩვენ ვზრდით ბრიკეტის სიგრძეს, ექსპონენციალურად ვამცირებთ მასზე მოქმედ წნევას, ასევე საწინააღმდეგოდ. ჩვენ ვიმედოვნებდით, რომ იგივე შედეგი იქნებოდა დადასტურებული, ჩვენი ექსპერიმენტის და გამოთვლის მიხედვით.

მეორე მათემატიკური მოდელი წარმოადგენს განტოლებას (2.2).

$$P_x = P_{xo} . e^{\frac{2.\mu.G.\upsilon_{RL}.L_P}{r}} \quad \text{(MPa)} \tag{2.2}$$

სადაც Px – ბრიკეტირების დროს მოქმედი წნევაა (მპა); P_{x0} – ბრიკეტირების საწყისი წნევაა (მპა); μ– ხახუნის კოეფიციენტია; G – ელასტიურობის მოდული, გრძივი და განივი მიმართულების ბოჭკოების თანაფარდობა; v_{RL} – დრეკადი მასალის ერთ-ერთი ფიზიკური მახასიათებელი, რომელიც უდრის სხეულის ელემენტის ფარდობითი განივი დეფორმაციისა და მისი ფარდობითი გრძივი დეფორმაციის

აბსოლუტურ მნიშვნელობების ფარდობას; r – საწნეხი ბუნკერის განივკვეთის სიგრძის ნახევარი (მმ); Lp – საწნეხი ბუნკერის სიგრძე (მმ); ამ მათემატიკური მოდელით აღიწერება შემთხვევა, როდესაც ელასტიური მასალა ბრიკეტირდება საწნეხ ბუნკერში, მაგრამ ეს მოდელი არ აღწერს დამოკიდებულებას საწნეხ ბუნკერის სიგრძესა და ბრიკეტირების დროს მოქმედ წნევას შორის, ამიტომ იგი ჩვენს მიერ არ ყოფილა გამოცდილი.

2.1.1 ბრიკეტირების პირობები ერთღერძიან ცილინდრული ფორმის დამწნეხ ბუნკერში

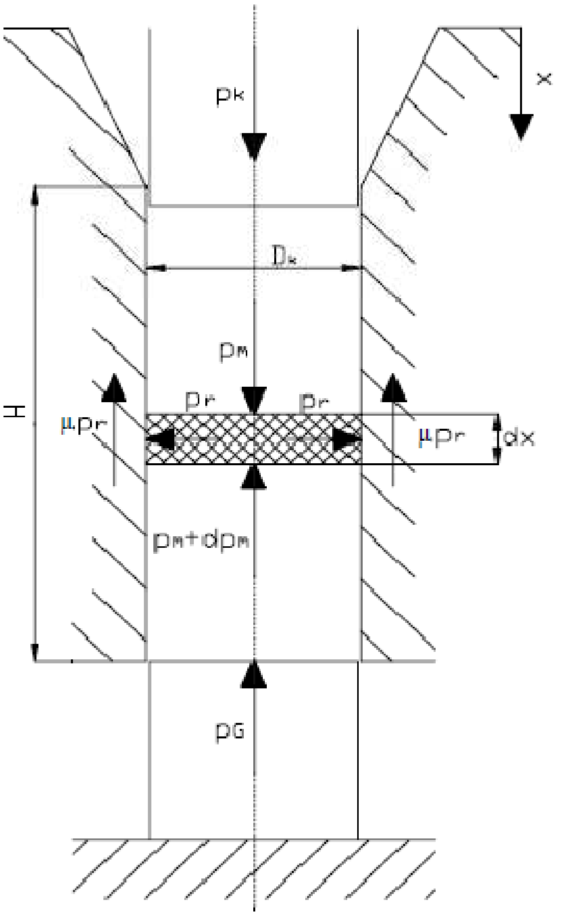
ერთღერძიანი დაწნეხვის თეორიაზე დაყრდნობით, ჩვენ შეგვიძლია გავაანალიზოთ, დახურული დამწნეხი ბუნკერის სიგრძის ცვლილების გავლენა ბრიკეტირებაზე. დამწნეხი ბუნკერის ზომები დიდ გავლენას ახდენს ბრიკეტის წვის თვისებებზე, ასევე დამწნეხი დგუშის ცვეთაზე. ბრიკეტების წვისას, სასურველია, წვის პროცესი მიმდინარეობდეს ნელ ტემპში და თანაბრად. ეს ჩვენ შეგვიძლია მივაღწიოთ, როდესაც ბრიკეტის ზედაპირის ფართობის და მოცულობის ფარდობა მაქსიმალურად მცირეა. იგივე შეიძლება ითქვას დგუშის ცვეთასთან დაკავშირებით. დგუშის ცვეთა მინიმალურია, როდესაც მცირეა მისი ზედაპირის ფართობის და მოცულობის ფარდობა. ამიტომ ძალზედ მნიშვნელოვანია, დამწნეხი ბუნკერის ოპტიმალური გეომეტრიის პოვნა, ბრიკეტის წვის, დგუშის ცვეთის და საბაზრო მოთხოვნილებების გათვალისწინებით.

ნახ. 30 - ზე ნაჩვენებია ერთღერძიანი დაწნეხის სქემა.

მაქსიმალური წნევა p_k, რომელიც იზრდება დაწნეხვისას, დამოკიდებულია დამწნეხი ბუნკერის სიგრძეზე და კვეთზე; დამოკიდებულია დასაწნეხი მასალის და ბუნკერის კედელს შორის პირდაპირ ხახუნზე. პირდაპირი ხახუნი წარმოადგენს რადიალური წნევის

p_r უკუქმედების შედეგს დამწნეხი ბუნკერის კედლებზე, ხახუნის კოეფიციენტის μ და დაწნეხილი ბრიკეტს სიგრძის H გათვალისწინებით.

განტოლება (2.3) აღწერს ნახ. 30 - ს.



p_k – წნეხის გრძივი დაწნევაა (მპა);
p_G – საწინააღმდეგო წნევაა ბუნკერში (მპა);
p_r – რადიალური წნევა (მპა);
p_m – გრძივი დაწნევაა ბრიკეტზე (მპა);
D_k – დამწნეხი ბუნკერის სიგანეა (მმ);
μ – ხახუნის კოეფიციენტია;
H – დაწნეხილი ბრიკეტის სიგრძეა (მმ);

ნახ. 30 მოქმედი ძალები დახურული ტიპის დამწნეხ ბუნკერიან წნეხში

$$[p_m - (p_m + dp_m)]\frac{\pi D_k^2}{4} - \mu p_r \pi D_k dx = 0 \qquad (2.3)$$

(2.3) განტოლების ამოხსნით ჩვენ მივიღეთ (2.1) და (2.4) განტოლება.

$$p_k = p_G . e^{\frac{4.\lambda.\mu.H}{D_k}} \quad \text{(MPa)} \qquad (2.4)$$

განტოლება (2.4) ასახავს დამოკიდებულებას, ღერძულ წნევასა p_k და საწინააღმდეგო წნევას p_G შორის,რომელიც მოქმედებს დასაწნეხ ბრიკეტზე.

აღნიშნული მათემატიკური მოდელი შემუშავებული იქნა ევროპელ მეცნიერებთან ერთად. აღნიშნულმა მათემატიკურმა მოდელმა საშუალება მოგვცა გამოგვეთვალა ბრიკეტის ოპტიმალური სიგრძე, ოპტიმალური საწინააღმდეგო წნევა და ოპტიმალური სიგრძე დამწნეხი ბუნკერისთვის.

ხახუნის კოეფიციენტის და დამწნეხი ბუნკერის სიდიდეებით, ჩვენ შეგვიძლია გამოვთვალოთ, საჭირო საწინააღმდეგო წნევა ბრიკეტირებისთვის. მაგრამ არსებობს კითხვა, რომელიც შემდეგნაირად ჟღერს: როგორ გავლენას ახდენს დამწნეხი ბუნკერის სიგრძე და საწინააღმდეგო წნევა ბრიკეტის საბოლოო ხარისხზე, რომელიც ბრიკეტის სიმკვრივით განისაზღვრება? ამ კითხვაზე პასუხის გაცემა მხოლოდ მათემატიკური მოდელით შეიძლება, რომელიც წარმოადგენს დამოკიდებულებას, ღერძულ დამწნეხ წნევასა და ბრიკეტის სიმკვრივეს შორის.

ამისათვის ჩვენ ჩავატარეთ ექსპერიმენტი ძირითადი ტექნოლოგიური და მასალების პარამეტრების შეფასების მიზნით და ვცადეთ გვეპოვა ფუნქციონალური დამოკიდებულება:

$$\rho = f\left(p, T, w_r, L\right) \tag{2.5}$$

სადაც ρ – ბრიკეტის სიმკვრივეა (კგ/დმ^3), p – ღერძული დამწნეხი წნევა (მპა), T – დაწნეხვის ტემპერატურა (°C), w_r – მასალების ფარდობითი ტენიანობა (%) და L – ფრაქციის ზომა (მმ).

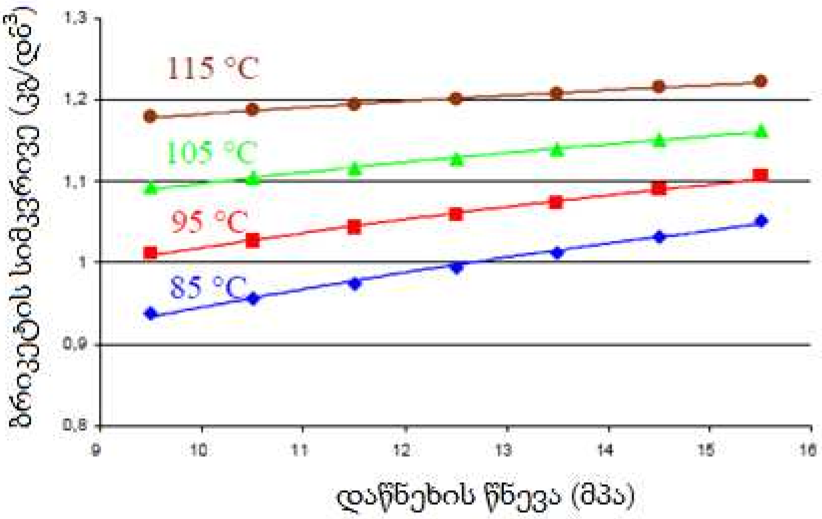
ჩვენს მიერ შემუშავებული იქნა ექსპერიმენტალური დანადგარი, რომელზეც განხორციელდა ექსპერიმენტი. ექსპერიმენტალური დანადგარი საშუალებას გვაძლევდა, შეგვეცვალა ზემოთაღწერილი პარამეტრები და მიგვეღწია სასურველი შედეგებისთვის მათემატიკური მოდელის შემუშავებისას.

გაზომილი მონაცემები დავამუშავეთ მატემატიკური და სტატიკური მოდელების საშუალებით, რის შემდეგაც, საშუალება მოგვეცა დაგვეწერა მათემატიკური მოდელის განტოლება (2.6)

$$\rho = e^{\left(\begin{array}{l}4,98371-0,0261781.p-0,0410292.T-0,620594.w_r-0,015446.L+0,000228845.p.T+\\ 0,0031851.p.w_r+0,00528717.T.w_r-0,0000273004.p.T.w_r\end{array}\right)}$$

(2.6)

(2.6) განტოლების საშუალებით, ჩვენ გამოვთვალეთ ოპტიმალური ღერძული დაწნეხვის წნევის სიდიდე, ევროპულ სტანდარტებში მოცემული ბრიკეტის სიმკვრივის მიხედვით. ნახ. 31 - ზე ჩვენ შეგვიძლია დავინახოთ, დაწნეხის წნევის დამოკიდებულება, სხვადასხვა ტემპერატურაზე, ბრიკეტის სიმკვრივესთან, რომელიც იქნა შექმნილი განტოლების (2.6) გამოყენებით.



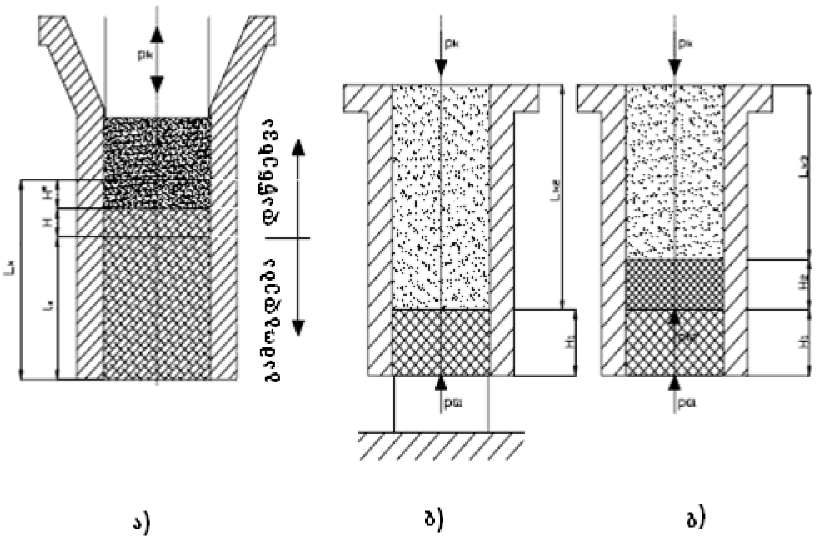
ნახ. 31 დაწნეხის წნევის დამოკიდებულება სხვადასხვა ტემპერატურისას ბრიკეტის სიმკვრივეზე (w_r=10%; L=2მმ)

ჩვენ შეგვიძლია გამოვთვალოთ საწინააღმდეგო წნევა განტოლებიდან (2.1) და ფუნქციონალური დამოკიდებულებიდან ρ=f(pk). საწინააღმდეგო წნევის მნიშვნელობა ძალიან მნიშვნელოვანია, იმიტომ, რომ რადიალური წნევის მნიშვნელობა ზემოქმედებას ახდენს დამწნეხი ბუნკერის სიგრძეზე. მაგალითისთვის ჩვენ გამოვიყენეთ ექსპერიმენტალური წნეხი.

ჩვენ ავირჩიეთ ღერძული წნევა p_k (ნახ. 31) მიხედვით (p_k=15,9 მპა), ამ წნევაზე, ჩვენ საშუალება გვაქვს მივაღწიოთ ბრიკეტების სასურველ ხარისხს. ხახუნის კოეფიციენტი, დაწნეხილ მასალას (ხის ნახერხი) და

დამწნეხი ბუნკერის კედლებს შორის (ფოლადი) ცნობილია μ=0,35. μ არის ფარდობა ძირითადი დეფორმაციების σ_r/σ_m (ნახ.29). დისპერსიული მასალებისთვის ეს ფარდობა 0<λ<1 ინტერვალებშია. დამწნეხი ბუნკერის სიგანე, ექსპერიმენტალური დანადგარის მიხედვითაა აღებული.

ბრიკეტის სიგრძის გამოსათვლელად, ასევე გვჭირდება შემჭიდროვების კოეფიციენტის ცოდნა ხის ნახერხისთვის. ეს არის მასალის მოცულობების ფარდობა შემჭიდროვების დასაწყისსა და დასასრულს შორის. ეს ფარდობა გამოთვლილი იქნა ბრიკეტის სიმკვრივიდან (15,9 მპა-ზე და 105 °C-ზე) და დამწნეხი ბუნკერის სიგრძიდან L_k. გამოთვლილი მოცულობათა ფარდობა ხის ნახერხისთვის, ჩვენ შემთხვევაში არის 1:8. ჩვენ შეგვიძლია გამოვთვალოთ ბრიკეტის სიგრძე ყველა ცდის დასრულებისას ექსპერიმენტალურ წნეხზე. აღვნიშნავთ, რომ დახურული დამწნეხი ბუნკერის შემთხვევაში თითოეულ ბრიკეტს გააჩნია განსხვავებული სიგრძე. ნახ. 32 - ზე ჩვენ შეგვიძლია დავინახოთ რა ხდება დახურული დამწნეხი ბუნკერის შემთხვევაში. ამის შემდეგ ჩვენთვის შესაძლებელია განვსაზღვროთ საძებნი საწინააღმდეგო წნევა p_G, ადრე გაანგარიშებული მონაცემების გამოყენებით და განტოლება (2.1) მიხედვით.



ნახ. 32 ა) ერთღერძიანი დაწნეხის პროცესი დახურული დამწნეხი ბუნკერით; ბ) პირველი ბრიკეტის დაწნეხა + ფხვიერი მასალით შევსების პროცესი; გ)მეორე ბრიკეტის დაწნეხა + ფხვიერი მასალით შევსების პროცესი;

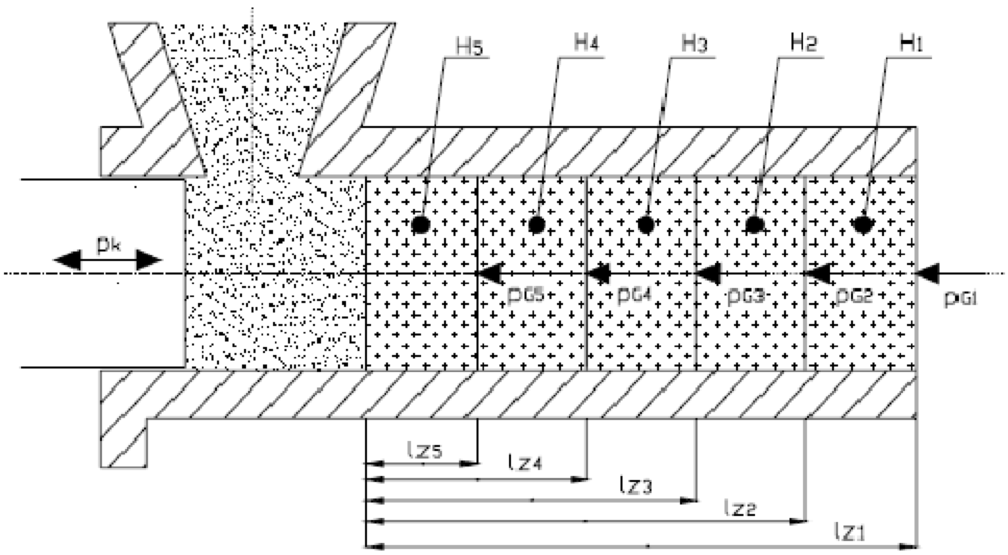
საწინააღმდეგო წნევის გამოთვლები შეგიძლიათ იხილოთ ცხრილში 3.

ცხრილი 3 საწინააღმდეგო წნევის გამოთვლილი შედეგები დახურული დამწნეხი ბუნკერის შემთხვევაში

i	1	2	3	4	5
L_{ki} (მმ)	140	122,5	107,19	93,79	82,07
p_{Gi} (მპა)	39,84	45,74	51,59	57,35	62,87

ჩვენ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ საწინააღმდეგო წნევის მონაცემები იზრდება ბრიკეტის სიგრძის შემცირებასთან ერთად. დახურული დამწნეხი ბუნკერის შემთხვევაში თითოეული ბრიკეტის სიგრძე მოკლდება, რადგან თითოეული დაწნეხვის შემდეგ დამწნეხი კამერის სიგრძე მცირდება. ამ შედეგებზე დაყრდნობით ჩვენ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ საწინააღმდეგო წნევა შემმცირდება, თუ გაიზრდება ბრიკეტის დაწნეხვის ბუნკერის სიგრძე.

ეს შედეგები, შეიძლება იქნას გამოყენებული, დამწნეხი ბუნკერის ოპტიმალური სიგრძის დასადგენად. ამ შედეგების მიღება, ღია ტიპის დამწნეხ ბუნკერში, მხოლოდ უწყვეტი დაწნეხვის გზით შეიძლება. ჩვენ ვცადეთ გამოგვეთვალა საწინააღმდეგო წნევა და დაგვედასტურებინა აღნიშნული თეორია ჰორიზონტალური ტიპის უწყვეტი წნეხის საშუალებითაც. ნახ. 33 - ზე შეიძლება დავინახოთ, თუ როგორ მიმდინარეობს დაწნეხვის პროცესი, ჰორიზონტალური უწყვეტი ქმედების წნეხში.



ნახ. 33 ღია დამწნეხ ბუნკერში საწინააღმდეგო წნევის მოქმედება უწყვეტი დაწნეხისას

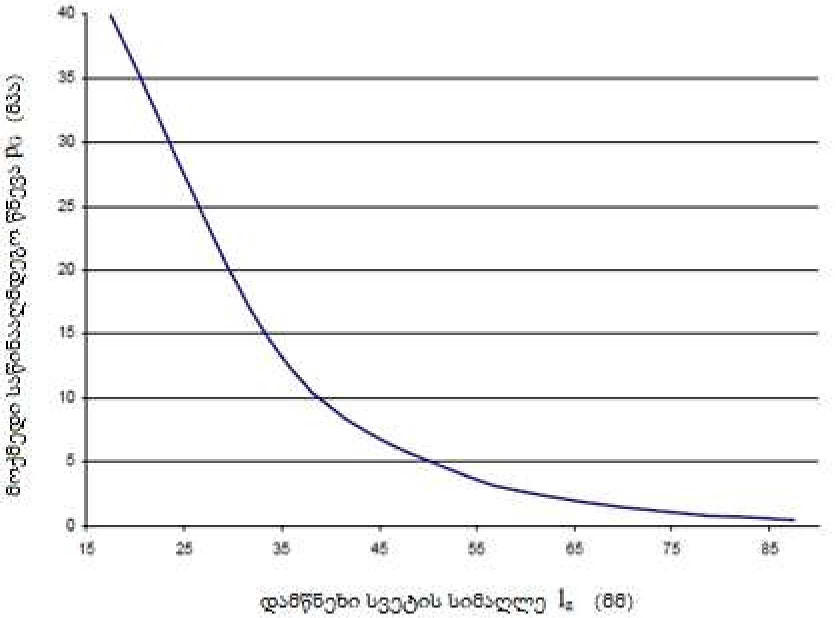
მთავარი განსხვავება, დახურული ტიპის დამწნეხ ბუნკერთან, არის ის, რომ თითოეული დაწნეხილი ბრიკეტის ზომა ერთმანეთის ტოლია. ბრიკეტები, რომლებიც დაიწნეხენ, უწყვეტად გადაადგილდებიან მთელი წნეხის შიგნით. ბუნკერის ბოლო უნდა იყოს იქ, სადაც დაწნეხილი ბრიკეტის სიმაგრე უფრო მაღალია ვიდრე მასზე მოსული დაწნევა. ჩვენ გამოვიყენეთ იგივე ექსპერიმენტალური დანადგარი ოღონდ ცდა ჩატარდა ბრიკეტირების უწყვეტი პროცესის თანხლებით. ცხრილში 4 წარმოდგენილია საწინააღმდეგო წნევის გამოთვლილი შედეგები.

ცხრილი 4 საწინააღმდეგო წნევის შედეგები უწყვეტი დაწნეხის დროს

i	1	2	3	4	5
l_{zi} (მმ)	87,5	70	52,5	35	17,5
p_{Gi} (მპა)	0,48	1,45	4,39	13,23	**15,13**

ჩვენ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ საწინააღმდეგო წნევა მცირდება დამწნეხი ბუნკერის სიგრძის ზრდასთან ერთად. ნახ. 34 - ზე ჩვენ

შეგვიძლია დავინახოთ, საწინააღმდეგო წნევის დამოკიდებულება, დამწნეხი ბუნკერის სიგრძესთან. ეს დამოკიდებულება გამომდინარეობს წინა გამოთვლებიდან. ჩვენ შეგვიძლია დავინახოთ, რომ საწინააღმდეგო წნევა მაღალია, როდესაც დაწნეხვის ბუნკერის სიგრძე პატარაა და პირიქით.

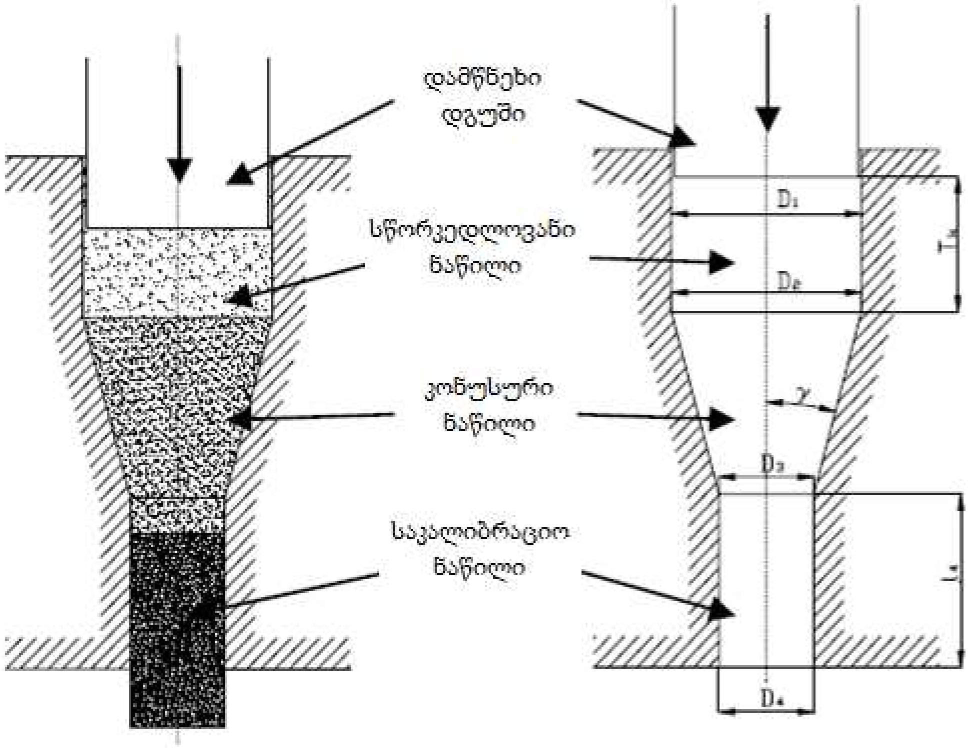


ნახ. 34 საწინააღმდეგო წნევის დამოკიდებულება დაწნეხვის ბუნკერის სიგრძესთან

2.1.2 დაწნეხის პირობები კონუსური კვეთის დამწნეხ ბუნკერში

დაწნეხვის პირობები, კონუსური ტიპის ბუნკერებისთვის, ცოტათი გართულებულია. რადგან დაწნეხვა მიმდინარეობს, რამდენიმე ღერძული მიმართულებით. ამის გამო, დაწნეხვის ხარისხი გაუმჯობესებულია - გაზრდილია ბრიკეტების სიმკვრივე და აგრეთვე, გაზრდილია ბრიკეტის მექანიკური თვისებები. მაგრამ, ამასთან გაზრდილია, ასევე დამწნეხი დგუშის ცვეთადობა. კონუსური ბუნკერის მქონე წნეხებისთვის არ არსებობს მათემატიკური მოდელი, ამიტომ ჩვენ ვცადეთ შეგვემუშავებინა

მათემატიკური მოდელი, კონუსური დამწნეხი ბუნკერის მქონე წნეხისათვის.

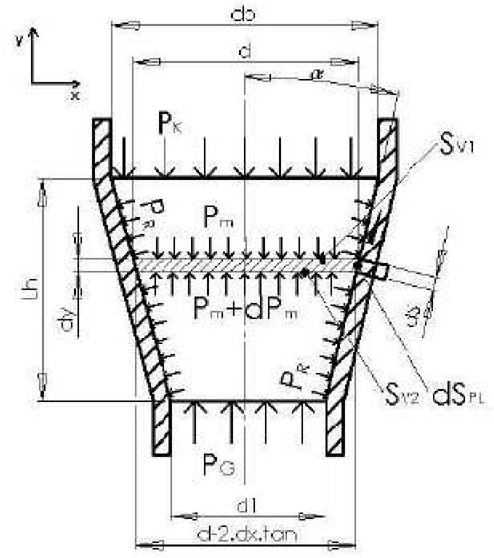


ნახ. 35 კონუსური დამწნეხი ბუნკერის მთავარი ნაწილი

კონუსური ბუნკერის მქონე წნეხის ანალიზისათვის ჩვენ გამოვიყენეთ ერთ - ერთი ბაზისური ტექნოლოგია მეტალების მოცულობითი ფორმირებისათვის. სადაც ძალების და წნევების განაწილების აღწერა, ძალზედ ახლოსაა ბიომასის დაწნეხვის თეორიასთან. კონუსური დამწნეხი ბუნკერის მთავარი ნაწილის მარტივი ნახაზი შეგვიძლია ვიხილოთ ნახ. 35 - ზე. ამ ტიპის დამწნეხი ბუნკერები ხშირად გამოიყენებიან დამწნეხი მანქანების კონსტრუქციებში. დამწნეხი ბუნკერი შესდგება სამი ძირითადი ნაწილისგან: სწორკედლოვანი (ცილინდრული, პარაბოლური) ნაწილისგან, კონუსური (გადამყვანი) ნაწილისგან და საკალიბრაციო ნაწილისგან. დასაწნეხი მასალა თავდაპირველად თავსდება სწორკედლოვან ნაწილში, საიდანაც დგუშის საშუალებით იწყება დაწნეხვის პროცესი. კონუსურ ნაწილში კი უკვე ხდება მასალის სრულფასოვნად

დაწნეხვა და ბრიკეტის ჩამოყალიბება. წნევა და კონუსური დამწნეხი ბუნკერი არის მიზეზი მრავალღერძული დაწნეხვისა. საკალიბრაციო ნაწილში კი ხდება ახლადჩამოყალიბებული ბრიკეტის საბოლოო დაფორმება, წნევისა და ტემპერატურის გავლენით.

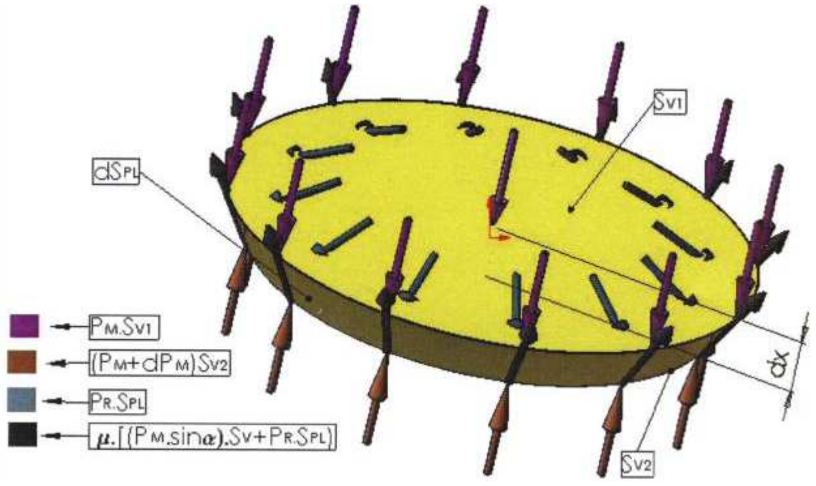
დაწნეხვის პირობების უკეთესი აღწერისათვის ჩვენ ვიყენებთ ნახ. 36 - ს, სადაც ჩვენ შეგვიძლია დავინახოთ, ყველა მოქმედი წნევა და ძალები. მაქსიმალური ღერძული წნევა P_K დამოკიდებულია დამწნეხი ბუნკერის სიგრძეზე L, დამწნეხი ბუნკერის კვეთზე, კონუსური კამერის დახრის კუთხეზე და დაწნეხილი მასალის და დამწნეხი ბუნკერის კედელს შორის ხახუნის სიდიდეზე. ზედაპირის პირდაპირი ხახუნი გამომდინარეობს რადიალური წნევის P_R საპირისპირო წნევიდან P_M, რომელიც მოქმედებს ბუნკერის კედლებზე, წინააღმდეგობის კოეფიციენტით μ და დამწნეხი ბუნკერის სიგრძეზე L. იხ. ნახ. 36.



ნახ. 36 მასალის წნეხვის მიმდინარეობა კონუსურ დამწნეხ ბუნკერში

დაწნეხვის პროცესის აღსაწერად კონუსური ნაწილი გავჭრათ გარკვეულ dx სისქეზე (ნახ. 37). ვერტიკალური მიმართულებით მოქმედი ღერძული დამწნეხი წნევა P_M, იწვევს ურთიერთსაწინააღმდეგო

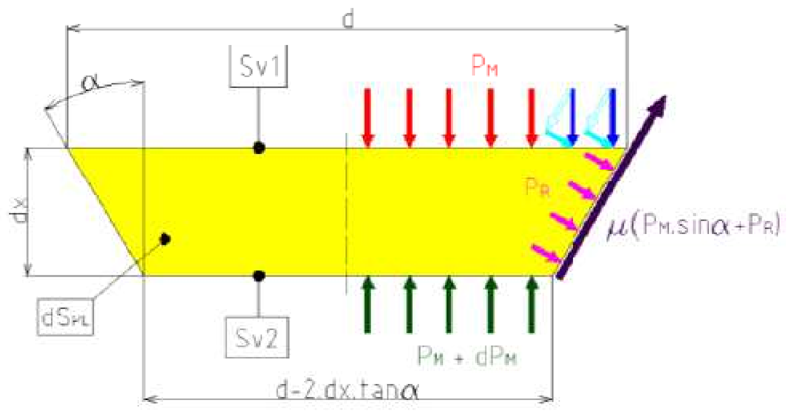
მიმართულების წნევებს P_M+dP_M, ხახუნის მოქმედების შედეგად, ასევე იზრდება პერპენდიკულარულად მოქმედი წნევა P_R დამწნეხი ბუნკერის კედლებზე.



ნახ. 37 წნევების განაწილება კონუსის კვეთის შიგნით

განტოლების შესაქმნელად, ჩვენ დაგვჭირდება, რომ ვიცოდეთ ზედაპირის ზომები, სადაც მოქმედებენ ინდივიდუალური წნევები. წნევების განაწილების მაგალითზე (ნახ. 38), ჩვენ შეგვიძლია დავწეროთ შემდეგი განტოლება:

$$P_M.S_{V2} + P_M.S_V - (P_M + dP_M).S_{V2} - \mu.(P_R + P_M.\sin\alpha).dS_{PL}.\cos\alpha = 0 \quad (2.7)$$



ნახ. 38 წნევების განაწილება კონუსის კვეთის მაგალითზე

ამ მოდელის საშუალებით, ჩვენ მოგვეცა შესაძლებლობა, გამოგვეთვალა კონუსური ტიპის დამწნეხი ბუნკერის ოპტიმალური სიგრძე, ბრიკეტის ხარისხის სტანდარტებიდან გამომდინარე, ასევე მოგვეცა საშუალება, დაგვედასტურებინა დამწნეხი ბუნკერის კონუსურობის ეფექტურობა ბრიკეტების დამზადებისას.

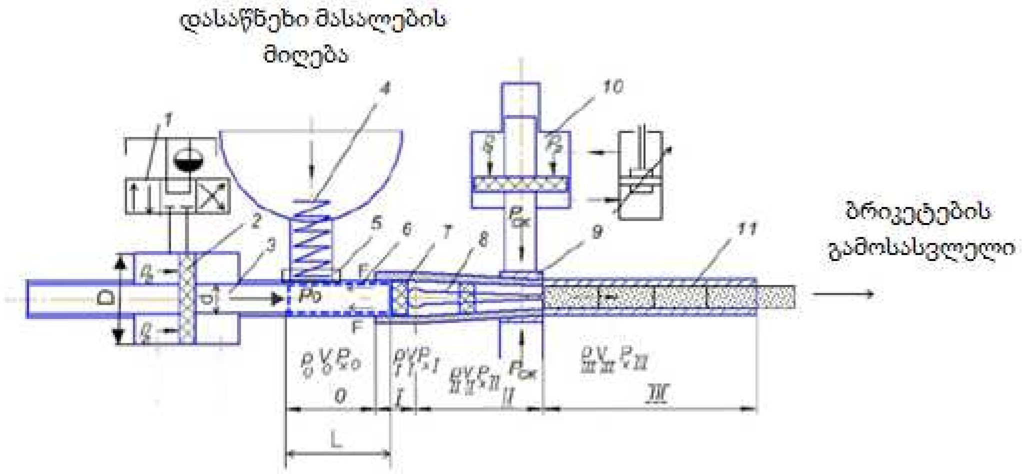
2.2 ბიონარჩენების ბრიკეტირების პროცესი უნივერსალური დგუშიანი წნეხის საშუალებით

აღნიშნულ თავში წარმოდგენილია ბიობრიკეტების წარმოებაში დგუშიანი წნეხების ეფექტურად გამოყენების პრობლემები. მოცემულია, ჩვენს მიერ შემუშავებული დგუშიანი წნეხის სტრუქტურული ანალიზი და აღწერილია წნეხის არეები დეტალურად. მასალების დაწნეხის პროცესის მაგალითები, გაანალიზებულია მუშა წნეხის, დამწნეხი ბუნკერის კვეთის მაგალითზე. მყარი ნაწილების თვისებებმა და ქცევამ, მუშა პროცესის დროს, საშუალება მოგვცა წარმოგვედგინა, ძალების სქემები და წნევების დიაგრამები პროცესის მიმდინარეობისას. გამოსახულება, რომელიც აღწერს ღერძული წნევების ცვლილების კანონზომიერებებს, ასევე მოყვანილია ქვემოთ.

პრობლემების გადაწყვეტა, რომელიც ასოცირდება მყარი ბიოსაწვავების წარმოებასთან, როგორც გარემოსთვის არაზიანის მომტან ენერგიის წყაროსთან, დამოკიდებულია ტექნოლოგიური მოწყობილობების შერჩევაზე. დგუშიანი ტიპის წნეხების გაანალიზებით, ჩვენს მიერ შექმნილი იქნა წნეხი, რომელიც წარმოადგენს მეტად ხარისხიან და ენერგოეფექტური მახასიათებლების მქონე მოწყობილობას. აღნიშნული კვლევის მიზანი არის, რათა გაიზარდოს დანადგარის ეფექტურობა ბიონედლეულის ხარისხის გაუმჯობესების და სწორი ტექნოლოგიური რეჟიმული პარამეტრების შერჩევის ხარჯზე. ამიტომაც ჩვენ შევქმენით დგუშიანი წნეხის

სტრუქტურული მოდელი ჩვენი ექსპერიმენტების და საერთაშორისო მეცნიერთა გამოცდილების გათვალისწინებით. სამუშაოს მიზანს წარმოადგენს ბრიკეტირების დროს ოპტიმალური რეჟიმული პარამეტრების დადგენა, დგუშიანი წნეხის შემთხვევაში, დადგენილი იქნას ბიომასალების რაციონალური შემადგენლობა, რომლებიც უზრუნველყოფენ ბიობრიკეტების მაღალ სამომხმარებლო თვისებებს.

დგუშიანი წნეხის სტრუქტურული ანალიზი: ბრიკეტის უნივერსალური წნეხი საშუალებას გვაძლევს ვაწარმოოთ ოთხკუთხედი განიკვეთის ბრიკეტები. ბიობრიკეტის დასამზადებლად მასალები - ბიონარჩენები (ხის ნახერხი, სოფლის მეურნეობის ნარჩენები და სხვ.) არ შეიცავენ არანაირ შემაკავშირებელ ნაერთს, ამიტომ აღნიშნული მასალების გამყარება მიღწეულია დამწნეხ ბუნკერში მაღალი წნევის ზემოქმედებით მასალებზე და წებოვანი მასის ძალისმიერი გამოდევნით მასალათა უჯრედებიდან. ბრიკეტირების გამოცდებით დგინდება, რომ ყველაზე მნიშვნელოვან ელემენტს ბრიკეტის წარმოქმნის პროცესში, ასრულებს დამწნეხი მოწყობილობა, რომლის ეფექტურობა განსაზღვრავს ბრიკეტის ხარისხს. შესაბამისად დგუშიანი წნეხის სტრუქტურული ანალიზი სქემატურად ნაჩვენებია ნახ. 39 -ზე ჰიდრო ამძრავი ელექტრო ძრავით და მარეგულირებელი ელემენტით 1; მთავარი ჰიდროცილინდრის დამწნეხი დგუში 2 კომპენსატორით 3; მკვებავი ბუნკერი 4 სარქველით 5; დოზატორი ბუნკერი 6; დამფორმებელი 7 და დამწნეხი ბუნკერი 8; დამწოლი სისტემა 9 ჰიდრავლიკური ამძრავით 10; დამატებითი მოწყობილობა ბრიკეტის საბოლოო დაწნეხვისა და დაძაბულობის მოსახსნელად.



ნახ. 39 ექსპერიმენტალური ბლოკ–დიაგრამა ბიობრიკეტების საწარმოებლად

დავახასიათოდ დაწნეხვის პროცესი ნაბიჯ–ნაბიჯ, შესაძლებელია დაუშვათ, რომ ძირითადი მასალას ახასიათებს შემდეგი მახასიათებლები: ρ_0, V_0, P_{X0} (ზონა 0). ღერძული წნევის P_0 ქვეშ, რომელიც შექმნილია ჰიდრავლიკური ცილინდრის 2 მუშა წნევის P_Z მიერ, მასალის პორცია დოზატორი ბუნკერიდან 6 იწნეხება მუშა ზონაში I, იცვლება მასალების მახასიათებლები ρ_I, V_I, P_{XI}, შემდეგ კი ρ_{II}, V_{II}, P_{XII} – მდე (ზონა II). მასალის ყველა ახალი პორცია იძულებულია გადაადგილდეს I მუშა ზონიდან II მუშა ზონისკენ დამწნეხი დგუშის 3 განუწყვეტელი მოძრაობის გამო. დამწნეხ ბუნკერში 7 მოხვედრილი მასალა განიცდის რადიალურ დაწნეხვას დამატებითი დამწნეხი მოწყობილობისგან 9, ისე რომ მასალა იღებს მკვრივ ფორმას. დაწნეხვის დროს დამწნეხი წნევა იზრდება P_{XII} – მდე და განუწყვეტლად წარმოქმნის დაწნეხილი ბრიკეტების ნაკადს დამწნეხი ბუნკერის ზონა II – ში. ეს პროცესი, რა თქმა უნდა, ზრდის ბრიკეტის სიმაგრეს და აუმჯობესებს მის ხარისხს. გამოსასვლელში ბრიკეტი გადის საბოლოო დამფორმებელი მოწყობილობის 11 შიგნით. ეს ზონა ემსახურება საბოლოო პროცესის დასრულებას ანუ ბრიკეტზე მოქმედი წნევების მოშვებას და ბრიკეტის უსაფრთხოდ გამოტვირთვას (ზონა III ρ_{III}, V_{III}, P_{XIII}).

მასალების დაწნეხვის პროცესის ანალიზი: გავაანალიზოთ მასალების დაწნეხის პროცესი დამწნეხ კამერაში. მთავარი ინდიკატორი მასალების დაწნეხის პროცესისას არის წარმოებული ბრიკეტების სიმკვრივე. იგი დამოკიდებულია დასაწნეხ მასალებზე მოსული წნევის სიდიდეზე. დამოკიდებულება ამ მონაცემებს შორის, განსაზღვრავს ძალების მოქმედებას და განლაგებას, ასევე დაწნეხის ენერგიის საკმარისობას.

დაწნეხვის წნევის P დამოკიდებულების გასამართლებლად მასალათა სიმკვრივეზე დამწნეხ ბუნკერში (ნახ. 39 (ზონა I-III)), დაუშვათ, რომ მასალების საწყისი სიმკვრივე დამწნეხი ბუნკერის მთელ მოცულობაში იდენტურია. საწყისი წნევა, გარე წნევის ზემოქმედების გარეშე ნულის ტოლია; ნომინალური წნევა ბუნკერის ყველა კვეთისთვის იდენტურია; დაწნეხის პროცესში მასალების სიმკვრივე უწყვეტად იზრდება; დაწნეხის წარმატებულობა არ არის დამოკიდებული მასალის დეფორმაციის სიჩქარეზე.

აღნიშნული პირობები გულისხმობს, რომ სიმკვრივეზე მოსული წნევა, არის უწყვეტი ფუნქცია გამოყენებული წნევის სიდიდის:

$$\frac{dp}{d\rho} = f(P) \tag{2.8}$$

მაშინ ფუნქცია $f(P)$ შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ, როგორც ხაზოვანი.

$$\frac{dP}{d\rho} = aP + b\,. \tag{2.9}$$

გავყოთ ცვლადები და გავაინტეგრალოთ განტოლების ორივე მხარე ρ_0 - დან ρ - მდე და 0 - დან ρ - მდე, ჩვენ მივიღებთ:

$$P = c\left[e^{a(\rho-\rho_0)} - 1\right],\ \mathrm{Pa} \tag{2.10}$$

სადაც c - მუდმივი პარამეტრია, რომელიც დამოკიდებულია მასალების მექანიკურ და სტრუქტურულ თვისებებზე - სიმკვრივე, სიმყარე,

ტენიანობა, ნაწილაკთა ზომა c = a / b, სადაც a და b - ხაზოვანი განტოლების კოეფიციენტია შემჭიდროვებისათვის. ესენი დამოკიდებული არიან მასალების სტრუქტურულ და მექანიკურ თვისებებზე; e = 2.718 - მუდმივაა; ρ_0 და ρ - მასალების საწყისი და საბოლოო სიმკვრივეებია.

მიღებული განტოლება (2.10) არის დაწნეხვის პროცესის ძირითადი განტოლება. დამოკიდებულებით P = f(ρ) დაწნეხვის ფუნდამენტალური კანონი შესაძლებელია წარმოვიდგინოთ დამოკიდებულებით წნევასა და დაძაბულობას შორის P = f (σ). რაც შეეხება დაწნეხვის ფარდობით ხაზოვან დეფორმაციას, დაწნეხვის ძირითადი განტოლება იქნება:

$$P = c\left(\frac{e^{a\rho_0\varepsilon}}{1-\varepsilon} - 1\right), \text{Pa.} \qquad (2.11)$$

განტოლება (2.11) გვიჩვენებს, რომ, რაც უფრო მაღალია მასალების სიმკვრივე ρ_0, მით უფრო მეტი წნევა უნდა გამოვიყენოთ დაძაბულობის ერთნაირი შედეგის მისაღწევად.

2.3 დამწნეხ ბუნკერში წნევების განაწილების კანონზომიერებები

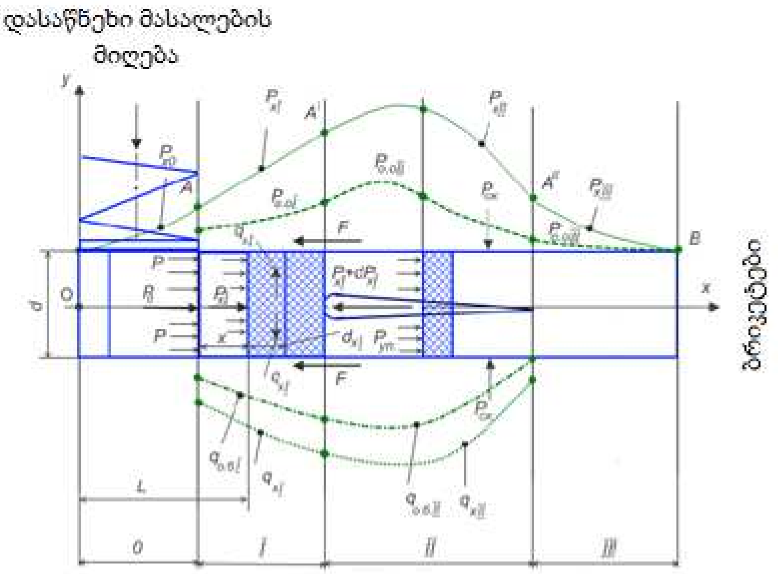
განვიხილოთ მყარი მასა, დამწნეხი ბუნკერის შიგნით, სხვადასხვა ზონაში (ნახ. 39 და ნახ.40) და გარეთ დაწნეხვის განტოლება (2.11) მიხედვით. ნახ. 40 - ზე წარმოდგენილია ძალების განაწილების სქემა და წნევათა დიაგრამა, რომლებსაც ადგილი აქვს დაწნეხვის პროცესში, ასევე მათი განაწილება დამწნეხი ბუნკერის გასწვრივ.

დამწნეხი ზონების თავისებურებები: OA (ზონა 0) - მასალის რაოდენობის წინასწარი დაგროვება მადოზირებელ ბუნკერში და მისი გადაადგილება ზონა I - სკენ, $P_{x1} = \sum_{-0.5d}^{+0.5d} dP$;

AAI (ზონა I) - ბრიკეტის პორციის დაწნეხვა დამწნეხი ბუნკერის სწორკედლოვან ნაწილში და მისი გადაადგილება ზონა II -სკენ - ღერძული წნევით P_{XI};

დამწნეხი არხი მჭიდროვდება, როდესაც დასაწნეხი მასალის ახალი პორცია გადაადგილდება მის შიგნით (ტრაექტორია OA). ბრიკეტის განსაზღვრული სიმკვრივის წარმატებულ მიღწევას განაპირობებს დაწნეხვის პროცესში წარმოქმნილი პირველი ბრიკეტის პორციები, რომლებიც გზას უზღუდავენ ახალი ბრიკეტის პორციებს I-II-III ზონების მთელ სიგრძეზე (ტრაექტორია AB). როდესაც ხდება ბრიკეტზე მოქმედი დატვირთვის მოხსნა (დამწნეხი დგუში გადაადგილდება უკან და ტოვებს ბრიკეტზე ზემოქმედების არეს) დაწნეხილი ბრიკეტი განიცდის ელასტიურ გაჭიმვას.

ბიძგებს, რომელსაც განცდის ბრიკეტი, დამწნეხ ბუნკერში გადაადგილებისას განპირობულია ხახუნის ძალებით F, რომელიც გამოწვეულია მყარი ბრიკეტის და დამწნეხი ბუნკერის შიდა კედლების ხახუნის შედეგად წარმოქმნილი გვერდითი წნევით q_x. ამასთან ღერძული წნევა P_X დამწნეხი ბუნკერის დასაწყისში იზრდება, განსაკუთრებით შუა ნაწილში და ბუნკერის დასასრულისკენ მცირდება (დიაგრამაA, A′, A″). თვალსაჩინოებისთვის განვიხილოთ მიღებული ბრიკეტის (ბრიკეტის პორცია) dx ნაწილი, რათა წარმოვადგინოთ ღერძული ძალის ცვლილება დამწნეხ ბუნკერში. ძალები (ღერძული წნევა P_X მარცხნივ და $P_X + dP_X$ მარჯვნივ), რომლებიც მოქმედებენ წარმოდგენილ ბრიკეტის ნაწილზე ნაჩვენებია ნახ.40 - ზე.



ნახ. 40 ძალების განაწილები სქემა და წნევების ცვლილების დიაგრამა დამწნეხი ბუნკერის შიგნით

P_0 – დამწნეხი ორგანოს ღერძული წნევაა, რომელიც იცვლება კანონზომიერებით (განტოლება 2.10 და 2.11); d_x - ბრიკეტის პორციის ფენაა დამწნეხ ბუნკერში; x - მანძილია დამწნეხი ორგანოდან ბრიკეტის პორციის ფენამდე; P_{XI} + dP_{XI} - ბრიკეტზე მოსული წნევაა, P_{yn} - წნევაა ბრიკეტის ფორმირებამდე - სანამ ბრიკეტი წარმოიქმნება; q_x - გვერდითი წნევაა; F - ხახუნის ძალაა.

ბრიკეტის პერიმეტრის განივ კვეთზე მოქმედებს q_x გვერდითი წნევა, რაც წარმოადგენს ხახუნის ძალის F გამომწვევს. ეს ძალა მიმართულია დამწნეხ ბუნკერში ღერძული ძალის საპირისპიროდ, ძალა F არის:

$$F = fq_x\Pi_x dx \text{ , N} \quad (2.12)$$

სადაც f - დასაწნეხი მასალების ხახუნის სტატიკური ფაქტორია დამწნეხი ბუნკერის კედლებთან, f = 0,2...0,25;

Π_x - დამწნეხი ბუნკერის განიკვეთის პერიმეტრია, მ.

ბალანსის განტოლებას დამწნეხ ბუნკერში აქვს შემდეგი სახე:

$$p_x S - (p_x + dp_x)S - fq_x\Pi_x dx = 0 \quad (2.13)$$

საიდანაც,

$$dp_x = -\frac{fq_x \Pi_x dx}{S}, \quad (2.14)$$

სადაც S - დამწნეხი ბუნკერის გვერდითი ზედაპირის ფართობია, მ^2.

ნიშანი ,,მინუსი'' განტოლების მარჯვენა მხარეს გვიჩვენებს, რომ წნევა დაწნეხვის მიმართულებით მცირდება. $f\Pi_x/S$ გამოსახულების მნიშვნელობა მუდმივია. გვერდითი წნევა q_x დაწნეხვის დასაწყისისთვის იზრდება, ხოლო შემდეგ მცირდება, ამიტომაც საჭიროა ვიპოვოთ ფუნქციური დამოკიდებულება x –დან ან p_x - დან.

მზა ბრიკეტების გამოტვირთვისას, დამწნეხი ბუნკერიდან, საჭიროა ძალისხმევა, რადგან ისინი განიცდიან ნარჩენი ხახუნის ძალების F_0 მოქმედებას, რომელიც ბრიკეტის ელასტიური გაჭიმვის და დამწნეხი ბუნკერის კონუსური ბოლოს ხარჯზე იზრდება. აქედან გამომდინარე გვერდითი წნევა q_x შედგება ორი კომპონენტისგან: პირველი q_σ - გვერდითი წნევა, რომელიც იზრდება ღერძული წნევის ხარჯზე და პროპორციულია p_x:

$$q_б = \xi p_x, \quad (2.15)$$

სადაც ξ - სიგრძის გრადიენტია [$\xi=\frac{\mu}{1-\mu}$=const., μ - პოუსონის ფაქტორია (0,29...0,31)].

მეორე $q_{0\sigma}$ - ნარჩენი გვერდითი წნევაა, გამოწვეული ნარჩენი დეფორმაციით, იგი არ არის დამოკიდებული ღერძულ წნევაზე.

აქედან სრული ნარჩენი წნევა:

$$q_x = \xi p_x + q_{о.б}. \quad (2.16)$$

განტოლება 2.14 - ში q_x მნიშვნელობის ჩანაცვლებით განტოლება 2.16 - დან მივიღებთ:

$$\frac{dp_x}{\xi p_x + q_{об}} = -fdx\frac{\Pi_x}{S}. \quad (2.17)$$

განტოლების მარცხენა მხარის ინტეგრირებით საზღვრებში p - დან p_x - მდე, ხოლო მარჯვენა მხარის 0 - დან x - მდე და მისი ამოხსნით p_x - თვის, ჩვენ მივიღებთ ღერძული წნევის ცვლილების კანონს, დამწნეხი ბუნკერის მთელ სიგრძეზე, მისი კონუსური დაბოლოების გათვალისწინების გარეშე:

$$p_x = \left(p + \frac{q_{об}}{\xi} \right) e^{-\frac{f\xi\Pi_x x}{S}} - \frac{q_{об}}{\xi}. \tag{2.18}$$

გვერდითი წნევის q_x ცვლილების კანონი დამწნეხი ბუნკერის მთელ სიგრძეზე არის:

$$q_x = (\xi p + q_{об}) e^{-\frac{f\xi\Pi_x x}{S}}. \tag{2.19}$$

ბრიკეტირებისას დადასტურებულია, რომ ნარჩენი გვერდითი წნევა, გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე წნევის ზრდა, რომელიც წარმოიქმნება ღერძული წნევის მოქმედების შედეგად. ამ დამოკიდებულებაში, ნარჩენი გვერდითი წნევის იგნორირებით, დამწნეხი ბუნკერის სიგრძე L შესაბამისი სიზუსტით შეიძლება განისაზღვროს:

$$pS \geq f\xi\Pi_к Lp, \tag{2.20}$$

სადაც f - ხახუნის სტატიკური ფაქტორია.

პროფესორ ს. ვ. მელნიკოვის მონაცემებზე დაყრდნობით f = 0,2...0,25, როცა T = 293 K და p = 21 მპა და f = 0,08...0,1, როცა T = 373 K და p = 21 მპა, საიდანაც:

$$L = \frac{S}{f\xi\Pi_к}, \tag{2.21}$$

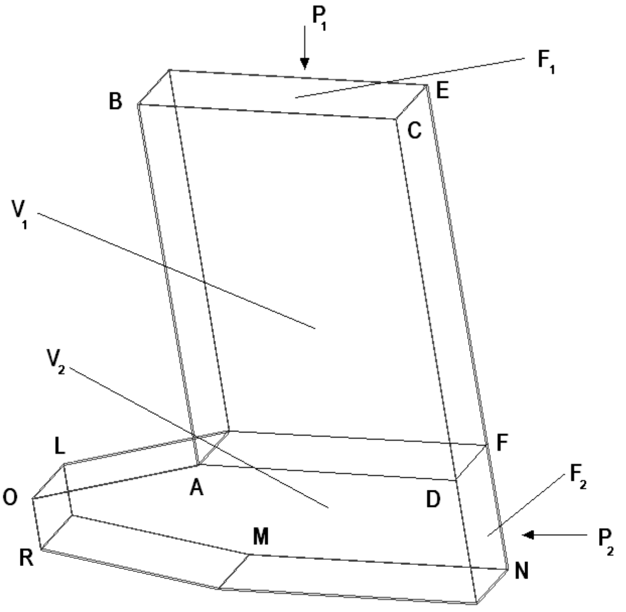
ცილინდრული ფორმის დამწნეხი ბუნკერისთვის:

$$L = \frac{d}{4f\xi}, \tag{2.22}$$

სადაც d - დამწნეხი ბუნკერის დიამეტრია, მ.

2.4 წნეხისა და საშრობის მათემატიკური ანგარიში

დიდი და პატარა ცილინდრი



ნახ. 41 წნეხის გეომეტრია

პატარა ცილინდრის ანგარიში: ჭურჭლის ფართი F_1 და მოცულობა V_1, რომელშიც იყრება მშრალი ნახერხი არის:

F_1 = 0,02 მ² = 200 სმ²;

V_1 = 0,008 ÷ 0,009 მ³ = 8000 ÷ 9000 სმ³;

პატარა ცილინდრის დგუშის ლილვის დიამეტრი d = 63 მმ;

დგუშის ფართობი ტოლი იქნება:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \pi r^2 = 0{,}003 \text{ მ}^2 = 31{,}157 \text{ სმ}^2; \qquad (2.23)$$

ტუმბო ავითარებს მინიმუმ P_{min}=250 კგძალა/სმ²-ზე, ამრიგად დგუშის ფართობზე განვითარებული ძალა ტოლია:

$P_1 = P_{min} * F$ = 250 კგძალა/სმ² * 31,15 სმ² = 7787 კგძალა = 7,79 ტონა (2.24)

ე.ი პატარა დგუში აწვება ფართს 7,79 ტონით.

დიდი ცილინდრის ანგარიში: ჭურჭლის ფართი F_2 და მოცულობა V_2, რომელშიც იყრება მშრალი ნახერხი არის:

$$F_2 = 0{,}00068 \text{ მ}^2 = 68 \text{ სმ}^2;$$

$$V_2 = 0{,}0017 \text{ მ}^3 = 1700 \text{ სმ}^3;$$

დიდი ცილინდრის დგუშის ლილვის დიამეტრი d = 125 მმ;

დგუშის ფართობი ტოლია:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \pi r^2 = 122{,}65 \text{ სმ}^2;$$

ტუმბო მინიმალურად ავითარებს 250 კგ ძალა/სმ², ამრიგად 1,2265 სმ² მოსული ძალა ტოლია:

$$P_2 = P_{min} * F = 250 * 122{,}65 = 30662 \text{ კგძალა} = 30{,}6 \text{ ტონა};$$

ამრიგად, დიდი დგუში აწვება ფართს 30,6 ტონა ძალით.

დგუშების მოძრაობის სიხშირის ანგარიში

პატარა ცილინდრი: პატარა დგუშის დიამეტრი d = 63 მმ = 6,3 სმ;

პატარა ცილინდრის დგუშის ფართობი (2.23) ტოლია 31,15 სმ²;

დგუშის გადაადგილების მანძილი ტოლია L = 40 - 45 სმ;

ცილინდრის მოცულობა იქნება:

$$V = F * L = 31{,}15 * 40 = 1246 \text{ სმ}^3 \text{ ან } 31{,}15 * 45 = 1401 \text{ სმ}^3; \qquad (2.25)$$

ჭოკის დიამეტრი ტოლია 30 მმ = 3სმ;

ცილინდრის მოცულობას, თუ ავიღებთ 1401 სმ³ = 1,4 ლიტრს ე.ი. დგუშის წინსვლითი მოძრაობისათვის ცილინდრში უნდა შევიდეს 1,4 ლიტრი სითხე - ზეთი. დგუშის უკუსვლითი მოძრაობისათვის ცილინდრის მოცულობას 1401 სმ³ უნდა გამოაკლდეს ჭოკის მოცულობა.

ჭოკის ფართობი ტოლია:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \pi r^2$$

სადაც ჭოკის დიამეტრი = 30 მმ = 3 სმ, მაშინ ჭოკის ფართობი:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \pi r^2 = \frac{3{,}14 * 3^2}{4} = 7 \text{ სმ}^2.$$

ჭოკის მოცულობა $V = F * L = 7 * 45 = 315$ სმ^3;

დგუშის უკუსვლითი მოძრაობისათვის საჭიროა:

1401 სმ^3 - 315 სმ^3 = 1,4 ლ - 0,3 ლ = 1,1 ლ.

დგუშის სრული სვლისათვის საჭიროა 1,4 ლ +1,1 ლ = 2,5 ლ.

დიდი ცილინდრი: დგუშის დიამეტრი ტოლია: D = 125 მმ = 12,5 სმ;

ჭოკის დიამეტრი ტოლია: d = 80 მმ = 8 სმ;

ცილინდრის ფართობი $F = \frac{\pi d^2}{4} = \pi r^2 = \frac{3{,}14 * 12{,}5^2}{4} = 122{,}65$ სმ^2;

დგუშის სვლა L = 25 სმ = MN;

დგუშის მოცულობაV = F * L = 122,65 * 25 = 3066,2 სმ^3 ≈ 3,0 ლიტრი;

დგუშის წინსვლითი მოძრაობის განხორციელებისათვის საჭიროა 3,0 ლიტრი სითხე;

უკუსვლითი მოძრაობის განხორციელებისათვის დგუშის მოცულობას უნდა გამოვაკლოთ ჭოკის მოცულობა, ჯერ უნდა გამოვთვალოთ ჭოკის ფართობი:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \pi r^2 = \frac{3{,}14 * 8^2}{4} = 50 \text{ სმ}^2,$$

ჭოკის მოცულობა V = F * L = 50 * 25 = 1200 სმ^2 = 1,2 ლიტრი;

დგუშის უკუსვლითი მოძრაობისათვის:

3066 სმ^3 - 1200 სმ^3 = 3 ლ - 1,2 ლ = 1,8 ლიტრი,

ამრიგად დგუშის სრული მოძრაობისათვის საჭიროა:

3 +1,8 = 4,8 ლიტრი სითხე.

ორივე ცილინდრში დგუშების მოძრაობის სიხშირე შეადგენს: პატარა დგუშის ერთი სრული გადაადგილება წინ + უკან = 2,5 ლ + დიდი ცილინდრის დგუშის ერთი სრული გადაადგილება წინ + უკან = 4,8 ლიტრი; ჯამი = 7,3 ლიტრი;

წუთში ორივე დგუშის გადაადგილების სიხშირეა:

$$n = 60 : 7{,}3 = 8{,}22 \approx 8;$$

წნეხის მწარმოებლობის ანგარიში

V_1 – მოცულობა = 0,009 მ3;

გამშრალი 10% სინესტის ნახერხის მოცულობითი მასა = 170 კგ/მ^3, მაშინ 0,009 მ^3 მოცულობაში მოთავსდება 0,009 * 170 = 1,53 კგ ნახერხი.

თუ წუთში დგუში გადაადგილდება n = 8 – ჯერ, მაშინ დგუში წუთში დაწნეხავს 8 * 1,53 = 12 კგ ნახერხს;

საათში დაიპრესება 60 * 12 = 720 კგ ნახერხი.

ე.ი. მწარმოებლობა წნეხის Q = 720 კგ/სთ.

ნახერხის შრობა და საშრობის მილგაყვანილობის კონსტრუქციის გაანგარიშება

ნახერხის საწყისი სინესტე = 40%;

მისაღებია 10% – 12% - მდე გამშრალი ნახერხი;

ტენიანობის და მშრალი მასის ანგარიში:

$$G_k = \frac{G_H(1 - U_H)}{(1 - U_K)} \text{ კგ;} \qquad (2.26)$$

სადაც G_k – ნახერხის საბოლოო რაოდენობაა, კგ;

G_H - ნახერხის საწყისი რაოდენობაა, კგ;

U_H - ნახერხის საწყისი სინესტეა, %;

U_k - ნახერხის საბოლოო სინესტეა, %;

ასაორთქლებელი წყლის რაოდენობის ანგარიში:

$$M_1 = M_0 \frac{W_0 - W_1}{100 - W_1} \text{ კგ;} \qquad (2.27)$$

სადაც M_1 - ასაორთქლებელი წყლის რაოდენობაა, კგ;

M_0 - სველი ნახერხის საწყისი რაოდენობაა, კგ;

W_o – ნახერხის საწყისი სინესტეა, %;

W_1 – ნახერხის საბოლოო სინესტეა, %;

ასაორთქლებელი წყლის რაოდენობა M_1 = 267 ლიტრს;

ე.ი. თუ საშრობში ვაწვდით საათში 800 კგ 40 % სინესტის ნახერხს, ერთი საათის განმავლობაში საშრობში უნდა აორთქლდეს 267 ლიტრი წყალი, რომ მივიღოთ 533 კგ 10 % სინესტის ნახერხი;

1 კგ წყლის ასაორთქლებლად საჭირო სითბოს თეორიული რაოდენობის განსაზღვრა:

$$\mathbf{Q_T} = \frac{1\ \text{კგ/სთ}}{3600} * 2700\text{კჯ/კგ} = 0{,}75\ \text{კვტ}; \qquad (2.28)$$

სადაც Q_T - თეორიული სითბოს რაოდენობაა, კვტ;

ჩვენს შემთხვევაში:

$$\mathbf{Q_T} = \frac{267\ \text{კგ/სთ}}{3600} * 2700\text{კჯ/კგ} = 200{,}25 \approx 200\text{კვტ}; \qquad (2.29)$$

1 კგ წყლის ასაორთქლებლად საჭირო რეალური სითბოს რაოდენობის განსაზღვრა:

$$\mathbf{Q_R = Q_T * K}, \qquad (2.30)$$

სადაც Q_R – რეალური სითბოს რაოდენობაა, კვტ;

Q_T - თეორიული სითბოს რაოდენობაა, კვტ;

K - კოეფიციენტია და K=2;

აქედან:

$$\mathbf{Q_R = 2 * Q_T = 2 * 200 = 400}\ \text{კვტ}$$

რეალური სითბოს რაოდენობის საანგარიშო ფორმულა:

$$\mathbf{Q_R = \rho * G * C_P * \Delta t}\ \text{კვტ}, \qquad (2.31)$$

სადაც $\boldsymbol{\rho}$ – ჰაერის სიმკვრივეა $\boldsymbol{\rho}$ = 1.2 კგ/მ^3;

G - ჰაერის ხარჯი მ^3/წმ;

C_P - ჰაერის ხვედრითი სითბოტევადობაა კჯოული/კგ°C C_P = 1,1;

$\Delta t = (t_{ცხელი} - t_{ცივი}) = 130\ C° - 0\ C° = 130\ C°$;

ცივი ჰაერის ხარჯი:

$$G_{ცივი} = \frac{Q}{\rho * C_P * \Delta t} = \frac{400}{1{,}2 * 1{,}1 * 130} = 2{,}33\ მ^3/წმ, \qquad (2.32)$$

$$G_{ცივი} = 2{,}33\ მ^3/წმ = 8388\ მ^3/სთ;$$

ცხელი ჰაერის ხარჯი:

ცივი ჰაერი უნდა გავაცხელოთ 130 ÷ 150°C – მდე, რის გამოც ხდება კორექტირება. ცხელი ჰაერი იანგაიშება ფომულით:

$$V_{ცხელი} = V_{ცივი} \frac{t_{ცხელი} + 273}{273}\ მ^3/წმ, \qquad (2.33)$$

$$V_{ცხელი} = V_{ცივი} \frac{t_{ცხელი} + 273}{273} = 2{,}33 \frac{130 + 273}{273} = 3{,}44\ მ^3/წმ,$$

$$V_{ცხელი} = 3{,}44\ მ^3/წმ = 12400\ მ^3/სთ \approx 13000\ მ^3/სთ;$$

ცხელი ჰაერის მილგაყვანილობის ფართის განსაზღვრა:

$$F = \frac{G}{V_{\substack{ჰაერის \\ სიჩქარე}} * 3600}\ მ^2 = \frac{12400}{12{,}78 * 3600} \approx 0{,}28\ მ^2 \qquad (2.34)$$

მილგაყვანილობაში ცხელი ჰაერის სიჩქარის განსაზღვა:

თუ მილგაყვანილობის დიამეტრი d = 0,6 მ, მაშინ მილგაყვანილობის ფართობი F= 0,28 $მ^2$:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \pi r^2 = \frac{3{,}14 * 0{,}36}{4} = 0{,}2826\ მ^2;$$

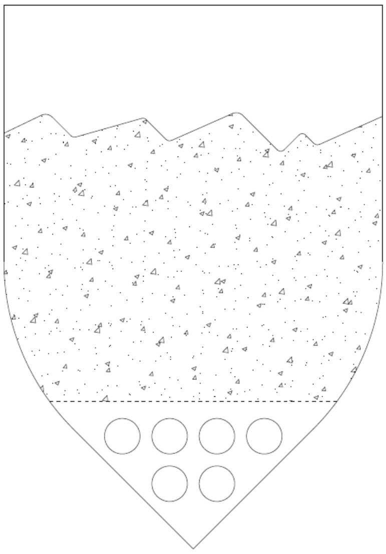
ცხელი ჰაერის სიჩქარე:

$$V_{\substack{ცხელი\ ჰაერის \\ სიჩქარე}} = \frac{G}{F * 3600} = \frac{13000}{0{,}2826 * 3600} = 12{,}78\ მ/წმ; \qquad (2.35)$$

$$V_{\substack{ცხელი\ ჰაერის \\ სიჩქარე}} = 12{,}78\ მ/წმ;$$

ამრიგად, თუ საშრობში შემავალი მილის დიამეტრი, არის 0,6 მ, მაშინ მილგაყვანილობის ფართი იქნება 0,28 $მ^2$, რაც საშუალებას მოგვცემს 12,78 მ/წმ სიჩქარით გადაადგილებისას ჰაერის ნაკადის ხარჯმა საათში შეადგინოს 13000 $მ^3$.

უშუალოდ საშრობში მოთავსებული მილგაყვანილობის ფართის განსაზღვრა:



ნახ. 42 ღუმელის განივი კვეთი

საშრობში მოთავსებულია ექვსი ცალი D = 150 მმ და L = 5 მ სიგრძის მილი, თითოეული მილის განიკვეთის ფართობი $F = \frac{\pi d^2}{4} = \pi r^2 = 0{,}0177$ $მ^2$;

ექვსივე მილის ჯამური განიკვეთის ფართი ტოლი იქნება: $F_{სრ} = 6 * 0{,}0177$ $მ^2$ = 0,106 $მ^2$;

უშუალოდ საშრობში მოთავსებულ მილებში ცხელი ჰაერის სიჩქარის განსაზღვა:

ძირითად მილგაყვანილობაში ჰაერის სიჩქარე შეადგენს:

$$V_{\text{ჰაერის სიჩქარე}} = 12{,}78 \text{ მ/წმ};$$

ძირითადი მილგაყვანილობის ფართია F = 0,28 მ²;

ჰაერის ხარჯი ძირითად მილგაყვანილობაში G = 13000 მ³/სთ;

საშრობში მოთავსებულ მილებში ცხელი ჰაერის სიჩქარე იქნება:

$$V_{\substack{\text{ჰაერის}\\ \text{სიჩქარე}}} = \frac{G}{F*3600} = \frac{13000}{0,106*3600} = \mathbf{34}\ \text{მ/წმ};$$

ნახვრეტების რაოდენობა მილებში: თუ თითოეულ მილზე გავხვრიტავთ ერთ დიუმიან (25,4 მმ) ნახვრეტებს, მაშინ ერთი ნახვრეტის ფართობი იქნება:

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\mathbf{3,14*0,0254^2}}{\mathbf{4}} = \mathbf{0,0005}\ \text{მ}^2;$$

მილის განივკვეთის ფართია $F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\mathbf{3,14*0,15^2}}{\mathbf{4}} = \mathbf{0,0177}\ \text{მ}^2$, მასში ჰაერის სიჩქარე $V_{\substack{\text{ჰაერის}\\ \text{სიჩქარე}}}$ = 34 მ/წმ;

იმისათვის, რომ მილიდან გამომავალი ნახვრეტებიდან ჰაერის სიჩქარე იყოს 34მ/წმ, საჭიროა ნახვრეტების ფართობების ჯამი ტოლი იყოს მილის განივკვეთის ფართობისა, ანუ:

$$0,0177\ \text{მ}^2 = n * 0,0005\ \text{მ}^2,$$

საიდანაც

$$n = \frac{0,0177}{0,0005} = 35,5 \approx 36\ \text{ნახვრეტი};$$

ე.ი. თითოეულ მილზე უნდა გაიხვრიტოს 36 ცალი ნახვრეტი დიამეტრით 25,4 მმ;

ექვსივე მილზე ნახვრეტების რაოდენობა ტოლი იქნება $n_{\text{ხრ}}$ = 36 * 6 = 216 ნახვრეტი.

ღუმელის გაანგარიშება

ღუმელის საწვავ კამერაში, ნახერხის დაწვის დროს გამოიყოფა სითბოს რაოდენობა, კერძოდ:

მშრალი ნახერხის დაწვისას:

$$Q^{P}_{\underset{მშრალი}{ნახერხი}} = Q^{P}_{მაქს} = 17 \div 18 \text{ მჯოული/კგ} = 4500 \div 4800 \text{ კკალ/კგ}$$

სველი ნახერხის დაწვისას:

$$Q^{P}_{\underset{სველი}{ნახერხი}} = Q^{P}_{მინ} = 9 \div 10 \text{ მჯოული/კგ} = 2300 \text{ კკალ/კგ};$$

1 კკალ = 4190 ჯოული;

1 კვტ = 1 კჯოული/წმ;

ღუმელის მიერ გამომუშავებული სითბოს რაოდენობა:

$$P \text{ კვტ} = G \text{ კგ/წმ} * Q_{\underset{სველი}{ნახერხი}} \text{ კჯოული/კგ}; \qquad (2.36)$$

ღუმელის საწვავ კამერაში მიწოდებული სველი ნახერხის რაოდენობის გაანგარიშება:

$$G = \frac{P}{Q_{\underset{ნახერხი}{სველი}}} = \frac{400}{10000} = 0{,}04 \text{ კგ / წმ} = 144 \text{ კგ/სთ}; \qquad (2.37)$$

ე.ი. ღუმელმა, რომ მოგვცეს საათში 400 კვტ სითბოს ენერგია, საჭიროა ღუმელში მივაწოდოთ საათში 144 კგ, ხოლო წუთში 2,4 კგ 40 % სინესტის ნახერხი, რაც საშუალებას მოგვცემს, საათში ავაორთქლოთ 40 % სინესტის 800 კგ ნახერხიდან 276 კგ წყალი და მივიღოთ 533 კგ 10 % სინესტის ნახერხი.

2.5 ბიოსაწვავის ბრიკეტირებისას გამოყენებული მანქანა - დანადგარების შედარება ენერგოეფექტურობის მიხედვით

ნავთობისა და ქვანახშირის შემდეგ ბიონარჩენები არის რიგით მესამე ენერგო რესურსი მსოფლიოში. იმის მიუხედავად, რომ უკანასკნელი ნახევარი საუკუნის მანძილზე ნავთობპროდუქტებმა დაიკავეს მსოფლიო ენერგო ბაზრის უმნიშვნელოვანესი ნაწილი, ბიოსაწვავი მაინც რჩება რესურსად, რომელზეც დაახლოებით 1,25 მილიარდ ტონა ნავთობის ექვივალენტი (Btoe) ანუ 14 % - მდე მსოფლიო ენერგიის ნაწილი მოდის (Parikka M., 2004; Tumiluru J.S., 2010).

ხის ნარჩენების საწვავი, სასოფლო-სამეურნეო ნარჩენები და ენერგო ნარგავები წარმოადგენენ, ბიონარჩენების ყველაზე გავრცელებულ ენერგო რესურსებს. მაგალითისთვის ლატვიაში დაახლოებით 14,6% სასოფლო - სამეურნეო ფართობი გამოიყენება ენერგო ნარგავებისათვის.

ბიომასის დაწნეხვა წარმოდგენს ტექნოლოგიას, რომლის შედეგად, ბიომასა გარდაიქმნება მყარ ბიოსაწვავად, ბრიკეტებისა და პელეტების სახით. ბიომასა (ხის ნახერხი) წარმოადგენს დაბალი სიმკვრივის მქონე მასალას (180 – 220 კგ/მ^3), ამიტომ ბიომასის დაწნეხვა წარმოადგენს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ტექნოლოგიურ პროცესს, ბიოსაწვავის შენახვის და ტრანსპორტირების თვალსაზრისით.

პელეტირება და ბრიკეტირება წარმოადგენენ საზოგადოდ გავრცელებული ბიომასის დაწნეხვის მეთოდებს. ქვემოთ შედარებულია ორი ყველაზე ხშირად გამოყენებული დამწნეხი მექანიზმი - ჰიდრავლიკურ დგუშიანი წნეხი და შნეკიანი წნეხი, რათა დადგინდეს უფრო შესაბამისი მექანიზმი დამწნეხი მოწყობილობის შესაქმნელად.

ჰიდრავლიკურ დგუშიანი და შნეკური ტიპის წნეხების შედარება:

ჩვენს მიერ შედარებული იქნა 15 დგუშიანი და 15 შნეკიანი წნეხის ტექნიკური მონაცემები. სპეციფიკური ენერგო მოხმარება ბიომასის

ბრიკეტირების ერთნაირ ერთეულზე შნეკური წნეხის და დგუშიანი წნეხის შემთხვევაში გაანგარიშებული იქნა ფორმულით:

$$E_{sc} = \frac{3600P}{Q}, \qquad (2.38)$$

სადაც

E_{sc} – დამწნეხი მექანიზმის დაწნეხის სპეციფიკური ენერგია, კჯ/კგ;

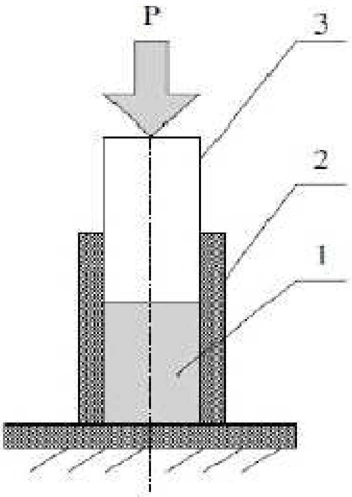
P - დამწნეხი მქანიზმის სიმძლავრე, კვტ;

Q - დამწნეხი მექანიზმის მწარმოებლობა, კგ/სთ;

ტექნიკური პარამეტრები ჰიდრავლიკური წნეხის შემთხვევაში: ბიომასის სინესტე 8 – 18%, მიღებული ბრიკეტების სიმკვრივე 600 – 1100 კგ/მ^3; მაქსიმალური ჰიდრავლიკური წნევა 18 მპა; მწარმოებლობა 30 – 80 კგ/სთ; სიმძლავრე 4 კვტ.

ტექნიკური პარამეტრები შნეკიანი წნეხის შემთხვევაში: ბიომასის სინესტე 8 – 10%, მიღებული ბრიკეტების სიმკვრივე 900 – 1400 კგ/მ^3; მწარმოებლობა 250 – 300 კგ/სთ; სიმძლავრე 6 კვტ. ნახერხის ბრიკეტები, რომლებიც მიღებული იქნა შნეკიანი წნეხის საშუალებით წარმოადგენენ ექვსკუთხედი ფორმის მყარ სხეულს საშუალო სიგანით 46 მმ და შუაში ნახვრეტით დიამეტრით 20 მმ. ნახერხის ბრიკეტები, რომლებიც მიღებული იქნა ჰიდრავლიკური წნეხით, გააჩნიათ წრიული განიკვეთი დიამეტრით 64,5 მმ და ოთხკუთხედი განიკვეთი ზომით 64x150 მმ. ბრიკეტების სიმკვრივე განსაზღვრული იქნა ბრიკეტის მასის ფარდობით მის მოცულობასთან. ბრკეტის წონა და ზომა გაზომილი იქნა სიზუსტით 0,01 გრ და 0,01 მმ.

დაწნეხვის ექსპერიმენტები შესრულდა ლაბორატორიულ დანადგარზე, დახურული ყალიბით, დიამეტრით 35 მმ და ჰიდრავლიკური წნეხის გამოყენებით (ნახ. 43).



ნახ. 43 ლაბორატორიული ჰიდრავლიკური წნეხის სქემა დახურული ყალიბით

ექსპერიმენტისას გამოყენებული იქნა ხის ნახერხი და ხის ნახერხის და სასოფლო - სამეურნეო მცენარეთა ნარჩენების ნაზავები 15, 30 და 50% პროპორციით. მასალათა სინესტე განსაზღვრული იქნა BS EN 14774-2:2009 საერთაშორისო სტანდარტის შესაბამისად, მასალების შრობა განხორციელდა 105 ± 2˚C ტემპერატურაზე. თითოეული ბრიკეტის დასამზადებლად გამოყენებული იქნა 35 გრამი ხის ნახერხი და ამდენივე ხის ნახერხის და სასოფლო - სამეურნეო მცენარეთა ნარჩენების ნაზავები.

თითოეული ბრიკეტის დამზადებისას ძალთა განაწილების მონაცემები ჩაწერილი იქნა კომპიუტერის და სპეციალური პროგრამის საშუალებით. თითოეული ბრიკეტისთვის მოთხოვნილი ენერგია, განსაზღვრული იქნა, ძალთა განაწილების მრუდების გრაფიკული ინტეგრირებით. მიღებულ მონაცემთა საშუალო მნიშვნელობა ცდის 11 - ჯერ გამეორების შემდეგ ჩაიწერა.

მწარმოებლების მიერ დადგენილი ტექნიკური მონაცემები, 15 შნეკური და 15 ჰიდრავლიკურ დგუშიანი წნეხისათვის და მათში ნახერხის ბრიკეტის დამზადებაზე დახარჯული კუთრი ენერგიის გამოთვლის შედეგები, მოყვანილია ცხრილში 5 და 6. მიღებული შედეგების მიხედვით,

მინიმალური კუთრი ენერგია, შნეკური ტიპის წნეხებისთვის, არის 350 კჯ/კგ, მაქსიმალური - 504 კჯ/კგ, ხოლო ჰიდრავლიკურ დგუშიანი წნეხებისთვის, მინიმალური კუთრი ენერგია არის 275 კჯ/კგ, მაქსიმალური 424 კჯ/კგ. კუთრი ენერგიის სხვაობები დამოკიდებულია წნეხების მინიმალურ და მაქსიმალურ მწარმოებლობებზე. საშუალო კუთრი დაწნეხვის ენერგია 15 შნეკური ტიპის წნეხისათვის არის 407 კჯ/კგ, ხოლო 15 ჰიდრავლიკურ დგუშიანი ტიპის წნეხებისთვის იგი შეადგენს - 350 კჯ/კგ.

საშუალო კუთრი ენერგიის მოხმარების განსხვავება - 57 კჯ/კგ შნეკური და ჰიდრავლიკურ დგუშიანი წნეხების მუშაობებს შორის შეიძლება აიხსნას იმით, რომ შნეკურ წნეხებში ბიომასა განიცდის დამატებით გახურებას. აქედან გამომდინარე მობილური დამწნეხი დანადგარის შესაქმნელად სასურველია გამოყენებული იქნას ჰიდრავლიკურ დგუშიანი ტიპის მექანიზმი.

ცხრილი 5 შნეკური ტიპის წნეხების პარამეტრები

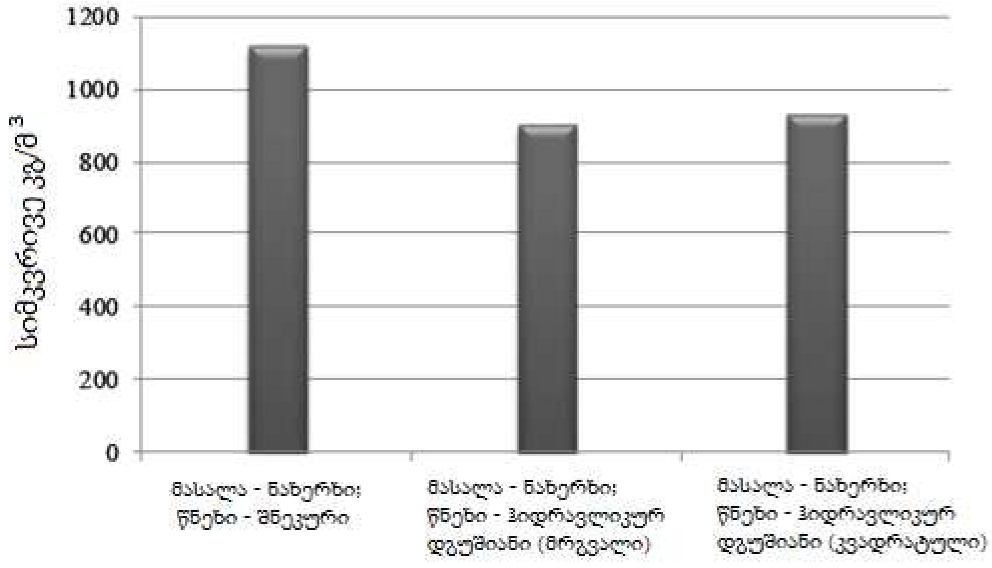
Screw press parameters

Screw press (Machine model)	Power, kW	Power of electric heater, kW	Capacity, kg h^{-1} (Min)	Capacity, kg h^{-1} (Max)	Specific energy, kJ kg^{-1} (Max)	Specific energy, kJ kg^{-1} (Min)	Average specific energy, kJ kg^{-1}
BIOMASSER SOLO BS06	4.2	4.5	40	60	783	522	653
SOLO 50	4.2	4.5	40	50	378	302	340
DUO 100	8.75	5	80	100	619	495	557
ZBJI	11	4.5	80	120	698	465	582
ZBJ-I	11	4.5	150	180	372	310	310
BIOMASSER DUO-SET	12.5	6.6	100	140	688	491	590
ZBJ-15	15	4.5	140	200	501	351	426
ПЭ-4	15	4.5	160	300	439	234	337
ZBJ-III	18.5	6.6	230	280	393	323	358
Zhongda	18.5	6.6	250	350	361	258	310
Hongji	18.5	6.6	250	350	361	258	310
ZBJ-ZY	22	9	320	500	349	223	286
Mingyang	22	6.6	240	320	429	322	376
HJJX-11	22	9	250	300	446	372	409
ПТБ	45	6.6	250	650	743	286	515

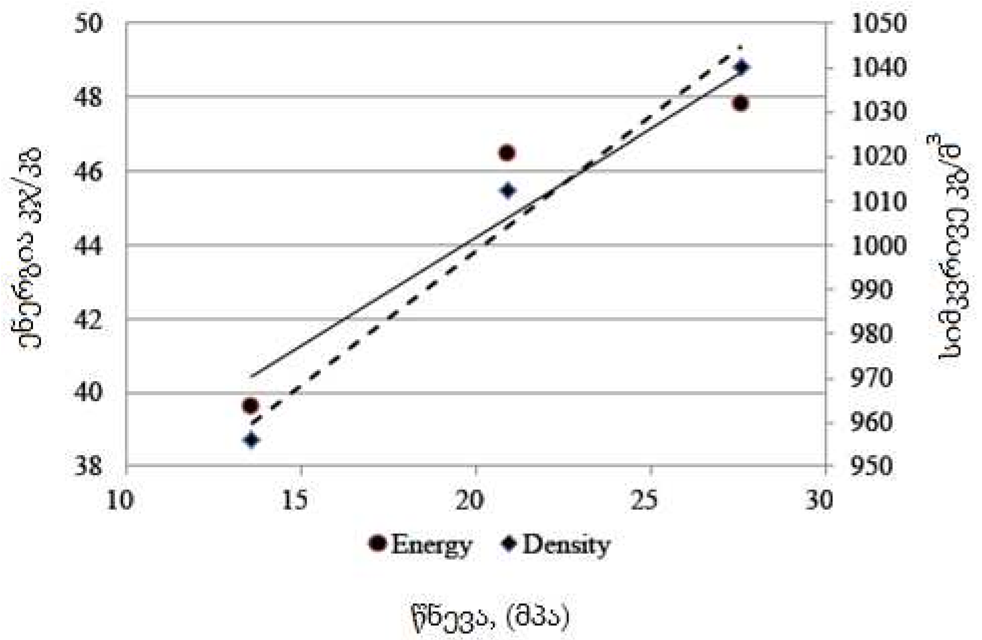
ცხრილი 6 ჰიდრავლიკურ დგუშიანი წნეხების პარამეტრები

Hydraulic piston press parameters

Hydraulic piston press (Machine model)	Power, kW	Capacity, kg h^{-1} (Min)	Capacity, kg h^{-1} (Max)	Specific energy, kJ kg^{-1} (Max)	Specific energy, kJ kg^{-1} (Min)	Average specific energy, kJ kg^{-1}
BrikStar CS3-12	3	20	40	540	270	405
BrikStar CS4-12	4	30	60	480	240	360
OL.D 52	4	30	50	480	288	384
Weima C140	4	30	40	480	360	420
AECO 30	4.4	20	40	792	396	594
AECO 50	5.4	40	60	486	324	405
Weima C170	5.5	60	80	330	248	289
BP-100	5.6	43	63	469	320	395
Weima TH514	7.5	70	100	386	270	328
OL.D 62	7.5	50	70	540	386	463
BP 2000	18.5	150	225	444	296	370
MAX 350	24	350	500	247	173	210
BP 4000	30	600	750	180	144	162
RUF 600	37	500	600	266	222	244
RUF 1100	55	800	1000	248	198	223



ნახ. 44 ბრიკეტის სიმკვრივე

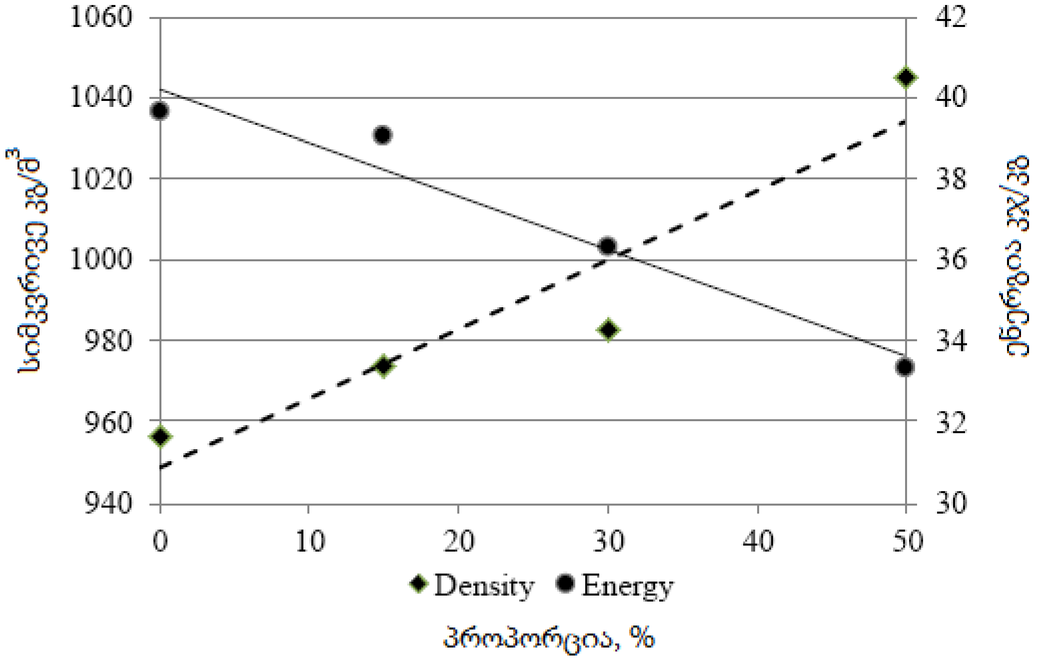


ნახ. 45 ბრიკეტირების ენერგიისა და ბრიკეტის სიმკვრივის დამოკიდებულება დაწნეხის წნევასთან

ხის ნახერხის ბრიკეტების სიმკვრივე (ნახ. 44), რომელიც მიღებული იქნა დაწნეხისას, შნეკური და ჰიდრავლიკურ დგუშიანი წნეხების საშუალებით, შნეკური ტიპის წნეხისთვის განისაზღვრა 1122 კგ/მ^3, ხოლო ჰიდრავლიკურ დგუშიანი წნეხისათვის 902 კგ/მ^3 ოთხკუთხედი განიკვეთის ფორმისათვის.

ექსპერიმენტის საშუალებით მიღებული ხის ხახერხის ბრიკეტის სიმკვრივის მონაცემები შედარებული იქნა EN 14961-3:2011 სტანდარტს. აღნიშნული სტანდარტი განსაზღვრავს არასამეწარმეო დანიშნულებით გამოსაყენებელი ბრიკეტების სპეციფიკაციებს და გააჩნია ორი ჯგუფი A და B, რეკომენდირებული სიმკვრივეებით DE 1,0 ≥ 1,0 გრ/სმ^3 და DE 0,9 ≥ 0,9 გრ/სმ^3. აღნიშნულ სტანდარტს არ გააჩნია მნიშვნელოვანი განსხვავებები სიმკვრივეთა რეკომენდაციების კუთხით შნეკური და ჰიდრავლიკურ დგუშიანი წნეხებისათვის. ჰიდრავლიკურ დგუშიანი წნეხის ტექნიკური მახასიათებლები პირდაპირ მოქმედებენ ბრიკეტის სიმკვრივეზე,

მაგალითად თუ გავზრდით ხახუნის ძალებს დამწნეხ ბუნკერში ბრიკეტის სიმკვრივე გაიზრდება.



ნახ. 46 ბრიკეტის სიმკვრივის და ბრიკეტირების კუთრი ენერგიის დამოკიდებულება სასოფლო - სამეურნეო ნარჩენების პროპორციებზე

ნახ. 45 - ზე ნაჩვენებია დაწნეხვის წნევის ზრდა 13,6 - დან 27,6 მპა - მდე, რა დროსაც, ბრიკეტის სიმკვრივე გაიზარდა 956 - დან 1040 კგ/მ^3 - მდე. ექსპერიმენტის მიმდინარეობისას გამოყენებული იქნა სამი წნევის საფეხური - 13,6, 20,6 და 27,6 მპა. დაწნეხვის კუთრი ენერგია გაიზარდა 39 - დან 47 კჯ/კგ - მდე, მაგრამ 1000 კგ/მ^3 სიმკვრივე მიღწეული იქნა მხოლოდ, როდესაც დაწნეხვის წნევა მაღალი იყო 20,0 მპა-ზე.

ნახ. 46 - ზე ნაჩვენებია დაწნეხვისას დახარჯული ენერგია 50 % - მდე სასოფლო-სამეურნეო ნარჩენების დამატების შემთხვევაში ნახერხის ბრიკეტში. დაწნეხვისას მიღწეული იქნა მაქსიმუმ 13,6 მპა წნევა. მიღებული შედეგები აჩვენებს, რომ თუ იქნება დამატებული სასოფლო სამეურნეო ნარჩენები 50 % - მდე რაოდენობით ნახერხის ბრიკეტში მისი

დაწნეხვისათვის საჭირო კუთრი ენერგია შემცირდება 39 კჯ/კგ - დან 33 კჯ/კგ - მდე, ხოლო მისი სიმკვრივე გაიზრდება 956 - დან 1044 კგ/მ^3 - მდე.

2.6 ბრიკეტების გამძლეობის შედარებითი კვლევა

ბრიკეტების მექანიკური გამძლეობის გამოკვლევის სხვადასხვა მეთოდები შედარებული იქნა ერთმანეთთან. შესწავლილი იქნა ბრიკეტების გამძლეობის დამოკიდებულება მასალის ნაწილაკთა სიმკვრივესთან, რის შემდეგაც დადგინდა, რომ ბრიკეტების გამძლეობას არავითარი კავშირი არ აქვს მასალის ნაწილაკთა სიმკვრივესთან.

გამძლეობა და ნაწლაკთა სიმკვრივე არიან მთავარი პარამეტრები, რომლებიც აღწერენ მყარი ბიოსაწვავების - ბრიკეტის და პელეტის ფიზიკურ ხარისხს. ბრიკეტები მგრძნობიარენი არიან მექანიკური ცვეთის მიმართ, რაც იწვევს წმინდა ნაწილაკების და მტვერის წარმოქმნას მათი ტრანსპორტირების, გადატვირთვის და შენახვისას. ბრიკეტიდან მტვერის გამოყოფა უხერხულობას იწვევს არა მხოლოდ მომხმარებელში, არამედ იგი ზიანს აყენებს ადამიანის ჯანმრთელობას. დამატებით, წმინდა ნაწილაკებმა და მტვერმა შეიძლება დაახშოს ღუმელების ჰაერის მკვებავი სისტემა, რაც შეიძლება მიზეზი გახდეს არაერთგვაროვანი წვის პროცესის. და ბოლოს, მტვერმა შეიძლება გამოიწვიოს ხანძარი და აფეთქების რისკი მისი შენახვის და ტრანსპორტირების დროს.

მყარი ბიოსაწვავის მექანიკური გამძლეობა არის ხარისხის პარამეტრი, რომელიც განისაზღვრება, დაწნეხილი ბიოსაწვავის შესაძლებლობით დარჩეს დაუზიანებელი გადაადგილების შემდეგ. მყარ ბიოსაწვავში იგი იზომება დარტყმების ან ხახუნის მიმართ გამძეობით. აქედან გამომდინარე მექანიკური გამძლეობა არის ბრიკეტის მნიშვნელოვანი პარამეტრი. ნაწილაკების სიმკვრივე არის პარამეტრი, რომელიც საზოგადოდ აღიქმება, როგორც გამძლეობის განმსაზღვრელი, თითქოს, ნაწილაკების მაღალი სიმკვრივე განაპირობებს მაღალ

გამძლეობას. თუმცა Obenberger და Thek მიერ ნაჩვენებია, რომ აღნიშნული შეხედულება მცდარია.

აღნიშნული კვლევის მიზანს წარმოადგენდა განგვესაზღვრა საუკეთესო მეთოდი ბრიკეტების გამძლეობის დასადგენად უკვე აღწერილი მეთოდების გაანალიზებით.

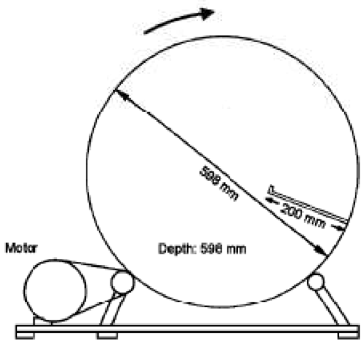
მაღალმა სინესტემ, რომ არ იმოქმედოს ბრიკეტების გამძლეობაზე ყველა ბრიკეტი შერჩეული იქნა 10 % სინესტით. ექსპერიმენტში მონაწილე ბრიკეტები დაჭრილი იქნა მათი განივკვეთის ზომის ორმაგ სიგრძეებად.

ცხრილი 7 ექსპერიმენტში მონაწილე ბრიკეტები

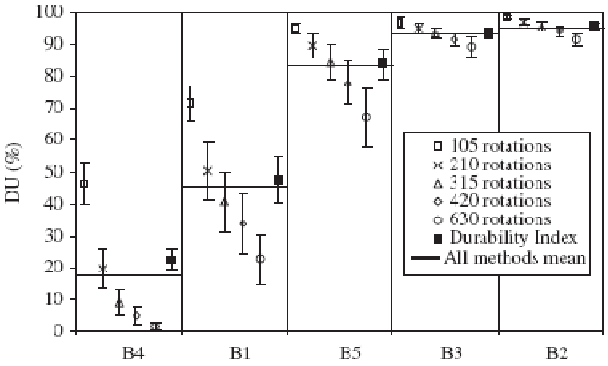
Briquette code	Press type	Shape	Raw material
B1	Extruder		Mixed wood
B2	Extruder		Hardwood
B3	Chamber		Mixed wood
B4	Piston		Mixed wood
B5	Piston		Softwood

ბრიკეტების გამძლეობის ტესტი შეფასებული იქნა მბრუნავი დოლის პროტოტიპის საშუალებით (ნახ. 47). მისი ბრუნვის სიჩქარე შეადგენდა 21 ბრ/წთ. 21 გამოსაცდელი ბრიკეტი იქნა გასუფთავებული წმინდა ნაწილაკებისგან, აწონილი იქნა 0,01 გრ. სიზუსტით და მოთავსებული იქნა დოლში 105, 210, 315, 410 და 630 ბრუნის განმავლობაში. ყველა გამოსაცდელი ბრუნთა რიცხვის შემდეგ თითოეული ბრიკეტი ამოღებული იქნა დოლიდან, გაცრილი იქნა მეტალის ცხრილზე და აწონილი იქნა 0,01 გრ. სიზუსტით და ასე ყველა გამოსაცდელი ბრუნთა რიცხვის შემდეგ. ბრიკეტების გამძლეობა გაანგარიშებული იქნა გაცრილი ნაწილაკების

მასური წილის ფარდობით ბრიკეტის საწყისს მასასთან. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია პროცენტულად ყველა 5 სახის ბრიკეტისათვის.



ნახ. 47 მბრუნავი დოლის პროტოტიპი



ნახ. 48 ბრიკეტების გამძლეობა დოლის ხუთი ბრუნვის პერიოდისთვის

ნახ. 48 - ზე ნაჩვენებია გამძლეობის გაზომვების შედეგები ხუთივე ტიპის ბრიკეტისათვის. როგორც მოსალოდნელი იყო ბრიკეტების გამძლეობა მცირდება, რაც უფრო იზრდება დოლის ბრუნვათა რაოდენობა. ნახაზზე ასევე ნაჩვენებია, რომ ინდივიდუალური ბრიკეტი განიცდის გამძლეობის არამდგრადობას. გაზომვების სტანდარტული გადახრა იზრდება, რაც უფრო მაღალია დოლის ბრუნვის რიცხვი (განსხვავებით B4-გან). გამძლეობის ინდექსი გვაძლევს მონაცემს, რომელიც ახლოსაა ყველა ბრუნვის რიცხვის გამოცდის საშუალო მნიშვნელობასთან, იმის მიუხედავად, რომ გამძლეობის ინდექსის ცვალობადობა არის უფრო მაღალი ვიდრე 105 ბრუნის დროს, დაბალი გამძლეობის ბრიკეტის (B4) გამოკლებით.

2.7 გაზომვის მონაცემების შეფასება პარამეტრების კვლევით, რომლებიც მოქმედებენ ბრიკეტის საბოლოო სიმკვრივეზე

ჩვენ ჩავატარეთ დაწნეხის პროცესზე მოქმედი პარამეტრების ბევრი თეორიული ანალიზი. საიდანაც ჩვენ დავყავით გაანალიზებული პარამეტრები სამ ძირითად საბაზისო ჯგუფად, იმიტომ, რომ მათ არ გააჩნიათ ერთნაირი ბუნება. პარამეტრების პირველი ჯგუფი მიეკუთვნება დასაწნეხი მასალების ტიპს, მეორე ჯგუფი მიეკუთვნება დაწნეხის ტექნოლოგიას, ხოლო მესამე ჯგუფის ქვეშ გაერთიანებულია ყველა კონსტრუქციული პარამეტრი:

1.) დასაწნეხი მასალა:

- ტიპი;
- ფრაქციის ზომა;
- სინესტე;
- ტემპერატურა.

2.) დაწნეხის პარამეტრები:

- დაწნეხის გზა;
- ტემპერატურა დამწნეხ ბუნკერში;
- დაწნეხის ტემპერატურა დამწნეხ ბუნკერში;
- დაწნეხის სიჩქარე;
- დაწნეხის დრო.

3.) კონსტრუქციული პარამეტრები:

- დამწნეხი ბუნკერის ზომა, სიგრძე და ფორმა;
- დამწნეხი ორგანოს ტიპი, ზომა და ფორმა;
- დამწნეხი ორგანოს და დამწნეხი ბუნკერის მასალა, ზედაპირის სისუფთავე და ზედაპირების მოდიფიკაცია;
- ბრიკეტზე მოსული წინააღმდეგობის წნევა;

- გამაციებელი ღარის სიგრძე.

როგორც შეგვიძლია დავინახოთ ბრიკეტის საბოლოო ხარისხი დამოკიდებულია ბევრ პარამეტრზე. ჩვენ გადავწყვიტეთ, რომ მხოლოდ ოთხ პარამტრს გააჩნია მნიშვნელოვანი ეფექტი. ეს პარამეტრებია: დაწნეხვის ტემპერატურა, დაწნეხვის წნევა, ფრაქციის ზომა და მასალათა სინესტე.

დაწნეხვის წნევა ყველაზე მნიშვნელოვანი ფაქტორია, რომელსაც გავლენა აქვს ბრიკეტის სიმყარეზე. ბრიკეტის სიმყარე იზრდება დაწნეხვის წნევის ზრდასთან ერთად, რაც უფრო მყარია ბრიკეტი მით უფრო ნაკლებია შანსი შთანთქოს ატმოსფეროდან ტენი, ბრიკეტის მიერ ტენის შთანთქმა ამცირებს მისი შენახვის ვადებს.

დაწნეხვის ტემპერატურა მიეკუთვნება დაწნეხვის წნევასთან ერთად ყველაზე მნიშვნელოვან პარამეტრს, რაც ნიშნავს - რომ მას გააჩნია მნიშვნელოვანი ეფექტი ბრიკეტის სიმყარის ხარისხზე. იგი განსაზღვრავს ლიგნინის ექსტრაქციას ხის ბოჭკოების სტრუქტურიდან. ლიგნინი წარმოიქმნება დაწნეხვის განსაზღვრულ ტემპერატურაზე, რომელიც უპირობოდ მიიღწევა, რათა გარანტირებული იქნას გამოსაცდელი პროცესი.

ფრაქციის ზომას აქვს, ასევე გავლენა დაწნეხვის პროცესზე. რაც უფრო მაღალია ფრაქციის ზომა, მით უფრო მეტი წნევაა საჭირო ბრიკეტირებისათვის. ამის გამო ბრიკეტებს გააჩნიათ დაბალი ერთგვაროვნება და სიმყარე. ფრაქციის ზომის გაზრდით შეკავშირების სიმყარე მცირდება, რაც წარმოადგენს შედეგს ბრიკეტის სწრაფი დაშლის წვის პროცესისას (ბრიკეტი იწვება სწრაფად, რაც წარმოადგენს მის არასასურველ მდგომარეობას).

მასალათა სინესტეს აქვს გავლენა ლიგნინის პლასტიფიკაციაზე, წყალს აქვს დადებითი როლი ხის ზრდაში, იმიტომ, რომ ის არის მასაზრდოებელი ნივთიერება ყველა ორგანიზმისთვის. წყლის ყოფნა ხეში, რომელიც მოჭრილი იქნა არასასურველია. ყველა დღეისათვის ცნობილი დაწნეხვის ტექნოლოგიას შეუძლია მასალათა დაწნეხვა თუ მასში სინესტე

18 % - ზე ნაკლებია. 12 % - მდე ტენის რაოდენობა წარმოადგენს დაწნეხვისათვის იდეალურ პირობას, იმიტომ, რომ, თუ სინესტე ძალიან დაბალია ან პირიქით ძალიან მაღალი, მასალათა ნაწილაკები არ მჭიდროვდებიან და ბრიკეტი შეიძლება დაიშალოს.

ექსპერიმენტის შედეგები: ექსპერიმენტში ჩვენ ყურადღება გავამახვილეთ ამ პარამეტრების გავლენაზე. ჩვენ შევქმენით ექსპერიმენტალური წნეხი, რომელმაც საშუალება მოგვცა გაგვეკეთებინა ცვლილებები (კონსტრუქციული და ასევე ტექნოლოგიური), როგორც ჩვენ გვსურდა ექსპერიმენტზე დაყრდნობით. ექსპერიმენტალური წნეხი დაპროექტებული და აგებული იქნა, რითაც საშუალება მოგვეცა გაგვეზომა დაწნეხვის წნევის, დაწნეხვის ტემპერატურის, მასალათა სინესტის და ფრაქციის ზომის გავლენა ბრიკეტების ხარისხზე.

პირველ საფეხურზე დასაწნეხ მასალად ავირჩიეთ ნაძვის ხის ნახერხი. ჩვენ შევასრულეთ გაზომვები ერთი ტიპის მასალაზე იმიტომ, რომ თითოეულ მასალას გააჩნია თავისი თვისებები და ბუნება. ჩვენ შევიმუშავეთ, აგრეთვე გაზომილი პარამეტრების დონეები (ცხრილი 8). აღნიშნული საფეხურები გამომდინარეობს ჩვენი ანალიზებიდან, გამოცდილებიდან და ექსპერიმენტალურიწნეხის შესაძლებლობებიდან. ცხრილ 9 - ზე ნაჩვენებია ჩატარებული ექსპერიმენტისას გამოთვლილი ბრიკეტის საშუალო სიმკვრივის მნიშვნელობები.

ცხრილი 8 გაზომილი პარამეტრების დონეები

წნევა p (მპა)	ტემპერატურა T (°C)	ფრაქცია L (მმ)	სინესტე w_r (%)
9,5 - 15,9	85 - 115	1 - 4	8 - 12

ცხრილი 9 ექსპერიმენტით გაანგარიშებული ბრიკეტის საშუალო სიმკვრივე

i	p (მპა)	T (°C)	w (%)	L (მმ)	$\overline{\rho_j}$ კგ/დმ^3	$s^2(\rho)$ კგ/დმ^3
1	9,5	85	8	1	1,13919	0,001258
2	15,9	85	8	1	1,156558	0,001384
3	9,5	115	8	4	1,167468	0,002513
4	15,9	115	8	4	1,200171	0,001332
5	9,5	85	12	1	0,79969	0,00727
6	15,9	85	12	1	1,007282	0,009572
7	9,5	115	12	4	1,127726	0,007584
8	15,9	115	12	4	1,135111	0,006393
9	9,5	85	8	4	1,088649	0,001384
10	15,9	85	8	4	1,081203	0,002974
11	9,5	115	8	1	1,190808	0,003207
12	15,9	115	8	1	1,235596	0,001062
13	9,5	85	12	4	0,699423	0,006349
14	15,9	85	12	4	0,923658	0,006146
15	9,5	115	12	1	1,173846	0,004268
16	15,9	115	12	1	1,236333	0,001377

ჩვენ განვახორციელეთ ექსპერიმენტი სრული ფაქტორიალური ექსპერიმენტის 2^4 ფორმით ცხრილი 8 შესაბამისად. ექსპერიმენტის მთავარ მიზანს წარმოადგენდა დავკვირვებოდით ბრიკეტის ხარისხს დაწნეხის ტემპერატურაზე, დაწნეხის წნევაზე, ფრაქციის ზომაზე და მასალათა სინესტეზე დამოკიდებულებით. ბრიკეტების ხარისხი შეფასებული იქა ბრიკეტების სიმკვრივით, როგორც მოცემულია EU სტანდარტების შესაბამისად მყარი ბიოსაწვავებისთვის. EU სტანდარტების მიხედვით ბრიკეტებს აქვთ კარგი ხარისხი, თუ მათი სიმკვრივე 1 – 1,4 კგ/დმ^3 საზღვრებშია. თითოეული პარამეტრის მიხედვით ცხრილი 9 - დან ჩვენ დავწნეხეთ 7 ბრიკეტი. ჩვენ გავზომეთ ბრიკეტის ზომები, სიგრძე და წონა. აღნიშნული მონაცემები, იყვნენ საბაზისო მონაცემები სიმკვრივეების გამოსათვლელად. ბრიკეტების სიმკვრივეები დამუშავებული იქნა სხვადასხვა მათემატიკური და სტრუქტურული მეთოდებით. ცხრილში 10 შეგვიძლია ვიხილოთ ANOVA Test შედეგები, რაც მოგვცემს იმის თქმის

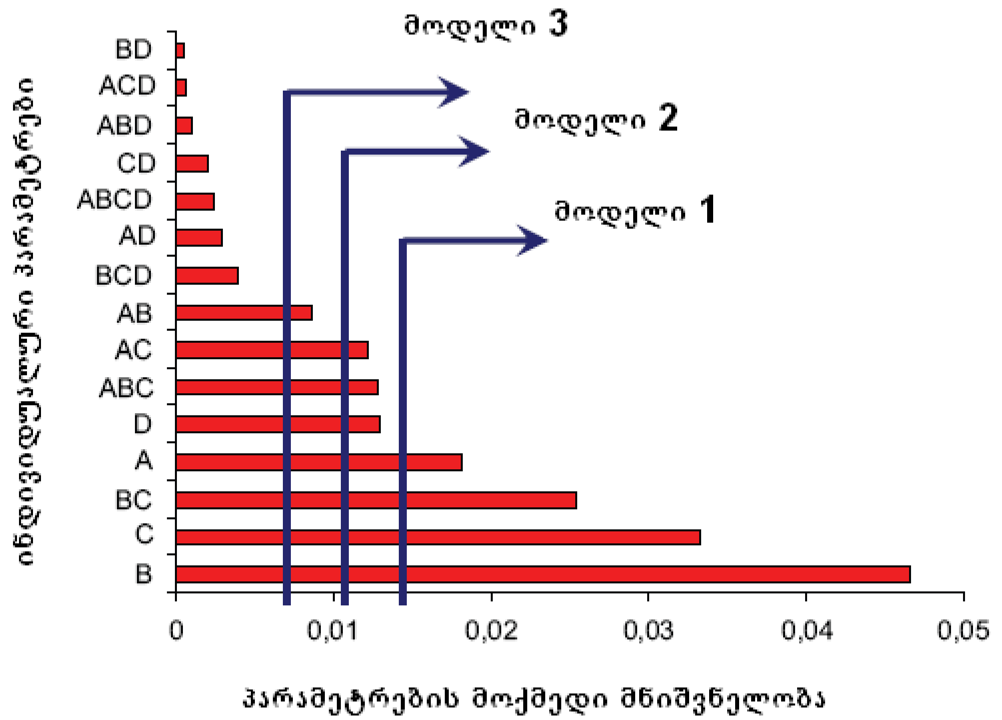
საშუალებას რამდენად მნიშვნელოვანია აღნიშნულ პროცესში ტემპერატურა, სინესტე, წნევა და ფრაქციის ზომა.

ცხრილი 10 ANOVA Test შედეგები

Variability source	Square Sum	Degrees of freedom	Average square	Ratio F	Value P	Signification
A – pressure „p“	0,0210523	1	0,0210523	3,40	0,0923	3.
B – temperature „T“	0,13857	1	0,13857	22,37	0,0006	1.
C – moisture „w_r“	0,0709649	1	0,0709649	11,46	0,0061	2.
D – fraction „L“	0,0107137	1	0,0107137	1,73	0,2152	4.
Residual	0,0681389	11	0,00619445			
	0,30944	15				

პარამეტრების მოქმედების უფრო ზუსტი განსაზღვრისათვის ჩვენ გამოვიყენეთ ე.წ. პარამეტრების ეფექტის მეთოდი, შედეგების ნახვა შესაძლებელია ნახ. 49 - ზე.

პარამეტრების ეფექტის მეთოდი აჩვენებს, რომ ყველაზე დიდი გავლენა აქვს დაწნეხვის ტემპერატურას და მასალების სინესტეს. ასევე მათ ურთიერთკავშირს აქვს მნიშვნელოვანი ზეგავლენა ბრიკეტის საბოლოო სიმკვრივეზე. ეხლა ჩვენ შეგვიძლია ავაგოთ მოდელი, რომელიც აღწერს შესწავლილ პარამეტრებს. მაგრამ, რომელი მოდელია ზუსტი? რომელი მოდელი აღწერს უფრო ზუსტად შესწავლილ სივრცეს? ნახ. 49 - ზე ჩვენ შეგვიძლია დავინახოთ ასევე მაგალითი, თუ, როგორ იქნა განხორციელებული ცვლადების შერჩევა მათემატიკური მოდელისათვის. ამ ვარიანტებიდან ჩვენ ვიყენებთ სამ ფართოდ გავრცელებულ კრიტერიუმს: მრავალჯერგაშვების ინდექსს (R^2), AIC კრიტერიუმს და საშუალოკვადრატულ შეცდომის კრიტერიუმს (RMSE). აღნიშნული პარამეტრების გამოთვლისთვის გამოყენებული იქნა JMP 8 კრიტერიუმების გენერატორი, რომელიც SAS Software ნაწილს წარმოადგენს.



ნახ. 49 ცვლადების დიაგრამა მათემატიკური მოდელის შესაქმნელად A - დაწნეხვის წნევაა, p, (მპა); B - დაწნეხვის ტემპერატურაა, T, (˚C); C - მასალების სინესტეა, w_r, (%); D - ფრაქციის ზომა, L, (მმ)

ცხრილი 11 საუკეთესო მოდელი გამოთვლილი JMP 8 კრიტერიუმების მიხედვით

მოდელი	პარამეტრები	პარამეტრების რიცხვი	R^2	AIC	RMSE
model 1	B,C,BC,A	4	87,9%	-30,1238	0,058448
model 2	B,C,BC,A,D,ABC,AC	7	96,8%	-24,8346	0,035139
model 3	**B,C,BC,A,D,ABC,AC,AB**	**8**	**99,3%**	**-32,7996**	**0,017764**
model 4	C,AB,AC,BC,ABCD	5	94,3%	-35,5702	0,041982
model 5	B,C,AB,AC,BC, ABCD	6	96,1%	-33,239	0,036413
model 6	B, C, BC, A, D	5	91,3%	-28,8272	0,05183

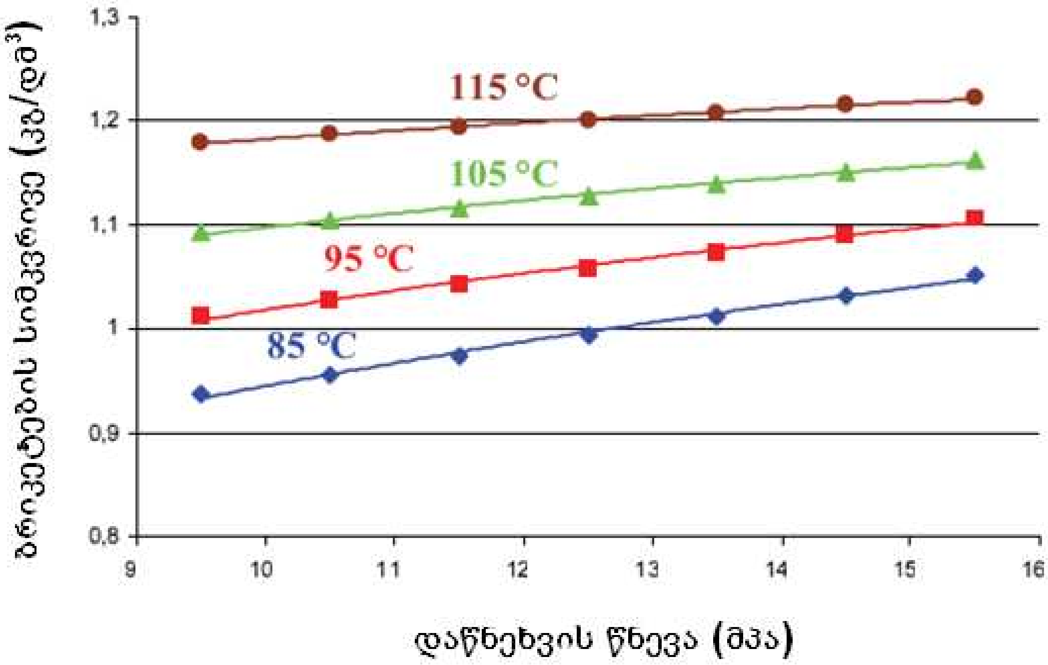
შექმნილმა მათემატიკურმა მოდელმა უნდა აღწეროს დაწნეხვის პროცესი ამიომაც ჩვენს მიერ არჩევანი გაკეთდა მოდელზე, სადაც ჩართულია ყველა პარამეტრი (წნევა, ტემპერატურა, სინესტე და ფრაქცია). ძალიან მნიშვნელოვანია, რომ აღნიშნული მოდელი შეიცავს ყველა ამ ოთხ პარამეტრს. გამოთვლებმა აჩვენა, რომ, ასევე ძალიან მნიშვნელოვანია

ურთიერთდამოკიდებულება. საბოლოო მოდელის დიზაინის შერჩევამ განაპირობა კრიტერიუმების ინდივიდუალური მონაცემების ობიექტური შესწავლა და შედარება. აქედან გამომდინარე ჩვენ ავირჩიეთ ,,model 3’’.

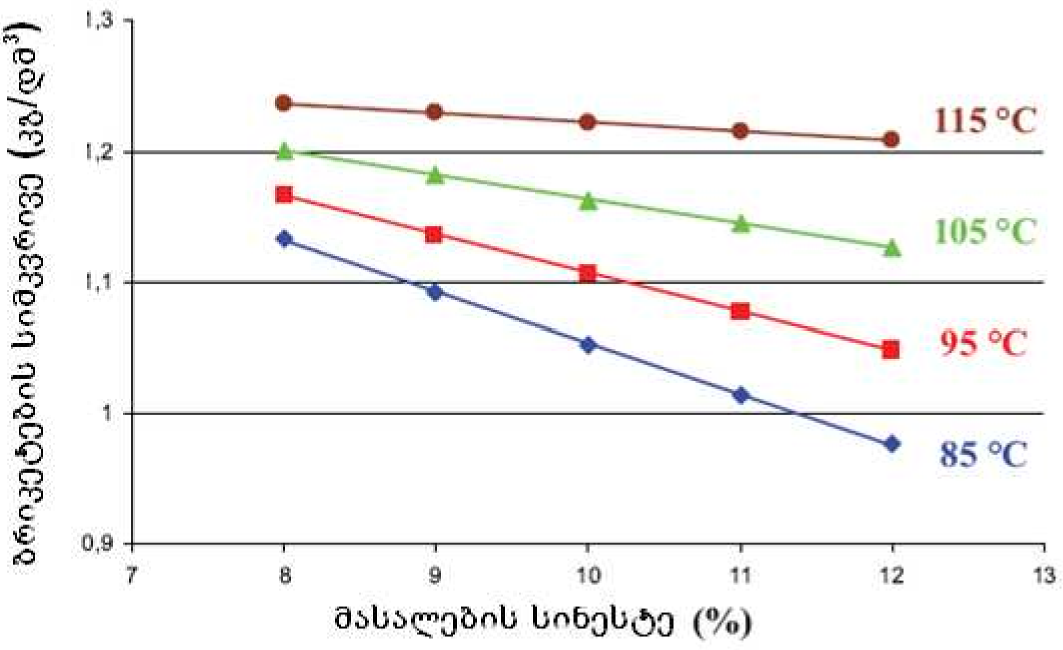
შემდეგი ნაბიჯი იყო უკან დაბრუნებული პარამეტრების გაანგარიშება ანუ შეფასება. ამის შეფასებისთვის ჩვენ გამოვიყენეთ აგრეთვე JMP 8 Software, ისევე, როგორც მატემატიკური მოდელის საბოლოო სახის შესაქმნელად და გასაანგარიშებლად (იხ. ფორმულა):

$$\rho = e^{\begin{pmatrix} 4,98371-0,0261781.p-0,0410292.T-0,620594.w_r-0,015446.L+0,000228845.p.T+ \\ 0,0031851.p.w_r+0,00528717.T.w_r-0,0000273004.p.T.w_r \end{pmatrix}}$$

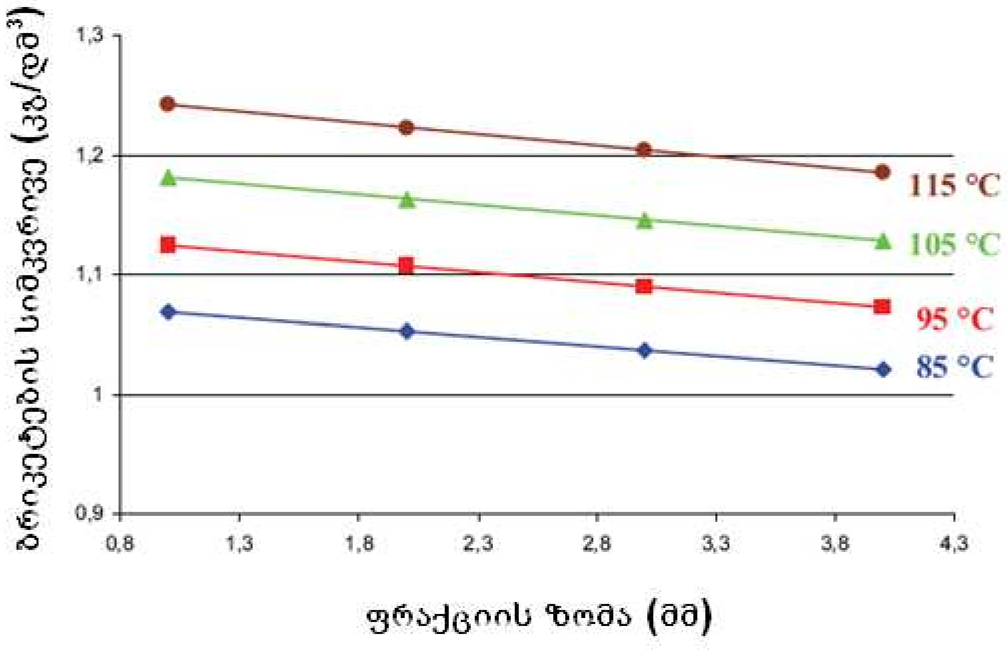
კგ/მ³



ნახ. 50 ბრიკეტის სიმკვრივის დამოკიდებულება დაწნეხვის წნევასთან სხვადასხვა დაწნეხვის ტემპერატურების დროს (w_r = 10%; L = 2 მმ)



ნახ. 51 ბრიკეტის სიმკვრივის დამოკიდებულება მასალების სინესტესთან სხვადასხვა დაწნეხის ტემპერატურის დროს (p = 155 მპა; L = 2 მმ)



ნახ. 52 ბრიკეტის სიმკვრივის დამოკიდებულება მასალების ფრაქციის ზომასთან სხვადასხვა დაწნეხის ტემპერატურის დროს

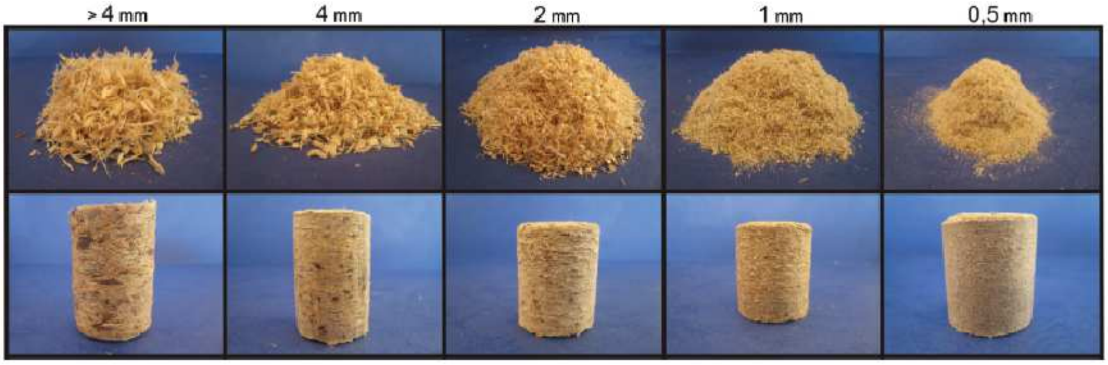
(w_r = 10%; p = 15,5 მპა;)

აღნიშნული მათემატიკური მოდელი გამოსახულია, უკან დაბრუნებული მონაცემების პარამეტრების მიხედვით. აღნიშნული მოდელი ვარგისია, მხოლოდ ხის ნახერხისთვის და მხოლოდ პარამეტრების საფეხურებისთვის ცხრილი 8 მიხედვით. ამ მოდელის საშუალებით, ჩვენ მივიღეთ ინსტრუმენტი, ბრიკეტის სიმკვრივის, დაწნეხვის ტემპერატურის, დაწნეხვის წნევის, მასალების სინესტის და ფრაქციის ზომის ეფექტურად და სწრაფად პროგნოზირებისთვის. აღნიშნული დამოკიდებულებები შექმნილი იქნა მათემატიკური მოდელის საშუალებით ხის ნახერხის ბრიკეტების ერთღერძიანი დაწნეხვისათვის.

დამოკიდებულებები, რომლებიც ნაჩვენებია ნახ. 50, 51 და 52 - ზე ადასტურებს, რომ დაკვირვებულ პარამეტრებს აქვთ მნიშვნელოვანი გავლენა ბრიკეტის საბოლოო ხარისხზე დაწნეხის პროცესისას. ნახ. 50 - ზე ჩვენ შეგვიძლია დავინახოთ, რომ ბრიკეტის სიმკვრივე იზრდება დაწნეხის ტემპერატურის და დაწნეხვის წნევის ზრდასთან ერთად. დაბალი ტემპერატურის შემთხვევაში ჩვენ გვჭირდება უფრო მაღალი დამწნეხი წნევა, რათა მივიღოთ ბრიკეტი იგივე ხარისხით და პირიქით. მაგრამ უნდა აღინიშნოს რომ მაღალი ტემპერატურა უკეთესია ვიდრე მაღალი წნევა, ლიგნინის პლასტიფიკაციიდან გამომდინარე.

ნახ. 51 - ზე ჩვენ შეგვიძლია დავინახოთ, რომ ბრიკეტის სიმკვრივე იზრდება, როცა იზრდება დაწნეხვის ტემპერატურა და მცირდება მასალების სინესტე. მაღალი ტემპერატურა და დაბალი სინესტე, აგრეთვე კარგია ლიგნინის პლასტიფიკაციისთვის დაწნეხის პროცესში, რაც განაპირობებს მცირე ზომის ნაწილაკების უკეთეს შეერთებას. ნახ. 52 - ზე ნაჩვენებია, რომ ბრიკეტის სიმკვრივე იზრდება, როცა იზრდება დაწნეხვის ტემპერატურა და მცირდება მასალების ფრაქციის ზომა. ამ პარამეტრებით ჩვენ ვმოქმედებთ არა მარტო ბრიკეტის სიმკვრივეზე, არამედ მის სტაბილურობაზე, სიმაგრეზე და ატმოსფეროდან ტენის შთანთქმის თვისებაზე. ესენი არის ძალიან მნიშვნელოვანი ბრიკეტების ტრანსპორტირების, გადაზიდვის და შენახვის კუთხით. ნახ. 53 - ზე

ნაჩვენებია ნახერხის ბრიკეტის მაგალითები. სურათებზე ადვილად შესამჩნევია, რომ მასალების ფრაქციის ზომის შემცირებით ბრიკეტის ვიზუალური ხარისხი იზრდება.



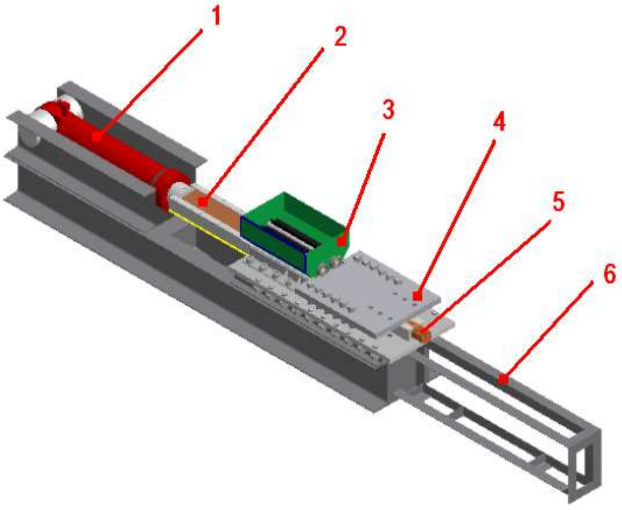
ნახ. 53 ბრიკეტის ვიზუალური ხარისხის დამოკიდებულება
ფრაქციის ზომასთან

ჩვენი ექსპერიმენტის მთავარი მიზანი იყო აღმოგვეჩინა და დავკვირვებოდით პარამეტრებს, რომლებიც ზეგავლენას ახდენენ ბრიკეტის სიმკვრივეზე - ხარისხზე. დაკვირვებებმა ცხადყო, რომ ბრიკეტების ხარისხზე ყველაზე მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს დაწნეხვის ტემპერატურა და მასალების სინესტე, ასევე ამ ორი პარამეტრის ურთიერთდამოკიდებულება. მათემატიკური და სტრუქტურული ინსტრუმენტების გამოყენებით ჩვენ შევძელით შეგვექმნა მათემატიკური მოდელი ხის ნახერხის ერთღერძიანი დაწნეხვისთვის.

2.8 უნივერსალური დამწნეხი მოწყობილობა ეკოლოგიურად სუფთა ბიოსაწვავის წარმოებისათვის

ყოველივე ზემოთ აღწერილი კვლევების საფუძველზე, ჩვენს მიერ გადაწყვეტილი იქნა შექმნილიყო უნივერსალური დამწნეხი მოწყობილობა, რომელიც გაითვალისწინებდა ყველა ზემოქმედებით ფაქტორებს მყარი ბიოსაწვავის ფორმირებისთვის.

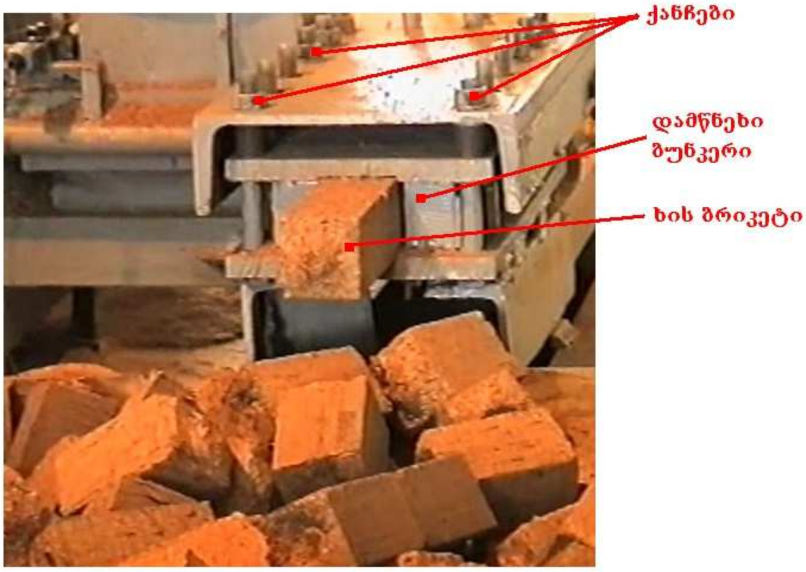
აღნიშნული მიზნით, ჩვენს მიერ შექმნილი იქნა მყარი ბიოსაწვავის 5 დამწნეხი მოწყობილობის (ნახ.54) ექსპერიმენტალური საცდელი მოდელი მეტალში, რათა თეორიული კვლევების შედეგები შემოწმებულიყო უშუალოდ მუშა დანადგარზე. პირველ ექსპერიმენტალურ მოდელს გააჩნდა ჰიდრავლიკური ამძრავი, ცილინდრი 1, დგუშით 2, ბუნკერი მასალებისათვის 3, დამწნეხი ბუნკერი 4 და ბრიკეტის გამომტანი ღარი 6.



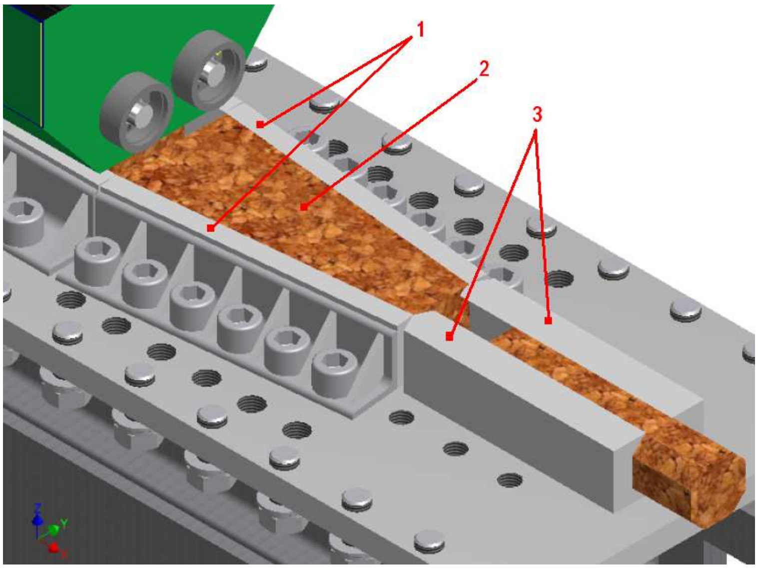
ნახ. 54 პირველი ექსპერიმენტალური დანადგარის ნიმუში

ნახ. 55 პირველი ექსპერიმენტალური დამწნეხი მოწყობილობა
მუშა პროცესისას

აღნიშნული მოდელი (ნახ. 55) წარმატებით იქნა გამოცდილი ხის ნახერხის ბრიკეტირების პროცესისას, მისი დამწნეხი ბუნკერი წარმოადგენდა ოთხკუთხედი განიკვეთის ფორმის ფოლადის პროფილებში მოქცეულ სხეულს (ნახ. 56), რომლის რეგულირება ხორციელდებოდა დამჭიმავი ქანჩების საშუალებით.



ნახ. 56 დამწნეხი მოწყობილობა ოთხკუთხა განიკვეთის
დამწნეხი ბუნკერით



ნახ. 57 დამწნეხი ბუნკერის ხედი

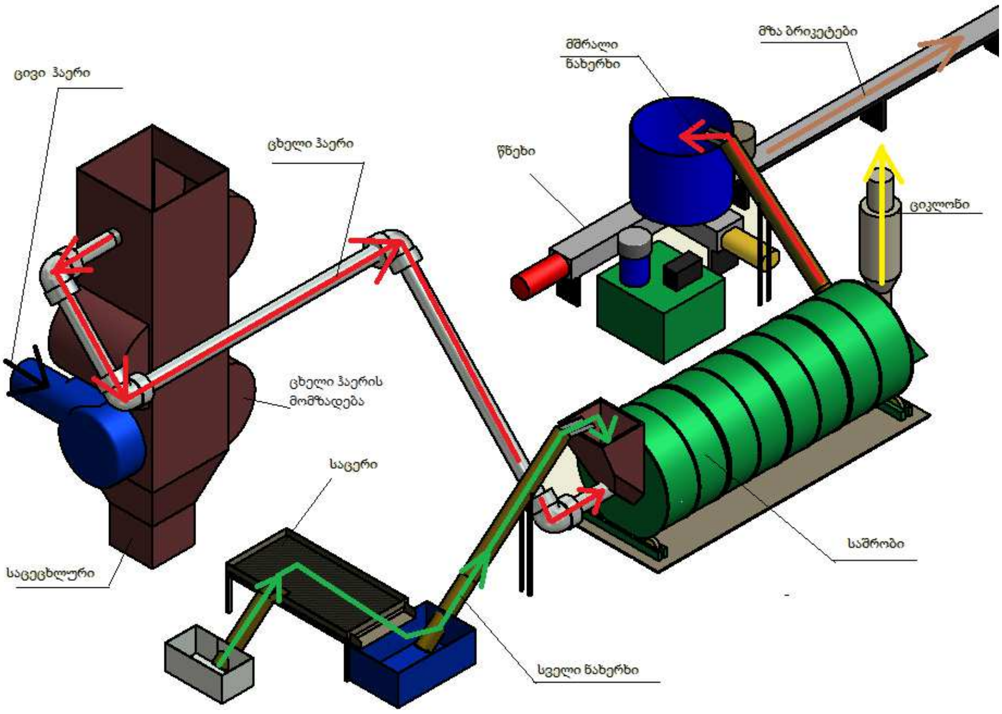
დამწნეხ ბუნკერში (ნახ. 57) მოხვედრილი ხის 10-12 % სინესტის მქონე ნახერხი 2, ბუნკერის კონუსური ნაწილიდან 1, დგუშის საშუალებით წაინაცვლებდა დამწნეხი ბუნკერის დამფორმებელი ნაწილისკენ 3, რის დროსაც ნახერხზე მოქმედი მრავალღერძიანი დაწნევა, როგორც ეს აღწერილი იქნა ბუნკერის გეომეტრიების შესწავლისას ზემო თავში, მოქმედებდა ფხვიერ მასალაზე და ახდენდა მის გადანაცვლებას უკვე დამფორმებელი 3 ნაკვეთურისკენ. ბრიკეტირების დროს მოცულობის მკვეთრი შემცირება (ნახერხის მოძრაობა კონუსური ნაწილიდან დამფორმებელი ნაწილისკენ) აღძრავდა ხახუნის და წინააღმდეგობის ძალებს, რის შედეგადაც გამოთავისუფლებული ენერგია სითბოს სახით იწვევდა ხის ბოჭკოებიდან ლიგნინის გამოყოფას, რაც განაპირობებდა წარმოქმნილი ბრიკეტის შიგნით და ზედაპირზე ნაწილაკების ურთიერთ შეკავშირებას.

აღნიშნული კონსტრუქცია თავისი კონსტრუქციული თავისებურებების გამო, კერძოდ, მაღალი მგრძნობიარობით დასაწნეხი მასალების გეომეტრიული მახასიათებლების ცვლილების მიმართ,

გამოირჩეოდა მაღალი მგრძნობიარობით, რის გამოც საჭიროებდა დამწნეხი ბუნკერის კონუსური ნაწილი კონსტრუქციის რეგულირებას დროდადრო, რაც თავისებურ სიძნელეებთან იყო დაკავშირებული. მაგალითად, თუ დასაწნეხი მასალის სინესტე ან ფრაქციის ზომა შეიცვლებოდა ბრიკეტირებისას, საჭირო ხდებოდა დამწნეხი ბუნკერის კონუსური ნაწილის კუთხის გაზრდა მრავალღერძიანი დაწნეხვის წინააღმდეგობის ძალების შემცირებისათვის, რათა დამწნეხ დგუშს მოეხდინა ბრიკეტირებული ნახერხის გადაადგილება დამწნეხი ბუნკერის დამფორმებელი ნაკვეთურისკენ. მაგრამ, თუ, იგივე მიზეზებით (დასაწნეხი მასალების პარამეტრების ცვლილება), საჭირო ხდებოდა დამწნეხი ბუნკერის კონუსური ნაწილის კუთხეების შემცირება, აღნიშნული შეუძლებელი ხდებოდა მასში მჭიდროდ დაჭირხნილი ნახევრად ჩამოყალიბებული ბრიკეტის გამო, რადგან ჩამოყალიბებული ბრიკეტი შეუძლებელს ხდიდა კუთხეების შემცირებას, რის გამოც საჭირო ხდებოდა მთლიანი დამწნეხი ბუნკერის გამოტვირთვა, და კუთხეების დარეგულირება. აღნიშნული უარყოფითი მხარის გამო გართულებული იყო აღნიშნული დამწნეხ - მაბრიკეტირებელი მოწყობილობის ექსპულატაცია.

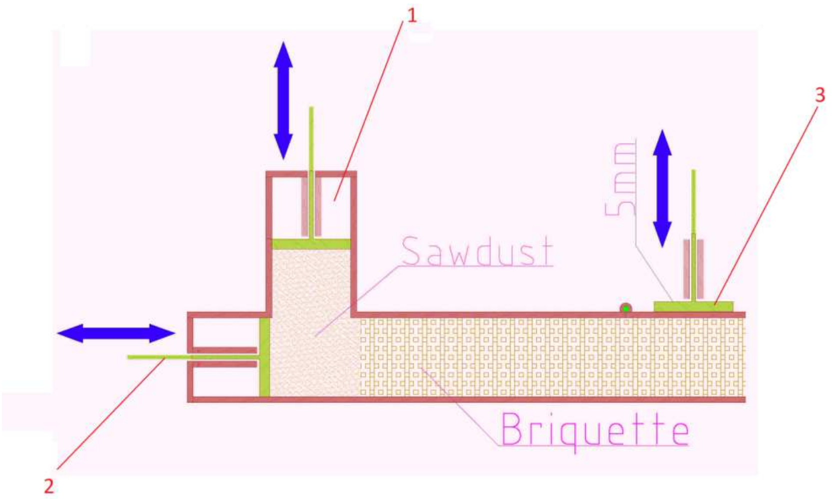
მიუხედავად იმისა, რომ აღნიშნული მოვლენა ატარებდა იშვიათ ხასიათს, იმის გამო, რომ ბრიკეტირების ტექნოლოგიური პროცესი (ნახ. 58 და 59) მიმდინარეობდა ჩვენს მიერ შემუშავებული სრული ტექნოლოგიური ციკლით (ნახერხის მიღება, ნახერხის დახარისხება - სეპარაცია, ნახერხის ტენიანობის განსაზღვრა, ნახერხის შრობა 10 – 12 % და შემდგომ ბრიკეტირება) საჭიროდ ჩავთვალეთ და გავაუმჯობესეთ წნეხის კონსტრუქცია ისე, რომ იგი სრულიად დამოუკიდებელი გახდა დასაწნეხი ბიომასალების ძირითადი ფიზიკური და გეომეტრიული ფაქტორების ზეგავლენისგან.

ნახ. 58 საშრობიდან გამოსული დასაწნეხი მასალების მახასიათებლების შემოწმება



ნახ. 59 ბრიკეტის სრული ტექნოლოგიური ხაზის სქემა

ზემოთაღწერილი კვლევების საფუძველზე ჩვენს მიერ მოხდა დამწნეხი მოწყობილობის კონსტრუქციის გაუმჯობესება, რის საფუძველზეც ჩვენ მივიღეთ დამწნეხი მოწყობილობა დამატებითი დგუშით 3, რომელიც დამწნეხი ბუნკერის დამატებას წარმოადგენს (ნახ. 60):



ნახ. 60 დამწნეხი მოწყობილობის სქემა დამატებითი დგუშით

სქემაზე (ნახ. 60) პირობითად ნაჩვენებია დამწნეხი მოწყობილობა, რომელსაც გააჩნია მასალების შემომტანი დგუში 1, მთავარი დამწნეხი დგუში 2 და დამწნეხი ბუნკერის ბოლოში, ერთ-ერთ მოძრავ კედელზე დამწოლი დგუში 3, რომელიც ემსახურება დამწნეხ ბუნკერში სასურველი წინააღმდეგობის ძალების შექმნას, რაც ერთ-ერთი საფუძველია ხარისხიანი ბრიკეტის ჩამოსაყალიბებლად.

აღნიშნული დამატებითი ცილინდრის დანიშნულება შემდეგში მდგომარეობს:

როგორც ჩვენმა კვლევებმა აჩვენეს, რომ ხის ნახერხის ბრიკეტირებისას, საჭირო დამწნეხი ძალა მერყეობა P=14÷18 მპა ფარგლებში, მაშასადამე, რომ მივიღოთ აღნიშნული დაწნეხვის ძალები ნახერხის ნაწილაკებზე უნდა შევქმნათ მისი ტოლი ან მცირედით უფრო ნაკლები საწინააღმდეგო დაწნევა დამწნეხი ბუნკერის არეში. იმისათვის, რომ აღნიშნული საწინააღმდეგო ძალების რეგულირება შეგვძლებოდა წინა ექსპერიმენტალურ დამწნეხის კონსტრუქციაში, გვიწევდა დამწნეხი ბუნკერის კონუსური ნაწილის კუთხეების ცვლილება, რათა შეგვენარჩუნებინა დამწნეხი ცილინდრის დგუშის მიერ განვითარებული წნევის საპირისპირო წნევა დამწნეხ ბუნკერში. ახალი კონსტრუქციის შემთხვევაში კი აღნიშნული საწინააღმდეგო ძალის სიდიდეს დამატებითი

დამწნეხი ცილინდრი 3 განაპირობებს. იგი განთავსებულია დამწნეხი ბუნკერის ბოლოში დამწნეხი ბუნკერის ერთ-ერთი, ჩვენ შემთხვევაში ზემოთა სახსრულად მოძრავი კედლის თავზე. ჩვეულებრივ მდგომარეობაში ცილინდრის დგუში 3 აწვება კედელს და არ აძლევს საშუალებას ბრიკეტს დატოვოს დამწნეხი ბუნკერი, მანამ, სანამ ცილინდრის დგუშის 2 დაწნევის ძალა არ მიაღწევს დასაწნეხი მასალის ოპტიმალური დაწნეხვისათვის საჭირო სიდიდეს. აღნიშნული დამატებითი ცილინდრის დგუშის საშუალებით, ასევე შეგვიძლია ვარეგულიროთ დაწნეხვის დაყოვნების დრო, რომლის რეგულირება საშუალებას გვაძლევს ბრიკეტის ხარისხზე მოქმედი ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პარამეტრის - დაწნეხვის ტემპერატურის საშუალებით ვიმოქმედოთ ხის ბოჭკოებში არსებული შემაკავშირებელი ნივთიერების - ლიგნინის გამოყოფაზე, რაც განაპირობებს დაწნეხილი ბრიკეტის ზედაპირის მკვრივი არაჰიგროსკოპიული შრით დაფარვას. ანუ იმისათვის, რომ გავზარდოთ დაწნეხვის ე.წ. დაყოვნების დრო საჭიროა დგუშის 3 დაწნევის ძალის P_v სიდიდე აღემატებოდეს დამწნეხი ცილინდრის დგუშის 2 დაწნევის ძალის P_s სიდიდეს ($P_v \geq P_s$).

წარმოქმნილი არაჰიგროსკოპიული შრე ბრიკეტის ზედაპირზე გარანტიაა იმისა, რომ ბრიკეტების შენახვისას არ მოხდება ატმოსფეროში არსებული ტენის შთანთქმა, არ ექნება მტვერის წარმოქმნას ადგილი ბრიკეტების ტრანსპორტირებისას, თუ გადაზიდვისას, რაც შეიძლება უხერხულობის (ბრიკეტის დაშლა ტენის გამო, მტვერი და ა.შ.) გამომწვევი იყოს მომხმარებლისთვის, ამასთან, როგორც ცნობილია ნებისმიერი მტვერი და მცირე ნაწილაკები ძალიან ცუდად მოქმედებენ ადამიანთა სასუნთქ ორგანოებზე.

როდესაც მიღწეული იქნება სასურველი დაწნეხვის წნევა, ხდება მესამე დამწნეხი ცილინდრის დაწნეხვის ძალის P_v მოხსნა დამწნეხი ბუნკერის მოძრავი კედლიდან, რის შემდეგაც დაწნეხილი და დაფორმებული ბრიკეტი იმის გამო, რომ იმყოფება დაძაბულობის ქვეშ,

ინერციით გადაინაცვლებს დამწნეხი ბუნკერის გამოსასვლელისკენ, სადაც ხდება მისი გაგრილება. გაგრილებული ბრიკეტები იჭრება ოპტიმალურად წვისათვის განსაზღვრულ სიგრძეზე, როგორც ეს გამოკვლეული იქნა ზემოთ და იფუთება ტომრებში (ნახ. 61). ამის შემდეგ მყარი ბიოსაწვავი ხის ნახერხის ბრიკეტების სახით მზადაა გამოყენებისათვის.

ნახ. 61 ტომარაში დაფასოებული ხის ნახერხის ბრიკეტები

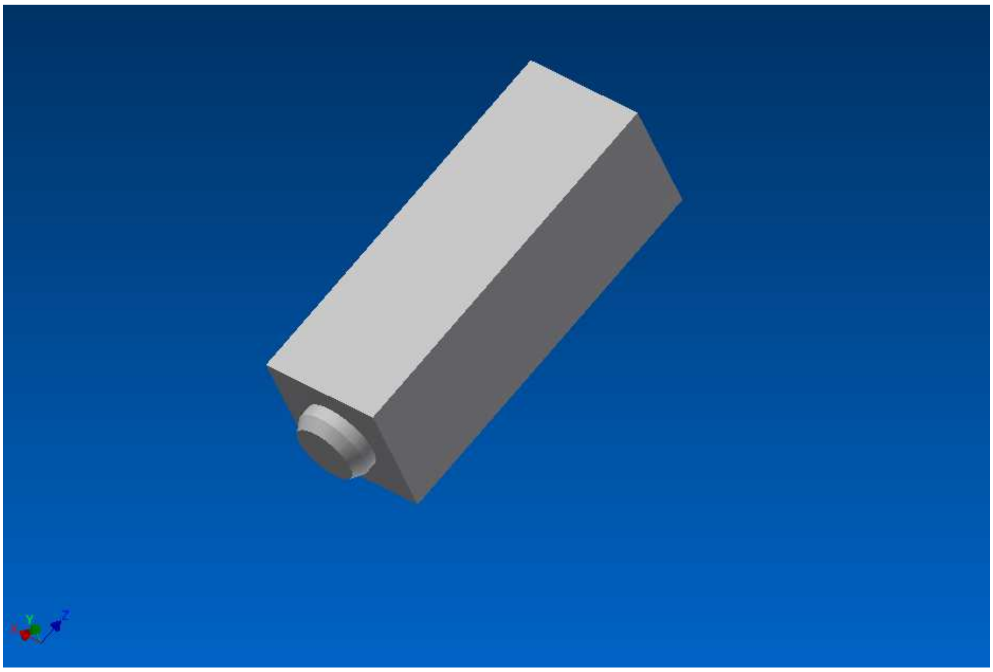
2.8.1 უნივერსალური დამწნეხი მოწყობილობის ძირითადი დეტალების კვლევა კომპიუტერული ანალიზის საშუალებით

იმისათვის, რომ შექმნილი დანადგარი ჩაითვალოს სრულყოფილად საჭიროა მთლიანად იქნას გაანალიზებული მისი მექანიკური გამძლეობა, ასევე ექსპულატაციისას მუშაობის უსაფრთხოება.

რადგან აღნიშნული დანადგარი უნდა მუშაობდეს მაღალი დაძაბულობის ძალების ქვეშ, აუცილებელ ამოცანას წარმოადგენდა დადგენილიყო ჩვენს მიერ შექმნილი დანადგარის საკვანძო დეტალების გამძლეობა.

ამ მიზნით ჩვენს მიერ გამოყენებული იქნა კიდევ ერთი მოწინავე კომპიუტერული ანალიზის პროგრამა Autodesk Inventor Professional 2013.

ჩვენს მიერ აღნიშნულის მიზნით შესწავლილი იქნა შექმნილი დანადგარის ყველა კრიტიკული დეტალი აღნიშნული პროგრამის გამოყენებით. ჩვენს მიერ ყველაზე კრიტიკულ დეტალად მიჩნეული იქნა: მასალების დამწნეხი დიდი ცილინდრის მუშა ორგანო - დგუში (ნახ. 62);



ნახა. 62 დამწნეხი მოწყობილობის დგუში

დაძაბულობების ანალიზის რეალიზაციისთვის, საჭიროა დეტალების მოდელებზე განისაზღვროს დატვირთვები.

მასალის, ძალების და წინააღმდეგობების განსაზღვრის შემდეგ შესაძლებელი ხდება დაძაბულობის ანალიზი საანალიზო პროგრამის საშუალებით. აღნიშნული პროგრამა საშუალებას გვაძლევს ვიზუალურად დავინახოთ მუშა ორგანოების მუშაობისას აღძრული ძალების მოქმედება და შევაფასოთ დეტალების გამძლეობა დაძაბულობების, დეფორმაციების მიმართ, ასევე განვსაზღვროთ დეტალების უსაფრთხოების ფაქტორი.

ქვემოთ მოცემულია აღნიშნული ანალიზისას გამოვლენილი შედეგები.

2.8.2 დაძაბულობის, დეფორმაციის და უსაფრთხოების ფაქტორის მონაცემების გაანგარიშება

Autodesk®

ცხრილი 12 დგუშის ფიზიკური თვისებები

მასალა	ფოლადი
სიმკვრივე	7,85 გ/სმ^3
მასა	13,7938 კგ
ზედაპირის ფართობი	98345,1 მმ^2
მოცულობა	1757170 მმ^3
სიმძიმის ცენტრი	x=2,69355 მმ y=28,2097 მმ z=120,377 მმ

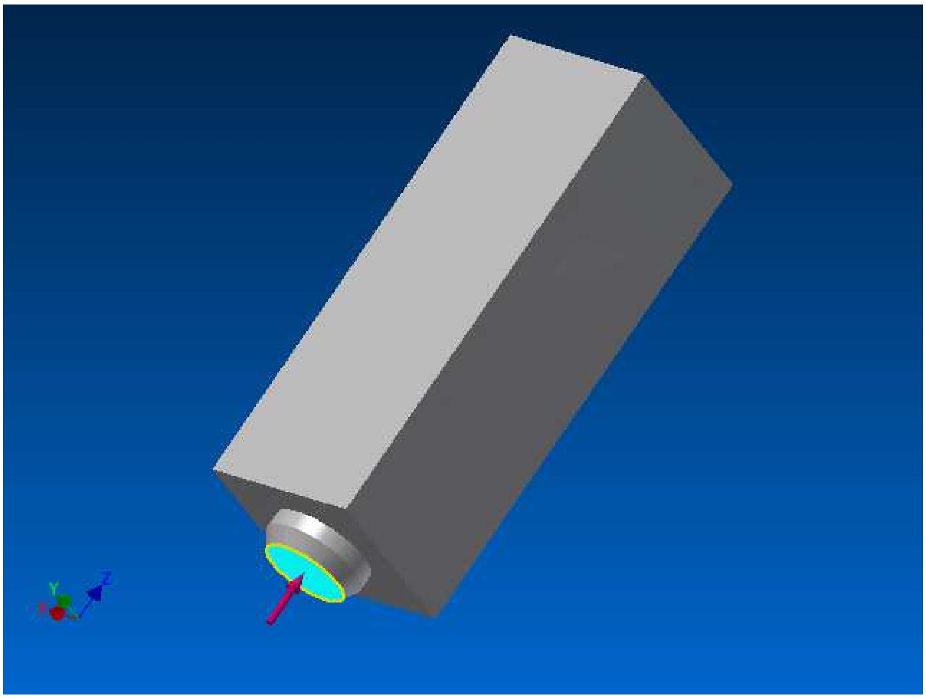
ცხრილი 13 დგუშის მასალა

სახელწოდება	ფოლადი	
ზოგადი მონაცემები	სიმკვრივე	7,85 გ/სმ^3
	დენადობის ზღვარი	207 მპა
	სიმტკიცის ზღვარი	345 მპა
დაძაბულობა	იუნგის მოდული	210 გპა
	პუასონის კოეფიციენტი	0,3
	ძვრის მოდული	80,7692 გპა
თბური დაძაბულობა	გაფართოების კოეფიციენტი	0,000012
	სითბოგამტარობა	56 ვტ/(მ. K)
	კუთრი სითბოტევადობა	460 ჯ/(კგ c)

ცხრილი 14 დგუშის მუშაობის პირობები

დატვირთვის ტიპი	ძალა
სიდიდე	300100,000 ნ
ვექტორი X	0,000 ნ
ვექტორი Y	0,000 ნ
ვექტორი Z	300100,000 ნ

არჩეული ზედაპირი

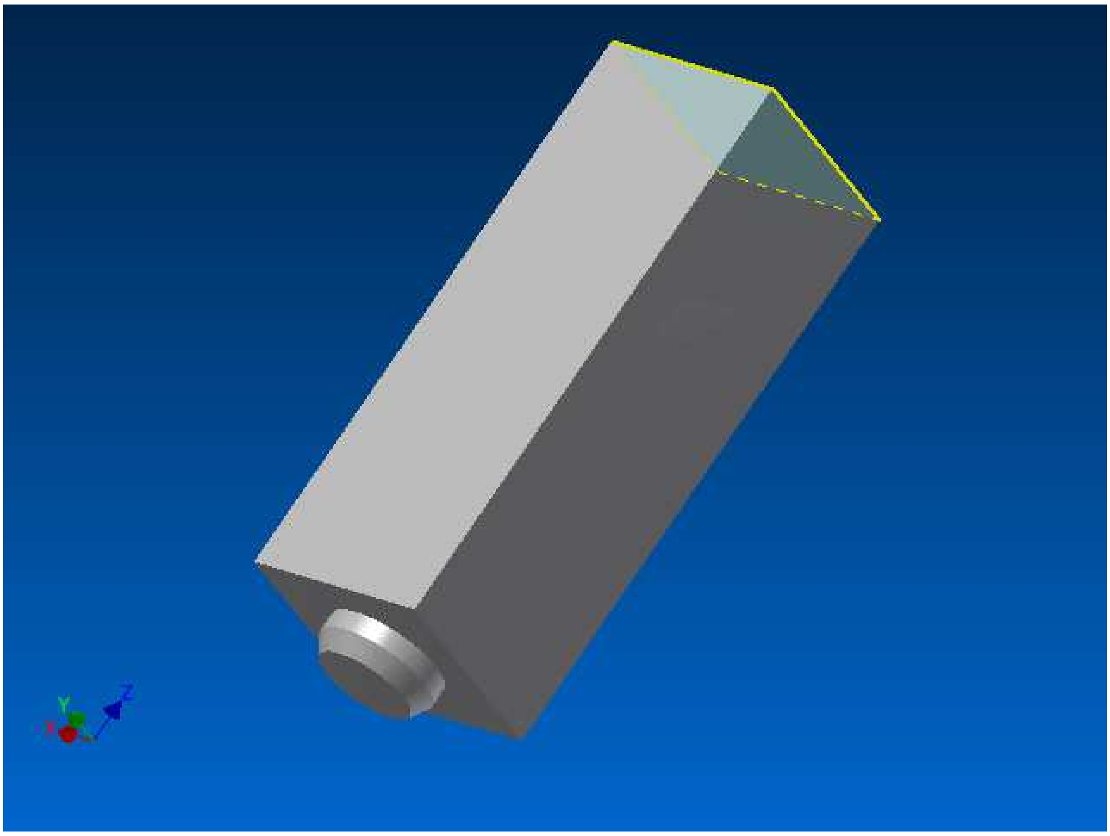


ნახ. 63 ძალის ზემოქმედების ზედაპირი

ფიქსირებული შეზღუდვა

შეზღუდვის ტიპი	ფიქსირებული შეზღუდვა

შერჩეული ზედაპირები



ნახ. 64 დგუშის მიერ დაწოლისას ფიქსირებული ზედაპირი

შედეგები

ცხრილი 15 ძალის მოქმედება ფიქსირებულ შეზღუდვაზე

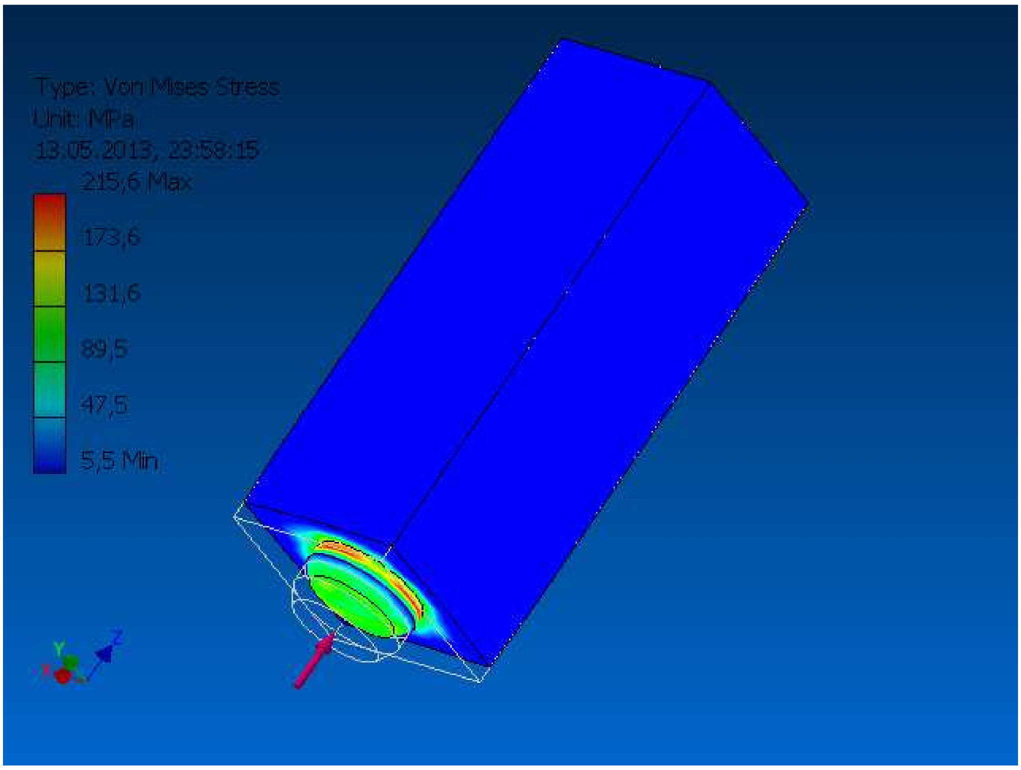
წინააღმდეგობის სახელწოდება	რეაქციის ძალები	
	სიდიდე	კომპონენტები (X,Y,Z)
ფიქსირებული წინააღმდეგობა	300100 ნ	0 ნ
		0 ნ
		-300100 ნ

ცხრილი 16 გრაფიკული ანალიზის შედეგების შეჯამება

დასახელება	მინიმუმი	მაქსიმუმი
მოცულობა	1757170 მმ³	
მასა	13,7938 კგ	
ექვივალენტური დაძაბულობა	5,48656 მპა	215,622 მპა
დეფორმაცია	0 მმ	0,0764253 მმ
უსაფრთხოების ფაქტორი	0,960012	15

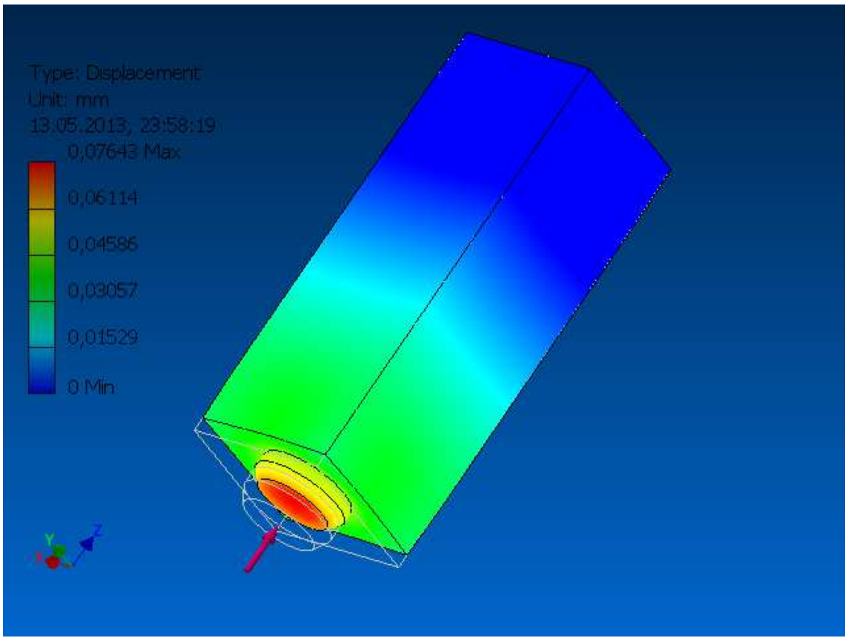
ნახაზები

Von Mises Stress - ექვივალენტური დაძაბულობა



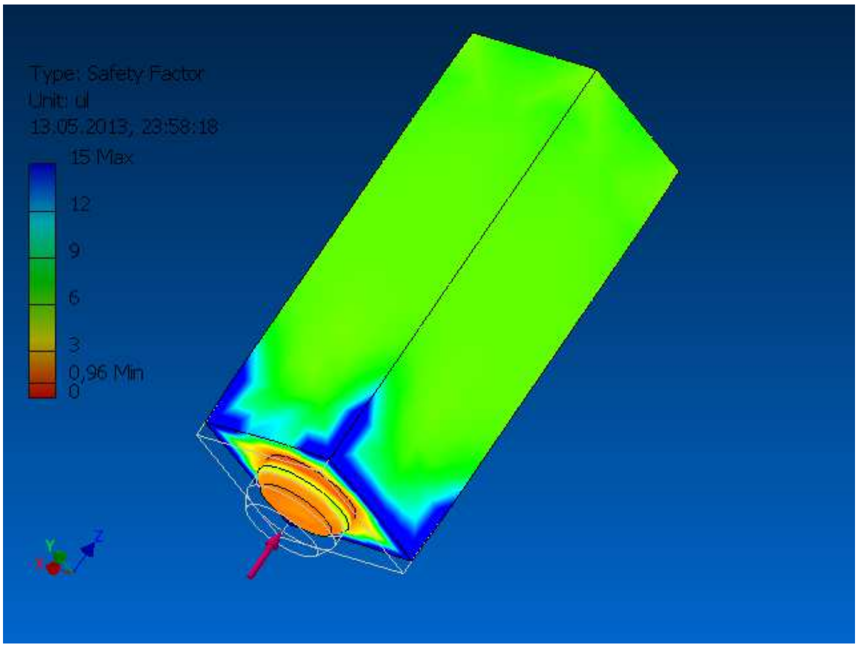
ნახ. 65 ექვივალენტური დაძაბულობა დგუშზე ბრიკეტის მოქმედებისას

დეფორმაცია



ნახ. 66 დგუშის დეფორმაცია ბრიკეტის მოქმედებისას

უსაფრთხოების ფაქტორი



ნახ. 67 უსაფრთხოების ფაქტორი ბრიკეტის მიერ დგუშის დაწოლისას

ცხრილი 17 დგუშის ფიზიკური თვისებები

მასალა	ფოლადი
სიმკვრივე	7,85 გ/სმ^3
მასა	13,7938 კგ
ფართობი	98345,1 მმ^2
მოცულობა	1757170 მმ^3
სიმძიმის ცენტრი	x=2,69355 მმ y=28,2097 მმ z=120,377 მმ

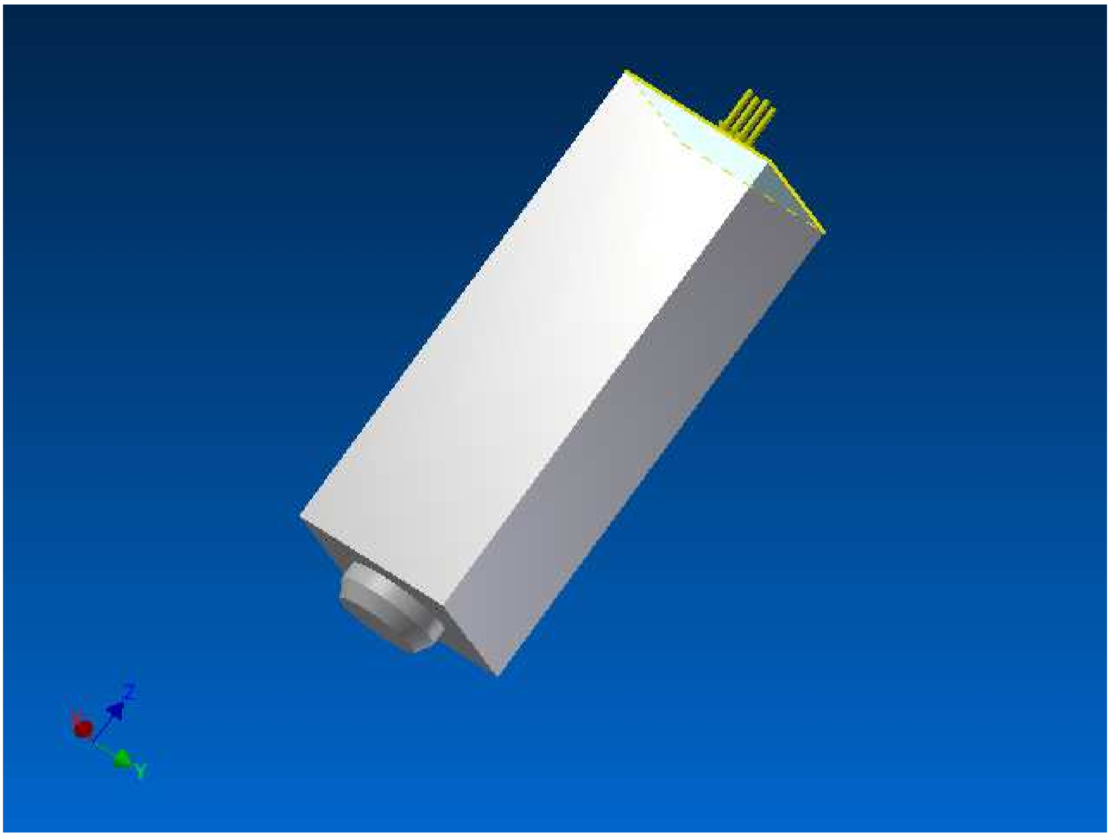
ცხრილი 18 დგუშის მასალა

დასახელება	ფოლადი	
ზოგადი მონაცემები	სიმკვრივე	7,85 გ/სმ^3
	დენადობის ზღვარი	207 მპა
	სიმტკიცის ზღვარი	345 მპა
დაძაბულობა	იუნგის მოდული	210 გპა
	პუასონის კოეფიციენტი	0,3
	ძვრის მოდული	80,7692 გპა
თბური დაძაბულობა	გაფართოების კოეფიციენტი	0,000012
	სითბოგამტარობა	56 ვტ/(მ K)
	კუთრი სითბოტევადობა	460 ჯ/(კგ c)

ცხრილი 19 დგუშის მუშაობის პირობები

დატვირთვის ტიპი	წნევა
სიდიდე	18.000 მპა

შერჩეული სახეები

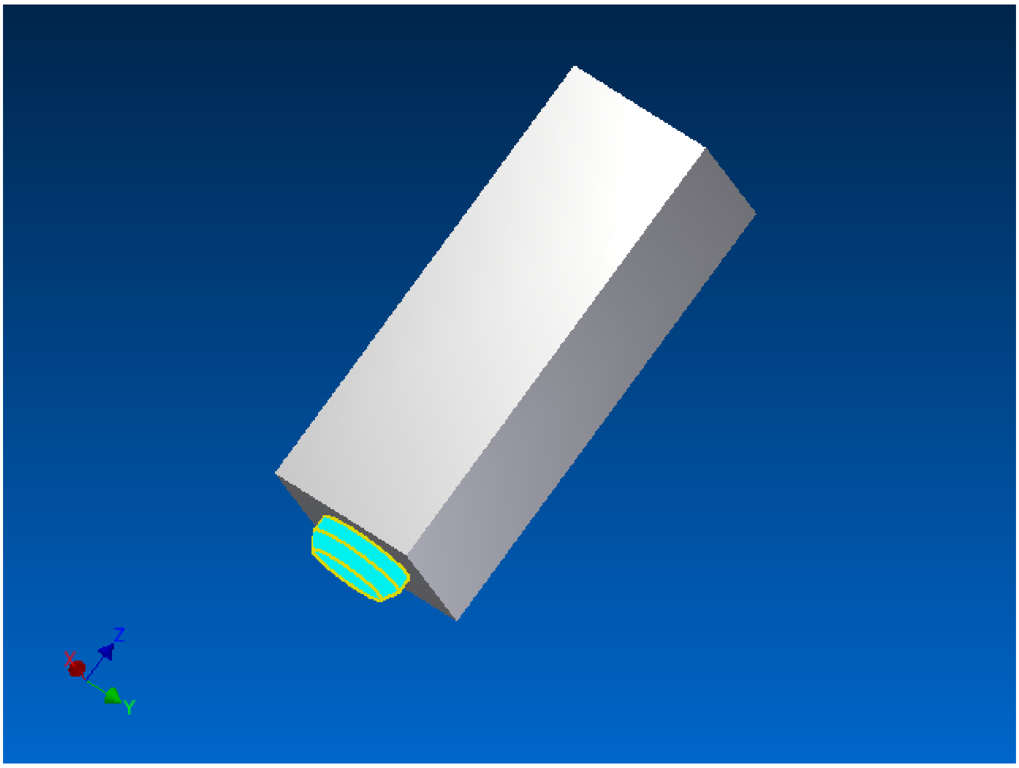


ნახ. 68 წნევის მოქმედება ზედაპირზე

ფიქსირებული წინააღმდეგობა

ფიქსირების ტიპი	უძრავი ფიქსირება

შერჩეული სახეები



ნახ. 69 წნევის მოქმედებისას დაფიქსირებული ზედაპირები

შედეგები

ცხრილი 20 ძალის მოქმედება ფიქსირებულ შეზღუდვაზე

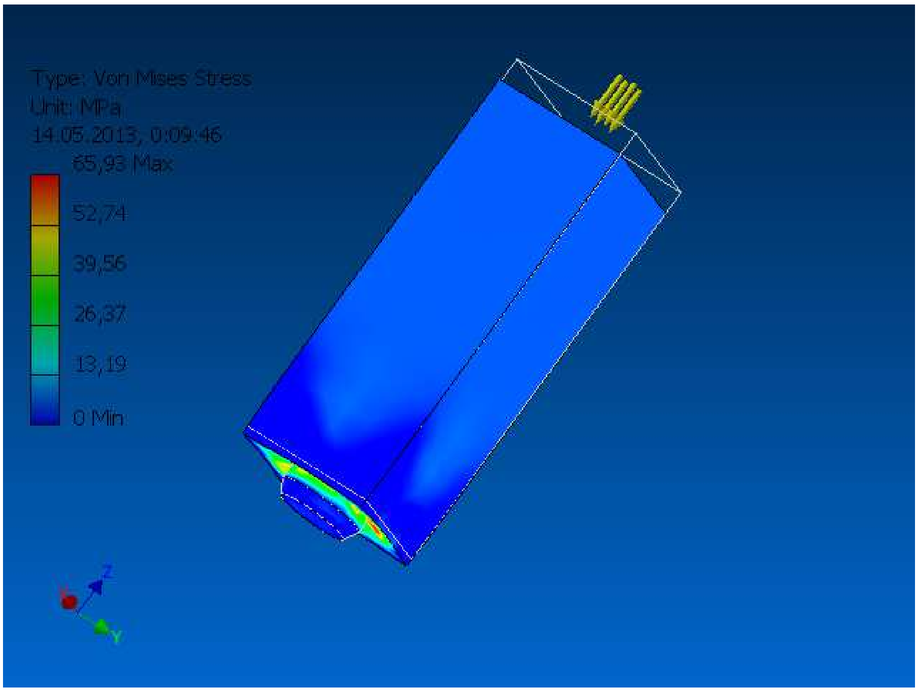
ფიქსირების სახელი	რეაქციის ძალები	
	სიდიდე	**Component (X,Y,Z)**
ფიქსირებული წინააღმდეგობა	126990 ნ	0 ნ
		0 ნ
		126990 ნ

ცხრილი 21 გრაფიკული ანალიზის შედეგების შეჯამება

დასახელება	მინიმუმი	მაქსიმუმი
მოცულობა	1757170 მმ³	
მასა	13,7938 კგ	
ექვივალენტური დაძაბულობა	0 მპა	65,931 მპა
დეფორმაცია	0 მმ	0,0255186 მმ
უსაფრთხოების ფაქტორი	3,13965	15

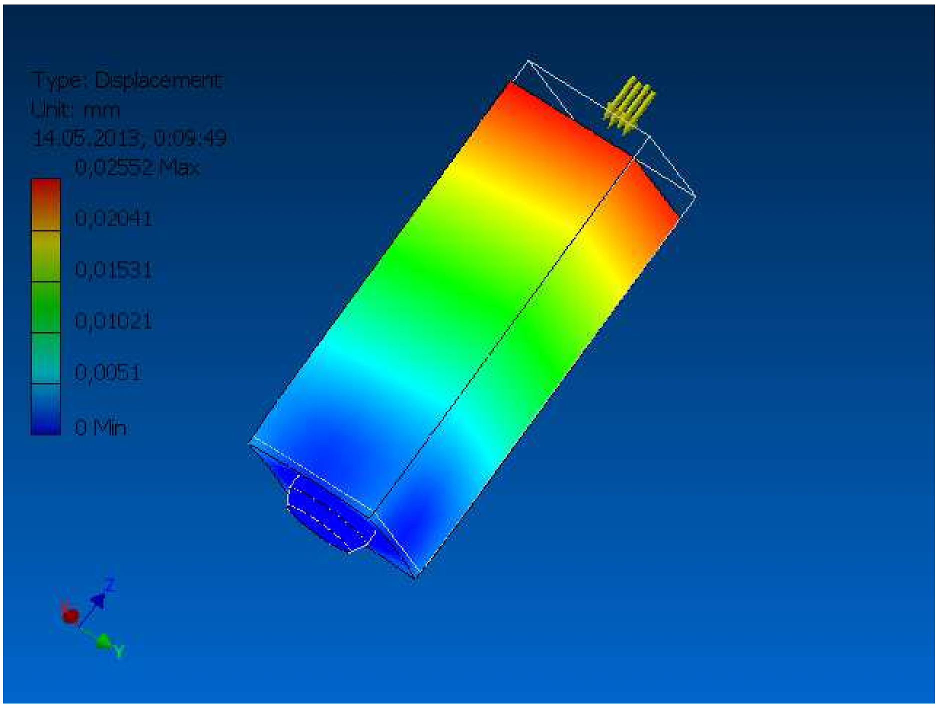
ნახაზები

Von Mises Stress - ექვივალენტური დაძაბულობა



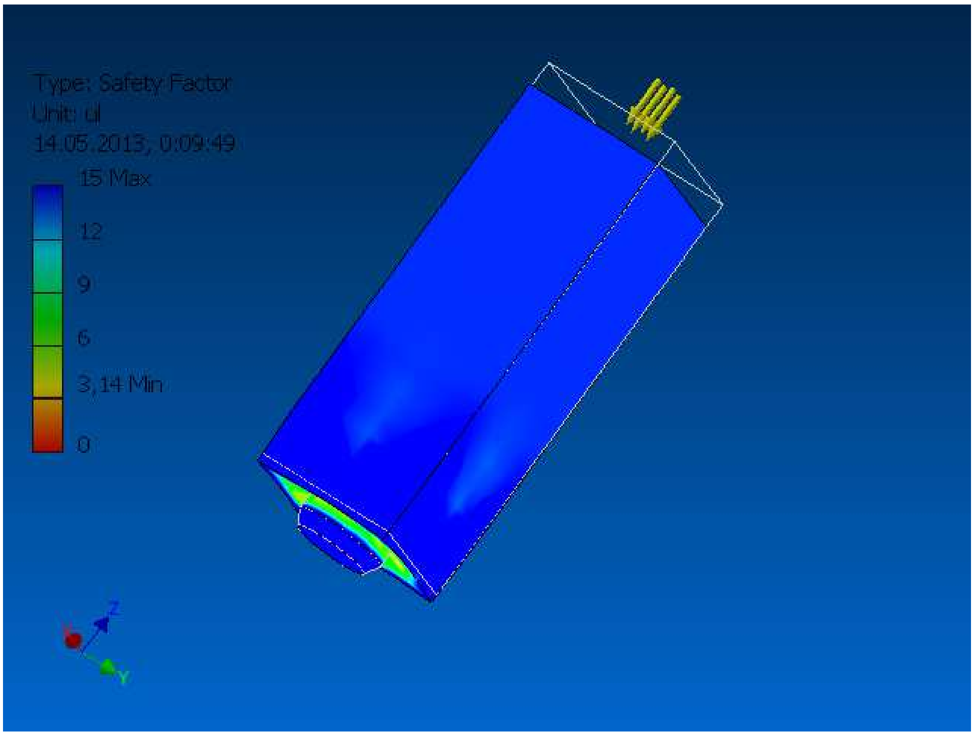
ნახ. 70 ექვივალენტური დაძაბულობა დგუშზე ბრიკეტის მოქმედებისას

დეფორმაცია



ნახ. 71 დგუშის დეფორმაცია ბრიკეტის მოქმედებისას

უსაფრთხოების ფაქტორი



ნახ. 72 უსაფრთხოების ფაქტორი ბრიკეტის მიერ დგუშის დაწოლისას

3. დასკვნა

ჩატარებული კვლევების საფუძველზე მიღებული შედეგები, შემდეგი ძირითადი დასკვნების გაკეთების საშუალებას გვაძლევს:

1. ეკოლოგიურად სუფთა მყარი ბიოსაწვავი - ბრიკეტების სახით წარმოადგენს მაღალი კალორიულობის მქონე ენერგო პროდუქტს, რომლის მიმართ მილევადი ენერგო რესურსების ფონზე მოთხოვნა ყოველწლიურად იზრდება, რაც საბოლოო ჯამში აღნიშნული საწვავის მიმართ მოთხოვნას კიდევ უფრო გაზრდის.

2. განსხვავებით ნავთობისგან, გაზისგან და ქვანახშირისგან ეკოლოგიურად სუფთა ბიოსაწვავის გამოყენება მისი წვის შედეგად გამოყოფილი ბევრად უფრო მცირე მავნე აირების (ნახშირორჟანგი, გოგირდი, ნახშირბადის მონოქსიდი და ა.შ) გამო მნიშვნელოვან ეფექტს იქონიებს ჩვენი ქვეყნის ეკოსისტემაზე, რაც საშუალებას მოგვცემს გავიუმჯობესოთ ეკოლოგიური პირობები და დავიცვათ ჩვენი ქვეყნის ფლორა და ფაუნა.

3. საქართველოს რეგიონებში სათბობად გამოყენებულ ტრადიციულ საწვავთან - შეშასთან შედარებით, ეკოლოგიურად სუფთა მყარი ბიოსაწვავის - ბრიკეტის ღირებულება გაცილებით ნაკლებია, მიუხედავად მისი მაღალკალორიულობისა.

4. ბრიკეტირების პროცესის მრავალჯერადი შესწავლის საფუძველზე მთლიანად მოხდა გაანალიზება ბრიკეტირებისას მიმდინარე პროცესების, რამაც საშუალება მოგვცა, მიგვეღწია ბრიკეტირების სასურველი ხარისხისთვის, რომელიც განსაზღვრულია საერთაშორისო სტანდარტებით.

ჩატარებული იქნა, მრავალჯერადი ცდები და კვლევები, მასალათა ბრიკეტირებისას პროცესზე მოქმედი ფაქტორების შესწავლისათვის, გაკეთებული იქნა შედარებითი კვლევები მანქანათა არსებული ტიპების

ქარხნული მონაცემების გათვალისწინებით, შესრულებული იქნა რამდენიმე ცდა დამწნეხი ბუნკერის გეომეტრიის შესწავლისთვის.

5. თანამედროვე ანალიზური მეთოდების გამოყენებამ, სიმულაციების და მათემატიკური მოდელების დახმარებით საშუალება მოგვცა მთლიანად შეგვესწავლა ბრიკეტირების ჰიდრავლიკურ დგუშიან მექანიზმებში მიმდინარე პროცესები, აღნიშნული მექანიზმების გეომეტრიული ნიუანსების გათვალისწინებით, ისევე, როგორც ბრიკეტირების დროს დასაწნეხი მასალების ფიზიკური - მექანიკური მახასიათებლების გათვალისწინებით სრულად მიგვეახლოებინა მათემატიკური მოდელის სტრუქტურა ბრიკეტირებისას მიმდინარე პროცესებთან. ექსპერიმენტალურ ლაბორატორიული ხელსაწყოების საშუალებით, სრულად მოხდა მათემატიკური მოდელირებით მიღებული შედეგების გადამოწმება და დასაბუთება.

6. ყველა აღნიშნული კვლევების საფუძველზე შექმნილი იქნა საწარმოო ექსპერიმენტალური დანადგარი, რაშიც გათვალისწინებული იქნა ექსპერიმენტებით მიღებული შედეგები. საწარმოო ექსპერიმენტალური დანადგარის ბაზაზე შესრულებული იქნა მისი კონსტრუქციული დახვეწის სამუშაოები, რის შედეგადაც მიღებული იქნა საიმედო კონსტრუქცია, რომლის მუშაობა მთლიანად უზრუნველყოფს ჩატარებული კვლევებისას აღმოჩენილი და გამოკვლეული ზემოქმედებითი ფაქტორების (სინესტე, დაწნეხვის წნევა, დაწნეხვის ტემპერატურა, ფრაქციის ზომა, ენდემურობა და ა.შ.) მიმართ სტაბილურობას, რაც აისახება ბრიკეტის საბოლოო ხარისხზე - სიმკვრივეზე.

7. კომპიუტერული გრაფიკული ანალიზის საშუალებით შესრულებული იქნა ჩვენს მიერ შექმნილი უნივერსალური დამწნეხი მოწყობილობის ძირითადი საკვანძო დეტალების კვლევა მათი მედდეგობის შესწავლის მიზნით, რის საფუძველზე დადასტურებული იქნა აღნიშნული დეტალების მედდეგობა და უსაფრთხოება, რაც ადასტურებს ჩვენს მიერ შექმნილი დამწნეხ - მაბრიკეტირებელი მოწყობილობის საიმედოობას.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. EVALUATION OF MEASURED DATA FROM RESEARCH OF PARAMETERS IMPACT ON FINAL BRIQUETTES DENSITY p. 327-334 2010

2. KRIŽAN Peter, (SK), ŠOOŠ Ľubomír, (SK), MATÚŠ Miloš, (SK), SVÁTEK Michal, (SK), VUKELIĆ, Djordje (SRB)

3. THE INFLUENCE OF THE SAWDUST BRIQUETTES GEOMETRIC PARAMETERS ON THE CONVERSION EFFICIENCY p. 306-311 2011

Teodora DEAC, V. ROS, F. MARIASIU, M. DEAC

4. Solid Biofuels for Energy A Lower Greenhouse Gas Alternative p. 21-34 2011

Panagiotis Grammelis Editor

5. EVALUATION OF BIOMASS COMPACTING MECHANISMS p. 179-184 2012

Edgars Repsa, Eriks Kronbergs, Mareks Smits

Latvia University of Agriculture

6. OPTIMALISATION OF BRIQUETTING MACHINE PRESSING CHAMBER GEOMETRY p. 20-24 2011

Peter KRIŽAN, Ľubomír ŠOOŠ, Miloš MATÚŠ

7. FEATURES OF BIO-BRIQUETTES PRESSING WITH THE PISTON BRIQUETTING PRESS p. 246-251 2010

Alexandru Muntean[1], Bohumil Havrland[2], Victor Pobedinsky[1], Tatiana Ivanova[2], Grigore Marian[1]

1) State Agrarian University of Moldova, Republic of Moldova

2) University of Life Sciences Prague, Czech Republic

8. BRIQUETTING MECHANISM ANALYSIS FOR SOLID BIOFUEL PRODUCTION p. 453-457 2011

Edgars Repsa, Eriks Kronbergs, Mareks Smits

Latvia University of Agriculture

9. Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes p. 964-974 2006

MichaeË l Temmermana[a], Fabienne Rabiera[a], Peter Daugbjerg Jensenb[b], Hans Hartmann[c], Thorsten BoËhm[c]

a Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W), 146, chaussee de Namur, B-5030, Gembloux, Belgium

b Forest & Landscape, The Royal Veterinary and Agricultural University, Rolighedsvej 23, DK-1958 Frederiksberg C, Denmark

c Technologie und Forderzentrum fur Nachwachsende Rohstoffe-TFZ, Schulgasse 18, D-94315 Straubing, Germany

10. HORRIGHS, W., Determining the dimensions of extrusion presses with parallel-wall die channel for the compaction and conveying of bulk solids, Aufbereitungs – Technik: Magazine, Duisburg, Germany, 1985, No.12.

11. KRIŽAN, P., Process of wood waste pressing and conception of presses construction, Dissertation work, FME SUT in Bratislava, Slovakia, July 2009, p.150

12. MATÚŠ, M.; KRIŽAN, P.: Influence of structural parameters in compacting process on quality of biomass pressings, APLIMAT - International Journal Applied Mathematics, ISSN 1337-6365, Vol. 3, No. 3 (2010), pp. 87-96

13. MATÚŠ, M.; KRIŽAN, P., ŠOOŠ, Ľ.; KOVÁČOVÁ, M.: Signification of pressing chamber geometry in realtion to the quality of high-grade solid bioafuel, Proceedings of Abstracts of International Conference ERIN 2010, 16.- 17.03.2010, Pilsen, Czech Republic, West-Czech
Univerisity in Pilsen, ISBN 978-80-7043-866-4, p. 53

14. VinterbaË ck J. Pellets 2002: the first conference on pellets. Biomass & Bioenergy 2004; 27:513–20.

15. Lehtikangas P. Storage effects on pelletised sawdust, logging residues and bark. Biomass and Bioenergy 2000; 19:287–93.

16. Technical Specification CEN/TS14588: solid biofuels—terminology, definitions and descriptions.

17. Obernberger I, Thek G. Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regards to their combustion behaviour. Biomass and Bioenergy 2004; 27:653–69.

18. Lequeux P, Carrer J, Herbert J, Lacrosse L, Schenkel Y. Energie et biomasse, la densification, Les presses agronomiques de Gembloux, Belgium, 1990, 188pp.

19. ŠOOŠ, Ľ.; KRIŽAN, P.: Analyze of forces interaction in pressing chamber of briquetting machine, Proocedings of the 11. International Conference TOP 2005, Častá - Papiernička, Slovakia, 29.06 01.07.2005, FME STU in Bratislava, ISBN 80-227- 2249-9, pp. 299-306.

20. BS EN 14774-2:2009: Solid biofuels Determination of moisture content – Oven dry method – Part 2: Total moisture – Simplified method.

21. Parikka M. (2004) Global biomass fuel resources. Biomass and Bioenergy, Volume 27, Issue 6,pp. 613 – 620.

22. Tumuluru J.S., Wright C.T., Kenney K.L.,Hess J.R. (2010) A Review on Biomass Densification Technologies for Energy Application. Prepared for the U.S. Department of E. Repsa et al. Evaluation of Biomass Compacting Mechanisms

23. Woodworking. Briquetting machine (2011) Information and inspiration for professional woodworkers. 10 November 2011, conditioning of the energy crop biomass compositions