

KARSTU GRAUDU PĒCKALTĒŠANA AR NOSTĀVINĀŠANU

COOLING OF HOT GRAIN BY SEASONING

J. Palabinskis

Lauksaimniecības tehnikas institūts, LLU
Institute of Agricultural Engineering, LLU

A. Āboltiņš

Matemātikas katedra, LLU
Department of Mathematics, LLU

Abstract. One of the main kinds of food for feeding people are goods of plant production, including grain products. Because of that for the sowing of grain in Latvia every year on the average are used 40-50 % of the total arable land area. During the last 10 years the total grain yield has changed from 693.7 thous. tons (1995) to 1621.9 thous. tons (1990). The average total yield during 1981-1985 was 1277 thous. tons. Practically all of the total yield must be dried because of the weather conditions. The study gives an experimental method and equipment for the analysis of moisture conveyance from wet, hot grain using grain cooling and seasoning. Seasoning helps to carry out of moisture from grain. Increase in the seasoning time promotes faster cooling of grain. Results show that seasoning time essentially influences grain cooling velocity and moisture conveyance (grain drying) due to the temperature gradient.

Key words: grain cooling, grain seasoning, grain temperature, moisture conveyance, consumption of energy, experimental method.

1. Ievads

Viens no galvenajiem pārtikas līdzekļiem cilvēka uzturā ir augkopības produkcijas izstrādājumi, t.sk. graudu izstrādājumi. Tāpēc Latvijā katru gadu tiek apsēti vidēji 40-50 % graudaugu no kopējās aramzemes platības. Pēdējo gadu kopievākums klēts svarā mainījies no 968.6 tūkst. tonnu 1996. gadā līdz 1621.9 tūkst. tonnu 1990. gadā. Vidējais kopievākums pēdējos 5 gados - 989.9 tūkst. tonnu. Meteoroloģisko apstākļu dēļ praktiski viss kopievākums ir jākaltē.

Pašreizējā laika periodā aptuveni 25 % graudu tiek izkaltēti ar aktīvo vēdināšanu un vairāk nekā 80 % graudu tiek aktīvi vēdināti pirms un pēc to kaltēšanas konvektīvajās kaltēs. Tāpēc aktīvā vēdināšana kā kaltēšanas paņēmieni ieņēma un arī ieņems vienu no galvenajām vietām graudu kaltēšanā. Ar aktīvo vēdināšanu iespējams izkaltēt graudus, sāisināt to pēcbrieduma periodu, paaugstināt dīgtspēju un uzlabot graudu kā pārtikas produktu kvalitatīvās īpašības.

Pēckaltēšana - graudos akumulētā siltuma racionāla izmantošana mitruma iznesē graudu atdzesēšanas procesā. Svarīgi noskaidrot, kā pēckaltēšanas procesā nostāvināšanas un atdzesēšanas režīmu maiņa ietekmē karstu graudu atdzišanu. Ar pēckaltēšanu saprotam karstu graudu vēdināšanu ar atmosfēras gaisu. Karstu graudu pēckaltēšana bez nostāvināšanas apskatīta A. Āboltiņa u. c. darbos (1993., 1995. g.).

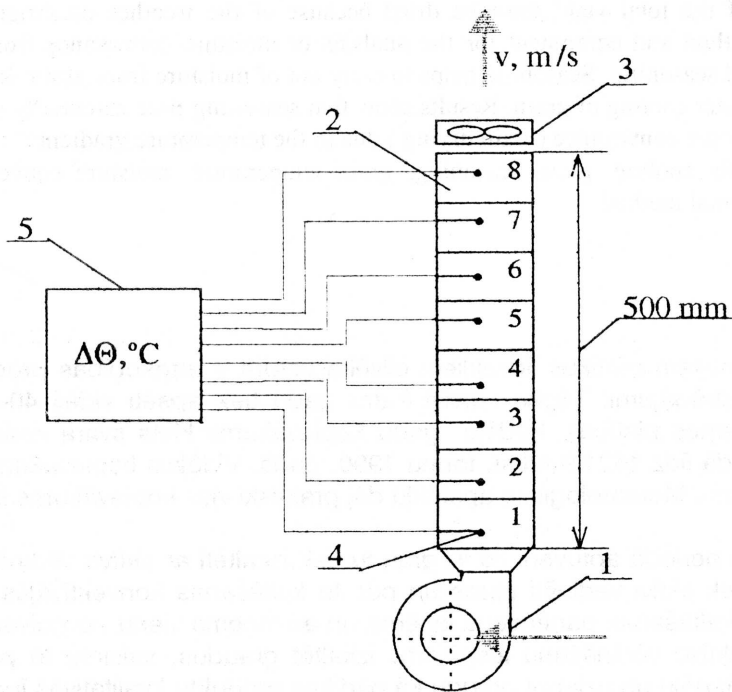
2. Eksperimentālā iekārta un pētījumu metodika

Eksperimentālo pētījumu mērķis - gūt priekšstatu par karstu graudu atdzišanas dinamiku un mitruma iznesi. Eksperimentālos pētījumos jānoskaidro, kāda sakarība pastāv starp karstu

graudu atdzišanas dinamiku un graudu mitruma iznesi, kā racionālāk izmantot graudos akumulēto siltumu, tos pēckaltējot ar aktīvo vēdināšanu.

Laboratorijas iekārta un pētījumu metodika. Pētījumi notika laboratorijā ar mitriem, karsētiem graudiem. Eksperimentālās iekārtas principiālā shēma parādīta 1. attēlā. Karsētie graudi sabērti kasetēs (2), kuru ietilpība ir 300 gr. graudu. Kopējais kasešu augstums un līdz ar to arī graudu slāņa biezums - 500 mm. Ventilators (1) vēdināja graudus pūšot. No graudu slāņa izplūstošā gaisa ātrums mērīts ar "B" tipa lāpstiņu anemometru (3). Graudu temperatūra kasetēs tika reģistrēta ar elektrisko potenciometru EPP - 09MZ.

Graudi tika uzkaršēti speciāli uzbūvētā trumuļa tipa kaltē pēc iespējas tuvāk pieļaujamajai graudu sakaršanas temperatūrai. Pēc tam karstos graudus sabēra kasetēs, katru kaseti nosvēra ar svariem VLKT-500g-M, kuru svēršanas precizitāte 0.01 grams un novietoja uz ventilatora. Kasetēs iebērtu graudu slāņa augstums bija 500 mm, kas atbilst Latvijā izplatītākā apcirkņa S-50V67 elementārā graudu slāņa augstumam. Graudu temperatūras reģistrācijai katrā kasetē atradās termosensori (termopāri), kuri nepārtraukti reģistrēja graudu temperatūru līdz to atdzišanai. Graudu mitruma noteikšanai, atbilstoši standartā noteiktajai metodikai (ГОСТ 12041, 1982), tika ņemti graudu paraugi pirms atdzišanas sākuma, kā arī pēc katra no atdzišanas cikliem. Izplūstošā gaisa ātrums no graudu slāņa $v=0.1$ m/s.



1. att. Eksperimentālās iekārtas principiālā shēma:

1 - ventilators, 2 - kasetes ar graudiem, 3 - anemometrs, 4 - termosensors,
5 - elektriskais potenciometrs EPP-09MZ.

Fig. 1. Principal scheme of the experimental equipment: 1 - fan, 2 - cassettes with grain,
3 - anemometer, 4 - thermosensor, 5 - electric potentiometer EPP -09 Mz.

Karsto graudu parametri:

- sākuma temperatūra $\Theta_s = 36.5-55$ °C;
- sākuma mitrums $W_s = 15.1-21.2$ %.

Pēckaltēšana notika ar sekojošiem laika parametriem:

- atdzišanas laiks $t_a = 4; 8$ min;
- nostāvināšanas laiks $t_n = 20; 30$ min;

un vēdināmā gaisa parametriem:

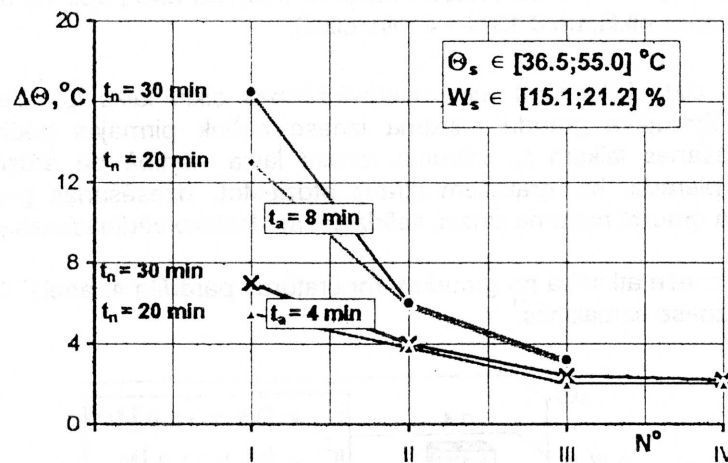
- relatīvais mitrums $\varphi = 59-64 \%$;
- temperatūra $T = 18.8-25.4 \text{ }^\circ\text{C}$;
- gaisa ātrums graudu slānī $v = 0.1 \text{ m/s}$.

3. Eksperimentu rezultāti

3.1. Graudu atdzišana

Atdzišanas ciklu skaits atkarīgs no graudu sākuma temperatūras Θ_s , atdzišanas laika t_a un nostāvināšanas laika t_n . Eksperimenti sākās ar nostāvināšanu un turpinājās ar atdzišanas un nostāvināšanas periodisku maiņu.

Graudu temperatūras izmaiņas $\Delta\Theta$ pa atdzišanas cikliem parādītas 2. attēlā. Visstraujākā graudu atdzišana notiek pirmajā atdzišanas ciklā. Pirmais atdzišanas cikls 1.5-3 reizes efektīvāks par otro. Pēc III un IV atdzišanas cikla graudu temperatūra praktiski sasniedza apkārtējās vides temperatūru. Starp atdzišanas cikliem notika nostāvināšanas cikli, kuru laikā notika dabīgā graudu atdzišana un mitruma izlīdzināšanās graudos. Graudu nostāvināšana paātrina graudu straujāku atdzišanu, sakarā ar temperatūras izlīdzināšanos katrā atsevišķā graudā, nostāvināšanas laikā.



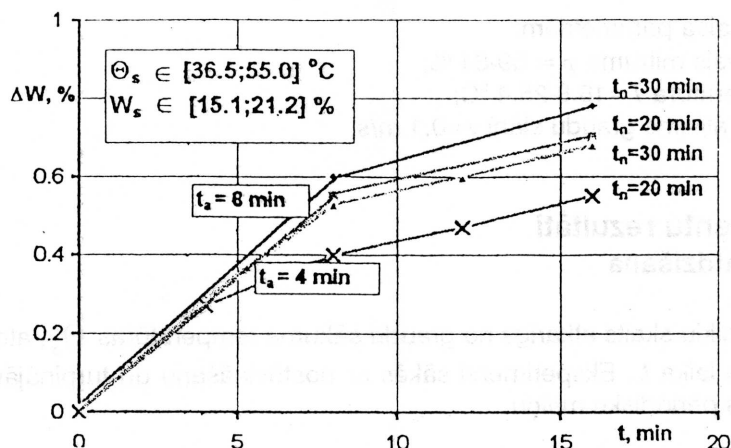
2. att. Graudu temperatūras izmaiņas $\Delta\Theta$ pa atdzišanas cikliem atkarībā no cikla laika t_a , I, II, III, IV - atdzišanas ciklu kārtas Nr.

Fig. 2. Changes of grain temperature $\Delta\Theta$ according to the cooling cycles depending on the time of the cycle t_a , I, II, III, IV - Nr of cooling cycles.

Samazinoties graudu temperatūrai, nostāvināšanas efektivitāte krītas un būtiski neietekmē graudu atdzišanas dinamiku.

3.2. Mitruma iznese

Karstu graudu sākuma mitrums bija 15.1 līdz 21.2 %. Graudu mitruma iznese parādīta 3. attēlā. Graudu mitruma iznese pieaug, palielinoties atdzišanas un nostāvināšanas laikam.



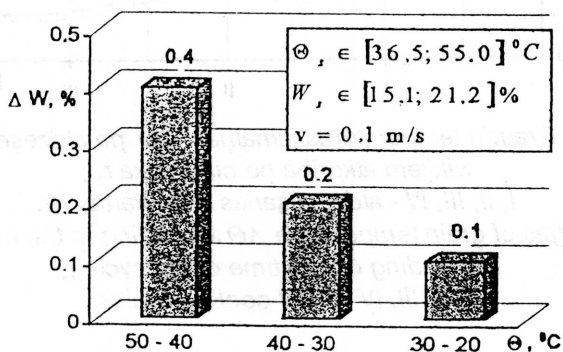
3. att. Graudu mitruma iznese ΔW atdzesējot ar atdzesēšanas laiku t_a un nostāvināšanas laiku t_n .

Fig. 3. Grain moisture conveyance ΔW cooling with ventilation time t_a and seasoning t_n .

Būtiskāku ietekmi uz graudu mitruma iznesi ΔW nostāvināšanas laiks t_n atstāj pie lielākiem summārajiem atdzesēšanas cikla laikiem t_a . Jo ilgāks nostāvināšanas laiks, jo lielāka mitruma iznese atdzesēšanas laikā (10 min. nostāvināšanas starpība dod papildus mitruma iznesi 0.08 % - 8 min. atdzesēšanas ciklā, un 0.13 % - 4 min. ciklā).

Ja atdzesēšanas cikla laiks $t_a=4$ min, nostāvināšanas ciklu laiks t_n būtiski ietekmē graudu mitruma iznesi. Straujāka graudu mitruma iznese notiek pirmajās pēckaltēšanas minūtēs. Pieaugot atdzesēšanas laikam t_a , mitruma iznese laika vienībā pa atdzesēšanas cikliem t_a samazinās. Tas pierāda, ka, graudiem strauji atdziestot, dzesēšanas procesā temperatūras gradients palielina graudu mitruma iznesi, salīdzinot ar klasisko vēdināšanas procesu.

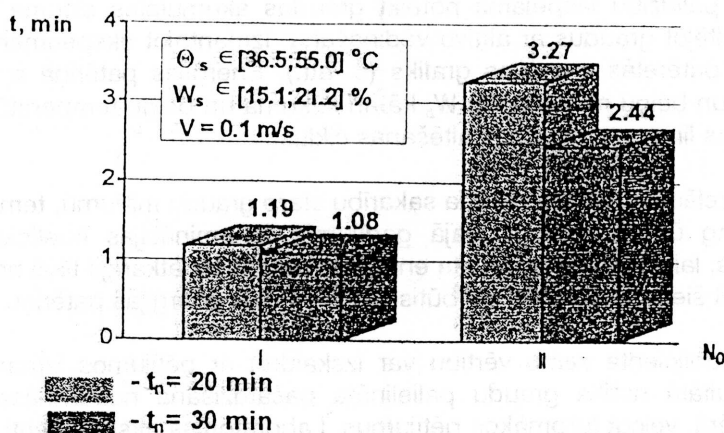
Graudu mitruma iznese atkarībā no graudu temperatūras parādīta 4. attēlā. Graudiem atdziestot, graudu mitruma iznese samazinās.



4. att. Graudu mitruma iznese ΔW graudu temperatūrai Θ_s mainoties no 50 līdz 40 °C, 40 - 30 °C, 30 - 20 °C.

Fig. 4. Moisture conveyance ΔW concerning grain cooling Θ_s from 50 to 40 °C, 40 - 30 °C, 30 - 20 °C.

Sadalot un apskatot summāro graudu atdzišanas temperatūras starpību $\Delta\Theta=30$ °C pa atsevišķiem atdzišanas posmiem ar intervāliem 10 °C var konstatēt, ka, graudiem atdziestot no 50-40 °C, graudu mitruma iznese ir divas reizes lielāka nekā graudiem atdziestot no 40 °C līdz 30 °C.



5. att. Nepieciešamais atdzesēšanas laiks 1 grama ūdens iznesei atkarībā no nostāvināšanas cikla t_n un atdzesēšanas cikla t_a : I, II - atdzesēšanas ciklu Nr.

Fig. 5. Cooling time necessary for carrying out 1 g of water from 3 kg grain depending on the seasoning cycle t_n and cooling cycle t_a : I, II - Nr of cooling cycles.

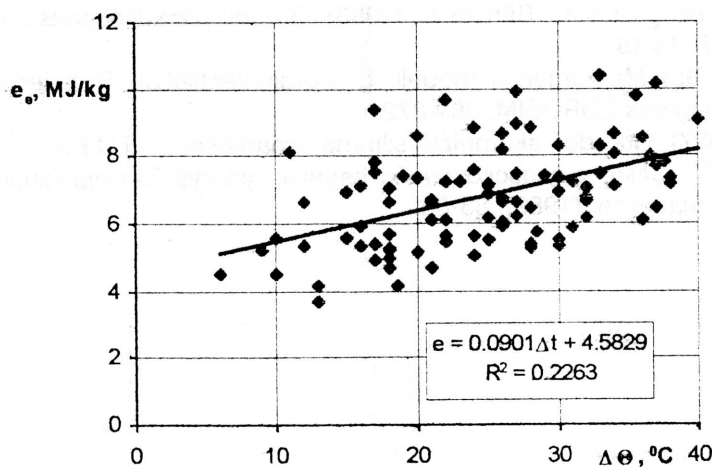
Summārā graudu mitruma iznese, nepievadot papildus siltumenerģiju, graudiem atdzīstot no 50 °C līdz 20 °C sastāda 0.7 % no graudu masas. Nepieciešamais laiks viena ūdens grama iznesei būtiski mazāks ir I atdzesēšanas ciklā (5. att.) un tas ir 2.3-2.7 reizes mazāks nekā II ciklā. Salīdzinot nostāvināšanas ciklu t_n efektivitāti redzams, ka nostāvināšana kā process un tās ilgums veicina graudu mitruma iznesi.

3.3. Enerģijas patēriņš

Kaltē kaltētu graudu temperatūras gradienta lietderīgu izmantošanu pēckaltēšanas procesā var raksturot ar patērēto enerģiju viena kg ūdens iznesei e_e . Patērētās enerģijas noteikšanai izmantota prof. E. Bērziņa formula (E. Bērziņš, 1997):

$$e_e = \frac{(1,55 + 0,036W_s)\Theta_s - (1,55 + 0,036W_b)\Theta_b}{10(W_s - W_b)} \text{ MJ/kg,}$$

kur W_s, W_b - graudu sākuma un beigu mitrums, %;
 Θ_s, Θ_b - graudu sākuma un beigu temperatūra, °C.



6. att. Enerģijas patēriņš viena kg ūdens iznesei atkarībā no graudu atdzesēšanas pakāpes $D\Theta$.

Fig. 6. Consumption of energy for the conveyance of 1 kg water depending on the grain cooling level $D\Theta$.

Ar šīs formulas palīdzību iespējams noteikt graudos akumulētās siltuma daļas izmantošanas efektivitāti pēckaltējot graudus ar aktīvo vēdināšanu. Izmantojot eksperimentālo pētījumu datus, iegūts sekojošs patērētās enerģijas grafiks (6. att.). Enerģijas patēriņa aprēķināšanai izmanto graudu sākuma un beigu mitrumu W_s , W_b kā arī sākuma un beigu temperatūru Θ_s , Θ_b , aptverot 8 graudu kaltēšanas līmeņus un visus kaltēšanas ciklus.

Daudzfaktoru korelācijas analīze parāda sakarību starp graudu mitrumu, temperatūru un patērēto enerģiju viena kg ūdens iznesei. Šajā gadījumā determinācijas koeficients $R^2=0.2263$ nav pietiekami augsts, lai varētu apgalvot, ka enerģijas patēriņš ir atkarīgs tikai no graudu mitruma un temperatūras, bet šiem parametriem ir būtiska ietekme uz enerģijas patēriņu.

Determinācijas koeficienta zemo vērtību var izskaidrot ar pētījumos izmantoto nelielo graudu apjomu, kā rezultātā notika graudu palielināta pašatdzišana nostāvināšanas cikla laikā. Šo apstākli jāņem vērā, veicot turpmākos pētījumus. Laboratorijas eksperimenti pierādīja, ka graudu temperatūra būtiski ietekmē graudu mitruma izneses dinamiku un ka vadot pēckaltēšanas procesu, graudu sakaršanas temperatūru iespējams efektīvi izmantot graudu mitruma samazināšanai, t.i., kaltēšanai.

4. Secinājumi

1. Nostāvināšana veicina mitruma iznesi no graudiem. Nostāvināšanas laika pieaugums sekmē graudu straujāku atdzišanu. Ja salīdzina 30 min. un 20 min. nostāvināšanas ciklus, tad pirmā četru minūšu vēdināšana ar sekojošu 30 min. nostāvināšanu dod vidēji par 1.5 °C zemāku graudu atdzišanas temperatūru nekā 20 min. nostāvināšanas gadījumā. Savukārt pirmā astoņu minūšu vēdināšana ar sekojošu 30 min. nostāvināšanu dod vidēji par 4 °C zemāku graudu atdzišanas temperatūru.
2. Nostāvināšanas efektivitāte ir lielāka graudiem ar augstāku sakaršanas temperatūru. I graudu vēdināšanas cikls vienas ūdens masas vienības iznesei ir 2.0- 2.5 reizes efektīvāks, salīdzinot ar II ciklu. II vēdināšanas ciklā, ar nostāvināšanas laiku 30 min., viena grama ūdens iznese paātrinās par 0.83 min., salīdzinot ar nostāvināšanas laiku 20 min..
3. Nepieciešamais laiks viena ūdens grama iznesei atkarīgs no graudu temperatūras dinamikas, t.i., samazinoties graudu temperatūrai, pieaug nepieciešamais laiks viena ūdens grama iznesei.

Literatūra

1. Āboltiņš A., Palabinskis J., Bērziņš E. (1993). Graudu pēckaltēšanas dinamika vēdinot. LLU Raksti, Nr. 277. 13-18.
2. Aboltins A. (1995). Mathematical modelling of grain ventilation. Proceedings of the EUROSIM Simulation Congress EUROSIM. 369-372.
3. Bērziņš E. (1997). Graudos akumulētā siltuma izmantošana. LLU Raksti, 1997. 9 (286). 79.
4. ГОСТ 12041-82. Семена сельскохозяйственных культур: Методы определения влажности. М.: Изд-во стандартов. (1982). 83-86.