

## TERAVILJADE KUIVAINE JA PROTEIINI (MÕNEDE AMINOHAPETE) LÕHUSTUMINE ERINEVATE TÖÖTLEMISVIISIDE KORRAL

A. Kaasik, H. Kask, E. Pedak

**ABSTRACT.** *The influence of different treatments on the degradability of dry matter and protein (some of the amino acids) in cereals. The effect of mechanical (milling, crushing), thermal (120 °C, 15 min.) and chemical (NaOH, 3,4125 n) treatment on the nutrient degradability of wheat, barley, oats and rye in the rumen of cattle was studied. Dry matter, protein and amino acid solubility and degradability in rumen was most influenced by mechanical treatment, particle size of the meal fraction (meal, flakes) and by cereal specific weight. The nutrients in large-fractional milling products with higher specific weight were solved and degraded slower and to a lesser extent. Decreasing fractional size of the product was associated with increasing rumen solubility and degradability of the nutrients. The correlation between the type of mechanical treatment (fractional composition) and the time and extent of nutrient degradability and solubility decreased when cereal specific weight was decreasing. Short thermal treatment did not influence the speed and extent of dry matter degradability of crushed cereals, while effective degradability of protein and amino acids was decreased to some extent. Dehulling the untreated cereal grain by NaOH increased the speed and extent of nutrient degradability.*

**Keywords:** *milling, crushing, heat treatment, NaOH treatment, degradability, protein, dry matter, lysine, arginine, histidine, rumen, cereals.*

### Sissejuhatus

Seedefüsioloogilistest iseärasustest tulenevalt seedub mäletsejaliste peensooles koos söötadest vahetult pärinevate toitefaktoritega ka eesmao sünteesisprotsessides moodustunud mikroobsest massist pärinevaid toitefaktoreid. Mikroobse massi osakaal looma toitefaktorite tarbe katmisel sõltub söödaratsiooni struktuurist. Toorkiurikaste ja kesise proteiinisisaldusega söödaratsioonide korral on mikroobse massi osatähtsus peensooles suhteliselt väiksem. Kui aga põhisöödana kasutatakse kvaliteetset silo ja jõusöötaid, siis katab mäletsejaliste proteiinitarbest kaks kolmandikku ja isegi rohkem eesmaos moodustuv mikrobiaalne proteiin.

**Võtmesõnad:** jahvatamine, muljumine, kuumutamine, naatriumhüdroksiidiga töötlemine, lõhustamine, proteiin, kuivaine, lüsiin, arginiin, histidiin, teraviljad, eesmagu.

### Ülevaade kirjandusest

Mikrobiaalse proteiini sünteesi efektiivsus eesmaos sõltub peamiselt kahest tegurist, söödaproteiini laguproduktide (ammoniaak ja süsinikskelettide fragmendid) ning sünteesi käivitamiseks vajaliku energia olemasolust (tähtsust, tselluloos ja hemitselluloos). Samuti avaldab sünteesile mõju nii proteiini kui ka süsivesikute lõhustumise kiirus ja ulatus, s.t ammoniaagi tekkega samaaegselt peab eesmaos olema ka piisavas koguses mikroobidele kättesaadavat energiat. Tavapäraste söödaratsioonide korral lõhustub suurem osa proteiinist ja tähtsust 2–4 söötmisjärgse tunni jooksul. Tselluloosi ja hemitselluloosi lõhustamine on aga aeglasem. Seetõttu on struktuursetest süsivesikutest pärinev energia vatsamikroobide sünteesisprotsessides kasutatav kogu sööda vatsas peetumise aja jooksul (De Visser, 1996). Teraviljade puhul on peamiseks süsivesikute allikaks tähtsust, struktuursete süsivesikute osatähtsus on minimaalne, v.a kaeral, mille toorkiuisaldus on suhtelistelt suur. Proteiini ja süsivesikute lõhustumise ühtlustamiseks, samuti proteiini lõhustumise vähendamiseks eesmaos on kasutatud mitmesuguseid meetodeid.

#### *Mehaaniline töötlemine*

Töötlemata teravilja toitainete kasutamise efektiivsus veise organismis on väike (Mathison, 1996). Praktikas rakendatav mehaaniline töötlemine hõlmab peamiselt teraviljade jahvatamist veskites, samuti muljuritega helvestamist. Teraviljajahus ja muljumissaadustes sisalduva proteiini ja süsivesikute lõhustamine sõltub nende fraktsioonilistest koostisest. Jahu fraktsioonilist koostist mõjutab suurel määral teravilja liik. Suurema tihedusega

teraviljade (nisu) jahus on suhteliselt rohkem jämedamaid fraktsioone (Kaasik, Kask, 1997). Samuti mõjutab töötlemisproduktide fraktsioonilist koostist teravilja kuivainesisaldus, eriti muljumise korral.

Teraviljajahu jämedamates fraktsioonides sisalduv tärklis lõhustub vatsas aeglasemalt võrreldes peenemate fraktsioonidega. Näiteks nisu tärklise lõhustuvus oli Cone'i jt (1989) katsetes 0,1 mm jahuosakeste korral peaaegu 2,7 korda suurem kui 1,0 mm jahuosakeste puhul. Sarnase suurusega kaerajahu fraktsioonide tärklise lõhustuvuse erinevus oli aga 1,4-kordne. Tärklis on liigispetsiifiline, s.t igal teraviljaliigil on ainult talle iseloomuliku kuju ja suurusega tärklisegraanulid. Kui odra ja nisu tärklisegraanulid on küllaltki sarnase ehitusega lihtgraanulid, siis kaera tärklisegraanulid on tunduvalt väiksemad ning moodustavad liitgraanuleid (Kazakov, Kretovitš, 1989). Tärklisegraanul sisaldab kahte polüsahhariidi – graanuli südamikus paiknevat amüloosi ning seda ümbritsevat amülopektiini. Tavaliselt moodustab amülopektiin 80–90% tärklise koguhulgast. Peale nimetatud ühendite sisaldab tärklisegraanul veel mineraalaineid, lipiide jne. Lipiidid moodustavad tärklisegraanuli pinnal amülopektiiniga stabiilseid lõhustumatuid kompleksühendeid, mis ei allu tärklist lõhustava fermendi amülaasi fermentatiivsele toimele (Cone jt, 1989). Peenemate jahufraktsioonide tärklise paremat lõhustumist põhjustab seega asjaolu, et tärklisegraanulite struktuur on enam lõhutud, mistõttu ka amülaasi aktiivsus on suurem (Rooney, Plugfelder, 1986; Espindola jt, 1997).

Eesmaos lagunev proteiin jaguneb vatsakeskkonnas lahustuvaks ja mikroobide seedeensüümide toimel lõhustuvaks fraktsiooniks. Lahustuva fraktsiooni moodustavad lihtsad lämmastikulised ühendid (amiidid, nitraadid jne). Nimetatud fraktsiooni lagunemine vatsas on kiire ja ulatuslik (ligikaudu 100%). Valgulise proteiini osakaal söötades on tavaliselt 75–85% (Lindberg, 1985). Valgulise proteiini lõhustumise kiirus ja ulatus teraviljades sõltub suurel määral mehaanilise töötlemise viisist ja saadava produkti fraktsioonilisest koostisest. Näiteks katses maisiga oli maisijahu (jahuosakeste keskmine suurus 0,7 mm) proteiini efektiivne lõhustumine 53%, peentel maisihelvestel (osakeste keskmine suurus 2,6 mm) 45% ja jämedatel maisihelvestel (osakeste suurus keskmiselt 4,6 mm) 37% (Lykos, Varga, 1995). Seega valgulise proteiini lõhustumise kiirus ja ulatus sõltub jahuosakeste kogupindalast. Väiksemate jahuosakeste kogupindala on suurem ning vatsamikroobide seedeensüümide toime efektiivsem.

Asendamatutest aminohapetest lõhustuvad vatsas kiiresti arginiin ja treoniin. Lüsiini, leutsiini, isoleutsiini ja fenüülalaniini lõhustumine on mõnevõrra aeglasem. Aeglaselt lõhustuvad valiin ja metioniin (Chalupa, 1976).

#### *Termiline töötlemine*

Termilise töötlemise tulemusena sööda kuivaine ja proteiini efektiivne lõhustumine üldjuhul väheneb. Mittestruktuursete süsivesikute (tärklise) lõhustumise kohta on saadud aga erinevaid tulemusi (Lykos, Varga, 1995; McNiven jt, 1995; Subuh jt, 1994; Arieli jt, 1995; Dakowski jt, 1996). Näiteks kala-, vere- ja liha-kondijahu proteiinist lahustub ja lõhustub vatsas vaid 20–50% (Madsen, Hvelplund, 1985). Nimetatud söötade tootmistehnoloogia üheks etapiks on kuumutamine, mille tõttu proteiini lõhustumine eesmaos väheneb. Sealhulgas mõjub termiline töötlemine pärssivalt ka asendamatute aminohapete lõhustumisele (Schroeder jt, 1996). Termilise töötlemise toimel aeglustub nii proteiini, asendamatute aminohapete kui ka kuivaine lõhustumise kiirus (Lykos, Varga, 1995). Katse, milles uuriti termilise töötlemise mõju (330 °C) sojajahu kuivaine, proteiini, tärklise ja asendamatute aminohapete lõhustuvusele, näitas, et kuumutamise toimel vähenes kuivaine efektiivne lõhustumine 5,1% ja lõhustumise kiirus 1,3 %/h, proteiinil 11,5% ja 2,8 %/h ning asendamatutel aminohapetel kogusummas 12,3% ja 3,3 %/h. Seejuures lüsiini efektiivne lõhustumine vähenes 11,7% võrra ning lõhustumise kiirus 2,5% võrra tunnis, arginiini vastavad näitajad olid aga 7,3% ja 2,0%/h. Samal ajal tärklise efektiivne lõhustumine suurenes 1,2% ning lõhustumise kiirus vastavalt 8,3% võrra tunnis (Lykos, Varga, 1995). Arieli jt (1995) katse termiliselt töödeldud nisu, odra, maisi ja sorgoga näitas aga tärklise efektiivse lõhustumise ja lõhustumise kiiruse vähenemist kõikide teraviljaliikide puhul. Eelnevast nähtub, et termilise töötlemise tulemus sõltub teravilja tärklisegraanuli ehitusest ning amüloosi ja amülopektiini sisaldusest selles.

Kõrge temperatuuri toimel toimuvad valgumolekuli ja ka aminohapete struktuuris mitmesugused muutused, mille tulemusena väheneb vatsamikroobide seedeensüümide efektiivsus. Näiteks lüsiinis tekivad isopeptiidid, lüsiinist jaalaniinist moodustuv lüsinoalaniin ning lüsiini L-isomeer ei ole vatsaseedel kasutatavad, kuna mikroobidel puuduvad vastavad ensüümid nimetatud ühendite lagundamiseks (Davies, 1993). Schroederi jt (1996) katses päevalillekoogiga saadi kuumutamise optimaalseks temperatuuriks 150 °C ning kestuseks 30 minutit. Seejuures vatsas lõhustumatu proteiini osakaal suurenes märgatavalt ning seedumine peensooles oluliselt ei vähenenud. Kõrgematel temperatuuridel ja kestvam töötlemine vähendas oluliselt vatsas lõhustumatu proteiini seeduvust peensooles.

#### *Keemiline töötlemine*

Sagedamini kasutatavad keemilised ühendid, mida rakendatakse söötade töötlemiseks nende seeduvuse parandamise eesmärgil, on naatriumhüdroksiid (NaOH), ammoniaagi vesilahus ( $\text{NH}_4^+$ ) ja karbamiid ( $\text{H}_2\text{NCONH}_2$ ). Naatriumhüdroksiidi on laialdaselt kasutatud põhu toiteväärtuse ja seeduvuse parandamiseks (Oil, 1994).

Nimetatud kemikaalidega töötlemise tulemusena (eriti seebikivi kasutamise korral) hüdroliisub osaliselt söötades sisalduv tselluloos ja hemitselluloos. Teraviljades paikneb tselluloos ja hemitselluloos peamiselt viljakestadest ja sökaldes. Katse tulemustest, milles uuriti 3 ja 5%-lise naatriumhüdroksiidi lahuse, 3%-lise gaasilise ammoniaagi ja 3%-lise kristalse karbamiidi mõju kaera kuivaine, tselluloosi ja hemitselluloosi lõhustumisele, nähtub, et töötlemata terade kuivainest lõhustus 24-tunnise inkubatsiooniperioodi jooksul vaid 7%, 3%-lise NaOH-lahusega töötlemise korral kasvas kuivaine lõhustumine 61%-ni ning 5%-lise NaOH-lahusega töötlemise puhul 68%-ni. Ammoniaagi ning karbamiidiga töötlemine suurendas kaeraterade kuivaine lõhustumist tunduvalt vähem, vastavalt 30 ja 20%-ni. Seejuures kiirendas seebikivi kasutamine olulisel määral hemitselluloosi lõhustumist. Kui esimese kahe inkubatsioonitunni jooksul lõhustus 3% töötlemata kaera hemitselluloosist, siis 5%-lise NaOH-lahusega töödeldud kaeraterades oli see 56%, samal ajavahemikul lõhustus tselluloosi mõlema katsevariandi puhul ainult 4%. Naatriumhüdroksiidi toime tselluloosi lõhustumisele avaldus alles pärast 24-tunnist inkubatsiooniperioodi, olles vastavalt 7 ja 38% (Pauly jt, 1992).

Naatriumhüdroksiidiga töötlemine vähendab teraviljajahus sisalduva tärklise, proteiini ja aminohapete lõhustumist vatsas. McNiveni jt (1995) andmetel vähendas 4%-lise naatriumhüdroksiidiga töötlemine odra proteiini efektiivset lõhustumist eesmaos umbes 30% võrra, vastavalt 75,7%-lt 47,2%-ni, ning kuivaine efektiivset lõhustumist ligikaudu 20% võrra (81,4 vers. 60,0%).

## Materjal ja meetodika

Uuringu raames viidi läbi kuus loomkatset. Aastatel 1995–1997 (3 katset) uuriti kaera, odra ja nisu kuivaine ja proteiini lõhustumist eesmaos erinevate töötlemisviiside korral. 1998–2001 (3 katset) lisandus sellele mõnede asendamatu aminohapete (lüsiin, arginiin, histidiin) lõhustumise uurimine. Loomkatsete tehti üü Eerika Farm laudas vatsafistuliga varustatud lehmadega. 1.–3. katses kasutati kolme, 4. kahte ning 5.–6. katses nelja katselehma. 1. ja 2. katses söödeti lehma elatustasemel (kinnislehmad). 3.–6. katses kasutati lakteerivaid lehma päevatoodanguga 14–18 kg (0 energiabilansi periood). Tabelis 1 on esitatud uurimistemaatika katsete lõikes.

**Tabel 1.** Teravilja liigid, töötlemise viisid ning uuritud toitefaktorid katsete lõikes  
**Table 1.** Cereals, methods of processing and studied nutrients in the trials

Nr No	Teravili Cereal	Töötlemine / Treatment	Toitefaktor / Nutrient				
			K.a DM	Prot CP	Lys Lys	Arg Arg	His His
1	Kaer, nisu Oat; wheat	Jahvatamine, jahu fraktsioneerimine sõelumisega <sup>1</sup> Milling, meal fractioning <sup>1</sup>	+	+			
2	Kaer, oder, nisu Oat, barley, wheat	Jahvatamine, muljumine Milling, crushing	+	+			
3	Kaer, oder Oat, barley	Muljumine, konserveerimine <sup>2</sup> Crushing, preserving <sup>2</sup>	+	+			
4	Kaer / Oat	Jahvatamine, muljumine Milling, crushing	+		+	+	+
5	Kaer / Oat	Muljumine, kuumutamine <sup>3</sup> Crushing, heating	+		+	+	
6	Rukis / Rye	Jahvatamine, töötlemine NaOH-ga <sup>4</sup> Milling, treatment with NaOH <sup>4</sup>	+	+	+	+	

<sup>1</sup>Uuriti kolme jahufraktsiooni jahuosakeste suurusega F1 >2 mm, F2 1–2 mm, F3 1–0,315 mm. / Three meal fractions were studied. Size of the meal fractions were F1 >2 mm, F2 1–2 mm and F3 0.315–1 mm.

<sup>2</sup>Kindlustuslisanditest kasutati silobeni ja AIV-2-e. / Preservers siloben and AIV-2 were used.

<sup>3</sup>Lühiajaline kuumutamine 15 min 120 °C juures. / Short thermal treatment with 120 °C during 15 min.

<sup>4</sup>Kasutati kristalset NaOH-d (lahuses 3,4125 n), töötlemine toimus firma Keenan poolt välja töötatud meetodika kohaselt sama firma söödasegistis. / Crystalline NaOH (concentration 3.4125 N in solution) was used. Treatment was made using the method elaborated by firm "Keenan".

Toitefaktorite lõhustumist uuriti Rootsi Põllumajandusteaduste Ülikoolis välja töötatud *in sacco* meetodika kohaselt. Nailonkotikeste (riide mark PES 28/7, firma SAATI, Itaalia) mõõtmed olid 100×160 mm, silma suurus 28 µm ning avatud pinna suurus kogupinnast 17%. Söödaproovid kuivatati õhkuivaks. Kotikestesse kaaluti 5 g uuritavat sööta. Söödaproovid viidi vatsa fistuli kaudu. Inkubeerimisperiood eesmaos oli 2, 4, 8, 16, 24 ja 48 tundi. Kõikide lehmade iga inkubeerimisaja kohta analüüsiti kahte paralleelproovi. Pärast vatsast eemaldamist kotikesed loputati kohe külma veega ning pesti seejärel automaatrežiimil töötavas pesumasinas 15 minutit. Pestud proove kuivatati sundventilatsiooniga kuivatuskapis 12 tundi 45 °C juures. Seejärel määrati söödaproovidest toitefaktorite sisaldused vastavalt antud katse teemaatikale. Lõhustumine mingil perioodil leiti enne

vatsas inkubeerimist söödas sisaldunud ja pärast inkubeerimist järele jäänud toitefaktori vahena. Toitefaktori efektiivse lõhustumise leidmiseks kasutati järgmist valemit (Ørskov, McDonald, 1979):

$$ED \% = a + (b \cdot c / k + c),$$

kus a – toitefaktorist vatsas lahustuv osa %,

b – vatsas lahustumatu, mikrofloora ning -fauna seedeensüümide toimele lõhustuv toitefaktori kogus %,

c – toitefaktorist vatsas lõhustumatu osa %,

k – söödaosakeste vatsast läbivoolu kiirus.

Kõikides katsetes arvestati söödaosakeste vatsast soolestikku liikumise kiiruseks 8% tunnis.

Söödaproovide proteiinisaldus määrati Kjeldahli meetodil. Aminohapete sisalduse määramiseks kasutati firma Hitachi aminohapete analüsaatorit KLA-3B.

## Tulemused ja arutelu

Teraviljade kuivaine peamiseks komponendiks on mittestruktuursed süsivesikud, eelkõige tärklis. Sõltuvalt teraviljaliigist ulatub tärklisesisaldus neis 40–85%-ni (Kazakov, Kretovitš, 1989). Struktuursete süsivesikute (tselluloos, hemitselluloos) sisaldus tüüpilistes veistele söödetatavates teraviljades on väike, umbes 2–5%, v.a kaer, mille keskmine kiusisaldus ulatub 10%-ni (Oll, 1995). Sellest tulenevalt iseloomustab kuivaine lõhustumise kiirus ja ulatus teraviljade puhul just tärklisega toimuvaid protsesse. Tabelis 2 on esitatud teraviljade esialgne kuivainesisaldus ja selle efektiivne lõhustumine katsete lõikes.

**Tabel 2.** Teraviljade kuivainesisaldus ja selle efektiivne lõhustumine katsevariantide lõikes  
**Table 2.** The content and effective degradability of dry matter in different cereals

Teravili <i>Cereal</i>	Katse nr <i>Trial no</i>	Töötlemisviis <i>Processing method</i>	Kuivaine / <i>Dry matter</i>		
			%	efektiivne lõhustumine % <i>effective degradability %</i>	erinevuse olulisus <i>significance</i>
Nisu <i>Wheat</i>	2	Jahu / <i>Meal</i>	89,3	72,4	
	2	Muljutud / <i>Crushed</i>	89,2	69,7	P<0,05
	1	Jahufraktsioon F1 / <i>Meal fraction F1</i>	88,0	58,7	P<0,001
	1	Jahufraktsioon F2 / <i>Meal fraction F2</i>	88,2	73,5	P>0,05
	1	Jahufraktsioon F3 / <i>Meal fraction F3</i>	88,1	76,9	P<0,001
Kaer <i>Oat</i>	2	Jahu / <i>Meal</i>	89,5	63,9	
	4	Jahu / <i>Meal</i>	88,3	65,5	
	2	Muljutud / <i>Crushed</i>	91,4	67,2	P<0,001
	3	Muljutud / <i>Crushed</i>	87,0	65,9	P<0,05
	4	Muljutud / <i>Crushed</i>	87,8	67,0	P<0,01
	5	Muljutud / <i>Crushed</i>	89,9	67,3	P<0,001
	1	Jahufraktsioon F1 / <i>Meal fraction F1</i>	88,8	62,4	P<0,01
	1	Jahufraktsioon F2 / <i>Meal fraction F2</i>	88,7	73,4	P<0,001
	1	Jahufraktsioon F3 / <i>Meal fraction F3</i>	89,5	77,9	P<0,001
	3	Muljutud + AIV-2 / <i>Crushed + AIV-2</i>	85,4	62,4	P<0,001
	3	Muljutud + siloben / <i>Crushed + siloben</i>	85,3	66,3	P>0,05
	5	Muljutud + kuumutamine <i>Crushed + heating</i>	89,9	66,9	P>0,05
Oder <i>Barley</i>	2	Jahu / <i>Meal</i>	89,5	59,4	
	3	Muljutud / <i>Crushed</i>	86,8	60,1	P>0,05
	3	Muljutud + siloben / <i>Crushed + siloben</i>	85,2	60,6	P>0,05
	3	Muljutud + AIV-2 / <i>Crushed + AIV-2</i>	85,5	61,0	P>0,05
Rukis <i>Rye</i>	6	Jahu / <i>Meal</i>	88,4	63,5	
	6	Töötlemata + NaOH <i>Untreated + NaOH</i>	74,2	47,8	P<0,001

Töötlemisviisist sõltuvalt lõhustus teraviljade kuivaine 47,8–77,9% ulatuses. Madalaimaks osutus lõhustumine tervete, naatriumhüdroksiidiga töödeldud rukkiterade korral. Suurim oli see aga kaera jahufraktsioonis F3. Kuivaine lõhustumise erinevuse statistiline olulisus on kalkuleeritud järgmiselt: jahu – jahufraktsioonid; jahu – töötlemata muljumissaadused ning töötlemata muljumissaadused – töödeldud muljumissaadused. Statistiliselt usutavaks osutus nisu- ( $P<0,05$ ) ja kaerajahu (nelja katse keskmine  $P<0,001$ ) ning nende muljumissaaduste kuivaine efektiivse lõhustumise erinevus. Seejuures muljutud nisu kuivainet lõhustus 2,7% vähem ning kaera kuivainet 2,2% rohkem. Odra kuivaine efektiivsele lõhustumisele mehaanilise töötlemise viis statistiliselt olulist mõju ei avaldanud ( $P>0,05$ ).

Nisu F1 jahufraktsiooni kuivainet lõhustus 13,7% ( $P<0,001$ ) ja kaeral vastavalt 2,3% ( $P<0,01$ ) vähem kui jahu kuivainet keskmiselt. F2 ja F3 fraktsioonide kuivaine efektiivne lõhustumine ületas mõlema teravilja puhul jahu keskmise näitaja. Seejuures oli kuivaine efektiivse lõhustumise vaheline erinevus statistiliselt oluline nisu F3 jahufraktsiooni ( $P<0,001$ ) ning kaera jahufraktsioonide F2 ( $P<0,001$ ) ja F3 ( $P<0,001$ ) korral. Et nisujahust suurema osa moodustab fraktsioon F2 (jahuosakeste suurus 1–2 mm), siis on ka loogiline, et jahu ja nimetatud fraktsiooni kuivaine efektiivse lõhustumise vahel statistiliselt usutav erinevus puudus ( $P>0,05$ ). Katsetulemuste põhjal võib oletada, et teraviljajahu ja muljumissaaduste kuivaine efektiivsele lõhustumisele avaldab mõju nii teravilja erikaal (tihedus), fraktsiooniline koostis kui ka struktuursete süsivesikute (tselluloos, hemitselluloos) sisaldus. Nisu kui suurima erikaaluga (Annus, 1980) teravilja F1 jahufraktsiooni efektiivne lõhustumine oli väiksem. Mida rohkem sisaldab jahu peenemaid fraktsioone, seda suuremaks kujuneb jahuosakeste kogupindala. Suurema pindala korral (F2 ja F3 jahufraktsioonid) on ka vatsamikroobide seedeensüümide toime jahuosakestesse efektiivsem ja lõhustumine ulatuslikum. Struktuursete süsivesikute mõju kuivaine efektiivsele lõhustumisele avaldub kaera näitel. Võrreldes teiste teraviljadega sisaldab kaerajahu suhteliselt palju tselluloosi ja hemitselluloosi rikkaid viljakesti ning söklaid, mis moodustavad peamise osa F1 fraktsioonist. Nimetatud fraktsiooni kuivaine efektiivne lõhustumine oli ka madalaim.

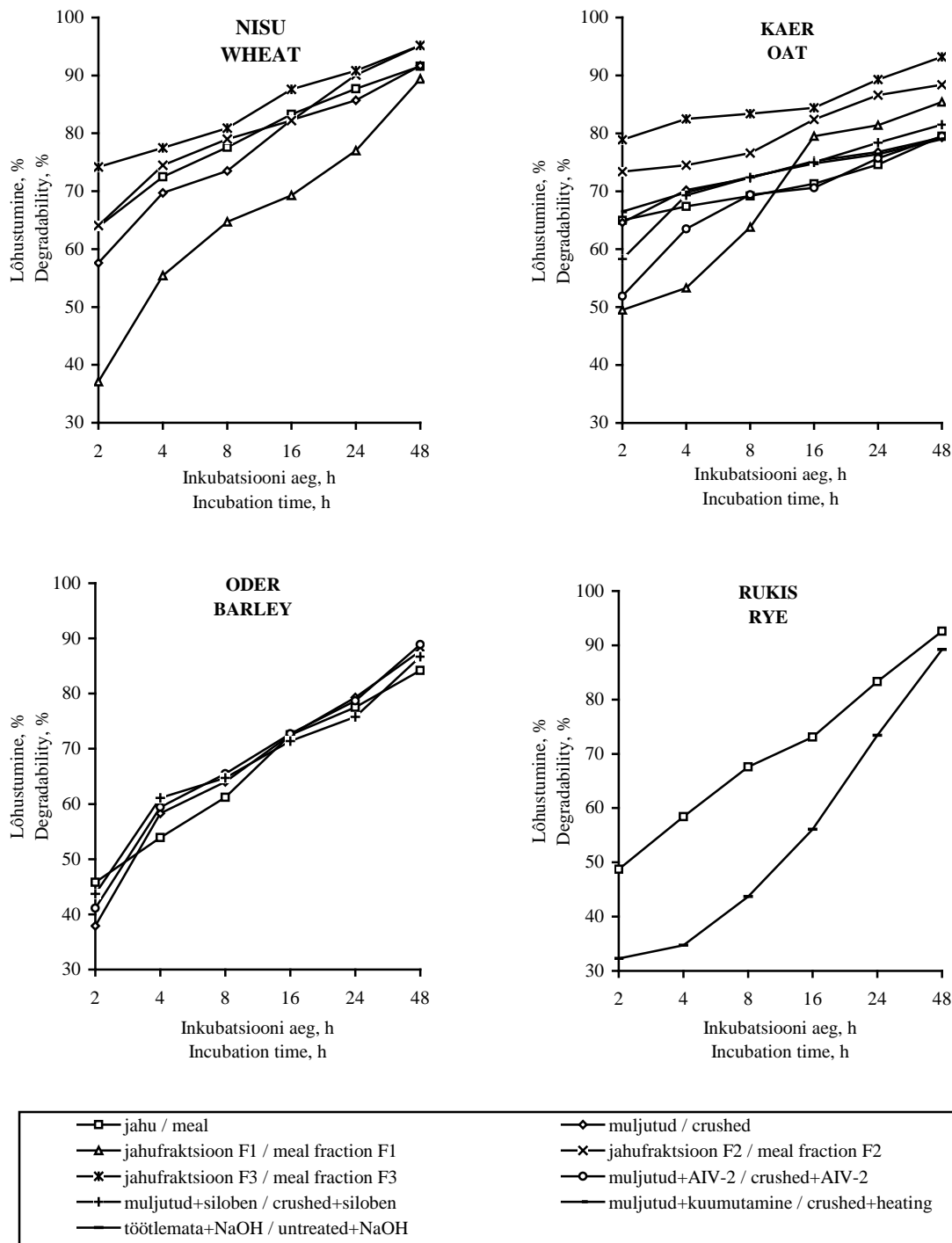
Konservantidega töötlemine odra ja kaera kuivaine efektiivsele lõhustumisele statistiliselt olulist mõju ei avaldanud, v.a AIV-2, mis vähendas muljutud kaera kuivaine efektiivset lõhustumist 4,5% võrra ( $P<0,001$ ). Samuti ei mõjutanud lühiajaline termiline töötlemine muljutud kaera kuivaine efektiivset lõhustumist ( $P>0,05$ ).

Vatsamikroobide sünteesiprotsessides energiaallikana kasutatav tärklis jaguneb eesmaos lahustuvaks ja vatsamikroobide seedeensüümide toimele lõhustuvaks fraktsiooniks. De Visseri (1996) andmetel on 62% odra-tärklisest eesmaos lahustuv ning 38% lõhustuv, nisutärklisest vastavalt 68 ja 32%. Maisitärklis lahustub aga 27 ning lõhustub 73% ulatuses. Tärglise lahustumine vatsakeskkonnas toimub kiiresti, lõhustumise kiirus erineb aga teraviljaliigiti oluliselt. Kui söödaosakeste vatsast läbivoolu kiirus on 6% tunnis, siis odra-tärklisest lõhustub 24,2, nisutärklisest 17,5 ja maisitärklisest vaid 4,0% tunnis (De Visser, 1996). Joonisel 1 on esitatud teraviljade kuivaine, s.h tärklise lahustumise ja lõhustumise ajaline dünaamika töötlemisviiside lõikes.

Jooniselt nähtub, et kuivaine efektiivne lõhustumine sõltub eelkõige lõhustumise ulatusest esimese nelja inkubatsioonitunni (söötmissjärgse tunni) kestel. Mida rohkem nimetatud perioodi jooksul kuivainet lahustub ja lõhustub, seda suuremaks kujuneb ka efektiivne lõhustumine. Pikema vatsas peetumise jooksul lõhustub kuivainet küll rohkem, kuid tulenevalt söödamassi liikumisest eesmaost soolestikku jääb osa potentsiaalselt lõhustuvast kuivainest lagundamata. 48 tundi pärast söötmist on lõhustunud 90–95% teravilja kuivainest, kuid olenevalt söödaosakeste vatsast läbivoolu kiirusest (tavapäraselt 6–8% tunnis) on esialgselt söödakogusest vatsa jäänud vaid 5–10% (Ørskov, McDonald, 1979). Uuringus käsitletud teraviljade kuivaine lõhustus nelja esimese inkubatsioonitunni jooksul 34,7–82,5%, seejuures suurim oli see kaera jahufraktsioonis F3 ning väiksem NaOH-ga töödeldud tervetes rukkiterades. Tabelis 3 on toodud teraviljade kuivaine lõhustumise näitajad neljatunnise inkubatsiooniperioodi järel sõltuvalt töötlemisviisist.

Et teraviljade kuivaine koosneb peamiselt tärklisest, siis võib katseandmetele tuginedes oletada, et intensiivne tärklise lahustumine ja lõhustumine toimub just inkubatsiooniperioodi algfaasis (4 h). Peamiselt mõjutab seda mehaanilise töötlemise viis ja töötlemissaaduse fraktsiooniline koostis. Mehaaniliselt töötlemata tervetes viljaterades on kuivaine (tärklise) lõhustumine madalaim. Antud uuringus lõhustus eemaldatud viljakestaga rukkiterade kuivaine 4 inkubatsioonitunni kestel 34,7%, rukkijahus vastavalt 58,4%. Kuivaine lõhustumine kiireneb jahu jt töötlemissaaduste peenusastme kasvades. Nisujahu kuivainet lõhustus 4 tunni jooksul 72,5%, fraktsioonis F1 17,1% vähem ( $P<0,001$ ), fraktsioonis F3 5,0% rohkem ( $P<0,001$ ) ning muljutud nisus, milles sisaldus rohkem jämedamaid fraktsioone, vastavalt 2,8% vähem ( $P<0,05$ ).

Kaerajahu kuivainet lõhustus nelja esimese inkubatsioonitunni jooksul võrreldes F1 jahufraktsiooniga kuivainega 14,1% rohkem ( $P<0,001$ ) ning F2 ja F3 fraktsioonides vastavalt 7,1% ( $P<0,001$ ) ja 15,1% ( $P<0,001$ ) vähem. Kaerajahu F1 fraktsiooni kuivaine suhteliselt väike lõhustumine (53,3%) nimetatud perioodil on seletatav selle fraktsiooni suurema toorkiuisisaldusega (tselluloos, hemitselluloos). Toorkiu kontsentreerumist põhjustas jahufraktsiooni F1 suur sõkalde ja viljakestade sisaldus. Võrreldes tärklisega tselluloos ja hemitselluloos eesmaos praktiliselt ei lahustu ning ka lõhustumine on tunduvalt aeglasem. Näiteks odra tselluloosist on potentsiaalselt lõhustuv ligikaudu 70% ning lõhustumise kiiruseks 14,5% tunnis (De Visser, 1996).



**Joonis 1.** Nisu, kaera, odra ja rukki kuivaine lahustumise ja lõhustumise ajaline dünaamika vastavalt töötlemisviisile

**Figure 1.** Effect of different treatment method on the time dynamics of dry matter solubility and degradability of wheat, oat, barley and rye

Odrajahu ja muljutud odra kuivaine efektiivne lõhustumine statistiliselt oluliselt ei erinenud (59,4 resp. 60,1%,  $P > 0,05$ ). Neljatunnise inkubatsiooniperioodi järel oli muljutud odra kuivainet lõhustunud aga 4,4% rohkem ( $P < 0,05$ ) kui odrajahu kuivainet. 16. inkubatsioonitunniks oli lõhustunud kuivaine kogus nii jahus kui ka muljutud odras võrdsustunud (72,5 resp. 72,5%).

**Tabel 3.** Teraviljade kuivaine lõhustumine neljatunnise inkubatsiooniperioodi järel töötlemisviiside lõikes  
**Table 3.** Dry matter degradability of treated cereals after 4 hours incubation

Teravili Cereal	Töötlemisviis / Method of processing	Lõhustumine (4 h), % Degradability (4 h), %	Erinevuse olulisus Significance
Nisu Wheat	Jahu / Meal	72,5	
	Muljutud / Crushed	69,7	P<0,05
	Jahufraktsioon F1 / Meal fraction F1	55,4	P<0,001
	Jahufraktsioon F2 / Meal Fraction F2	74,5	P>0,05
	Jahufraktsioon F3 / Meal Fraction F3	77,5	P<0,001
Kaer Oat	Jahu / Meal	67,4	
	Muljutud / Crushed	70,2	P<0,001
	Jahufraktsioon F1 / Meal fraction F1	53,3	P<0,001
	Jahufraktsioon F2 / Meal Fraction F2	74,5	P<0,001
	Jahufraktsioon F3 / Meal Fraction F3	82,5	P<0,001
	Muljutud + AIV-2 / Crushed + AIV-2	63,5	P<0,001
	Muljutud + siloben / Crushed + siloben	69,3	P>0,05
Muljutud + kuumutamine / Crushed + heating	69,8	P>0,05	
Oder Barley	Jahu / Meal	53,9	
	Muljutud / Crushed	58,3	P<0,05
	Muljutud + siloben / Crushed + siloben	61,1	P>0,05
	Muljutud + AIV-2 / Crushed + AIV-2	59,4	P>0,05
Rukis Rye	Jahu / Meal	58,4	
Töötlemata + NaOH / Untreated + NaOH	34,7	P<0,001	

Tüüpilised veistele söödetavad teraviljad sisaldavad keskmiselt 9–13% toorproteiini (Oll, 1995). Eesmaos vatsamikroobide seedeprotsessides kasutatav proteiin jaguneb lahustuvaks ning lõhustuvaks fraktsiooniks. Valgulise (lõhustuva) fraktsiooni osakaal teraviljade proteiinis on keskmiselt 75–95% (Lindberg, 1985). Lahustuva fraktsiooni moodustavad mittevalgulised lämmastikühendid (nitraadid, amiidid jne). Lõhustuv fraktsioon koosneb peamiselt valkudest. Valgurühmadest on teraviljade proteiinis esindatud albumiinid, globuliinid, prolamiinid ja gluteliinid, seejuures nende kontsentratsioon erineb teraviljaliigiti oluliselt. Kaeravalk sisaldab keskmiselt 7–13% albumiine, 17–31% globuliine, 14–23% prolamiine ja 23–34% gluteliine. Nisuvalgus on prolamiinide osatähtsus suurem, ulatudes 26–39%-ni, albumiine sisaldub aga 13–22%, globuliine 10–15% ning gluteliine 17–25%. Odravalk on rikas gluteliinide fraktsiooni poolest, mille sisaldus võib küündida 23–43%-ni, albumiine ja globuliine on suhteliselt vähe, vastavalt 6–15% ja 6–14% ning prolamiine 15–40% (Kazakov, Kretovitš, 1989; Rjadšikov, 1978; Rjadšikov jt, 1979; Zima, Lebedev, 1979; Konarev, 1980). Ülalnimetatud valgurühmade lõhustumise kiirus ja ulatus eesmaos on tulenevalt nende aminohappelisest koostisest erinev. Albumiinide ja globuliinide lahustumine ja lõhustumine eesmaos on eeldatavasti kiire ja ulatuslik, kuna nad lahustuvad praktiliselt kõikides solventides (soolalahused, happed, alused, albumiinid ka vees). Prolamiinid ja gluteliinid on aga eesmaos oletatavasti vähelahustuvad ning lõhustuvad vaid vatsamikroobide seedeensüümide toimel. Prolamiinid lahustuvad etüülalkoholis, gluteliinid aga hapetes ja alustes (Taranov, Sabirov, 1987). Tabelis 4 on esitatud uuritud teraviljade proteiinisaldus ning selle efektiivne lõhustumine katsevariantide lõikes.

Olenemata töötlemise viisist oli uuritud teraviljadest suurima lõhustuvusega kaera proteiin (efektiivne lõhustumine 76,8–82,9%). Võib oletada, et selle peamiseks põhjuseks on kaeravalgu suhteliselt suur albumiinide ja globuliinide sisaldus. Odra proteiini, kus nimetatud valgurühmade sisaldus on kirjanduse andmetele tuginedes tagasihoidlik, efektiivne lõhustumine oli vaid 47,3–59,6%. Mehaaniline töötlemine (jahvatamine, muljumine) ja jahu fraktsiooniline koostis seostub proteiini lõhustumisega eelkõige teravilja erikaalu (tiheduse) kaudu. Nisu kui suurima erikaaluga teravilja jahu ja jahufraktsiooni F1 proteiini lõhustuvus erines 17,6% (P<0,001). Kaera kui väikseima erikaaluga teravilja korral aga vaid 1,6% (P<0,05). Seejuures kaera proteiini efektiivse lõhustumise ja jahuosakeste suuruse (pindala) vaheline kindlapiirilise seos puudus. Kui kaerajahu efektiivne lõhustumine oli 80,6%, siis jahufraktsioonil F1 1,6% suurem (P<0,05), jahufraktsioonil F2 2,3% suurem (P<0,001), jahufraktsioonil F3 aga 2,9% väiksem (P<0,001) ning muljutud kaeral kahe katse keskmisena 0,8% suurem (P>0,05). Nisu proteiini efektiivne lõhustumine töötlemisviiside peenusastme (jahuosakeste kogupindala) kasvades suurenes. Nisu jahufraktsiooni F1 proteiini efektiivne lõhustumine oli 47,5%, jahufraktsioonil F2 58,1% ning jahufraktsioonil F3 65,8%.

**Tabel 4.** Teraviljade proteiinisaldus ja selle efektiivne lõhustumine katsevariantide lõikes  
**Table 4.** The content and effective degradability of protein in different cereals

Teravili <i>Cereal</i>	Katse nr <i>Trial no.</i>	Töötlemisviis <i>Processing method</i>	Proteiin / <i>Protein</i>		
			%	efektiivne lõhustumine, % <i>effective degradability, %</i>	erinevuse olulisus <i>significance</i>
Nisu <i>Wheat</i>	2	Jahu / <i>Meal</i>	11,1	65,1	
	2	Muljutud / <i>Crushed</i>	11,3	61,2	P<0,01
	1	Jahufraktsioon F1 / <i>Meal fraction F1</i>	10,6	47,5	P<0,001
	1	Jahufraktsioon F2 / <i>Meal fraction F2</i>	10,7	58,1	P<0,001
	1	Jahufraktsioon F3 / <i>Meal fraction F3</i>	11,6	65,8	P>0,05
Kaer <i>Oat</i>	2	Jahu / <i>Meal</i>	10,1	80,6	
	2	Muljutud / <i>Crushed</i>	10,6	81,9	P<0,05
	3	Muljutud / <i>Crushed</i>	8,9	80,9	P>0,05
	1	Jahufraktsioon F1 / <i>Meal fraction F1</i>	9,9	82,2	P<0,05
	1	Jahufraktsioon F2 / <i>Meal fraction F2</i>	11,6	82,9	P<0,001
	1	Jahufraktsioon F3 / <i>Meal fraction F3</i>	7,8	77,7	P<0,001
	3	Muljutud + AIV-2 / <i>Crushed + AIV-2</i>	8,3	76,8	P<0,001
	3	Muljutud + siloben / <i>Crushed + siloben</i>	8,8	80,5	P>0,05
Oder <i>Barley</i>	2	Jahu / <i>Meal</i>	9,3	59,6	
	3	Muljutud / <i>Crushed</i>	10,9	50,0	P<0,001
	3	Muljutud + siloben / <i>Crushed + siloben</i>	10,6	49,5	P>0,05
	3	Muljutud + AIV-2 / <i>Crushed + AIV-2</i>	10,2	47,3	P<0,05
Rukis <i>Rye</i>	6	Jahu / <i>Meal</i>	7,7	65,3	
	6	Töötlemata + NaOH / <i>Untreated + NaOH</i>	6,5	49,7	P<0,001

Konserveeritud odra- ja kaerahelveste proteiini efektiivset lõhustumist vähendas mõnevõrra AIV-2 kasutamine kindlustuslisandina. Kui konserveerimata muljutud kaera proteiinist lõhustus kahe katse keskmisena 81,4%, siis AIV-2 kasutamise korral vähenes see 4,6% võrra (P<0,001), odra puhul vähem, vastavalt 50,0% ja 2,7% (P<0,05). Silobeni kasutamine kindlustuslisandina odra- ja kaerahelveste proteiini efektiivsele lõhustumisele statistiliselt olulist mõju ei avaldanud. Kindlustuslisandi toime odra ja kaera proteiini lõhustumise mõjutajana on ebaselge. Ühe faktorina võib arvesse tulla sipelghape, mis on AIV-2 peamine komponent.

Tervetes töötlemata viljaterades jääb proteiini efektiivne lõhustumine väheseks (30–40%), kuna nii vatsavedeliku lahustav kui ka vatsamikroobide seedeensüümide lõhustav toime on tulenevalt kiurikkast viljakestast pärsitud. Käesolevas uuringus töödeldi rukkiteri naatriumhüdroksiidiga. Selle tulemusena viljakest eemaldus ning proteiini efektiivne lõhustumine suurenes 49,7%-ni. Otseseid järeldusi NaOH toime kohta rukki proteiini lõhustumisse nimetatud katse baasil teha ei saa, kuna rukkijahu puhul tuleb arvestada ka mehaanilise töötlemise mõjuga.

Sarnaselt teraviljade kuivainega toimub ka proteiini intensiivne lahustumine ja lõhustumine esmasos inkubatsiooniperioodi algfaasis. Joonisel 2 ja tabelis 5 on esitatud teraviljade proteiini lahustumise ja lõhustumise ajaline dünaamika töötlemisviiside lõikes.

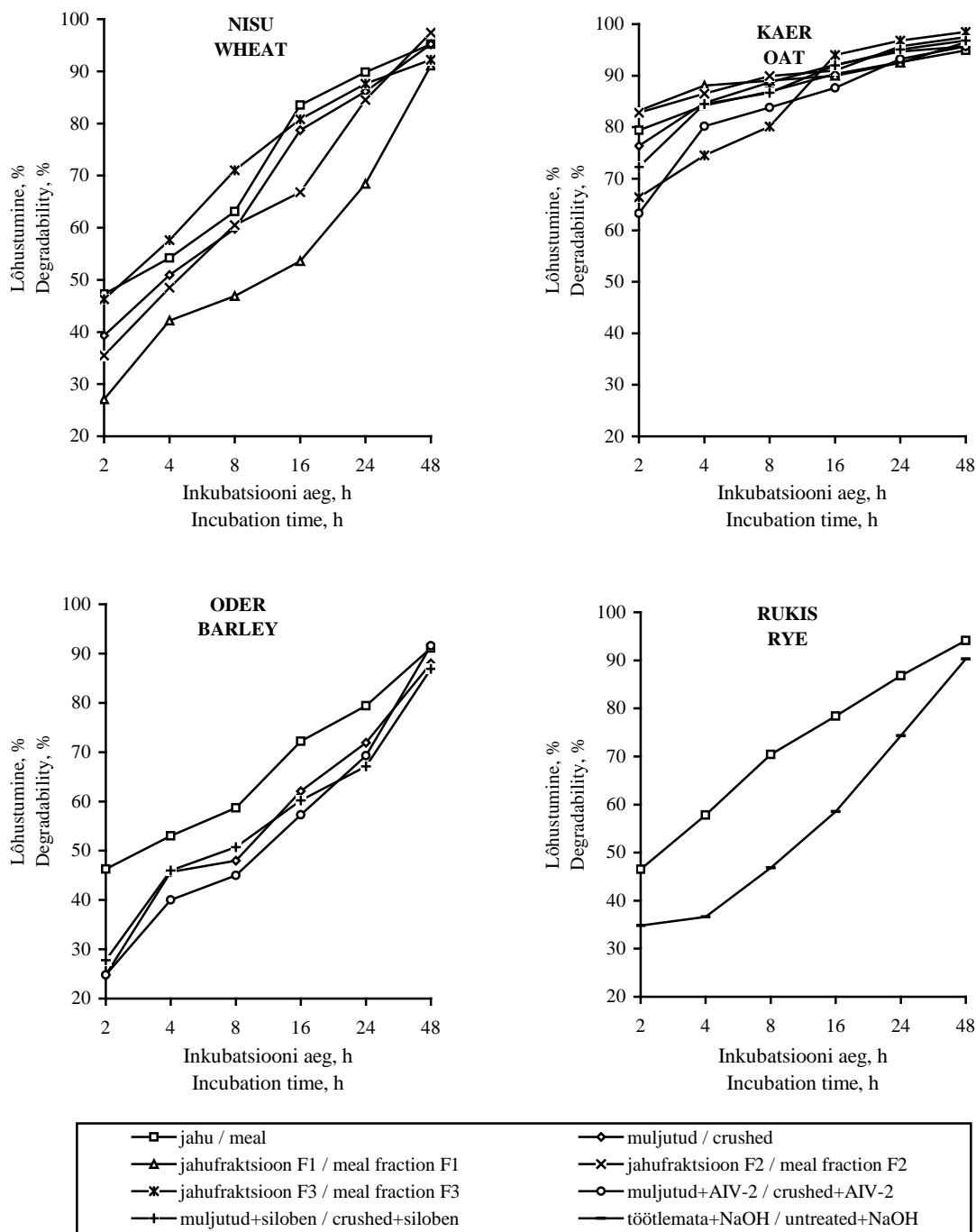
Sõltuvalt töötlemisviisist lõhustus nelja inkubatsioonitunni jooksul 42,2–57,6% nisu proteiinist. Jahu proteiinist lõhustus sel perioodil 54,2%, jahufraktsioonis F1 12,0% (P<0,001), jahufraktsioonis F2 5,7% (P<0,01) ja muljutud nisus 3,3% (P>0,05) vähem, jahufraktsioonis F3 3,4% (P<0,01) rohkem.

Kaera proteiini lõhustumine oli kiire. Sõltumata töötlemisviisist oli 4. inkubatsioonitunni lõpuks lõhustunud 74,5–88,1% kaera proteiinist. Jahu ja muljutud kaera proteiini lõhustumise kiirus statistiliselt oluliselt ei erinenud (84,2 resp. 84,7%; P>0,05). Võrreldes jahuga oli jahufraktsiooni F1 ja F2 proteiini lõhustumise kiirus 3,9% (P<0,01) ja 2,3% (P<0,05) suurem ning jahufraktsioonis F3 9,7% (P<0,001) väiksem. Konserveerimine AIV-2-ga vähendas muljutud kaera proteiini lõhustumist neljanda inkubatsioonitunni lõpuks 4% võrra (P<0,001). Silobeni kasutamine kindlustuslisandina kaerahelveste proteiini lõhustumise kiirusele statistiliselt olulist mõju ei avaldanud.

Odra proteiini lõhustus 4 tunni jooksul 40–53%. Võrreldes jahuga lõhustus sellel perioodil muljutud odra proteiini 7,3% (P<0,001) vähem. Kindlustuslisanditest vähendas AIV-2 muljutud odra proteiini lõhustumise kiirust 5,7% (P<0,001) võrra.

Neljanda inkubatsioonitunni lõpuks kujunes rukkijahu ja NaOH-ga töödeldud rukkiterade proteiini lõhustumise vaheliseks erinevuseks 21,2% (P<0,001).





**Joonis 2.** Nisu, kaera, odra ja rukki proteiini lahustumise ja lõhustumise ajaline dünaamika vastavalt töötlemisviisile

**Figure 2.** Effect of different treatment method on the time dynamics of protein solubility and degradability of wheat, oat, barley and rye

Katseandmete põhjal võib järeldada, et suurimat mõju teraviljade proteiini lõhustumise kiirusele avaldas nende erikaal (tihedus) koosmõjus mehaanilise töötlemisega, s.t töötlemisproduktide fraktsioonilise koostisega. Suurema erikaaluga teraviljade peenemate osakeste proteiini lõhustus kiiremini (antud uuringus nisu, oder, rukis). Kaera korral erikaalul ja töötlemisviiside fraktsioonilisel koostisel proteiini lõhustumise kiirusele otsustavat mõju ei olnud. Teise faktorina mõjutab teraviljade proteiini lõhustumise kiirust erinevate valgurühmade osakaal. Albumiinide ja globuliinide rikka kaera proteiini lõhustumine oli tunduvalt kiirem kui nisu, odra ja rukki proteiini lõhustumine. Tabelis 6 on esitatud kaera ja rukki mõnede aminohapete sisaldus ja nende efektiivne lõhustumine.

**Tabel 5.** Teraviljade proteiini lõhustumine neljatuunise inkubatsiooniperioodi järel töötlemisviiside lõikes  
**Table 5.** Protein degradability of treated cereals after 4 hours incubation

Teravili Cereal	Töötlemisviis / Processing method	Lõhustumine (4 h), % Degradability (4 h), %	Erinevuse olulisus Significance
Nisu Wheat	Jahu / Meal	54,2	
	Muljutud / Crushed	50,9	P>0,05
	Jahufraktsioon F1 / Meal fraction F1	42,2	P<0,001
	Jahufraktsioon F2 / Meal fraction F2	48,5	P<0,01
	Jahufraktsioon F3 / Meal fraction F3	57,6	P<0,01
Kaer Oat	Jahu / Meal	84,2	
	Muljutud / Crushed	84,7	P>0,05
	Jahufraktsioon F1 / Meal fraction F1	88,1	P<0,01
	Jahufraktsioon F2 / Meal fraction F2	86,5	P<0,05
	Jahufraktsioon F3 / Meal fraction F3	74,5	P<0,001
	Muljutud + AIV-2 / Crushed + AIV-2	80,2	P<0,001
	Muljutud + siloben / Crushed + siloben	84,5	P>0,05
Oder Barley	Jahu / Meal	53,0	
	Muljutud / Crushed	45,7	P<0,001
	Muljutud + siloben / Crushed + siloben	46,0	P>0,05
	Muljutud + AIV-2 / Crushed + AIV-2	40,0	P<0,001
Rukis Rye	Jahu / Meal	57,8	
	Töötlemata + NaOH / Untreated + NaOH	36,6	P<0,001

**Tabel 6.** Kaera ja rukki mõnede aminohapete sisaldus ja nende efektiivne lõhustumine katsevariantide lõikes  
**Table 6.** The content and effective degradability of some amino acids in different cereals

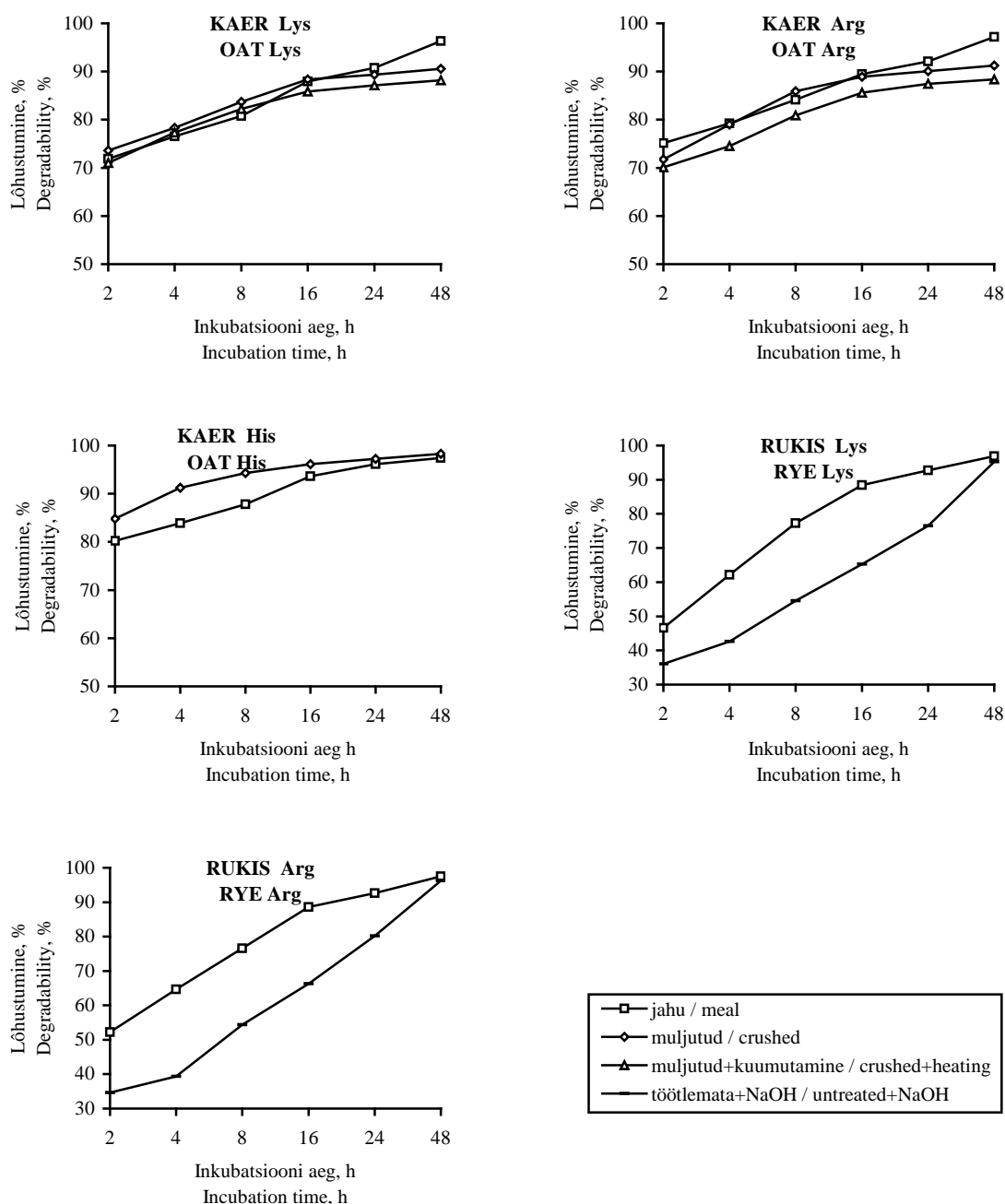
Teravili Cereal	Katse nr Trial no.	Töötlemisviis Processing method	Aminohapped / Amino acids					
			Lys		Arg		His	
			%	Ef. lõhust. % Eff. deg. %	%	Ef. lõhust. % Eff. deg. %	%	Ef. lõhust. % Eff. deg. %
Kaer Oat	4	Jahu / Meal	0,56	76,5	0,82	78,5	0,20	82,3
	4	Muljutud / Crushed	0,49	78,2	0,76	81,4	0,20	86,0
	5	Muljutud / Crushed	0,63	76,4	0,93	75,6		
	5	Muljutud + kuumutamine Crushed + heating	0,63	75,2	0,93	74,4		
Rukis Rye	6	Jahu / Meal	0,34	70,4	0,44	71,5		
	6	Töötlemata + NaOH Untreated + NaOH	0,26	54,1	0,36	54,3		

Kahe katse keskmisena kujunes muljutud kaera lüsiini ja arginiini efektiivseks lõhustumiseks vastavalt 77,0 ja 77,5%. Võrreldes jahuga lõhustus kaerahelveste lüsiini 0,5% (P>0,05) ja histidiini 3,7% (P<0,001) rohkem ning arginiini 1% (P>0,05) vähem. Katsetulemuste põhjal võib järeldada, et mehaanilise töötlemise viis kaeras sisalduva lüsiini ja arginiini efektiivsele lõhustumisele eesmaos olulist mõju ei avalda, histidiin lõhustub aga mõnevõrra paremini terade muljumise korral. Naatriumhüdrosiidiga töödeldud rukkiterades jäi lüsiini ja arginiini lõhustumine võrreldes jahuga madalaks. Suurema osakeste kogupindalaga rukkijahu lüsiini lõhustus 16,3% (P<0,001) ja arginiini 17,2% (P<0,001) rohkem.

Kõrge temperatuuri toimele valkude, sh aminohapete lahustumise ja lõhustumise kiirus ja ulatus üldjuhul vähenevad. Selle põhjuseks on valkudes (aminoahapetes) toimuvad struktuurilised muutused. Näiteks lüsiinist jaalaniinist tekib kuumutamise tulemusena lüsinoalaniin, samuti suureneb valkudes lüsiini L-isomeeri kontsentratsioon ning moodustuvad isopeptiidid (Davies, 1993). Vatsa mikroflooral ja -faunal puuduvad seedeensüümid nimetatud ühendite ja keemiliste sidemete lagundamiseks, mistõttu ka kogu proteiini efektiivne lõhustumine väheneb. Käesolevas uuringus vähenes kuumutamise tulemusena (120 °C, 15 min) kaerahelveste lüsiini ja arginiini efektiivne lõhustumine vastavalt 1,8% (P<0,001) ja 3,1% (P<0,01) võrra. Mida kõrgem on temperatuur ja pikem töötlemise kestus, seda vähem ja aeglasemalt proteiin lõhustub (Lykos, Varga, 1995; McNiven jt, 1995). Näiteks katses, milles sojajahu kuumutati 330 °C juures 30 minuti vältel, vähenes lüsiini lõhustuvus 11,7% (72,5 resp. 60,8%) ning arginiini lõhustuvus vastavalt 7,3% (67,4 resp. 60,1%) (McNiven jt, 1995).

Kirjanduses avaldatud andmetest nähtub, et naatriumhüdroksiidiga töötlemine vähendab ja aeglustab teraviljade proteiini, sh aminohapete lõhustumist eesmaos (McNiven, 1995). Et käesolevas uuringus olid uurimisobjektiks rukkijahu ja NaOH-ga töödeldud rukkiterad, siis mõjutas aminohapete lõhustumist peamiselt mehaaniline töötlemine. Sellest tulenevalt ei ole naatriumhüdroksiidi pärssivat toimet aminohapete lõhustumisse võimalik otseselt välja tuua.

Joonisel 3 on esitatud uuringus käsitletud aminohapete (kaer: Lys, Arg, His; rukis: Lys, Arg) lõhustumise ajaline dünaamika katsevariantide lõikes.



**Joonis 3.** Aminohapete (kaer: Lys, Arg, His; rukis: Lys, Arg) lahustumise ja lõhustumise ajaline dünaamika vastavalt töötlemisviisile

**Figure 3.** Effect of different treatment method on the time dynamics of amino acids solubility and degradability of oat (Lys, Arg, His) and rye (Lys, Arg)

Mehaanilise töötlemise viis mõjutas kaera histidiini lõhustumise kiirust inkubatsiooniperioodi algfaasis. Muljutud kaera histidiinist oli 4. inkubatsioonitunni lõpuks lõhustunud 7,3% ( $P < 0,001$ ) rohkem (91,2% resp. 83,9%). Inkubatsiooniperioodi lõpuks oli histidiini lõhustumise ulatus mõlema katsevariandi lõikes võrdsustunud. Kaera lüsiini ja arginiini lõhustumise kiirusele mehaanilise töötlemise viis olulist mõju ei avaldanud. Termilise töötlemise tulemusena vähenes nii kaera lüsiini kui ka arginiini lõhustumise kiirus. Nimetatud aminohapete lõhustumine aeglustus kogu inkubatsiooniperioodi lõikes, mis viitab kuumutamise tulemusel moodustunud lõhustumatute ühendite osakaalu suurenemisele.

Võrreldes mehaaniliselt töötlemata rukkiteradega lõhustus rukkijahus sisalduv lüsiin ja arginiin oluliselt kiiremini. 4. inkubatsioonitunni lõpuks oli lõhustunud 62,2% jahu lüsiinist ning 64,6% arginiinist, terades vastavalt 42,6 ja 39,3%. Katseperioodi lõpuks nii lüsiini kui ka arginiini lõhustuvuse näitajad katsevariantide lõikes võrdsustusid.

## Kokkuvõte ja järeldused

Suur osa mäletsejaliste peensooles seeduvaatest toitainetest pärineb eesmaos lahustunud ning vatsa mikrofloora ja -fauna seedeensüümide toimel lõhustunud sööda toitefaktoritest moodustunud mikroobsest massist. Keemilise koostise kõrval on üheks olulisemaks toitefaktorite lahustumise ja lõhustumise kiirust ning ulatust mõjutavaks teguriks sööda töötlemise viis. Käesoleva uuringu põhjal, milles käsitleti töötlemisviisi (mehaaniline, termiline, keemiline) ja teraviljade (nisu, kaer, oder, rukis) kuivaine, proteiini ja mõnede aminohapete (kaer: lüsiin, arginiin, histidiin; rukis: lüsiin, arginiin) lahustuvuse ning lõhustuvuse vahelisi seoseid eesmaos, saab teha järgmised olulisemad järeldused.

1. Toitefaktorite efektiivne lõhustumine eesmaos sõltub olulisel määral lahustumise ja lõhustumise kiirusest. Mida suurem on toitefaktori lahustumine ja lõhustumine inkubatsiooniperioodi algfaasis (söötmissjärgsel), seda suuremaks kujuneb ka efektiivne lõhustumine.
2. Suurimat mõju teraviljade kuivaine, proteiini ja aminohapete lahustumisele ning lõhustumisele eesmaos avaldab mehaaniline töötlemine, saadava produkti (jahu, helbed) fraktsiooniline koostis ning teraviljade erikaal.
3. Suurema erikaaluga teraviljade jämedamafraktsiooniliste töötlemisproduktide toitefaktorid lahustuvad ja lõhustuvad eesmaos aeglasemalt ja väiksemas ulatuses. Töötlemisproduktides sisalduvate toitefaktorite lahustumine ja lõhustumine suureneb peenusastme kasvades. Nisujahu kuivaine efektiivne lõhustumine oli 72,4%; jahufraktsioonil F1 (>2 mm) 58,7% ( $P < 0,001$ ); jahufraktsioonil F2 (1–2 mm) 73,5% ( $P > 0,05$ ); jahufraktsioonil F3 (1–0,315 mm) 76,9% ( $P < 0,001$ ) ning muljutud nisul 69,7% ( $P < 0,05$ ). Neljatunnise inkubatsiooniperioodi jooksul lahustus ja lõhustus nisujahu kuivainest 72,5%, jahufraktsioonil F1 55,4% ( $P < 0,001$ ); jahufraktsioonil F2 74,5% ( $P > 0,05$ ); jahufraktsioonil F3 77,5% ( $P < 0,001$ ) ja muljutud nisul 69,7% ( $P < 0,05$ ). Nisujahu proteiini efektiivne lõhustumine oli 65,1%, jahufraktsioonil F1 47,5% ( $P < 0,001$ ); jahufraktsioonil F2 58,1% ( $P < 0,001$ ), jahufraktsioonil F3 65,8% ( $P > 0,05$ ) ja muljutud nisul 61,2% ( $P < 0,01$ ). Neljanda inkubatsioonitunni lõpuks oli lõhustunud nisujahu proteiinist 54,2%; jahufraktsioonil F1 42,2% ( $P < 0,001$ ); jahufraktsioonil F2 48,5% ( $P < 0,01$ ); jahufraktsioonil F3 57,6% ( $P < 0,01$ ) ja muljutud nisul 50,9% ( $P > 0,05$ ).
4. Viljaterade erikaalu vähenedes kindlasuunaline seos mehaanilise töötlemise viisi (fraktsioonilise koostise) ning toitefaktorite lagunemise kiiruse ja ulatuse vahel kahaneb. Kaerajahu kuivaine efektiivne lõhustumine oli 64,8%; jahufraktsioonil F1 62,4% ( $P < 0,01$ ); jahufraktsioonil F2 73,4% ( $P < 0,001$ ); jahufraktsioonil F3 77,9% ( $P < 0,001$ ) ja muljutud kaeral 66,9% ( $P < 0,01$ ). Neljanda inkubatsioonitunni lõpuks oli lõhustunud kaerajahu kuivainest 67,4%; jahufraktsioonil F1 53,3% ( $P < 0,001$ ); jahufraktsioonil F2 74,5% ( $P < 0,001$ ); jahufraktsioonil F3 82,5% ( $P < 0,001$ ) ja muljutud kaeral 70,2% ( $P < 0,001$ ). Kaerajahu proteiini efektiivne lõhustumine oli 80,6%; jahufraktsioonil F1 82,2% ( $P < 0,05$ ); jahufraktsioonil F2 82,9% ( $P < 0,001$ ); jahufraktsioonil F3 77,7% ( $P < 0,001$ ) ja muljutud kaeral 81,4% ( $P > 0,05$ ). Neljatunnise inkubatsiooniperioodi jooksul lõhustus kaerajahu proteiinist 84,2%, jahufraktsioonis F1 88,1% ( $P < 0,01$ ); jahufraktsioonis F2 86,5% ( $P < 0,05$ ); jahufraktsioonis F3 74,5% ( $P < 0,001$ ) ja muljutud kaeras 84,7% ( $P > 0,05$ ). Kaerajahu lüsiini, arginiini ja histidiini efektiivne lõhustumine oli 76,5; 78,8 ja 82,3%; muljutud kaeras vastavalt 77,0 ( $P > 0,05$ ); 77,5 ( $P > 0,05$ ) ja 86,0% ( $P < 0,001$ ).
5. Mida peenemafraktsioonilisemad on töötlemisproduktid, seda suuremaks kujuneb söödaosakeste kogupindala. Selle tulemusena on vatsavedeliku kui lahusti ja vatsamikroobide seedeensüümide toime toitefaktoritesse efektiivsem, eriti suurema erikaaluga teraviljade korral.
6. Uuringu tulemustest nähtub, et konserveeritud odra- ja kaerahelveste toitefaktorite lahustumise ja lõhustumise kiirusele ja ulatusele avaldab mõju kasutatud kindlustuslisandi liik. Kindlustuslisand AIV-2 vähendas kaera kuivaine ja proteiini ning odra proteiini lõhustumise kiirust ja ulatust. Kaerahelveste kuivaine efektiivne lõhustumine oli katsevariantide lõikes järgmine: konserveerimata 66,9%, siloben 66,3% ( $P > 0,05$ ), ning AIV-2 62,4% ( $P < 0,001$ ). Neljanda inkubatsioonitunni lõpuks oli lõhustunud vastavalt 70,2; 69,3 ( $P > 0,05$ ) ja 63,5% ( $P < 0,001$ ) muljutud kaera kuivainest. Muljutud odra kuivaine lahustumise ja lõhustumise ulatusele ja kiirusele kindlustuslisandi liik statistiliselt olulist mõju ei avaldanud. Kindlustuslisandiga töötlemata odrahelveste kuivaine efektiivne lõhustumine oli 60,1%, silobeni või AIV-2 kasutamise korral aga 60,6 ( $P > 0,05$ ) ja

- 61,0% ( $P>0,05$ ). Nelja tunniga lõhustus vastavalt katsevariantidele 58,3; 61,1 ( $P>0,05$ ) ja 59,4% ( $P>0,05$ ) muljutud odra kuivainest. Kaerahelveste proteiini efektiivne lõhustumine kujunes järgmiseks: konserveerimata 81,4%, siloben 80,5% ( $P>0,05$ ) ja AIV-2 76,8% ( $P<0,001$ ). Inkubatsiooniperioodi algfaasis (4 h) lõhustus katsevariantide lõikes 84,7; 84,5 ( $P>0,05$ ) ja 80,2% ( $P<0,001$ ) kaerahelveste proteiinist. Odrahelveste proteiini efektiivne lõhustumine oli järgmine: konserveerimata 50,0%; siloben 49,5% ( $P>0,05$ ) ja AIV-2 47,3% ( $P<0,05$ ). Nelja inkubatsioonitunni vältel lõhustus vastavalt 45,7; 46,0 ( $P>0,05$ ) ja 40,0% ( $P<0,001$ ) muljutud odra proteiinist. Kindlustuslisandi AIV-2 toime kaera ja odra toitefaktorite lahustumise ja lõhustumise mõjutajana on ebaselge. Võib oletada, et üheks lõhustumist vähendavaks faktoriks on AIV-2 koostises olev sipelghape. Sipelghapet sisaldab AIV-2 76%, silobeni koostises nimetatud hapet ei ole.
7. Lühiajaline termiline töötlemine (120 °C; 15 min) muljutud kaera kuivaine efektiivse lõhustumise ulatusele ja kiirusele olulist mõju ei avalda. Nii termiliselt töötlemata kui ka kuumutatud kaerahelveste efektiivne lõhustumine oli 66,9%. Neljatunnise inkubatsiooniperioodi jooksul lõhustus vastavalt 70,2 ja 69,8% ( $P>0,05$ ) muljutud kaera kuivainest. Proteiinis, eriti valkudes põhjustab kõrge temperatuur struktuuralseid muutusi. Selle tulemusena proteiini, sh aminohapete efektiivne lõhustumine aeglustub ja ulatus väheneb. See nähtub ka antud uuringus käsitletud kaerahelveste lüsiini ja arginiini lõhustuvuse näitajates. Termiliselt töötlemata kaerahelveste lüsiini efektiivne lõhustumine oli 77,0 ja arginiini 77,5%, kuumutamise korral aga 75,2 ( $P<0,001$ ) ning 74,4% ( $P<0,01$ ). Kuumutamise tagajärjel tekib valkudes keemilisi sidemeid (isopeptiidid) ning aminohapetest moodustub mitmesuguseid ühendeid (lüsinoalaniin jms), mis ei allu vatsamikroobide seedeensüümide toimele. Võib oletada, et nimetatud põhjusel lõhustub ja imendub termiliselt töödeldud proteiini (valku) vähem ka soolestikus.
8. Viljatera on kaetud kiurikka viljakestaga. Seetõttu lahustub ja lõhustub eesmaos suhteliselt vähe tervete töötlemata viljaterade toitefaktoreid. Viljakesta eemaldamine suurendab toitefaktorite lõhustumise kiirust ja ulatust. Käesolevas uuringus töödeldi rukkiteri naatriumhüdroksiidiga (3,4125 n), mille tulemusena viljakest eemaldus. Kui töötlemata rukkiterade kuivaine ja proteiini efektiivne lõhustumine ulatub 10–30%-ni, siis NaOH-ga töötlemine suurendas nimetatud toitefaktorite lõhustumist 47,8 ja 49,7%-ni. Seejuures lüsiini ja arginiini efektiivne lõhustumine oli 54,1 ja 54,3%. Töötlemata rukkijahu vastavad näitajad olid aga järgmised: kuivaine 63,5%; proteiin 65,3%; lüsiin 70,4% ja arginiin 71,5%. Otsesed järeldusi naatriumhüdroksiidi toime kohta rukki toitefaktorite lahustumise ja lõhustumise mõjutajana käesoleva uuringu põhjal teha ei saa, kuna rukkijahu puhul tuleb arvestada ka mehaanilise töötlemise mõjuga.

Uurimust finantseeris sihtasutus Eesti Teadusfond (uurimistoetused nr 1967 ja 3148).

## Kirjandus

- Annus, H. (toimetaja). Teraviljakasvatust Eestis. – Tallinn, Valgus, 1980. – 444 lk.
- Arieli, A., Bruckental, I., Kedar, O., Sklan, D. In sacco disappearance of starch nitrogen and fat in processed grains. – *Animal Feed Science And Technology*, vol. 51, No. 3–4, p. 287–295, 1995.
- Chalupa, W. Degradation of amino acids by the mixed rumen microbial population. – *Journal of Animal Science*, vol. 43, p. 828–834, 1976.
- Cone, J. W., Cline-Theil, W., Malestein, A., Van't Klooster, A. Th. Degradation of starch by incubation with rumen fluid. A comparison of different starch sources. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 49, No. 2, p. 173–183, 1989.
- Dakowski, P., Weisbjerg, M. R., Hvelplund, T. The effect of temperature during processing of rape seed meal on amino acid degradation in the rumen and digestion in the intestine. – *Animal Feed Science And Technology*, vol. 58, No. 3–4, p. 213–226, 1996.
- Davies, L. R. D-lysine, alloisoleucine and lysinoalanine in supplementary proteins with different lysine availabilities. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 61, No. 2, p. 195–203, 1993.
- De Visser, H. Characterization of carbohydrates in concentrates for dairy cows. – In: P. C. Garnsworthy and D. J. A. Cole (Editors), *Recent Developments in Ruminant Nutrition 3*. – Nottingham University Press, p. 155–174, 1996.
- Espindola, M. S., DePeters, E. J., Fadel, J. G., Zinn, R. A., Perez-Monti, H. Effects on nutrient digestion of wheat processing and method of tallow addition to the diets of lactating dairy cows. – *Journal of Dairy Science*, vol. 80, No. 6, p. 1160–1171, 1997.
- Kaasik, A., Kask, H. Erineva suurusega teravilja- ja rapsiseemnejahu fraktsioonide kuivaine ja proteiini lõhustumine veise vatsas. – *Agraarteadus*, VIII, nr 3, lk 225–235, 1997.
- Kazakov, Kretovitš: Казаков Е. Д., Кретович В. Л. Биохимия зерна и продуктов его переработки. – Москва, Агропромиздат, 1989. – 351 с.
- Konarev: Конарев В. Г. Белки пшеницы. – Москва, Колос, 1980. – 351 с.

- Lindberg, J. E. Estimation of rumen degradability of feed proteins with the in sacco technique and various in vitro methods: A review. – *Acta Agriculture Scandinavica, Suppl. 25*, p. 64–97, 1985.
- Lykos, T., Varga, G. A. Effects of processing method on degradation characteristics of protein and carbohydrate sources in situ. – *Journal of Dairy Science*, vol. 78, No. 8, p. 1789–1801, 1995.
- Madsen, J., Hvelplund, T. Protein degradation in the rumen. A comparison between in vivo, nylon bag, in vitro and buffer measurements. – *Acta Agriculture Scandinavica, Suppl. 25*, p. 103–124, 1985.
- Mathison, G. W. Effect of processing on the utilization of grain by cattle. – *Animal Feed Science And Technology*, vol. 58, No. 1–2, p. 113–125, 1996.
- McNiven, M. A., Weisbjerg, M. R., Hvelplund, T. Influence of roasting or sodium hydroxide treatment of barley on digestion in lactating cows. – *Journal of Dairy Science*, vol. 78, No. 5, p. 1106–1115, 1995.
- Oll, Ü. Söötmissõpetus. – Tallinn, Valgus, 1994. – 303 lk.
- Oll, Ü. Põllumajandusloomade söötmissõormid koos söötade tabelitega. – Tartu, As Täht, 1995. – 186 lk.
- Pauly, T., Spröndly, R., Uden, P. Rumen degradability in sacco of physically and chemically treated oat and barley grain. – *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 58, No. 4, p. 465–473, 1992.
- Ørskov, E. R., McDonald, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate passage. – *Journal of Agricultural Science (Camb.)* 92, p. 499–503, 1979.
- Rjadtšikov: Рядчиков В. Г. Улучшение зерновых белков и их оценка. – Москва, Колос, 1978. – 368 с.
- Rjadtšikov jt: Рядчиков В. Г., Шевцов В. М., Добровольская С. В., Плотникова А. В., Лебедев А. В., Филипас Т. Б., Ковалёв Ф. С., Наволоцкий В. Д. Аминокислотный, фракционный состав и биологическая ценность белка мутантов и гибридов высоколизинового ячменя. – Биохимическая и биологическая оценка белков зерновых культур при селекции на качество зерна. – Всесоюзная Академия Сельскохозяйственных Наук. Сборник научных трудов, выпуск 19, с. 144–154, 1979.
- Rooney, L. W., Plugfelder, R. L. Factors affecting starch digestion with special emphasis on sorghum and corn. – *Journal of Animal Science*, vol. 63, p. 1607–1623, 1986.
- Schroeder, G. E., Erasmus, L. J., Meissner, H. H. Chemical and protein quality parameters of heat processed sunflower oilcake for dairy cattle – *Animal Feed Science And Technology*, vol. 58, No. 3–4, p. 249–265, 1996.
- Subuh, A. M. H., Rowan, T. G., Lawrence, T. L. J. Effect of heat or formaldehyde treatment and differences in basal diet on the rumen degradability of protein in soyabean meal and in rapeseed meals of different glucosinolate content. – *Animal Feed Science And Technology*, vol. 49, No. 3–4, p. 297–310, 1994.
- Zima, Lebedev: Зима В. Г., Лебедев А. В. Фракционный состав белков зерна и муки, аминокислотный и фракционный состав клейковины некоторых сортов пшеницы и тритикале. – Биохимическая и биологическая оценка белков зерновых культур при селекции на качество зерна. – Всесоюзная Академия Сельскохозяйственных Наук. Сборник научных трудов, выпуск 19, с. 117–128, 1979.
- Taranov, Sabirov: Таранов М. Т., Сабиров А. Х. Биохимия кормов. – Москва, Агропромиздат, 1987. – 224 с.
- Tuori, M., Kaustell, K., Valaja, J., Aimonen, E., Saarisalo, E., Huhtanen, P. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. – Helsinki, Yliopistopaino, 1996. – 101 lk.

## The Influence of Different Treatments on the Degradability of Dry Matter and Protein (Some of the Amino Acids) in Cereals

A. Kaasik, H. Kask, E. Pedak

### Summary

The effect of mechanical (milling, crushing), thermal (120 °C, 15 min.) and chemical (NaOH, 3.4125 n) treatment on the nutrient degradability of wheat, barley, oats and rye in the rumen of cattle was studied. Six trials with fistulated dairy cows were carried out by in sacco method which is accepted in Nordic countries. In the 1<sup>st</sup> trial dry matter and protein degradability of different meal fractions (F1 >2 mm; F2 1–2 mm; F3 0.315–1 mm) of wheat meal and oatmeal was studied. In the 2<sup>nd</sup> trial the effect of the type of mechanical treatment (milling, crushing) on dry matter and protein degradability of oats, barley and wheat was investigated. In the 3<sup>rd</sup> trial the effect of preservatives (siloben, AIV-2) on dry matter and protein degradability in conserved oat flakes and barley flakes was investigated. In the 4<sup>th</sup> trial the effect of different mechanical treatment (milling, crushing) on dry matter, lysine, arginine and histidine degradability in oats was investigated. In the 5<sup>th</sup> trial the effect of short thermal treatment (120 °C, 15 min.) on the dry matter, lysine and arginine degradability in crushed oats was investigated. In the 6<sup>th</sup> trial the effect of NaOH treatment (3.4125 n) on the dry matter, protein, lysine and arginine degradability in whole rye was investigated. On the bases of the results following conclusions can be made.

1. Effective degradability of the nutrients in the rumen depends to a great extent on the speed of solubility and degradability. The greater is nutrient solubility and degradability at the beginning of incubation period (right after feeding) the higher is effective degradability.
2. Dry matter, protein and amino acid solubility and degradability in rumen was most influenced by mechanical treatment, particle size of the meal fraction (meal, flakes) and by cereal specific weight.
3. The nutrients in large-fractional milling products with higher specific weight were solved and degraded slower and to a lesser extent. Decreasing fractional size of the product was associated with increasing rumen solubility and degradability of the nutrients. Effective degradability of dry matter was 72.4% in wheat meal; 58.7% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F1 ( $> 2$  mm); 73.5% ( $P > 0.05$ ) in meal fraction F2 (1–2 mm); 76.9% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F3 (1–0.315 mm) and 69.7% ( $P < 0.05$ ) in crushed wheat. During the incubation period of four hours the solubility and degradability of dry matter was 72.5% in wheat meal, 55.4% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F1; 74.5% ( $P > 0.05$ ) in meal fraction F2; 77.5% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F3 and 69.7% ( $P < 0.05$ ) in crushed wheat. Effective degradability of protein was 65.1% in wheat meal, 47.5% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F1; 58.1% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F2; 65.8% ( $P > 0.05$ ) in meal fraction F3 and 61.2% ( $P < 0.01$ ) in crushed wheat. Degradability of protein at the end of 4<sup>th</sup> hour of incubation period was 54.2% in wheat meal; 42.2% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F1; 48.5% ( $P < 0.01$ ) in meal fraction F2; 57.6% ( $P < 0.01$ ) in meal fraction F3 and 50.9% ( $P > 0.05$ ) in crushed wheat.
4. The correlation between the type of mechanical treatment (fractional composition) and the time and extent of nutrient degradability and solubility decreased when cereal specific weight was decreasing. Effective degradability of dry matter was 64.8% in oatmeal; 62.4% ( $P < 0.01$ ) in meal fraction F1; 73.4% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F2; 77.9% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F3 and 66.9% ( $P < 0.01$ ) in crushed oats. Degradability of dry matter at the end of 4<sup>th</sup> hour of incubation period was 67.4% in oatmeal; 53.3% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F1; 74.5% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F2; 82.5% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F3 and 70.2% ( $P < 0.001$ ) in crushed oats. Effective degradability of protein was 80.6% in oatmeal; 82.2% ( $P < 0.05$ ) in meal fraction F1; 82.9% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F2; 77.7% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F3 and 81.4% ( $P > 0.05$ ) in crushed oats. During the incubation period of four hours the degradability of protein was 84.2% in oatmeal; 88.1% ( $P < 0.01$ ) in meal fraction F1; 86.5% ( $P < 0.05$ ) in meal fraction F2; 74.5% ( $P < 0.001$ ) in meal fraction F3 and 84.7% ( $P > 0.05$ ) in crushed oats. Effective degradability of lysine, arginine and histidine was 76.5; 78.8 and 82.3% in oatmeal and 77.0 ( $P > 0.05$ ); 77.5 ( $P > 0.05$ ) and 86.0% ( $P < 0.001$ ) in crushed oats, respectively.
5. The finer are the meal fractions the larger is total surface of the feed particles. Due to this the effect of rumen fluid (as a solvent) and microbial enzymes are more effective, especially in cereals with higher specific weight.
6. The type of preservation additive influenced the speed and extent of nutrient solubility and degradability in conserved barley and oat flakes. Preservative AIV-2 decreased the speed and the extent of dry matter and protein degradability in oats and protein degradability in barley. Effective degradability of dry matter in oat flakes was: untreated 66.9%, preservative siloben 66.3% ( $P > 0.05$ ) and preservative AIV-2 62.4% ( $P < 0.001$ ). Degradability of dry matter in oat flakes at the end of 4<sup>th</sup> hour of incubation period was 70.2; 69.3 ( $P > 0.05$ ) and 63.5% ( $P < 0.001$ ), respectively. There was no significant effect of the type of preservation additive on the speed and extent of dry matter solubility and degradability in crushed barley. Effective degradability of dry matter in untreated barley flakes was 60.1%, preservative siloben or AIV-2 60.6 ( $P > 0.05$ ) and 61.0% ( $P > 0.05$ ). During the incubation period 4 hours 58.3; 61.1 ( $P > 0.05$ ) and 59.4% ( $P > 0.05$ ) of dry matter in crushed barley was degraded, respectively. Effective degradability of protein in oat flakes was 81.4% (untreated), 80.5% ( $P > 0.05$ ) (preservative siloben) and 76.8% ( $P < 0.001$ ) (preservative AIV-2). In the beginning (4 h) of incubation period 84.7; 84.5 ( $P > 0.05$ ) and 80.2% ( $P < 0.001$ ) of protein in oat flakes was degraded, respectively. Effective degradability of protein in barley flakes was 50.0% (untreated); 49.5% ( $P > 0.05$ ) (preservative siloben) and 47.3% ( $P < 0.05$ ) (preservative AIV-2). During the incubation period 4 hours 45.7; 46.0 ( $P > 0.05$ ) and 40.0% ( $P < 0.001$ ) protein in crushed barley was degraded, respectively. The effect of preservative AIV-2 on the nutrient solubility and degradability in oats and barley was unclear. Most likely formic acid as a main component in AIV-2 was responsible for reduce degradability. The content of formic acid in AIV-2 is 76%, while there is no formic acid in preservative siloben.
7. Short thermal treatment (120 °C, 15 min) did not affect significantly the speed or extent of effective degradability of dry matter in crushed oats. Effective degradability of dry matter in treated and untreated oat flakes was 66.9%. During the incubation period 4 hours 70.2 and 69.8% ( $P > 0.05$ ) of dry matter in crushed oats was degraded, respectively. High temperature causes structural changes in protein. Due to this the speed and extent of effective degradability of protein and amino acids is reduced. Latter was found in the present study. Effective degradability of lysine was 77.0% and arginine 77.5% in untreated; 75.2 ( $P < 0.001$ ) and 74.4% ( $P < 0.01$ ) in treated oat flakes, respectively. During the heating process chemical bounds (isopeptides) in protein and different components from amino acids (lyzinoalanine etc) are formed which a not digested by microbial enzymes in the rumen. Due to this heated protein is less degraded and absorbed in the small intestine.

8. The cereal grain is covered by fibre rich pericarp. Due to this the nutrient solubility and degradability in rumen is low when untreated whole grain is feed. Dehulling increases the speed and extent of nutrient degradability. In the present study rye grains were treated with NaOH (3.4125 n), which removed the pericarp. Effective degradability of dry matter and protein in untreated rye grain is 10–30%. NaOH treatment increased degradability of those nutrients to 47.8 and 49.7%, respectively. Effective degradability of lysine and arginine were 54.1 and 54.3%, respectively. Effective degradability of nutrients in untreated rye meal were: dry matter 63.5%; protein 65.3%; lysine 70.4% and arginine 71.5%. On the bases of the results of the present study it is not possible to draw any final conclusions about the effect of NaOH on the nutrient solubility and degradability in rye whereas in case of rye meal the effect of mechanical treatment must be considered.