

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA ZOOTEHNIKO

Jasmina LOZEJ

**VPLIV RAZLIČNIH VRST VLAKNINE NA
PREBAVLJIVOST HRANLJIVIH SNOVI KRME PRI
LABORATORIJSKIH PODGANAH**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2006

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA ZOOTEHNIKO

Jasmina LOZEJ

**VPLIV RAZLIČNIH VRST VLAKNINE NA PREBAVLJIVOST
HRANLJIVIH SNOVI KRME PRI LABORATORIJSKIH PODGANAH**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**THE EFFECT OF DIFFERENT SOURCES OF FIBRE ON THE
DIGESTIBILITY OF NUTRIENTS IN LABORATORY RATS**

GRADUATION THESIS
University Studies

Ljubljana, 2006

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija kmetijstvo - zootehnika. Opravljeno je bilo na Katedri za prehrano Oddelka za zootehniko Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Komisija za dodiplomski študij Oddelka za zootehniko je za mentorico diplomskega dela imenovala doc. dr. Tatjano Pirman.

Recenzent: prof. dr. Andrej Orešnik

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Jurij POHAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko

Članica: doc. dr. Tatjana PIRMAN
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko

Član: prof. dr. Andrej OREŠNIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Jasmina Lozej

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 636.084/.087(043.2)=863
KG	živinoreja/prehrana živali/krma/vlaknina/prebavljivost/hranljive snovi/podgane
KK	AGRIS L51
AV	LOZEJ, Jasmina
SA	PIRMAN, Tatjana
KZ	SI-1230 Domžale, Groblje 3
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za zootehniko
LI	2006
IN	VPLIV RAZLIČNIH VRST VLAKNINE NA PREBAVLJIVOST HRANLJIVIH SNOVI KRME PRI LABORATORIJSKIH PODGANAH
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	X, 65 str., 9 pregl., 11 sl., 52 vir.
IJ	sl
Jl	sl/en
Jl	<p>V raziskavi smo proučevali vpliv različnih vrst vlaknine na prebavljivost surovih beljakovin, organske in suhe snovi krme pri laboratorijskih podganah. V poskusnih mešanicah je bil del škroba zamenjan z določenim virom vlaknine. Uporabljen je bil jabolčni pektin (AU 701, Herbstreith&Fox, s stopnjo esterifikacije 34-38 %), guar gum (Fluka 09999) in pšenični otrobi. V prehranski poskus smo vključili štiri skupine po pet laboratorijskih podgan, soja Wistar. Namestili smo jih v individualne bilančne kletke s prostim dostopom do vode in krme. V času pet dnevnega poskusa smo ločeno zbirali seč in blato ter spremljali zauživanje krme in telesno maso živali. Krmne mešanice ter zbrani seč in blato smo analizirali na vsebnost dušika, suhe snovi in surovega pepela. Vse tri testne skupine, ki so imele dodatek prehranske vlaknine, so imele, v primerjavi s kontrolno skupino, manjšo tako navidezno kot pravo prebavljivost beljakovin, ki je bila statistično značilno ($P < 0,05$) najboljša. Prava prebavljivost beljakovin pri kontrolni skupini je bila 92,68 %. Najboljšo pravo prebavljivost pri testnih krmnih mešanicah so imeli pšenični otrobi (87,94 %) ter statistično značilno ($P < 0,05$) manjšo vrednost guar gum (85,62 %) in pektin (84,36 %). Biološka vrednost beljakovin je bila med skupinami podobna, med 72,02 % (guar gum) in 77,94 % (pektin). Prebavljivost organske in suhe snovi je bila podobno kot prebavljivost surovih beljakovin, statistično ($P < 0,05$) značilno manjša pri testnih krmnih mešanicah v primerjavi s kontrolno, najmanjšo vrednost so imeli pšenični otrobi. Vpliv različnih vrst vlaknine na prebavljivost hranljivih snovi krme je odvisen od vrste prehranske vlaknine.</p>

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dn
- DC UDC 636.084/.087(043.2)=863
- CX animal husbandry/animal nutrition/feed/fibre/nutrients/digestibility/rats
- CC AGRIS L51
- AU LOZEJ, Jasmina
- AA PIRMAN, Tatjana
- PP SI-1230 Domžale, Groblje 3
- PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Zootechnical Department
- PY 2006
- TI THE EFFECT OF DIFFERENT SOURCES OF FIBRE ON THE DIGESTIBILITY OF NUTRIENTS IN LABORATORY RATS
- DT Graduation Thesis (University studies)
- NO X, 65 p., 9 tab., 11 fig., 52 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB In the experimental study we examined the digestibility of crude protein, dry matter and organic matter on laboratory rats after the addition of different source of fibre in the diet. In the experimental diets a portion of starch was substituted with a source of fibre. Apple pectin (Pectin classic AU 701 Herbstreith&Fox, degree of esterification 34-38 %), guar gum (Fluka 09999) and wheat bran were used. Four groups of five young male Wistar laboratory rats were placed in the individual balance cages and fed *ad libitum*, either a control or one of the experimental diets. During the five day period the urine and faeces were collected and the amount of consumed diet and weight of the animals were registered. Nitrogen, crude ash and dry matter were determined in the diets, as well as in the collected urine and faeces. All three diets, with the addition of one source of fibre, had significantly ($P < 0.05$) lower apparent and true digestibility of protein as compared to the control diet. True digestibility in the control diet was 92.68 %. Among the experimental diets the best value of the true protein digestibility was found in wheat bran (87.94 %), and significantly ($P < 0.05$) lower in guar gum (85.62 %) and in pectin diet (84.36 %). Biological value of protein in all groups was similar, between 72.02 % (guar gum) and 77.94 % (pectin). The digestibility of dry and organic matter was similar to crude protein significantly ($P < 0.05$) lower in the experimental groups as compared to the control, but this time the lowest values were in wheat bran group. The effect of fibre on the digestibility of nutrients depends on the type of fibre.

KAZALO VSEBINE

	str.
Ključna dokumentacijska informacija (KDI)	III
Key Words Documentation (KWD)	IV
Kazalo vsebine	V
Kazalo preglednic	VII
Kazalo slik	VIII
Okrajšave in simboli	IX
1 UVOD	1
2 PREGLED OBJAV	3
2.1 PREHRANSKA VLAKNINA	3
2.1.1 Definicija pojma »prehranske vlaknine«	3
2.1.2 Sestavine prehranske vlaknine	5
2.1.2.1 Netopna prehranska vlaknina	6
2.1.2.2 Topna prehranska vlaknina.....	11
2.1.3 Fizikalno – kemijske lastnosti prehranske vlaknine	17
2.1.3.1 Sposobnost za vezanje vode	18
2.1.3.2 Sposobnost izmenjave kationov	19
2.1.3.3 Viskozne in želirajoče lastnosti	20
2.1.3.4 Velikost delcev	20
2.1.3.5 Adsorpcija organskih molekul.....	20
2.1.3.6 Mikrobna razgradnja polisaharidov.....	21
2.1.4 Fiziološki učinki	22
2.1.4.1 Absorpcija hranil	22
2.1.4.2 Vezalni učinki.....	23
2.1.4.3 Masa blata in intestinalni transportni čas	24
2.1.4.4 Črevesna fermentacija	25
2.1.5 Mikrobna fermentacija	26
2.1.5.1 Fermentacija in prebavila	26
2.2 PREBAVLJIVOST ORGANSKE SNOVI	28
2.3 METODE ZA OCENJEVANJE KAKOVOSTI BELJAKOVIN	29
2.3.1 Biološka vrednost beljakovin	29

2.3.2 Neto izkoristek beljakovin (NIB: Net protein utilization)	311
2.3.3 Razmerje izkoriščanja beljakovin (PER: Protein efficiency ratio)	31
3 MATERIAL IN METODE	32
3.1 MATERIAL	32
3.1.1 Opis prehranskega poskusa	32
3.2 METODE	34
3.2.1 Kemijska analiza	34
3.2.1.1 Weendska analiza	34
3.2.2 Potek biološkega testa	35
3.2.3 Izračuni	36
3.2.3.1 Količina zaužite krme in prirast.....	36
3.2.3.2 Količina zaužitega, izločenega in endogenega dušika ter bilanca.....	36
3.2.3.3 Prebavljivost, biološka vrednost, neto izkoristek beljakovin in razmerje izkoriščanja beljakovin	37
3.2.4 Statistična obdelava podatkov	39
4 REZULTATI	40
4.1 KRMNA MEŠANICA	40
4.2 TELESNA MASA IN PRIRAST ŽIVALI TER KONZUMACIJA KRME	41
4.3 KOLIČINA ZAUŽITEGA IN IZLOČENEGA DUŠIKA TER BILANCA DUŠIKA	42
4.4 PREBAVLJIVOST	44
4.4.1 Prebavljivost suhe snovi in organske snovi	44
4.4.2 Prebavljivost surovih beljakovin	45
4.5 KAKOVOST BELJAKOVIN	46
5 RAZPRAVA	47
6 SKLEPI	55
7 POVZETEK	57
8 VIRI	60
ZAHVALA	

KAZALO PREGLEDNIC

	str.
Pregl. 1: Kemična sestava pšeničnih otrobov (Zitterman, 2003: 1845)	10
Pregl. 2: Povečanje mase blata v odvisnosti od vira vlaknine (Jenkins in sod., 1979; Kay in Truswell, 1977; Kirby in sod., 1981; Miettinen in Tarpila, 1977; Wrick in sod., 1983, vsi cit. po Schneeman, 1989:137)	24
Pregl. 3: Sestava krmnih mešanic	33
Pregl. 4: Rezultati kemijske analize krmnih mešanic	40
Pregl. 5: Začetna in končna telesna masa, prirast in zaužita krma	41
Pregl. 6: Količine zaužitega in izločenega dušika ter bilanca dušika (N)	42
Pregl. 7: Prebavljivost suhe snovi (SS) in organske snovi (OS)	44
Pregl. 8: Navidezna in prava prebavljivost beljakovin (SB)	45
Pregl. 9: Biološka vrednost (BV), neto izkoristek beljakovin (NIB) in razmerje izkoriščanja beljakovin (PER)	46

KAZALO SLIK

	str.
Slika 1: Celuloza (Schneeman, 1989)	6
Slika 2: Glavna veriga hemiceluloz (Schneeman, 1989)	7
Slika 3: Stranska veriga hemiceluloz (Schneeman, 1989)	7
Slika 4: Kemična enota lignina (McDonald in sod., 1995)	8
Slika 5: Pektin (Schneeman, 1989)	11
Slika 6: Guar gum (Guar Gum, 2004c)	15
Slika 7: Beta – glukon (Jeganathan, 2003)	15
Slika 8: Gibanje telesne mase v obdobju poskusa pri različnih skupinah živali	48
Slika 9: Prebavljivost suhe in organske snovi	50
Slika 10: Navidezna in prava prebavljivost surovih beljakovin	51
Slika 11: Biološka vrednost (BV) in neto izkoristek beljakovin (NIB)	52

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

BV	Biological value (biološka vrednost beljakovin)
NP	navidezna prebavljivost
KVMK	kratkoverižne maščobne kisline
NIB	Net protein utilization (neto izkoristek beljakovin)
OS	organska snov
PER	Protein efficiency ratio (razmerje izkoriščanja beljakovin)
PP	prava prebavljivost
SB	surove beljakovine
SP	surovi pepel
SS	suha snov

1 UVOD

Prebavljivost hranljivih snovi je neposredno povezana z vsebnostjo vlaknine v krmi, pri tem pa ni pomembna samo koncentracija vlaknine, ampak tudi njena kemijska sestava (Orešnik in Lavrenčič, 1999). Snovi iz skupine vlaknina delimo na netopno vlaknino (celuloza, nekatere hemiceluloze, lignin), ki je neviskozna, slabo ali nefermentabilna ter na v vodi topno vlaknino, ki tvori koloidne raztopine ali gele (pektini, gume, sluzi ter nekatere vrste hemiceluloz). Topna vlaknina je viskozna ter po večini fermentabilna (Lupton in Turner, 2000).

Vlaknina je kemično heterogena skupina snovi, prav zato ima različne kemijske in fizikalne lastnosti, ki vplivajo na vsa dogajanja v prebavilih. Zato posebej izpostavljamo interakcijo med prebavo različnih hranljivih snovi in vlaknino. Različne vrste vlaknine (s svojimi lastnostmi in količino) različno vplivajo na prebavljivost drugih hranljivih snovi, prav tako druge hranljive snovi v obroku vplivajo na izkoristljivost vlaknine. Vsebnost ter lastnosti vlaknine vplivajo na prebavljivost organske snovi krme, na energijsko vrednost krme in na zauživanje suhe snovi obroka (Orešnik in Lavrenčič, 1999). Topna vlaknina (pektin in guar gum) ima drugačne učinke kot netopna vlaknina (pšenični otrobi). Poveča viskoznost črevesne vsebine in s tem zmanjša učinkovitost encimov in poslabša absorpcijo hranil, s tem pa tudi prebavljivost hranil (Mosenthin in sod., 1994). V vodi netopna vlaknina je razmeroma odporna na mikrobnou razgradnjo v prebavilih monogastričnih živali. Zanj je značilno, da skrajšuje čas prehoda skozi prebavila, spreminja peristaltiko gastrointestinalnega trakta, ovira absorpcijo hranljivih snovi, adsorbira žolčne kisline ter poveča količino izločenega blata (Koch in sod., 1993).

Pektin je rastlinski polisaharid. Spada v skupino topne prehranske vlaknine ter značilno vpliva na prebavo in absorpcijo hranil (Mosenthin in sod., 1994). V isto skupino spada tudi guar gum, vlaknina, ki je visoko fermentabilna in viskozna.

V skupino netopne prehranske vlaknine spada vlaknina v pšeničnih otrobih, ki vsebujejo velik delež netopnih lignificiranih celičnih sten ter imajo malo oziroma nimajo nobenega

vpliva na prebavo in absorpcijo v tankem črevesu, v debelem črevesu pa so odporni na mikrobo fermentacijo. Zaradi tega so pšenični otrobi eden od virov, ki najbolj učinkovito povečujejo količino izločenega blata in hitrost pasaže krme skozi prebavila (Bach-Knudsen in Hansen, 1991).

Namen dela je bil ugotoviti kako različne vrste vlaknine vplivajo na prebavljivost hranljivih snovi. Znano je, da dodatek različnih vrst vlaknine zmanjša prebavljivost surovih beljakovin krme. Ta vpliv je odvisen od vrste vlaknine v obroku. V našem primeru smo proučevali vpliv ene netopne vlaknine (pšeničnih otrob) ter vpliv topnih prehranskih vlaknin, kot sta guar gum in pektin, na prebavljivost hranljivih snovi.

2 PREGLED OBJAV

2.1 PREHRANSKA VLAKNINA

2.1.1 Definicija pojma »prehranske vlaknine«

Obstaja veliko različnih definicij prehranske vlaknine. Ker je prehranska vlaknina zelo raznolika v svoji kemijski zgradbi ima posledično tudi različne učinke v prebavi in presnovi in je zelo težko opisljiva (Salobir J in Salobir B, 2001).

Snovi, ki jih danes vključujemo v prehransko vlaknino, so bile včasih zajete v skupino surova vlaknina. Izraz surova vlaknina prihaja iz živalske krme, kjer je surova vlaknina še vedno pomembna pri pripravi krme ter predstavlja tisti del snovi, ki se ne more prebaviti z organizmu lastnimi encimi (Salobir J in Salobir B, 2001; Koch in sod., 1993).

Sam izraz prehranska vlaknina se je pojavil kasneje. Trowell jo v svoji prvotni definiciji poimenuje kot tisti del hrane, ki izhaja iz celične stene in jo ljudje zelo slabo prebavijo (Trowell, 1972, cit. po Salobir J in Salobir B, 2001). Kasneje so Trowell in sod. (1976) prehransko vlaknino definirali kot vsoto rastlinskih polisaharidov in lignina, ki niso prebavljivi s prebavnimi encimi. Leta 1992 so znanstveniki v definicijo uvrstili tudi rezistentne oligosaharide, le-ti pa so definirani kot oligosaharidi, ki so rezistentni na hidrolizo s človekovimi prebavnimi encimi (Lee in Prosky, 1994). Definicijo prehranske vlaknine je Low leta 1993 zaradi praktičnih potreb nekoliko skrčil, iz definicije je izločil predvsem rezistentni škrob in neprebavljene oligosaharide. Prehransko vlaknino je definiral kot vsoto lignina in neškrobnih polisaharidov (Salobir J in Salobir B, 2001). Upoštevati moramo, da neprežvekovalci, razen encimov za razgradnjo škroba, nimajo drugih encimov za razgradnjo polisaharidov (Salobir, 1998, cit. po Fajdiga, 2001).

Med neškrobne polisaharide, ki jih najpogosteje uporabljamo v prehrani neprežvekovalcev (tudi ljudi), prištevamo predvsem celulozo, mešano vezane beta-glukane, ksilane in pektine (Salobir, 1999).

Danes še vedno ni splošno sprejete definicije prehranske vlaknine. Definicija, ki je najbolj na široko sprejeta, bazira na fizioloških lastnostih in pravi, da se prehranska vlaknina najbolj sklada z ostanki rastlinske celične stene, ki so odporni na encimatsko hidrolizo v tankem črevesu. Medtem ko definicija na podlagi kemičnih lastnosti opisuje prehransko vlaknino kot neškrobne polisaharide (Thebaudin, 1997).

Najbolj splošno sprejeta definicija je: Prehranska vlaknina so oligosaharidi, polisaharidi in njihovi derivati, ki se ne morejo prebaviti s človeškimi prebavnimi encimi, tako da bi se lahko komponente vsrkale v zgornjem delu prebavnega trakta, to vključuje tudi lignin (Thebaudin, 1997).

Različni koncepti se naslanjajo predvsem na fiziološke učinke vlaknine in na njen izvor (Ha in sod., 2000, cit. po Salobir J in Salobir B, 2001).

S fiziološkega stališča je ena najpomembnejših lastnosti vlaknine njena topnost ter sposobnost za tvorbo viskoznih raztopin (Low, 1993, cit. po Salobir J in Salobir B, 2001).

Vlaknina ima zelo velik vpliv ne le na energijsko vrednost hrane, temveč tudi na prebavo drugih sestavin obroka, na razmere v prebavilih, mikrobnobno fermentacijo ter na zdravje prebavil in celega organizma. Prav to spoznanje je v zadnjih letih spodbudilo zanimanje za odkrivanje učinkov posameznih vrst vlaknine na prebavo in presnovo (Salobir J in Salobir B, 2001).

2.1.2 Sestavine prehranske vlaknine

Prehransko vlaknino sestavljajo snovi rastlinskega izvora: celuloza, hemiceluloza, pektinske substance in drugi polisaharidi, beljakovine, fenolne komponente, fitinske kisline, kutin, aromatični polimeri lignina in rudninske snovi (Koch in sod., 1993).

Prehransko vlaknino lahko delimo glede na njene fiziološke učinke. Delimo jo na topno ter netopno vlaknino v vodi, na viskozno ali neviskozno vlaknino in glede na primernost za mikrobnost fermentacijo na fermentabilno in nefermentabilno vlaknino (Salobir J in Salobir B, 2001).

Strukturna vlaknina (lignin, celuloza in nekatere hemiceluloze) je na splošno netopna, neviskozna ter slabo ali celo nefermentabilna. Medtem ko je vlaknina, ki tvori koloidne raztopine ali gele (pektini, gume, sluzi in nekatere vrste hemiceluloze) topna, viskozna in v večini primerov fermentabilna (Lupton in Turner, 2000).

Med vlaknino, ki je v vodi netopna, spadajo lignin, celuloza in hemiceluloze. Snovi s temi lastnostmi se nahajajo v pšenici, žitnih produktih in zelenjavi. Netopna vlaknina skrajšuje transportni čas krme skozi prebavila, povečuje maso blata, povzroča mehkejše blato in zadržujejo absorpcijo glukoze ter hidrolizo škroba (Walker, 1993). Celuloza je dominantna vlaknina, ki jo najdemo v vseh rastlinah. Zelenjava in žitna zrna so posebej bogata z netopnimi vlakninami, največja vsebnost pa je v pšenici in koruzi (Davidson in McDonald, 1998).

Topna vlaknina vključuje predvsem pektine, gume in določene hemiceluloze. Največ topne vlaknine vsebujejo sadje, oves, ječmen in stročnice. Ovseni otrobi in fižol v zrnju sta posebno bogata vira topne vlaknine (Walker, 1993).

Topne vlaknine podaljšajo transportni čas skozi prebavila, praznenje prebavil je počasnejše, počasnejša je absorpcija glukoze in nižji je nivo serumskega holesterola. Topna vlaknina se v debelem črevesu skoraj v celoti razgradi do kratko-verižnih maščobnih kislin (Walker, 1993).

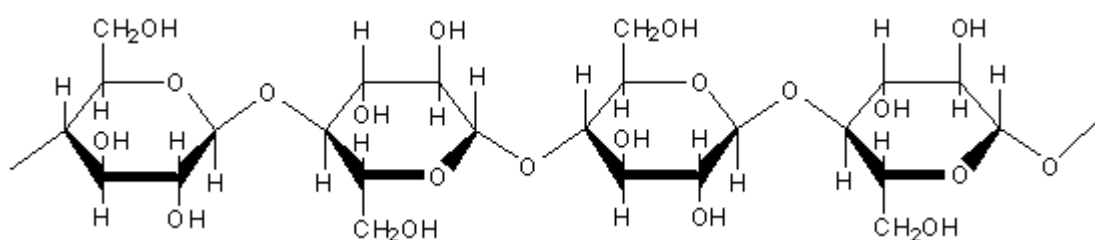
Obe obliki vlaknine imata sposobnost vezave vode in mineralnih kationov, prav tako sta na voljo kot fermentacijski substrat za mikrofloro v debelem črevesju (Davidson in McDonald, 1998).

2.1.2.1 Netopna prehranska vlaknina

CELULOZA

Celuloza je po količini najbolj zastopan enostavni polimer v rastlinah. Tvori osnovno strukturo rastlinske celične stene (McDonald in sod., 1995).

Celuloza spada v skupino polisaharidov, ki jo sestavljajo molekule glukoze, ki so med seboj povezane z 1-4- β -glukozidno vezjo (slika 1). Sesalci lahko celulozo prebavijo s pomočjo mikroorganizmov, ki se nahajajo v debelem črevesju, pri prežvekovalcih in drugih živalih s predželodci pa tudi v predželodcih. Mikrobnimi encimi razcepijo molekule beta-glukoze v nižje maščobne kisline in velike količine CO₂, CH₄ in vodika. Od kislin nastane največ propionske in očetne kisline, nekaj pa mravljične, maslene in valerianske kisline (Koch in sod., 1993).



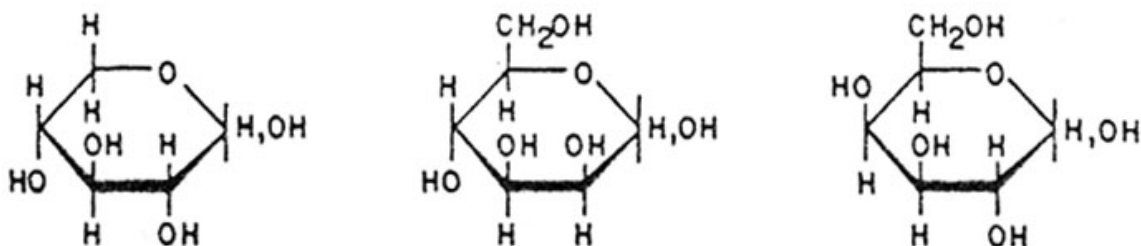
Slika 1: Celuloza (Schneeman, 1989)

HEMICELULOZE

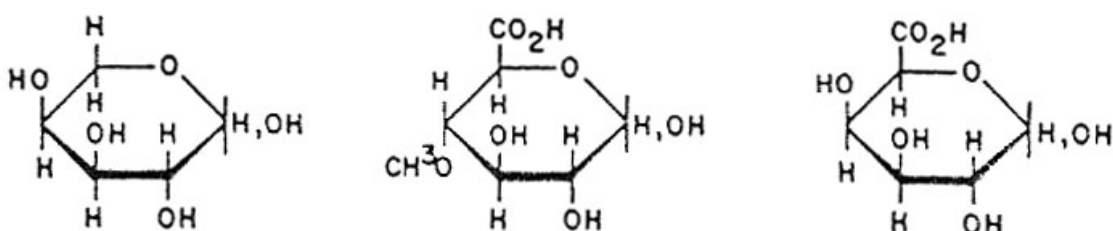
Hemiceluloze so heterogena skupina polisaharidov, sestavljena iz mešanice polisaharidov manana, galaktana, arabana, ksilana in poliuronskih kislin. Hemiceluloze so v največji meri sestavljene iz pentozanov, kot so ksilani in arabinoksilani. Druga najbolj številčna

skupina pa so heksoze, kot so galaktani. V tretjo skupino hemiceluloz spadajo kisle hemiceluloze, ki vsebujejo galakturonsko kislino (Koch in sod., 1993).

Nekatere hemiceluloze se hitro razgradijo pod vplivom mikroorganizmov v debelem črevesu (Koch in sod., 1993).



Slika 2: Glavna veriga hemiceluloz (Schneeman, 1989)



Slika 3: Stranska veriga hemiceluloz (Schneeman, 1989)

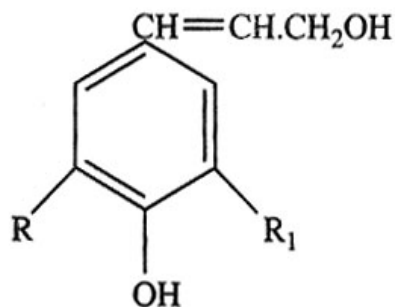
LIGNIN

Lignin spada v hidrofobni del prehranske vlaknine in se ne razgradi pod vplivom črevesnih bakterij.

Lignin je zelo kompleksna snov. Opišemo ga lahko kot tridimenzionalna mreža, ki je sestavljena iz p-hidroksifenolnih, guacilnih in siringilnih enot. Prekursorji teh sestavnih enot so cinamilni alkoholi, ki se s pomočjo kompleksnih polimerizacijskih procesov v

rastlinah transformirajo v lignin. Polimerizacijski proces vključuje korenite hidrogenacijske reakcije, med katerimi se formirajo eter in C-C vezi (Theander, 1993).

Ligninu pripisujejo tudi fiziološko delovanje, in sicer adsorpcijo žolčnih kislin in kancerogenih snovi (Koch in sod., 1993).



Slika 4: Kemična enota lignina (McDonald in sod., 1995)

KUTIN

Kutin je visoko hidrofobna snov. Pri sadju varuje steno rastlinske celice pred zunanjimi vplivi, prav zato je za rastlino pomemben. Razgradnja kutiniziranih snovi v človeškem prebavnem traktu ni mogoča. Kutin je polimer mono, di, tri ali poli hidroksi maščobnih kislin (Koch in sod., 1993).

SUBERIN

Suberin je prav tako kot kutin hidrofoben in rezistenten na razgradnjo v prebavnem traktu. Najdemo ga v plasti pod epidermom v mnogih rastlinskih tkivih, posebno v podzemnih. Suberin je kompleksna spojina, ki vsebuje fenolne komponente, alkohole z dolgimi verigami in različne kisline (Koch in sod., 1993).

OTROBI

Otrobi so zunanji plašč ali lupina zrna, ki jo po mletju odstranijo pri proizvodnji moke. Običajni vir otrobov so pšenica, oves, riž in riž, vendar skoraj 15% vseh otrobov na trgu predstavljajo pšenični otrobi (Zitterman, 2003).

Kemično otrobi niso definirana snov. Kemična sestava je odvisna od različnih faktorjev, kot na primer: od vrste in sorte zrna, velikosti semena, oblike, zrelosti, velikosti klice, debeline zunanje plasti, pogojev ter dolžine skladiščenja, pogojev pred mletjem, sistema mletja. Prav tako je odvisna od tipa moke, ki jo proizvajajo (Zitterman, 2003).

Zaradi sestave rastlinske celične stene vsebujejo žitni otrobi velik delež netopne prehranske vlaknine. Celična stena sestoji iz heterogene mešanice celuloze, neceluloznih polisaharidov in lignina (Zitterman, 2003).

Pšenični otrobi

Pšenični otrobi so stranski produkt običajnega mletja in so komercialno dostopni v velikih količinah. Pšenični otrobi so v večini uporabljeni kot živalska krma (Amrein in sod., 2003).

Otrobi so odličen vir prehranske vlaknine. Vendar je potrebno poudariti, da pšenični otrobi niso le vir prehranske vlaknine, ampak tudi dober vir različnih hranil. So zelo bogat vir beljakovin, ki so v večini locirane v alevronski plasti zrna (Zitterman, 2003).

Botanično prevladujoča komponenta pšeničnih otrobov sta perikarp in alevronsko tkivo. Perikarp ima debelo olesenelo celično steno, medtem ko je alevronsko tkivo večje ter vsebuje več beljakovin in maščobe. Alevronsko tkivo je prav tako debelo, vendar ima neolesenelo celično steno (Bacic in Stone, 1981, cit. po Bach Knudsen in Hansen, 1991). Glavni polisaharidni komponenti izoliranih celičnih sten perikarpa so arabinoksilani in

celuloza, medtem ko so v alevronski plasti to arabinoksilani in β -glukani (Selvendran, 1984).

Preglednica 1: Kemična sestava pšeničnih otrobov (Zitterman, 2003: 1845)

Sestavina (g/100 g SS)	Pšenični otrobi
Beljakovine	13 – 18
Maščobe	3 – 6
Pepel	6 – 7
Topna prehranska vlaknina	2 – 5
Netopna prehranska vlaknina	32 – 53
Skupna prehranska vlaknina	35 – 58
Celuloza	6 – 12
Hemiceluloza	19 – 31
Lignin	2 – 8

Pšenični otrobi vsebujejo velik delež netopnih olesenelih celičnih sten (Selvedran, 1984). Njihovo delovanje v prebavnem traktu zelo malo oziroma skoraj ne vpliva na prebavo in absorpcijo v tankem črevesu, v debelem črevesu pa so pšenični otrobi odporni na mikrobnno razgradnjo (Donangelo in Eggum, 1985). Potemtakem so pšenični otrobi s svojimi fizikalnimi lastnostmi eden izmed najbolj učinkovitih virov prehranske vlaknine za povečanje količine blata in za zmanjšanje hitrosti pasaže krme skozi prebavila od začetka do konca prebavnega trakta (Spiller in sod., 1986).

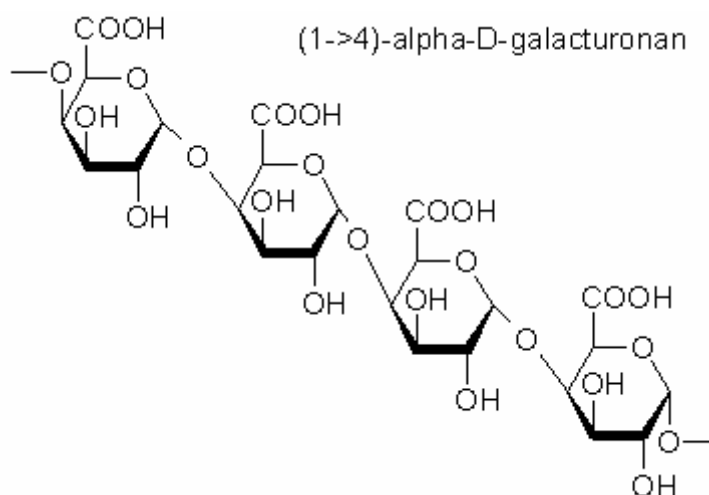
RASTLINSKI VOSKI

Rastlinski voski so navadno zelo kompleksne sestavine, ki vsebujejo ketone, fenolne estre in alkohole. V prebavnem traktu rastlinske voske hidrolizirajo lipaze. Voski so estri maščobnih kislin in višjih alkoholov (Koch in sod., 1993).

2.1.2.2 Topna prehranska vlaknina

PEKTIN

Pektinske substance spadajo v skupino neceluloznih polisaharidov. Izraz se uporablja za kompleksno skupino polisaharidov, katerim je osnovna sestavina D-galakturonska kislina. Nekateri omenjajo, da ima pektin dve lastnosti, ki sta pomembni v prebavi in presnovi, to sta njegov vpliv na viskoznost raztopin in veliko sposobnost vezanja ionov. Že na prvi stopnji primarnega oblikovanja celic imajo pektinske substance v obliki gela v rastlinski celici pomembno vlogo ter nato tudi v stopnji sekundarnega zgoščevanja. Pektin se v črevesu popolnoma metabolizira, ugotovljeno pa je bilo tudi fiziološko delovanje njegovih nizkomolekularnih metaboličnih produktov (Koch in sod., 1993).



Slika 5: Pektin (Schneeman, 1989)

Pektin

Vse zelene rastline vsebujejo pektinske substance. Bogat vir pektina sta zelenjava in sadje. Pektin je prehranska vlaknina, ki ima ugoden učinek, kot je občutek sitosti, splošno izboljšanje prebave in znižanje koncentracije krvnega holesterola (GENU[®]Pectin Book, 2004).

Pektin je naravna sestavina rastlin. Pektin je združen s celulozo v rastlinskem tkivu, kjer igra pomembno vlogo v določanju njenih fizikalnih lastnosti. S celulozo tvori protopektin, ki ima sposobnost vsrkavanja velike količine vode. Celuloza služi kot podporno tkivo, za stabilnost, medtem ko pektin daje rastlini upogljivost (Pectins, 2004).

Pektin iz citrusov je pridobljen iz limonine ter limetine lupine ter tudi iz pomaranč in grenivk. Citronska lupina je stanski produkt pri iztiskanju soka in vsebuje velik delež pektina z zaželjenimi lastnostmi. Jabolčna mezga, ostanek pri stiskanju jabolčnega soka, je surovi oziroma primarni material za proizvodnjo komercialnega jabolčnega pektina. Jabolčni pektin je običajno temnejše barve kot pektin iz citrusa, vendar v njunih funkcijah ni bistvenih razlik (GENU[®]Pectin Book, 2004).

Največ pektina se uporabi za džeme, vendar to ni njegova edina uporabna vrednost. Posebno pomembna uporaba je pri stabilizaciji mlečnih beljakovin, pri jogurtih, napitkih iz mleka in sadja ter pri medicinskih sredstvih, ki so v kontaktu s kožo (GENU[®]Pectin Book, 2004).

V industriji in za domačo uporabo je pektin znan po svojih značilnostih: sposobnosti želiranja, zgoščevanja in po stabilizatorski sposobnosti. Iz teh razlogov se uporablja pektin v prehrabeni industriji, farmaciji in kozmetiki (Pectins, 2004).

Kemijsko je pektin heterogeni polimer. D-galakturonska kislina je osnovna komponenta pektinske molekule. Na njo so vezani nevtralni sladkorji (galaktoza, arabinoza in rahmanoza). Enote D-galakturonske kisline so med seboj vezane z α 1→4 glikozidnimi

vezmi (GENU[®]Pectin Book, 2004; Pectins, 2004) in formirajo linearno verigo polisaharidov in jo klasificirajo glede na stopnjo esterifikacije (GENU[®]Pectin Book, 2004).

Glede na stopnjo esterifikacije delimo komercialni pektin na visoko ter nizko esterificiran, meja med njima je 50 % stopnja esterifikacije. Obe skupini pektina imata različne mehanizme delovanja. Za tvorjenje gela visoko esterificiran pektin zahteva minimalno količino raztopljenih snovi ter pH okrog 3,0, medtem ko nizko esterificiran pektin za tvorjenje gela zahteva prisotnost kontrolirane količine kalcija ali drugih bivalentnih kationov ter ne zahteva prisotnosti sladkorjev in/ali kislin (GENU[®]Pectin Book, 2004).

Visoko esterificiran pektin ima nad 50 % esterificiranih poligalakturonskih kislinskih enot ter ne reagira s kalcijevimi ioni, z njimi lahko želira pektin, ki ima manj kot 50 % esterificiranih poligalakturonskih kislinskih enot (Herbstreith&Fox, 2006).

Odločilni faktorji pri čvrstosti gela so koncentracija pektina, tip pektina, raztopljene snovi, pH ter koncentracija odbijajočih soli in kalcijevih ionov, ki jih vsebuje. Dobro usklajeno razmerje med pektinom in koncentracijo kalcija vodi do optimalne teksture gela (Herbstreith&Fox, 2006).

GUME

Rastlinske gume so zelo heterogena skupina kompleksnih polisaharidov. V vodi so topne ter povzročajo viskozne koloidne raztopine. V glavnem so neprebavljivi rastlinski material. Gume vsebujejo skupine uronske kisline in več različnih sladkorjev (Passmore in Eastwood, 1986).

Guar gum

Guar gum je v širokem spektru prehrane, kozmetike in farmacije priznan kot emulgator, zgoščevalec in stabilizator. Prodaja se v obliki prahu, bele do rumenkaste barve, brez vonja. Dostopen je v različnih konsistencah in različno velikih granulah, odvisnih od zaželjene konsistence. Konsistenca je odvisna tudi od temperature, časa in koncentracije. Ugodna lastnost guar guma je njegova lastnost zgoščevanja, brez uporabe toplote (Guar Gum, 2004a).

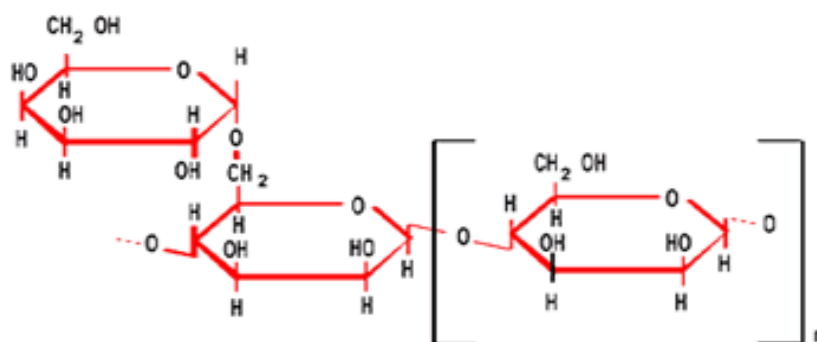
Guar gum je derivat endosperma osnovne rastline guar. Rastlino guar v večini pridelujejo v Indiji in Pakistanu. Obirajo jo od julija do decembra (Guar Gum, 2004a).

Mlada semena guara se uporabljajo kot zelenjava, uporabljajo se tudi za živalsko krmo ter za proizvodnjo guar guma, ki ima funkcijo zgoščevalca in emulgatorja v komercialni hrani. Ima kar osem krat večjo zgoščevalno moč od žitnega škroba (Guar Gum, 2004b).

Guar gum je na splošno priznan kot varen proizvod z različnimi deleži dopustne koncentracije v različnih dodatkih h hrani. Številne študije z uporabo guar guma na ljudeh so pokazale značilno zmanjšanje nivoja holesterola v krvi. To značilno zmanjšanje naj bi bilo posledica visoko topnih vlaknin (Guar Gum, 2004a).

Guar gum je naravni visoko molekularni polisaharid, sestavljen iz enote galaktana in manana. Polisaharidi so kompleksne sladkorne molekule vezane med sabo z devetimi ali več enostavnimi sladkorji (Guar Gum, 2004a).

V glavni verigi so molekule D-manana povezane z β 1 \rightarrow 4 vezjo. V stranskih verigah je D-galaktan, ki se na osnovo verigo veže z α 1 \rightarrow 6 vezjo. V večini je razmerje med mananom in galaktanom 2:1 (Guar Gum, 2004c).



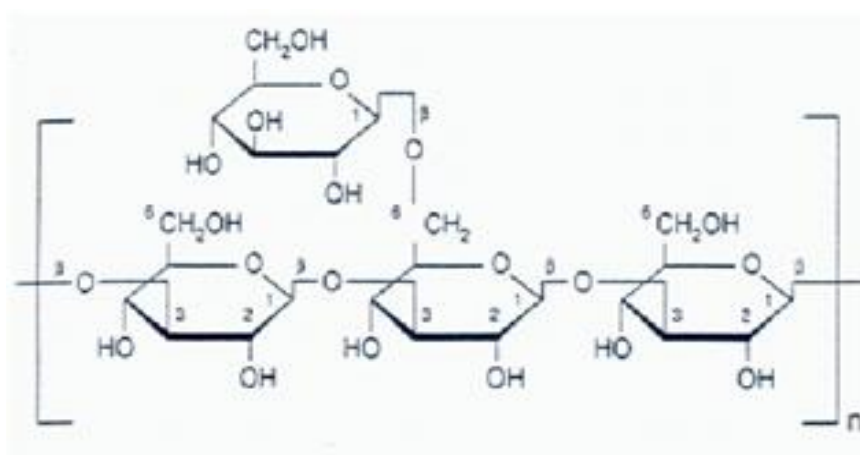
Slika 6: Guar gum (Guar Gum, 2004c)

BETA-GLUKANI

Beta-glukani spadajo v skupino neceluloznih polisaharidov, ki vplivajo na viskoznost žitne hrane (Koch in sod., 1993). Bogat vir beta-glukanov sta oves in ječmen (Schneeman, 1989).

Večina beta-glukanov je topnih v vodi, čeprav so izredno majhne količine izjemoma lahko netopne (Koch in sod., 1993).

Beta-glukani so polimeri glukoze. Posamezne glukozne enote so med seboj povezane z 1-4 β in 1-3 β vezjo. Prav te vezi naredijo beta-glukan obstojen, ne hidrolizira se (Koch in sod., 1993).



Slika 7: Beta – glukani (Jeganathan, 2003)

REZISTENTNI ŠKROB

Rezistentni škrob je škrob, ki se ne prebavi v tankem črevesu in pride v debelo črevo nerazgrajen. Šele v debelem črevesu ga fermentira črevesna mikroflora. Pri tem procesu se tvorijo CO₂, CH₄, vodik in kratko verižne maščobne kisline (ocetna, propionska in maslena kislina).

Glede na poreklo delimo rezistentni škrob na:

- fizično nedosegljiv škrob,
- rezistentna škrobna zrna,
- retrogradiran škrob.

Na vsebnost rezistentnega škroba v živilu in na hitrost prebave vplivajo notranji in zunanji faktorji.

Razlogi, da se prebava škroba v tankem črevesu upočasnijo so:

- če je onemogočen dostop pankreatične amilaze do škrobnih zrn,
- če trde celične stene inhibirajo nabrekanje in disperzijo škroba,
- če je škrob trdno stisnjen v hrani.

Na spremembo občutljivosti škroba za hidrolizo s pankreatično amilazo vpliva žvečenje, čas prehoda hrane od ust do ileuma, koncentracija amilaze, količina prisotnega škroba ter prisotnost drugih sestavin hrane (Koch in sod., 1993).

2.1.3 Fizikalno – kemijske lastnosti prehranske vlaknine

Prehranska vlaknina ni homogena skupina, ampak je sestavljena skupina iz kemijsko različnih komponent z različnimi lastnostmi. Fizikalne in kemijske lastnosti prehranske vlaknine določajo njeno lokalno obnašanje in skupen telesni odziv, ki je pričakovan z razgradljivostjo določene vrste vlaknine. To vključuje viskoznost, fermentabilnost, sposobnost za vezanje vode, sposobnost vezave žolčnih kislin, sposobnost za izmenjavo kationov, maso blata in mikrobnno delovanje (Pilch, 1987, cit. po Davidson in McDonald, 1998; Salyers, 1990, cit. po Davidson in McDonald, 1998; Cummnings, 1986, cit. po Davidson in McDonald, 1998; Vahouny in sod., 1980, cit. po Davidson in McDonald, 1998).

Ker je prehranska vlaknina kemično heterogena snov ima različne kemijske in fizikalne lastnosti. Nekatere komponente so v vodi topne, medtem ko so druge v vodi ne topne. Nekatere imajo veliko sposobnost zadrževanja vode, druge majhno, nekatere te sposobnosti nimajo. Nekatere vrste prehranske vlaknine imajo večje deleže topne vlaknine kot druge (Golob in sod., 1995).

Vpliv prehranske vlaknine na človeški ali živalski organizem se razlikuje glede na to ali je prehranska vlaknina topna ali netopna.

Za topno prehransko vlaknino je značilno naslednje (Koch in sod., 1993):

- vpliva na viskoznost črevesne vsebine,
- preprečuje absorpcijo žolčnih kislin,
- upočasni (zavira) absorpcijo glukoze,
- zmanjša potrebo organizma po insulinu,
- pektin zmanjša koncentracijo plazemskega holesterola,
- posredno vpliva na sintezo holesterola v jetrih.

Značilno delovanje netopne prehranske vlaknine:

- adsorpcija žolčnih kislin,
- poveča količino izločenega blata,

- skrajša transportni čas skozi prebavila,
- celuloza reducira aktivnost lipaze.

Fizikalne lastnosti, ki jih te snovi imajo, vplivajo ne le na pravilno delovanje gastrointestinalnega trakta, temveč tudi na metabolizem lipidov in glukoze ter celo na ravnotežje mikroelementov v presnovi (Koch in sod., 1993).

2.1.3.1 Sposobnost za vezanje vode

Prehranska vlaknina veže večjo količino vode zaradi česar le-ta v prebavilih nabrekne in tako vpliva na hitrost praznenja želodca, na prehod hrane skozi črevesje, na absorpcijo hranljivih snovi v tankem črevesju itd. (Koch in sod., 1993).

Prehranska vlaknina zadržuje vodo s pomočjo vpijanja. Vsa voda se v celoti ne vpije v vlaknino, nekaj jo ostane izven matriksa vlaknine (prosta voda). Na sposobnost vezanja vode vpliva velikost delcev, struktura in kemijska sestava prehranske vlaknine (Mongeau in Brooks, 2003).

Voda se v vlakninah veže na tri načine (Owen in Cetton, 1982):

- v matriks vlaknine,
- v mrežo vlaknine,
- s hidrofiliimi polisaharidi vlaknine.

Sposobnost prehranske vlaknine za vezanje vode je vzrok, da se poveča volumen in viskoznost mase blata, obenem pa se skrajša čas prehoda hrane skozi črevesje. Permeabilnost in nabrekanje vplivata na prodiranje bakterij v notranjost, kar povzroča obsežnejšo fermentacijo vlaknin, to pa ima izreden pomen pri preprečevanju zaprtja in zmanjšanja možnosti nastanka divertikuloze (Owen in Cetton, 1982).

2.1.3.2 Sposobnost izmenjave kationov

Prehranska vlaknina ima v prebavilih sposobnost izmenjave kationov, medtem ko sposobnost anionske izmenjave nima. Izmenjava kationov se spreminja z vrsto in starostjo rastlin, od močne in monofunkcionalne do slabše in polifunkcionalne izmenjave (Koch in sod., 1993).

Kationska izmenjava je odvisna od števila prostih karboksilnih skupin na sladkornih ostankih in od prisotnosti uronske kisline v neestificirani obliki. Priprava hrane, bogate z vlaknino, lahko zmanjša število neestificiranih karboksilnih skupin in navidezno sposobnost kationske izmenjave (Mongeau in Brooks, 2003; Schneeman, 1989).

Vlaknina pšeničnih otrobov lahko trajno veže ione težkih kovin in s tem zmanjša njihovo toksičnost. To, da vlaknina pšeničnih otrobov vsebuje malo uronske kisline, kaže na njeno večjo sposobnost izmenjave kationov v primerjavi s pektinom (Mongeau in Brooks, 2003; Schneeman, 1989).

Na sposobnost kationske izmenjave vpilva tudi pH črevesne vsebine (Passmore in Eastwood, 1986).

Prehranska vlaknina lahko veže nase ione kot so kalcij, železo ali cink in določene lipide, kot so žolčne kisline in holesterol (Owen in Cetton, 1982). Zaradi te funkcije vezave mineralov in elektrolitov in s tem povezano povečanje njihovega izločanja iz telesa, povzroča uživanje hrane bogate s prehransko vlaknino zmanjšanje količine prostih mineralov in elektrolitov v telesu (Passmore in Eastwood, 1986).

2.1.3.3 Viskozne in želirajoče lastnosti

Viskoznost v vodi topnih sestavin prehranske vlaknine, kot so ovseni β -D-glukani in pektini, vpliva na praznenje želodca in stopnjo absorpcije v tankem črevesju. Viskozen material lahko prav tako kaže želirajoče značilnosti (Mongeau in Brooks, 2003; Mongeau in sod., 1993).

Meritve viskoznosti so pokazale, da nižje metilirani pektin rahlo spremeni viskoznost v lumnu tankega črevesa, viskoznost se poveča pri pšeničnih otrobih ter močno poveča pri dodanem visoko metiliranem pektinu (Mongeau in Brooks, 2003; Mongeau in sod., 1993).

Prav tako lahko nekatere komponente nestrukturirane prehranske vlaknine povečajo viskoznost (Mongeau in Brooks, 2003; Mongeau in sod., 1993).

2.1.3.4 Velikost delcev

Velikost delcev vpliva na sposobnost za vezavo vode in na fermentacijo ter odloča o dostopnosti vlaknine za prebavo in o transportnem času skozi črevo. Prav tako predstavlja nepoškodovana celična stena oviro za prebavne encime, razgradnja poteka počasneje kot pri zmleti oziroma poškodovani celični steni. Počasneje se razgrajujejo večji delci (Schneeman, 1989; Passmore in Eastwood, 1986).

2.1.3.5 Adsorpcija organskih molekul

Prehranske vlaknine (posebno lignin) adsorbirajo nekatere organske substance, npr. žolčne kisline in nekatere strupe (Koch in sod., 1993).

In vitro raziskava je pokazala, da lignin uspešno odsorbira žolčne kisline, prav tako pektin in drugi kislinski polisaharidi, v nasprotju s celulozo, ki ima majhno sposobnost vezave žolčnih kislin (Schneeman, 1989).

Pri zauživanju krme bogate z ovsenimi otrobi, guar gumom ali pektinom pride do večjega izločanje žolčnih kislin z blatom. Glede na to, da imajo nekatere komponente prehranske vlaknine sposobnost vezave strupenih snovi, je ta mehanizem nekakšna zaščita, ki jo ima vlaknina proti želodčno-črevesnemu raku, vendar ta sposobnost ni bila neposredno dokazana (Schneeman, 1989).

2.1.3.6 Mikrobna razgradnja polisaharidov

Prehranska vlaknina encimsko ni razgradljiva v tankem črevesu, poteka pa mikrobna razgradnja v debelem črevesu (Schneeman, 1989).

Večji del prehranske vlaknine ostane neprebavljen, dokler ne doseže debelo črevo. Fermentacija v debelem črevesu je odvisna od izvora in strukture polisaharidov ter od mnogih drugih dejavnikov, kot so: prisotnost specifičnih komponent v matriksu vlaknine, izvora dušika, prilagojenosti bakterij in časa zadrževanja v debelem črevesu (Mongeau in Brooks, 2003).

Poleg tega na razgradnjo polisaharidov vpliva tudi sposobnost za vezavo vode. Na primer, pektini, rastlinske sluzi in guar gum so popolnoma razgradljivi, v nasprotju s celulozo, ki je le deloma (Schneeman, 1989).

Splošno je znano, da topna vlaknina skoraj v celoti fermentira v debelem črevesu. Pojavljajo se tudi mnenja, da je netopna vlaknina nefermentabilna. Vendar sta tako topna kot tudi netopna vlaknina znatno fermentabilni (Mongeau in Brooks, 2003).

V povprečju 70-80 % od zaužite prehranske vlaknine mešane hrane (zelenjava, sadje, stročnice ter otrobi) razgradijo črevesne bakterije (Mongeau in Brooks, 2003).

Obstajajo tudi raziskave, ki dokazujejo, da je mikrobna razgradnja med drugim odvisna tudi od velikosti delcev, manjši kot so delci boljše je razgradnja (Mongeau in Brooks, 2003).

2.1.4 Fiziološki učinki

Prehranska vlaknina ima številne fiziološke učinke, ki so odvisni od fizikalno – kemičnih lastnosti posameznega vira vlaknine. Ti učinki vključujejo povečanje mase blata, povečanje funkcije debelega črevesa, zmanjšanje uporabnosti hranil ter zmanjšanje ravni holesterola v krvi. Nekateri viri prehranske vlaknine so glede na fiziološke učinke bolj učinkoviti kot drugi (Schneeman, 1989).

Prehranska vlaknina vpliva na funkcijo celotnega prebavnega trakta in na proces presnove v organizmu, s katerim je ta povezan (Mongeau in sod., 1993).

Glavni fiziološki učinek prehranske vlaknine je vpliv na praznenje želodca in transportni čas skozi tanko črevo, ker omogoča izboljšanje glukozne tolerance in zmanjšanje prebavljivosti škroba (Golob in sod., 1995).

Človek ne tvori prebavnih encimov za prebavo vlaknine, zato vlaknina prehaja skozi tanko črevo skoraj neprebavljena (Salobir J in Salobir B, 2001). Prav tako je vlaknina v želodcu zelo slabo razgradljiva. Podaljšuje se čas zadrževanja in količina hrane v njem, to pa vodi do povečanega občutka sitosti (Davidson in McDonald, 1998).

2.1.4.1 Absorpcija hranil

Srednji del tankega črevesa je glavno mesto absorpcije hranil. Proces omogoča hidroliza prebavljivih polimerov, kot so beljakovine, škrob in trigliceridi. Različne skupine polisaharidov, ki vključujejo prehransko vlaknino, so v večini odporne na hidrolizo s pankreasnimi encimi in encimi črevesnega soka. Kompleksna struktura rastlinske celične stene se poruši med samo pripravo živila, med žvečenjem in v procesu prebave v želodcu. Netopne komponente se razgradijo do finih delcev, topni polisaharidi (kot so pektin in β -glukani) pa se razpršijo v vodni fazi (Mongeau in sod., 1993).

Viskozna prehranska vlaknina zmanjša stopnjo absorpcije glukoze ali drugih ogljikovih hidratov, posledica pa je zmanjšanje koncentracije glukoze v krvi in reakcija inzulina. Krma z velikim deležem vlaknine poveča proizvodnjo odpadnega dušika, to se pravi, da vlaknina negativno vpliva na prebavo beljakovin. Določene vrste prehranske vlaknine zmanjšujejo delež ali obseg absorpcije nekaterih vitaminov, vendar je zmanjšanje majhno in malo je verjetno, da ima to neugodne vplive na prehranski status. Veliko bolj neugodno vpliva vlaknina na absorpcijo rudninskih snovi, kot so kalcij, železo, cink in magnezij (Mongeau in sod., 1993).

2.1.4.2 Vezalni učinki

In vitro raziskava je dokazala, da številne oblike prehranske vlaknine lahko vežejo kovinske ione. Strokovnjaki za prehrano so dolgo sumili, da potrošnja hrane bogate z neprečiščenimi žiti lahko vodi do zmanjšanja naravne razpoložljivosti rudninskih snovi (Mongeau in sod., 1993).

Veзалne lastnosti prehranske vlaknine so odvisne od prisotnosti funkcionalnih skupin, kot so uronska kislina pri pektinu in hemicelulozah ter hidroksilne skupine pri nevtralnih polisaharidih. Pri raziskavi *in vitro* so ugotovili, da mnogi tipi vlaknine vežejo minerale ter izražajo relativno majhne negativne učinke na absorpcijo Ca, Mg, Zn in Fe. Fitati, fenolne komponente in organske kisline imajo zadrževalne učinke na absorpcijo železa, cinka in kalcija. Velik delež vlaknine v hrani lahko povzroči kronično pomanjkanje elementov v sledovih. V to skupino spada netopna vlaknina, ki lahko povzroči pomanjkanje rudninskih snovi. Nasprotno topna vlaknina ne povzroči pomanjkanja rudninskih snovi, ker se fermentira v črevesju in s tem odpusti vezane elemente, ki se potem lahko absorbirajo (Mongeau in sod., 1993; Carnovale in Lintas, 1995).

2.1.4.3 Masa blata in intestinalni transportni čas

Sposobnost, da lahko celične stene polisaharidov povečajo maso blata, je najbolj znana fiziološka lastnost prehranske vlaknine (Mongeau in sod., 1993).

Številne študije so dokazale, da posamezni viri vlaknin različno povečajo maso blata (preglednica 2).

Preglednica 2: Povečanje mase blata v odvisnosti od vira vlaknine (Jenkins in sod., 1979; Kay in Truswell, 1977; Kirby in sod., 1981; Miettinen in Tarpila, 1977; Wrick in sod., 1983, vsi cit. po Schneeman, 1989:137)

VIR VLAKNINE	% POVEČANJA MASE BLATA
ovseni otrobi	15
pektin	16 – 35
guar gum	20
jabolko	40
korenje	59
celuloza	75
pšenični otrobi - grobi	80 – 127
pšenični otrobi - fini	24

Faktorji, ki prispevajo k povečanju mase blata, vključujejo nerazkrojen vlakninast ostanek, povečanje vsebnosti vode v blatu in povečanje mikrobne mase, ki nastane pri fermentaciji vlaknine (Pilch, 1987, cit. po Schneeman, 1989; Thebaudin in sod., 1997).

Grobi pšenični otrobi povečajo maso blata za 80 – 120 %. So najbolj učinkovit vir vlaknine, ki vpliva na maso blata. Nasprotno pa imajo fini pšenični otrobi, katerih fizikalna struktura je razdrta, manjši vpliv na maso blata. Mogoče zato, ker se je njihova sposobnost za vezavo vode spremenila ali so jih mogoče bakterije že razgradile. V tem primeru je fizikalna oblika različnega vira vlaknine tako pomembna kot vsi drugi fiziološki učinki vlaknine (Pilch, 1987, cit. po Schneeman, 1989; Thebaudin in sod., 1997).

Podatki dokazujejo, da viri topnih, neceluloznih polisaharidov (npr. pektini in gume) ne povzročajo povečanje mase blata oziroma so manj učinkoviti pri tvorbi blata, zato ker se

popolnoma razgradijo v debelem črevesu pod vplivom bakterij (Pilch, 1987, cit. po Schneeman, 1989; Thebaudin in sod., 1997). Sadje in zelenjava bistveno povečata maso blata, ker povečata vlaknasti ostanek in mikrobno maso (Schneeman, 1989).

Intestinalni transportni čas je čas, ki je potreben za prehod hrane skozi črevesje. Prehranska vlaknina skrajšuje transportni čas. Hrana bogata z zelenjavo, sadjem in pšeničnimi otrobi skrajša transportni čas, dodatek pektina in gume pa ne (Pilch, 1987, cit. po Schneeman, 1989; Spiller, 1986, cit. po Schneeman, 1989). Čas prehoda in masa blata sta v obratnem sorazmerju (Schneeman, 1989).

2.1.4.4 Črevesna fermentacija

Črevesna fermentacija pri monogastričnih živalih poteka v debelem črevesu, okolje v debelem črevesu pa je revno s hranljivimi snovmi. Fermentabilnost je odvisna od zgradbe in strukture substrata, ki je potreben za rast in metabolizem črevesne mikroflore (neabsorbirana vlaknina, rezistentni škrob, oligosaharidi in sluzi) ter od prisotnosti bakterijskih encimov, okolja (pH, hitrost mešanja, žolčne kisline) in transportnega časa (Edwards in Parrett, 1996, cit. po Kutoš, 1997).

Glavna funkcija bakterijske fermentacije v črevesju je regulacija kemijskih in fizikalnih lastnosti intraluminalnega okolja (Mongeau in sod., 1993).

2.1.5 Mikrobna fermentacija

2.1.5.1 Fermentacija in prebavila

Prehranska vlaknina ima velik vpliv ne le na izkoriščanje hranil in energije, ki jo vsebuje, ampak tudi na prebavo drugih hranil, na razmere v prebavilih, mikrobno fermentacijo in zdravstveno stanje prebavil in živali (Pluske in sod., 1999).

Razgradnja prehranske vlaknine je popolnoma odvisna od bakterij. Stopnja fermentacije je odvisna predvsem od vira prehranske vlaknine in od količine prisotnega dušika, vitaminov in mineralov (Pluske in sod., 1999). Prične se sicer že v želodcu, vendar je tu močno omejena (Drochner, 1993). Del vlaknine se pod vplivom mikrobov prebavi v tankem črevesu, vendar glavna fermentacija poteče v debelem črevesu (Bach-Knudsen in Hansen, 1991; Jensen in Jørgensen, 1994). Živali za razgradnjo oziroma prebavo vlaknine, ne tvorijo prebavnih encimov. Celuloza, hemiceluloze in pektin so glavni fermentacijski substrati, ki se ne prebavijo z gostiteljevimi encimi (Engelhardt in sod., 1998). Razgradnja prehranske vlaknine je odvisna od učinkovitosti mikrobne fermentacije, ki je pri monogastričnih živalih omejena predvsem na debelo črevo (Salobir, 1999). Fermentacija pri monogastričnih živalih poteka v največji meri v debelem črevesu (Van Soest, 1995, cit. po Henningson in sod., 2002).

Ostanki hrane in endogeni izločki, ki se ne absorbirajo v zgornjem delu prebavil, pridejo v debelo črevo. S stališča fermentacije je pomembno, da hrana z več vlaknine povzroči enakomernjši dotok substrata v debelo črevo ter posledično bolj ugodne pogoje za kontinuirano fermentacijo (Drochner, 1993). Hrana bogata z vlaknino pospeši (tudi do dvakrat) prehod hrane oziroma prebavnih ostankov hrane skozi prebavila. V debelem črevesu črevesna vsebina odda veliko vode, posledično se zgosti in z delovanjem črevesnih bakterij spremeni v blato. Te črevesne bakterije imajo pomembno vlogo. Razgraditi morajo razgradne produkte beljakovin, sodelovati pri presnovi vitaminov ter poseči v različne procese vrenja in gnitja (Koch in sod., 1993).

Glavni produkti mikrobne fermentacije so kratkoverižne maščobne kisline (KVMK): ocetna, propionska, maslena in mlečna kislina. Te prehajajo preko črevesne sluznice v krvni obtok ter tako vplivajo na presnovo lipidov in glukoze (Davidson in McDonald, 1998). Ostali pomembni produkti fermentacije vlaknine so plini: H_2 , H_2S , CH_4 in CO_2 (Fleming in sod., 1986; Mongeau in sod., 1993). Poleg tega je večja intenzivnost fermentacije povezana z večjo sintezo bakterijskih vitaminov (Salobir J in Salobir B, 2001). Kratkoverižne maščobne kisline imajo v prebavilih mnogo pomembnih nalog. Raziskave na laboratorijskih podganah kažejo, da uživanje neškrobnih polisaharidov ali neprebavljivih oligosaharidov poveča koncentracijo KVMK, zaradi tega se zniža pH v debelem črevesu, kar vodi do pretvorbe NH_3 v NH_4^+ , ki pa ne more difundirati iz prebavil (Younes in sod., 1995). To pa pomeni, da pride do povečanega izločanja dušika z blatom ter zmanjšanja sinteze sečnine v jetrih in manjšega izločanja dušika s sečem (Mosenthin in sod., 1994). Prav tako fermentacija vlaknine poveča vsebnost maslene kisline, ta sprememba pa zmanjšuje produkcijo karcinogenih snovi in zmanjša sprejemljivost celic črevesne sluznice do neoplastičnih sprememb (Mongeau in sod., 1993).

V prebavilih monogastričnih živali je interakcija med bakterijami najbolj pomemben faktor, ki kontrolira razvoj mikroflore in mikrobno ravnotežje. Vpliv na izrazitost bakterijskih interakcij, kar vodi do sprememb v aktivnosti celotne flore, imata oba, tako gostitelj (starost, stres, imunski status) kot tudi krma (Williams in sod., 2001).

2.2 PREBAVLJIVOST ORGANSKE SNOVI

Žival prebavi le en del surovih hranljivih snovi, ki jih zaužije, neprebavljene hranljive snovi izloči z blatom. Tisti del hranljivih snovi, ki jih žival ne izloči z blatom, imenujemo prebavljene hranljive snovi. Prebavljeno količino določene hranljive snovi nam da razlika med zaužitimi hranljivimi snovmi s krmo in z blatom izločenimi hranljivimi snovmi. Tako dobljeni prebavljivosti pravimo navidezna prebavljivost (Stekar, 1987; Žgajnar, 1990).

Vendar se z blatom ne izločijo samo neprebavljene hranljive snovi, ki izhajajo neposredno iz zaužitih, temveč tudi vrsta drugih snovi, ki se izločajo v črevo. To so na primer encimi, žolčne kisline, žolčna barvila, sluz, odmrle celice črevesnega epitela in mineralne snovi. Z blatom se izločijo tudi produkti delovanja mikrobov prebavnega trakta. To so tako imenovane endogene snovi blata, ki povzročijo, da je dejansko več prebavljene, kot smo izračunali pri navidezni prebavljivosti. Govorimo o pravi prebavljivosti ali absorptivnosti, kjer smo endogene hranilne snovi odšteli od količine hranljivih snovi izločenih z blatom (Stekar, 1987; Žgajnar, 1990).

Pri surovi vlaknini, brezdušičnem izvlečku in surovih maščobah v blatu sploh ni ali pa je zelo malo snovi endogenega izvora. Torej je navidezna in prava prebavljivost skoraj enaka. Drugače pa je pri beljakovinah in rudninskih snoveh, kjer se v blato vedno izloča neka določena količina dušika, tudi pri obroku brez beljakovin. Presnovki rudninskih snovi (Ca, P, Mg, težke kovine) se iz organizma izločajo skozi steno debelega črevesa v vsebino. Zato je prava prebavljivost pri beljakovinah in nekaterih rudninskih snoveh večja od navidezne prebavljivosti (Stekar, 1987; Žgajnar, 1990).

2.3 METODE ZA OCENJEVANJE KAKOVOSTI BELJAKOVIN

Za ocenjevanje kakovosti in učinkovitosti beljakovin v prehrani neprežvekovalcev uporabljamo različne metode: kemijske metode: aminokislinsko analizo, kemijski indeks (CS; chemical score) in indeks esencialnih aminokislin (EAAI; The essential amino acid index); biološke metode: prava prebavljivost (PP), biološka vrednost (BV), neto izkoristek beljakovin (NIB), razmerje učinkovitosti beljakovin (PER; Protein efficiency ratio), neto nalaganje beljakovin (NPR; Net protein ratio), produktivno vrednost beljakovin (PVB); mikrobiološke metode, biokemični parametri kot ocena hranilne vrednosti beljakovin, kemične metode za določanje izkoristljivost lizina ipd. (Žgajnar, 1990; McDonald in sod., 1995; Stekar, 1983).

2.3.1 Biološka vrednost beljakovin

Beljakovine vsebujejo ogljik, vodik in kisik, dodatno pa še dušik, največkrat tudi žveplo. Sestavljene so iz aminokislin, ki so jih iz bioloških vzorcev izolirali že več kot dvesto, vendar najpogosteje govorimo, da so beljakovine sestavljene iz 25 aminokislin (McDonald in sod., 1995; Stekar, 1987). Monogastrične živali dobijo aminokislino iz razgradnje beljakovin, ki jih prebavijo in se absorbirajo iz tankega črevesa. Aminokislino se ločijo na neesencialne in esencialne aminokislino. Esencialne aminokislino so tiste, ki jih živalski organizem ne more sam sestaviti, ali vsaj ne dovolj hitro in v zadostnih količinah in od teh esencialnih aminokislin je odvisna biološka vrednost beljakovin (Stekar, 1983; Stekar in Muck, 1969).

Beljakovine so prisotne v vsaki živi celici in so potrebne pri vseh procesih v njej. Živali ne morejo sintetizirati beljakovin iz enostavnih dušikovih spojin (npr. nitratov) kot rastline, zato so odvisne od aminokislin iz krme. Določene aminokislino lahko živali tvorijo iz drugih aminokislin, nekaterih pa ne. Raziskave na laboratorijskih podganah so pokazale, da je za rast podgan nujno potrebnih deset aminokislin. Teh deset aminokislin označujemo kot nepogrešljive ali esencialne aminokislino in to so: arginin, histidin, izolevcin, levcin, lizin, metionin, fenilalanin, treonin, triptofan in valin (McDonald in sod., 1995; Stekar, 1987).

Biološka vrednost beljakovin je sposobnost neke beljakovine, da oskrbi telo z aminokislinami, potrebnimi za tvorbo dušičnih snovi in za telesne funkcije (Stekar, 1983). Omejena je s tako imenovano limitirajočo esencialno aminokislino, to je tista aminokislina, ki je najslabše zastopana v krmi glede na potrebe živali. To pomeni, da lahko žival izkoristi beljakovine krme samo v takem obsegu, kolikor to dopušča limitirajoča esencialna aminokislina. Iz tega izhaja, da je pri biološki vrednosti beljakovin pomembna prisotnost, količina in prebavljivost esencialnih aminokislin oziroma razmerje med njimi v odnosu do potreb živali (Stekar in Muck, 1969; Stekar, 1983). Se pravi, biološka vrednost se spreminja glede na število in vrsto aminokislin, ki so v krmi prisotne. Bolj kot je aminokislinska sestava beljakovin krme podobna živalskim telesnim beljakovinam, večja je biološka vrednost. V primeru pomanjkanja in presežkov določenih aminokislin se biološka vrednost zmanjša (McDonald in sod., 1995).

Biološko vrednost beljakovin ugotovimo s poskusi na živih živalih, s pomočjo standardiziranih poskusov na rastočih podganah (Stekar in Muck, 1969; Stekar, 1987). Poskus nam mora dati podatke, da lahko primerjamo količino beljakovin, ki so se med prebavo resorbirale, s količino beljakovin, ki je ostala v telesu. Dušik (N) je bistven sestavni del beljakovin. Če vemo, koliko dušika je v telesu ostalo, vemo tudi koliko beljakovin je žival naložila. To je razlog, da moramo za izračun biološke vrednosti ugotoviti količine dušika v krmi, v blatu ter v seču (Stekar in Muck, 1969).

Biološka vrednost beljakovin izraža delež prebavljenih beljakovin krme, ki jih žival porabi za sintezo telesnih tkiv in sestavin (McDonald in sod., 1995). Biološka vrednost nam pove, koliko gramov telesnega dušika se lahko naloži ali nadomesti iz 100 g prebavljenega dušika.

2.3.2 Neto izkoristek beljakovin (NIB: Net protein utilization)

Neto izkoristek beljakovin (NIB) pri živalih je odvisen od prave prebavljivosti in od biološke vrednosti beljakovin. Produkt teh dveh vrednosti je razmerje med zaužitim dušikom in dušikom, ki se naloži v organizmu. Tako ocenimo NIB. Ta način ocenjevanja pa sta uvedla Bender in Miller (Stekar, 1983). NIB nam pove, koliko gramov telesnih beljakovin se lahko izgradi iz 100 g zaužitih beljakovin določenega krmila (McDonald in sod., 1995).

2.3.3 Razmerje izkoriščanja beljakovin (PER: Protein efficiency ratio)

PER nam pove, koliko gramov prirasta telesne mase dosežemo iz 100 g s krmo zaužitih surovih beljakovin. Je način ocenjevanja, ki temelji na razmerju med prirastom in zaužitimi beljakovinami in je primeren za hitro rastoče, mlade živali (Stekar, 1983).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 MATERIAL

3.1.1 Opis prehranskega poskusa

V poskus smo vključili 20 laboratorijskih podgan soja Wistar, moškega spola. Težke so bile 101 – 102 g. Naselili smo jih v individualne bilančne kletke, v prostoru s standardno temperaturo 22°C, s 55 % vlažnosti in z 12 urnim dnevno/nočnim ritmom ter s prostim dostopom do hrane in vode.

Prehranski poskus smo razdelili na dve obdobji: obdobje prilagoditve in obdobje poskusa. Posamezno obdobje je trajalo pet dni, skupaj je poskus trajal deset dni.

Razvrstili smo jih v štiri homogene skupine (po 5 živali na skupino) glede na telesno maso. Prva skupina je bila kontrolna skupina, ki smo jo krmili z osnovno krmno mešanico, vir beljakovin je bil kazein. Kot vir vlaknine smo v krmno mešanico pri tej skupini vključili čisto celulozo. Druge tri skupine so dobivale poskusne krmne mešanice. Kot vir beljakovin smo tudi tu uporabili kazein, ki smo mu dodali poleg celuloze še drugi vir vlaknine nad nivojem potreb. Uporabili smo pšenične otrobe, jabolčni pektin in guar gum.

Uporabili smo guar gum (gum guar, FLUKA, 09999), pektin v poskusu je bil jabolčni pektin s komercialno oznako AU 701, s stopnjo esterifikacije 34 – 38 % (Herbstreith & Fox). Otrobe smo dobili v mešalnici Novo mesto. Analizirali smo jih v kemijskem laboratoriju Katedre za prehrano Oddelka za zootehniko. Otrobi so vsebovali 616,20 g/kg prehranske vlaknine, od tega 565,24 g/kg netopne in 50,20 g/kg topne vlaknine.

Preglednica 3: Sestava krmnih mešanic

SKUPINA sestavina (%)	KAZEIN	Pšenični otrobi	Jabolčni pektin visoko esterificiran	Guar gum
Kazein	12,0	12,0	12,0	12,0
Pšenični otrobi		15,5		
Pektin			7,0	
Guar gum				7,0
Pšenični škrob	69,5	54,0	62,5	62,5
Sončnično olje	3,0	3,0	3,0	3,0
Laneno olje	8,0	8,0	8,0	8,0
Apnenec	0,7	0,7	0,7	0,7
Sol (NaCl)	0,2	0,2	0,2	0,2
Mono-Ca-fosfat	1,0	1,0	1,0	1,0
KCl	0,6	0,6	0,6	0,6
Celuloza	4,5	4,5	4,5	4,5
Premix*	0,5	0,5	0,5	0,5
SKUPAJ	100,0	100,0	100,0	100,0

*Premix: Vitaminsko mineralni premiks, namenjen izdelavi krmnih mešanic za laboratorijske živali (Lek veterina)

Med poskusom smo spremljali telesno maso živali in zauživanje krme. Krmljene so bile enkrat dnevno in sicer zjutraj. Krmo smo jim vsak dan dodajali, ostanke ter raztros krme stehali in tako ugotavljali količino zaužite krme na dan ter v petih dneh (čas bilančnega poskusa).

3.2 METODE

3.2.1 Kemijska analiza

Dietetske vlaknino smo določali po encimsko gravimetrični metodi (Proskey in sod., 1992). Po tej metodi določimo ločeno netopno dietetsko vlaknino, topno dietetsko vlaknino. Seštevek teh dveh nam da skupno dietetsko vlaknino.

3.2.1.1 Weendska analiza

Vsebnost hranljivih snovi v kontrolni in testnih krmnih mešanic, vsebnost suhe snovi, surovega pepela in dušika v blatu ter dušika v seču smo določili z Weendsko analizo.

Suho snov (SS) smo določili s sušenjem vzorca pri temperaturi 103° do 105°C, s tehtanjem pred sušenjem in po njem. Vsebnost suhe snovi je razlika med maso svežega vzorca in maso vode.

Vsebnost surovega pepela (SP) smo določili s sežigom v žarilni peči pri temperaturi 550°C. Pri suhem sežigu krmil sežgemo vse organske snovi, ostanejo anorganske snovi (surovi pepel), to so mineralne snovi predvsem v obliki oksidov in karbonatov zraven netopnih silikatov (pesek). Surovi pepel nam v večini primerov služi za določanje posameznih elementov v krmi (kalij, kalcij, natrij, magnezij, fosfor, itd.). Prav tako nam služi za izračun vsebnosti organske snovi (OS) v vzorcu. Količino surovega pepela odštejemo od suhe snovi vzorca in dobimo vsebnost organske snovi.

Vsebnost surovih beljakovin (SB) izračunamo iz vsebnosti dušika (N) v krmi. Za določevanje dušika v krmi smo uporabili Kjeldalovo metodo. Koncentrirana žveplova (VI) kislina oksidativno razkroji krmo, pri tem pa veže nase dušik (beljakovine) v obliki $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Ta v alkalnem mediju razpade in iz vroče raztopine oddestiliramo amoniak, ki ga ujamemo v predložke v znani količini $0,05 \text{ mol.l}^{-1}$ žveplove (VI) kisline. Dušiku oziroma amoniaku ekvivalentna količina žveplove (VI) kisline se pri tem nevtralizira.

Nadalje s postopkom titracije z NaOH določimo količino vezanega NH_3 in preostali nezreagirani del žveplove (VI) kisline.

Odstotek surovih beljakovin dobimo, če pomnožimo odstotek dušika z ustreznih faktorjem (6,25).

3.2.2 Potek biološkega testa

Živali so bile individualno nameščene v bilančnih kletkah. Vsak dan smo tehtali krmilnike z ostankom krme, dodano krmo in njen raztros. Tako smo vsakodnevno spremljali količino zaužite krme za vsako žival posebej.

Predposkus, tako imenovano privajalno obdobje, je trajal pet dni. Živali smo v tem času krmili z enako krmno mešanico kot v času poskusa, z razlogom, da se je v prebavilih živali predhodno zaužita krma v celoti zamenjala s testno krmo. Živali so se v tem času navadile na okolje in na zauživanje testne krmne mešanice.

V poskusu smo dnevno spremljali količino zaužite krme ter ločeno zbirali blato in seč. V stekleničke za zbiranje seča smo dodali 10 ml 18 % HCl, da smo preprečili izhlapevanje dušika (amoniaka). V času poskusa smo spremljali tudi prirast živali, zato smo vsak drugi dan živali tudi stehali.

Po petih dneh smo končali s poskusom. Iz zbranih podatkov v času poskusa smo izračunali skupno količino zaužite krme, prirast, zbrali in stehali vso količino izločenega blata in seča. Krmo, blato in seč smo v Kemijskem laboratoriju Katedre za prehrano analizirali na vsebnost dušika po Kjeldahlu, krmo in blato pa še na vsebnost suhe snovi in surovega pepela. Iz dobljenih podatkov smo izračunali prebavljivost organske snovi, prebavljivost suhe snovi, navidezno in pravo prebavljivost beljakovin, biološko vrednost, neto izkoristljivost beljakovin in razmerje izkoriščanja beljakovin.

3.2.3 Izračuni

3.2.3.1 Količina zaužite krme in prirast

Količino zaužite krme smo izračunali na podlagi vsakodnevnega tehtanja kmilnika z ostanki krme ter z dodano krmo ob upoštevanju njenega raztrosa.

Izračun prirasta temelji na tehtanju živali in spremljanju njihove telesne mase v obdobju poskusa.

3.2.3.2 Količina zaužitega, izločenega in endogenega dušika ter bilanca

Količino zaužitega in izločenega dušika smo izračunali na podlagi ugotovljenih količin zaužite krme, izločenega blata in seča ter iz analizirane količine dušika v vzorcih krme, v vzorcih blata in seča za vsako žival posebej.

Endogene izgube dušika iz blata in seča smo izračunali po naslednjih formulah:

$$\text{Endogene izgube iz blata (mg/dan)} = (0,081 \cdot \text{PTM}) + 3,01$$

PTM = povprečna telesna masa živali

$$\text{Endogene izgube iz urina (mg/dan)} = (15,2 \cdot \text{PTM} / 0,075) / 1000$$

PTM = povprečna telesna masa živali

Bilanco dušika smo izračunali po enačbi:

$$\text{BILANCA N} = \text{zaužiti N} - (\text{N izločen z blatom} + \text{N izločen s sečem})$$

N = dušik

3.2.3.3 Prebavljivost, biološka vrednost, neto izkoristek beljakovin in razmerje izkoriščanja beljakovin

Navidezno prebavljivost smo izračunali po enačbi:

$$NP = \frac{(IN - FN)}{IN} \times 100 \quad \dots (1)$$

NP = navidezna prebavljivost

IN = zaužiti N

FN = N izločen z blatom

Pravo prebavljivost smo izračunali po enačbi:

$$PP = \frac{(IN - (FN - FNe))}{IN} \times 100 \quad \dots (2)$$

PP = prava prebavljivost

IN = zaužiti N

FN = N izločen z blatom

FNe = z blatom izločen dušik endogenega porekla

Biološko vrednost smo izračunali po enačbi:

$$BV = \frac{(IN - (FN - FNe)) - (UN - UNe)}{IN - (FN - FNe)} \times 100 \quad \dots (3)$$

BV = biološka vrednost

IN = zaužiti N

FN = N izločen z blatom

FNe = z blatom izločen dušik endogenega porekla

UN = N izločen s sečem (urinom)

UNe – s sečem izločen N endogenega porekla

Neto izkoristek beljakovin (NIB) smo izračunali po enačbi:

$$NIB = \frac{BV \times PP}{100} \quad \dots (4)$$

Razmerje izkoriščanja beljakovin (PER) smo izračunali po enačbi:

$$PER = \frac{\text{prirast v g}}{\text{zaužite SB v g}} \quad \dots (5)$$

3.2.4 Statistična obdelava podatkov

Rezultate poskusa smo statistično ovrednotili s pomočjo programskega paketa SAS/STAT (SAS User's guide, 1995) s proceduro GLM (General linear models) po statističnem modelu v katerega smo vključili vpliv skupine. Rezultati so podani kot ocenjene srednje vrednosti (LSM) ± standardna deviacija (SD).

Statistični model:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + e_{ij}$$

Y_{ij} = opazovana vrednost

μ = srednja vrednost

S_i = vpliv i -te skupine $i = 1, 2, 3, 4$

e_{ij} = ostanek

4 REZULTATI

4.1 KRMNA MEŠANICA

Preglednica 4: Rezultati kemijske analize krmnih mešanic

SKUPINA sestavina (g/kg)	KONTROLA	GUAR GUM	PEKTIN	OTROBI
Suha snov	921,44	924,02	921,97	917,29
Surove beljakovine	106,75	107,25	109,46	130,17
Surove maščobe	100,95	113,86	112,31	106,45
Surova vlaknina	39,06	39,88	38,30	54,42
Surovi pepel	27,35	24,73	30,65	36,81
Brezdušični izvleček	647,33	638,30	631,25	598,44
Organska snov	894,09	899,29	891,32	889,48
Dietetska vlaknina-skupaj	141,13	177,85	207,75	183,32
Netopna vlaknina	100,74	100,59	101,57	157,85
Topna vlaknina	40,39	77,26	106,17	25,47
Fosfor	3,02	2,72	6,46	4,94
Kalcij	5,44	5,09	5,74	4,45
Magnezij	0,29	0,30	0,32	1,13
Kalij	5,36	5,10	5,24	8,70
Natrij	0,67	0,63	1,91	0,79
Cink (mg/kg)	73,44	59,06	66,56	88,44
Mangan (mg/kg)	74,31	54,31	58,88	82,75

V preglednici 4 so predstavljeni rezultati kemijske analize vzorcev posameznih krmnih mešanic. Mešanice so si med seboj podobne, razlike so v vsebnosti surove vlaknine, ki jo je največ v mešanici z otrobi. Tudi vsebnost surovega pepela je največja v mešanici z otrobi. Pri rudninskih snoveh je vsebnost med mešanicami podobna, spet pa je razlika pri otrobih, kjer smo določili nekoliko več Mg in K v primerjavi z ostalimi mešanicami. V mešanici, kjer je bil dodan pektin, pa je nekoliko večja vsebnost fosforja.

4.2 TELESNA MASA IN PRIRAST ŽIVALI TER KONZUMACIJA KRME

Na začetku poskusnega obdobja med kontrolno in poskusnimi skupinami ni bilo razlik v telesni masi živali (preglednica 5). Na koncu poskusa smo živali ponovno stehali in opazili statistično značilno večjo telesno maso živali v skupini OTROBI, medtem ko med ostalimi tremi skupinami ni bilo statistično značilnih razlik.

Preglednica 5: Začetna in končna telesna masa, prirast in zaužita krma

lastnost \ SKUPINA	KONTROLA	GUAR GUM	PEKTIN	OTROBI
telesna masa (g)				
začetna	100,3 ± 9,3 ^a	95,1 ± 9,6 ^a	94,8 ± 6,5 ^a	104,6 ± 8,7 ^a
končna	112,4 ± 8,3 ^a	105,8 ± 9,4 ^a	105,2 ± 9,5 ^a	126,3 ± 7,7 ^b
prirast (g)	12,2 ± 2,3 ^a	10,7 ± 2,0 ^a	10,4 ± 3,7 ^a	21,7 ± 1,7 ^b
zaužita krma (g)	55,6 ± 3,0 ^a	46,3 ± 7,3 ^b	49,0 ± 8,4 ^{ab}	68,9 ± 3,5 ^c

abc skupine, ki so označene z različnimi črkami, se statistično značilno razlikujejo ($P < 0,05$)

Razlike med skupinami živali so bile v količini zaužite krme. V poskusnem obdobju so v povprečju največ krme zaužile živali krmljene z otrobi (68,9 g). Ta skupina živali se po količini zaužite krme statistično značilno razlikuje od kontrolne skupine ter od ostalih dveh poskusnih skupin. Skupina KONTROLA se po zaužiti krmi prav tako statistično značilno razlikuje od skupin GUAR in OTROBI, od skupine PEKTIN pa ne.

Po spremljanju živali, krmljenih z različnimi krmnimi mešanicami, ugotavljamo, da je imela skupina živali, ki je bila krmljena z otrobi največjo konzumacijo, največjo končno telesno maso ter največji prirast v času poskusnega obdobja (21,7 g). Razlika je statistično značilna ($P < 0,05$). Statistično značilnih razlik v prirastu pri ostalih treh skupinah ni bilo. Prirasti pri KONTROLNI ter pri skupini GUAR in PEKTIN se le numerično razlikujejo (preglednica 5).

4.3 KOLIČINA ZAUŽITEGA IN IZLOČENEGA DUŠIKA TER BILANCA DUŠIKA

Količine zaužitega in izločenega dušika ter bilanca dušika so predstavljene v preglednici 6. Med posameznimi skupinami, kontrolno in testnimi skupinami, so opazne razlike v količini zaužitega dušika. Najmanjšo količino dušika je zaužila skupina živali, ki je bila krmljena s testno krmno mešanico GUAR (794,4 mg). Količina zaužitega dušika te skupine živali se statistično značilno razlikuje ($P < 0,05$) od skupine živali krmljene s kontrolno krmno mešanico ter od skupine živali krmljene z otrobi. Statističnih značilnih razlik v količini zaužitega dušika pa ne opazimo med skupinama GUAR in PEKTIN. Največjo količino zaužitega dušika opazimo pri skupini živali krmljeni z otrobi (1435,6 mg). Ta skupina živali se po količini zaužitega dušika statistično značilno razlikuje od kontrolne ter od ostalih dveh testnih skupin. Zauživanje dušika je bilo odvisno od zauživanja krme in količine dušika v njej. Živali, ki so zaužile več krme so s tem zaužile tudi več dušika.

Preglednica 6: Količine zaužitega in izločenega dušika ter bilanca dušika (N)

SKUPINA lastnost	KONTROLA	GUAR GUM	PEKTIN	OTROBI
zaužiti dušik (mg)	950,0 ± 51,5 ^a	794,4 ± 125,6 ^b	858,4 ± 147,1 ^{ab}	1435,6 ± 72,8 ^c
izločen dušik z blatom (mg)	128,2 ± 15,9 ^a	174,0 ± 38,1 ^b	191,2 ± 40,1 ^b	235,0 ± 11,5 ^c
izločen dušik s sečom (mg)	315,6 ± 47,5 ^a	286,8 ± 57,0 ^a	259,8 ± 61,5 ^a	465,6 ± 39,1 ^b
BILANCA dušika (mg)	505,2 ± 53,2 ^a	333,6 ± 113,2 ^b	407,4 ± 102,4 ^{ab}	735,0 ± 68,4 ^c

abc skupine, ki so označene z različnimi črkami, se statistično značilno razlikujejo ($P < 0,05$)

S primerjanjem skupin živali med seboj po izločanju dušika v blatu, vidimo, da so živali krmljene z otrobi izločile največ dušika (235,0 mg), razlika je tudi statistično značilna. Skupina živali krmljena s kontrolno krmno mešanico je izločila statistično značilno najmanj dušika z blatom (128,2 mg). Po količini izločenega dušika z blatom se skupini živali krmljeni z guarom in pektinom med seboj ne razlikujeta, statistično značilno pa se razlikujeta od KONTROLNE skupine in od skupine OTROBI.

Glede na izločanje dušika s sečem ni bilo velikih razlik med skupinami živali. Največ dušika s sečem je izločila skupina živali krmljena z otrobi (465,6 mg), razlika je statistično značilna. Najmanj izločenega dušika s sečem je bilo v skupini PEKTIN (259,8 mg), vendar se bistveno ne razlikuje od preostalih dveh skupin ter ni statistično značilna.

Glede na podatke o zaužitem ter izločenem dušiku z blatom in sečem, je bilanca dušika najboljša pri skupini krmljeni z otrobi (735,0 mg). Razlika je tudi statistično značilna. Najslabšo bilanco ima skupina krmljena s guarom (333,6 mg). Kontrolna skupina ima statistično značilno boljšo bilanco kot skupina z guarom in statistično značilno slabšo bilanco, kot skupina z otrobi, pektin pa je med guarom in kontrolno skupino.

4.4 PREBAVLJIVOST

4.4.1 Prebavljivost suhe snovi in organske snovi

S primerjanjem izračunov prebavljivosti suhe snovi ter organske snovi po skupinah vidimo, da so rezultati zelo podobni (preglednica 7). Živali, ki so zaužile največ krme, skupina OTROBI, so imele najmanjšo prebavljivost suhe snovi (85,3 %). Razlika od ostalih skupin je statistično značilna ($P < 0,05$). Največjo prebavljivost suhe snovi opazimo pri skupini krmljeni s kontrolno krmno mešanico (93,1 %). Prebavljivost suhe snovi v skupinah GUAR in PEKTIN je zelo podobna in statistično značilno manjša od skupine KONTROLA, ter statistično značilno večja od skupine OTROBI.

Preglednica 7: Prebavljivost suhe snovi (SS) in organske snovi (OS)

SKUPINA	KONTROLA	GUAR GUM	PEKTIN	OTROBI
lastnost				
prebavljivost SS (%)	93, ± 1,1 ^a	89,6 ± 1,0 ^b	89,8 ± 1,6 ^b	85,3 ± 0,8 ^c
prebavljivost OS (%)	93,8 ± 1,1 ^a	90,5 ± 0,9 ^b	90,6 ± 1,6 ^b	86,5 ± 0,8 ^c

abc skupine, ki so označene z različnimi črkami, se statistično značilno razlikujejo ($P < 0,05$)

Podobne razlike opazimo pri izračunu prebavljivosti organske snovi med skupinami živali krmljenih z različnimi krmnimi mešanici. Največja prebavljivost organske snovi je pri skupini KONTROLA (93,8 %) in je statistično značilno večja ($P < 0,05$) od ostalih skupin (preglednica 7). Živali krmljene s testno krmno mešanico OTROBI imajo najmanjšo prebavljivost organske snovi (86,5 %). Skupini živali, krmljeni s pektinom in guarom se glede na prebavljivost organske snovi statistično ne razlikujeta med seboj, se pa statistično značilno ($P < 0,05$) razlikujeta od ostalih dveh skupin.

4.4.2 Prebavljivost surovih beljakovin

Pri prebavljivosti surovih beljakovin so podobne razlike, kot pri prebavljivosti suhe snovi in organske snovi (preglednica 8). Statistično značilno najboljše navidezno in pravo prebavljivost beljakovin smo izračunali pri kontrolni skupini.

Skupini GUAR in PEKTIN imata podobne vrednosti, ki se statistično značilno razlikujeta od skupine OTROBI. Vendar pa je prebavljivost beljakovin pri skupini OTROBI statistično značilno ($P < 0,05$) boljša od ostalih dveh poskusnih skupin, za razliko od organske in suhe snovi, kjer je bila slabša.

Preglednica 8: Navidezna in prava prebavljivost surovih beljakovin (SB)

SKUPINA	KONTROLA	GUAR GUM	PEKTIN	OTROBI
lastnost				
navidezna prebavljivost (%)	86,5 ± 1,4 ^a	78,2 ± 2,2 ^b	77,8 ± 1,9 ^b	83,6 ± 0,8 ^c
prava prebavljivost (%)	92,7 ± 5,4 ^a	85,6 ± 2,2 ^b	84,4 ± 2,0 ^b	87,9 ± 0,8 ^c

abc skupine, ki so označene z različnimi črkami, se statistično značilno razlikujejo ($P < 0,05$)

4.5 KAKOVOST BELJAKOVIN

Biološka vrednost, neto izkoristek beljakovin in razmerje izkoriščanja beljakovin so predstavljeni v preglednici 9.

Glede na izračune biološke vrednosti (BV), med skupinami živali, ki so bile različno krmljene, ni statistično značilnih razlik, razlike so le numerične.

Najmanjši neto izkoristek beljakovin (NIB) ima skupina živali, krmljena s guarom (61,7 %). Največji neto izkoristek beljakovin pa ima skupina krmljena s kontrolno krmno mešanico (70,9 %). Skupina KONTROLA se statistično značilno ($P < 0,05$) razlikuje od skupine GUAR. Razlika med skupinama PEKTIN in OTROBI statistično ni značilna ter prav tako ne s KONTROLO ter GUAROM.

Pri primerjanju izračunov razmerja izkoriščanja beljakovin (PER), ki nam pove koliko g krme je bilo potrebno, da se je naložil 1 g beljakovin, opazimo statistično značilno razliko med skupinama PEKTIN in OTROBI. Skupina živali, krmljena s pektinom ima najmanjšo PER vrednost (1,90), skupina OTROBI pa največjo (2,42). Vrednosti za skupini KONTROLA in GUAR sta podobni in se statistično značilno ($P < 0,05$) ne razlikujeta od ostalih dveh skupin.

Preglednica 9: Biološka vrednost (BV), neto izkoristek beljakovin (NIB) in razmerje izkoriščanja beljakovin (PER)

SKUPINA	KONTROLA	GUAR GUM	PEKTIN	OTROBI
lastnost				
BV (%)	76,4 ± 5,4 ^a	72,0 ± 11,3 ^a	77,9 ± 9,2 ^a	72,4 ± 3,1 ^a
NIB (%)	70,9 ± 5,6 ^a	61,7 ± 9,9 ^b	65,6 ± 6,0 ^{ab}	63,6 ± 2,8 ^{ab}
PER	2,04 ± 0,3 ^{ab}	2,16 ± 0,3 ^{ab}	1,90 ± 0,5 ^a	2,42 ± 0,1 ^b

abc skupine, ki so označene z različnimi črkami, se statistično značilno razlikujejo ($P < 0,05$)

5 RAZPRAVA

Namen raziskave je bil, ugotoviti, kako različne vrste v krmno mešanico dodane prehranske vlaknine vplivajo na prebavljivost hranljivih snovi v primerjavi s kontrolno krmno mešanico, kjer je bil vir vlaknine samo čista celuloza. Proučevali smo prebavljivost surovih beljakovin, suhe snovi in organske snovi. Kontrolna krmna mešanica je vsebovala vse hranljive snovi, ki so potrebne za rastoče laboratorijske podgane. V ostalih treh poskusnih krmnih mešanicah je bil del škroba zamenjan z določenim virom vlaknine. V našem primeru jabolčni pektin, guar gum in pšenični otrobi. Vir beljakovin v vseh krmnih mešanicah je bil kazein.

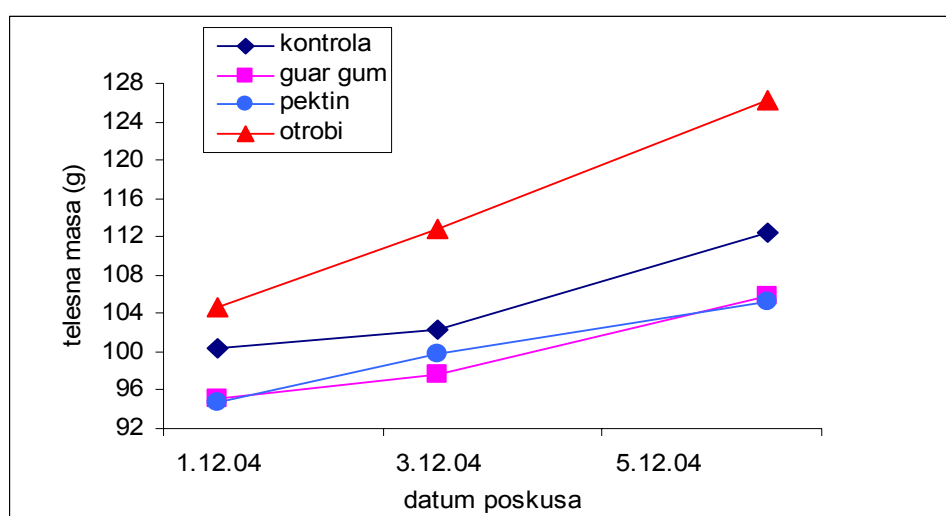
Pektin je rastlinski polisaharid in spada v skupino topne prehranske vlaknine ter značilno vpliva na prebavo in absorpcijo hranil. Prav tako spada guar gum k topni prehranski vlaknini in je visoko fermentabilen ter viskozen polisaharid. Za razliko od njiju vsebujejo pšenični otrobi velik delež netopnih lignificiranih celičnih sten, ki imajo malo oziroma nimajo nobenega vpliva na prebavo in absorpcijo v tankem črevesu, v debelem črevesu pa so odporni na mikrobovno fermentacijo. Zaradi tega so pšenični otrobi eden od virov prehranske vlaknine, ki najbolj učinkovito povečujejo količino izločenega blata in hitrost pasaže skozi prebavila (Bach – Knudsen in Hansen, 1991).

Delež prehranske vlaknine je v vseh treh krmnih mešanicah, kjer je bil dodan en vir vlaknine večji, kot pa v kontrolni krmni mešanici. Sicer je delež topne prehranske vlaknine večji v krmni mešanici z dodatkom pektina in guar guma, kot pa v mešanici s pšeničnimi otrobi. Krmna mešanica s pšeničnimi otrobi pa ima večji delež netopne prehranske vlaknine, kot smo tudi pričakovali (preglednica 4).

Pšenični otrobi niso le vir prehranske vlaknine, ampak tudi dober vir različnih hranil. So zelo bogat vir beljakovin, ki so v večini locirane v alevronski plasti zrna (Zitterman, 2003). Prav to nam kažejo tudi rezultati kemijske analize krmne mešanice. Pšenični otrobi vsebujejo veliko surovih beljakovin (130,17 g/kg), surove vlaknine (54,42 g/kg), surovega pepela (36,81 g/kg) in netopne vlaknine (157,85 g/kg) ter nekaterih rudninskih snovi, kot so magnezij, kalij, cink in mangan. Mešanica z dodatkom pšeničnih otrobov je vsebovala

najmanj topne vlaknine, medtem ko je imela mešanica z dodatkom pektina največ topne vlaknine ter tudi največ dietetske vlaknine skupaj. Prav tako je bila v mešanici, kjer je bil dodan pektin nekoliko večja vsebnost fosforja in natrija.

Na začetku poskusnega obdobja med kontrolno in poskusnimi skupinami ni bilo razlik v telesni masi živali (preglednica 5). Na koncu poskusnega obdobja smo ugotovili statistično značilno večji porast v telesni masi pri skupini krmljeni s pšeničnimi otrobi, kot nam nazorno prikazuje slika 8. Podobno smo ugotovili pri zaužiti krmi ter dnevem prirastu živali, kjer je imela skupina živali krmljena z otrobi statistično največje vrednosti ($P < 0,05$). Skupini živali krmljeni s krmno mešanico pektin in guar gum sta v poskusnem obdobju zaužili manj krme kot kontrolna skupina. Posledično je bil prirast na koncu poskusa manjši kot pri kontrolni skupini. Dokazali so že, da je topna prehranska vlaknina mnogo bolj učinkovita pri kontroli zauživanja hrane in s tem reguliranja občutka sitosti, kot pa pšenični otrobi. Krotkiewski (1984) je v poskusu z dodanim guar gumom in pšeničnimi otrobi ugotovil, da dodani guar gum vpliva na zmanjšanje ravni lakote, s tem imajo živali manjšo potrebo po zauživanju krme. Prav tako je iz našega poskusa razvidno, da so imele živali, ki so zauživale krmne mešanice z dodatkom topnih vlaknin (pektin in guar gum) manjšo potrebo po konzumaciji krme. Prirast živali, ki so bile krmljene s dodatkom topnih vlaknin je bil manjši od kontrolne skupine, vendar le numerično in med njimi ni bilo statistično značilnih razlik.



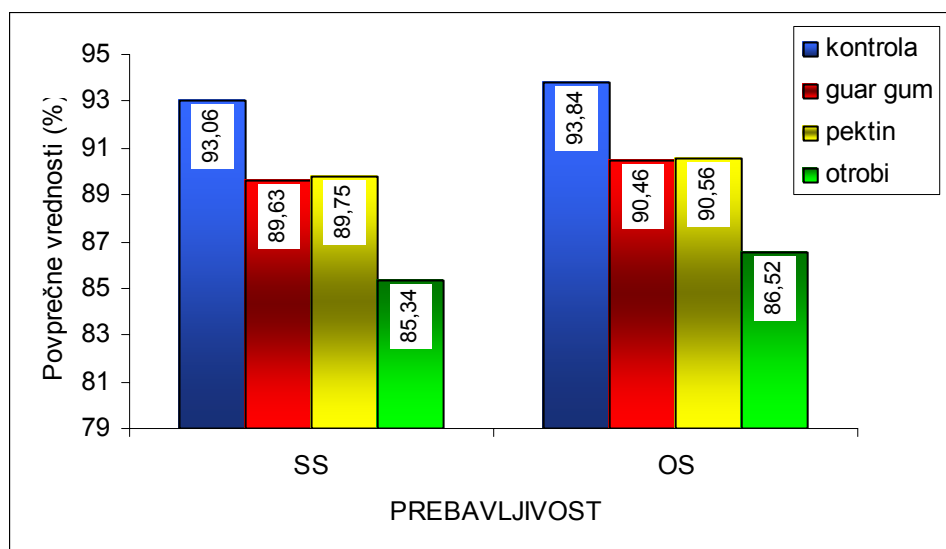
Slika 8: Gibanje telesne mase v obdobju poskusa pri različnih skupinah živali

Sposobnost, da lahko celične stene polisaharidov povečajo maso blata, je najbolj znana fiziološka lastnost prehranske vlaknine (Mongeau in sod., 1993). Faktorji, ki vplivajo na povečanje mase blata, so nerazkrojen vlakninast ostanek, povečane mikrobne mase, ki nastane pri fermentaciji vlaknine in povečane vsebnosti vode v blatu (Pilch, 1987, cit. po Schneeman, 1989; Thebaudin, 1997). Pšenični otrobi so najbolj učinkovit vir vlaknine pri povečanju mase blata, kar smo dokazali tudi v našem poskusu.

Dušik vstopa v telo le iz krme ter se izloča z blatom in s sečem (McDonald in sod., 1995). Zauživanje dušika je odvisno od zauživanja krme in količine dušika v njej. Živali, ki so zaužile več krme, ki vsebuje veliko dušika, so s tem zaužile več dušika. V našem poskusu je krmna mešanica z otrobi vsebovala največ dušika, prav tako so živali, ki so zauživale to krmno mešanico pojedle največ krme. Potemtakem smo pričakovali, da bodo zaužile največ dušika s krmo. Ta skupina živali se po količini zaužitega dušika statistično značilno razlikuje ($P < 0,05$) od kontrolne ter od ostalih dveh poskusnih skupin. Prav tako je imela ta skupina statistično značilno ($P < 0,05$) največje izločanje dušika z blatom in s sečem, vendar je bilanca dušika pozitivna ter statistično značilno večja v primerjavi s kontrolno ter ostalima dvema poskusnima skupinama. Poskusne krmne mešanice, katerim je bila dodana prehranska vlaknina, vsebujejo več dušika in pri teh skupinah živali smo ugotovili večje izločanje dušika z blatom kot pri kontrolni skupini. Kontrolna skupina je imela najmanjše izločanje dušika z blatom, vrednost se je statistično značilno razlikovala ($P < 0,05$) od ostalih testnih skupin.

V večih raziskavah so dokazali, da imajo različne vrste vlaknine zaradi svojih različnih lastnosti različne učinke na prebavo (Salobir, 1999). Učinek prehranske vlaknine se spreminja glede na vir in lastnosti vlaknine, ki je povezana z njihovo kemično sestavo ter s fizikalno – kemijskimi lastnostmi (Souffrant, 2001). V vodi netopna vlaknina je razmeroma odporna na mikrobno razgradnjo v prebavilih monogastričnih živali. Skrajšuje čas prehoda skozi prebavila, spreminja peristaltiko gastrointestinalnega trakta, ovira absorpcijo hranljivih snovi, adsorbira žolčne kisline in poveča količino izločenega blata (Koch in sod., 1993). V želodcu in tankem črevesu netopna vlaknina celične stene predstavlja oviro za dostop prebavnih encimov do visokovredne celične vsebine. Ta učinek je tako imenovani »učinek kletke«. To je razlog, da se del visokovrednih hranil v tankem

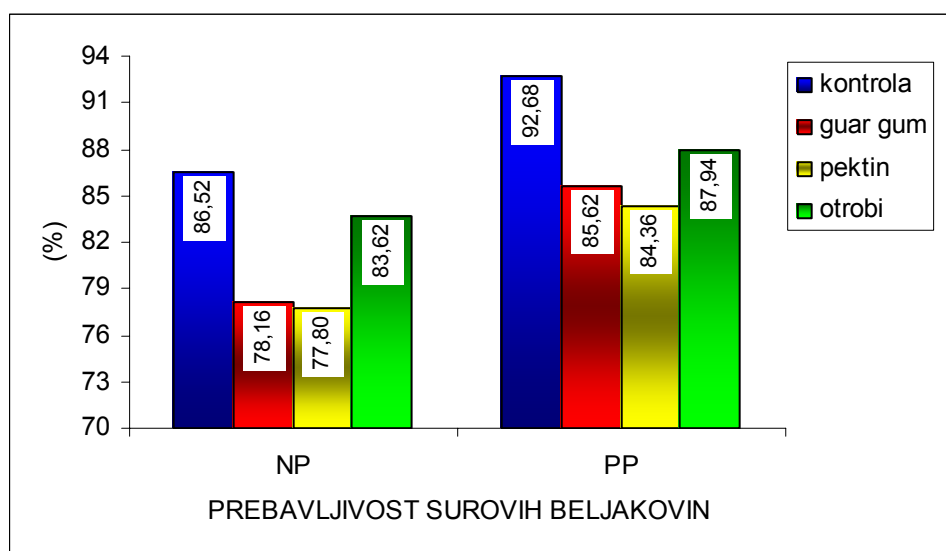
črevesu prebavlja počasneje ali sploh ne prebavi in se zato prebavi šele v debelem črevesu pod vplivom mikroorganizmov (Salobir, 1999). Sodeč po tem, da vsebujejo pšenični otrobi velik delež netopnih olesenelih celičnih sten (Selvedran, 1984) je bilo pričakovano, da bodo pšenični otrobi imeli najslabšo prebavljivost suhe in organske snovi, kot je prikazano na sliki 9.



Slika 9: Prebavljivost suhe in organske snovi

Topna prehranska vlaknina je v primerjavi z netopno vlaknino bolj podvržena mikrobnemu razgradnji in zato povečuje rast bakterij v debelem črevesu (Pluske in sod., 1999). Tvori viskozne raztopine in na ta način naredi viskozno tudi črevesno vsebino, s tem je ne le povečana viskoznost vsebine tankega črevesa, ampak tudi viskoznost in debelina difuzijske bariere na absorptivni strani sluzničnih celic. Zato je otežena pasaža, mešanje črevesne vsebine, prehodnost in z njo učinkovitost delovanja encimov ter prehodnost razgrajenih hranil do črevesne stene – mesta absorpcije. Viskoznost negativno vpliva na prebavljivost hranljivih snovi (Salobir, 1999). Viskozni, v vodi topni prehranski vlaknini prisotni v našem poskusu sta bili pektin in guar gum. Fizikalno – kemijska sestava obeh virov topne prehranske vlaknine je vplivala na to, da sta tako pektin kot guar gum povzročala manjšo prebavljivost suhe in organske snovi v primerjavi s kontrolno krmno mešanico, vendar večjo kot pšenični otrobi, ki so predstavljali vir netopne prehranske vlaknine.

Zaradi količine dušika, ki se vedno izloča z blatom, tudi pri obroku brez beljakovin, se pojavi razlika med navidezno in pravo prebavljivostjo. Pri izračunu prave prebavljivosti beljakovin upoštevamo tudi količino endogenega dušika, zato je le-ta vrednost večja od navidezne prebavljivosti beljakovin (Stekar, 1987; Žgajnar, 1990). Vse tri testne skupine, ki so imele dodatek prehranske vlaknine, so imele manjšo tako navidezno kot pravo prebavljivost beljakovin v primerjavi s kontrolno skupino (slika 10). Pri živalih krmljenih z guar gumom in pektinom (topni prehranski vlaknini) je bila prebavljivost beljakovin manjša, kot pri pšeničnih otrobih.



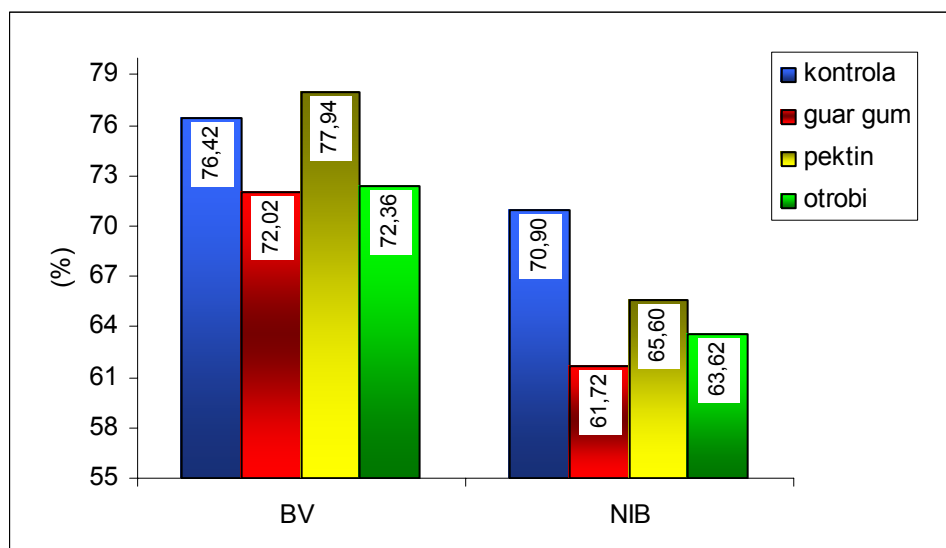
Slika 10: Navidezna in prava prebavljivost surovih beljakovin

Količina izločenega dušika z blatom in s sečom se poveča pri skupinah živali, katere so krmljene s krmo, ki ima dodano prehransko vlaknino. Prav zato je bila navidezna in prava prebavljivost surovih beljakovin pri teh skupinah manjša od kontrolne krmne mešanice. Večje izločanje dušika vpliva na manjšo navidezno in pravo prebavljivost (Nyman in Asp, 1982; de Lange in sod., 1990, cit. po Yin in sod., 2000).

Biološka vrednost beljakovin je sposobnost neke beljakovine, da oskrbi telo z aminokislinami, ki so potrebne za telesne funkcije (Stekar, 1983). Monogastrične živali dobijo aminokislino iz razgradnje beljakovin, ki jih prebavijo in se absorbirajo v tankem črevesu (Stekar, 1983; Stekar in Muck, 1969). Raziskave na laboratorijskih podganah so pokazale, da so za rast podgan nujno potrebne določene esencialne aminokislino, to so

tiste, ki jih živalski organizem ne more sam sintetizirati, ali vsaj ne dovolj hitro in v zadostnih količinah, potemtakem je organizem odvisen od aminokislin, ki jih dobi s krmo (McDonald in sod., 1995; Stekar, 1987). Od teh esencialnih aminokislin, ki jih dobi s krmo je odvisna tudi biološka vrednost beljakovin (Stekar, 1983; Stekar in Muck, 1969).

Pri biološki vrednosti beljakovin je pomembna prisotnost, količina in prebavljivost esencialnih aminokislin oziroma razmerje med njimi v odnosu do potreb živali (Stekar in Muck, 1969; Stekar, 1983). Bolj kot je aminokislinska sestava krme podobna živalskim telesnim beljakovinam, večja je biološka vrednost. V primeru presežkov ali pomanjkanja določenih aminokislin se biološka vrednost zmanjša (McDonald in sod., 1995). V naši raziskavi smo ugotovili, da so živali zaužile najmanj krmne mešanice, ki je vsebovala guar gum in s tem tudi najmanj dušika. Tako je bila v tej skupini bilanca dušika v primerjavi z ostalimi mešanici najslabša. Se pravi, živali te skupine so naložile najmanj beljakovin v telesu. Posledično smo pričakovali, da bo biološka vrednost beljakovin v tej skupini najslabša. Najboljšo biološko vrednost beljakovin med poskusnimi skupinami smo ugotovili pri skupini živali krmljeni s poskusno krmno mešanico pektin (slika 11), vendar razlike med testnimi skupinami niso bile statistično značilne ($P < 0,05$).



Slika 11: Biološka vrednost (BV) in neto izkoristek beljakovin (NIB)

Mosenthin in sod. (1994) so ugotovili, da imajo lahko prehranski pektini preko različnih procesov neposreden vpliv na prebavo beljakovin. Vplivajo na ilealno in fekalno

prebavljivost beljakovin in aminokislin pri prašičih s povečanim endogenim izločanjem beljakovin v tanko črevo in s spodbujanjem bakterijske asimilacije dušika v debelem črevesu. Prav tako so Mosenthin in sod. (1994) dokazali, da ima dodatek 7,5 % čistega pektina negativen vpliv na navidezno prebavljivost organske snovi, beljakovin, esencialnih in neesencialnih aminokislin. Ker pektin ni vplival na količino izločenega pankreasnega soka, zaključujejo avtorji, da je za poslabšanje ilealne prebavljivosti lahko kriva tako povečana endogena sekrecija beljakovin, kot tudi poslabšanje učinkovitosti prebave in absorpcije aminokislin.

Prehranska vlaknina v krmi povzroči slabši izkoristek različnih hranil, vključno beljakovin (NIB) (Southgate in sod., 1970, cit. po Shah in sod., 1986). V naši raziskavi smo ugotovili, da je neto izkoristek beljakovin (NIB) pri vse testnih krmnih mešanicah, katerim je bil dodan vir vlaknine, slabši od kontrolne skupine (slika 11).

Kakovost beljakovin pri hitro rastočih živalih lahko ocenimo tudi iz razmerja med prirastom in zaužitimi beljakovinami (Stekar, 1983). V našem poskusu je največji prirast dosegla skupina živali krmljena s pšeničnimi otrobi. Prav tako je ta skupina živali zaužila največ beljakovin, tako da je bilo pričakovano, da bo ta skupina imela največje izkoriščanje beljakovin (PER).

Viola in sod. (1970) so raziskovali vpliv pektina na prebavljivost hranil in na izkoristek beljakovin ter ugotovili, da pektin zmanjša zauživanje krme in posledično končno telesno maso, prirast ter manjše je razmerje izkoriščanja beljakovin (PER) in navidezna prebavljivost surovih beljakovin. Ti vplivi naj bi bili posledica fizikalno – kemijske strukture pektina, kot je sposobnost za vezanje vode in želirajoče lastnosti (Viola in sod., 1970, cit. po Hove in King, 1979). To isto ugotovitev sta prav tako potrdila Hove in King (1979). V našem poskusu je skupina živali krmljena s krmno mešanico, kateri je bil dodan pektin, imela skoraj najmanjše zauživanje krme, najmanjšo končno telesno maso in najslabši prirast. Prav tako je imela najslabšo navidezno prebavljivost in PER vrednost.

Pri naši raziskavi, v kateri smo proučevali vpliv dodatka različnih virov prehranske vlaknine na prebavljivost hranljivih snovi pri laboratorijskih podganah, smo dokazali

podobne vplive pektina in guar guma (topni prehranski vlaknini). Pšenični otrobi kot vir netopne prehranske vlaknine so pokazali nekatere drugačne vplive v primerjavi s topnimi vlakninami. Prebavljivost vseh treh poskusnih krmnih mešanic, ki so imele dodatek vlaknine je bila slabša v primerjavi s kontrolno krmno mešanico. Pri prebavljivosti suhe ter organske snovi so povzročili pšenični otrobi statistično značilno najslabšo prebavljivost, pri vplivu na prebavljivost beljakovin se pšenični otrobi tudi statistično značilno razlikujejo od ostalih mešanic, vendar vrednost ni najmanjša. Najmanjšo navidezno in pravo prebavljivost beljakovin smo ugotovili pri pektinu in guar gumu (topnih vlakninah).

6 SKLEPI

- Dodatek pšeničnih otrobov v krmno mešanico je povzročil statistično značilno največjo konzumacijo krme, dnevni prirasti živali so bili statistično največji. Prav tako je bil statistično značilno večji porast v telesni masi pri skupini krmljeni s pšeničnimi otrobi. Skupini živali krmljeni s krmno mešanico pektin in guar gum sta v poskusnem obdobju zaužili manj krme kot kontrolna skupina, posledično je bil pri živalih ugotovljen manjši prirast in končna telesna masa, vendar brez statistično značilnih razlik.
- Skupina živali krmljena s pšeničnimi otrobi je zaužila statistično značilno največ dušika (1435,6 mg). Prav tako je imela ta skupina statistično značilno največje izločanje dušika z blatom in s sečom. Bilanca dušika je bila pri vseh skupinah pozitivna ter statistično značilno največja (735,0 mg) pri skupini z otrobi v primerjavi s kontrolno ter ostalima dvema poskusnima skupinama. Pri poskusnih skupinah živali smo ugotovili večje izločanje dušika z blatom kot pri kontrolni skupini, razlika je bila tudi statistično značilna.
- Statistično značilno najmanjšo prebavljivost SS in OS smo dokazali pri skupini živali krmljeni s pšeničnimi otrobi (krmna mešanica z dodatkom netopne prehranske vlaknine). Nekoliko boljše prebavljivost SS in OS sta imeli skupini živali krmljeni z pektinom in guar gumom (topni prehranski vlaknini), v primerjavi s kontrolno krmno mešanico, ki je imela statistično značilno največjo prebavljivost SS in OS.
- Navidezna in prava prebavljivost beljakovin sta bili statistično največji pri kontrolni skupini. Statistično značilno najmanjši NP in PP pa sta imeli skupini živali krmljeni s pektinom in guar gumom (topne prehranske vlaknine).
- Izračunali smo, da je bila biološka vrednost beljakovin med skupinami podobna. Največje vrednosti smo izračunali pri skupini krmljeni z poskusno krmno mešanico pektin (77,94 %), najmanjša pa pri skupini krmljeni z guar gumom (72,02 %).

- Neto izkoristek beljakovin je bil pri vseh testnih krmnih mešanicah, katerim je bil dodan vir vlaknine, slabši od kontrolne skupine.
- Skupina živali krmljena s pšeničnimi otrobi je imela najboljše izkoriščanje beljakovin (PER vrednost 2,42), ki se je tudi statistično značilno razlikovala od skupine krmljene s pektinom, ki je imela najnižjo PER vrednost (1,90).

7 POVZETEK

Vlaknina je kemično heterogena snov ter prav zato ima različne kemijske in fizikalne lastnosti, ki vplivajo na dogajanja v prebavilih. Prebavljivost hranljivih snovi je tako neposredno povezana z vsebnostjo vlaknine v krmi, pri tem pa ni pomembna samo koncentracija vlaknine, ampak tudi njena kemijska sestava. Različne vrste vlaknine različno vplivajo na prebavljivost drugih hranljivih snovi.

V naši raziskavi smo želeli ugotoviti, kako različne vrste v krmno mešanico dodane vlaknine vplivajo na prebavljivost hranljivih snovi v primerjavi s kontrolno krmno mešanico, ki je vsebovala hranljive snovi, ki so potrebne za rastoče laboratorijske podgane in kot vir vlaknine samo čisto celulozo. V poskusnih krmnih mešanicah smo del škroba zamenjali z določenim virom vlaknine. Uporabili smo jabolčni pektin in guar gum, kot vira topne vlaknine ter pšenične otrobe, kot vir netopne prehranske vlaknine. V poskus smo vključili 20 laboratorijskih podgan. Namestili smo jih v individualne bilančne kletke z 12 urnim dnevno/nočnim ritmom svetlobe ter s prostim dostopom do krme in vode. Glede na telesno maso smo jih razvrstili v štiri homogene skupine. Prva skupina je bila kontrolna skupina, živali so bile krmljene z osnovno krmno mešanico, vir beljakovin je bil kazein z dodatkom celuloze za pokritje minimalnih potreb. Druge tri skupine živali so dobivale poskusne krmne mešanice, pri katerih je bil uporabljen kazein kot vir beljakovin, ter poleg celuloze še drugi vir vlaknine nad nivojem potreb (pektin, guar gum in pšenični otrobi). Sam prehranski poskus smo razdelili na dve obdobji: obdobje prilagoditve in obdobje poskusa, posamezno obdobje je trajalo pet dni, skupaj je trajal poskus deset dni. V času bilančnega poskusa smo spremljali telesno maso živali in zauživanje krme ter ločeno zbirali blato in seč. Po končanem poskusu smo iz zbranih podatkov v času poskusa izračunali skupno količino zaužite krme in prirast živali ter zbrali in stehtali vso količino izločenega blata in seča. Krmo ter zbrano blato in seč smo analizirali v Kemijskem laboratoriju Katedre za prehrano ter iz dobljenih podatkov izračunali prebavljivost organske in suhe snovi, navidezno in pravo prebavljivost beljakovin, biološko vrednost beljakovin, neto izkoristljivost beljakovin in razmerje izkoriščanja beljakovin.

Krmne mešanice so si bile med seboj podobne, razlike so bile le v vsebnosti surove vlaknine, ki jo je bilo največ v mešanici z otrobi.

Dodatek netopne prehranske vlaknine (pšeničnih otrobov) v poskusno krmno mešanico je povzročil statistično največjo konzumacijo krme, največjo končno telesno maso ter posledično največji prirast v primerjavi s kontrolno krmno mešanico ter ostalima dvema poskusnima krmnima mešanicama.

Skupina živali krmljena s pšeničnimi otrobi je imela statistično značilno največjo količino zaužitega dušika. Prav tako so živali iz te skupine izločile statistično značilno največ dušika z blatom in s sečem. Bilanca dušika je bila pozitivna in statistično značilno največja v primerjavi z ostalimi skupinami živali.

S primerjanjem izračunov prebavljivosti suhe in organske snovi po skupinah živali smo ugotovili, da so imele živali krmljene s pšeničnimi otrobi statistično značilno najmanjšo prebavljivost suhe in organske snovi. Živali, krmljene s kontrolno krmno mešanico, so imele statistično največjo prebavljivost SS in OS. Živali krmljene s poskusnima krmnima mešanicama, katerima je bil dodan vir topne prehranske vlaknine, pektin in guar gum, se po prebavljivosti SS in OS nista statistično značilno razlikovali med seboj, sta se pa statistično značilno razlikovali od ostalih skupin.

Do podobnih razlik smo prišli pri izračunu navidezne in prave prebavljivosti beljakovin. Statistično značilno najboljšo navidezno in pravo prebavljivost smo izračunali pri kontrolni skupini. Za razliko od prebavljivosti SS in OS, skupina živali krmljena z otrobi, ni imela najmanjše prebavljivosti surovih beljakovin. Statistično značilno najmanjšo vrednost navidezne in prave prebavljivosti sta imeli skupini krmljeni s pektinom in guar gumom.

Izračuni biološke vrednosti beljakovin (BV) med skupinami živali, ki so bile različno krmljene, so pokazali, da med njimi ni statističnih značilnih razlik, razlike so le numerične.

Ugotovili smo najmanjši neto izkoristek beljakovin (NIB) pri skupini živali krmljeni z guarom. Ta skupina živali se je statistično značilno razlikovala od skupine živali, krmljene

s kontrolno krmno mešanico, ki je imela največji neto izkoristek beljakovin. Glede NIB sta skupini živali krmljeni s pektinom in otrobi neznačilni med seboj ter prav tako z ostalima dvema skupinama.

Pri primerjanju izračunov razmerja izkoriščanja beljakovin (PER) smo opazili statistično značilno razliko med skupinama živali krmljenima s pektinom in pšeničnimi otrobi. Slednja skupina ima največjo PER vrednost, ki se je statistično značilno razlikovala od skupine krmljene s pektinom, ki je imela najmanjšo PER vrednost. PER vrednost za skupini živali krmljeni s kontrolno krmno mešanico in dodanim guar gumom sta bili podobni in se statistično značilno nista razlikovali od ostalih dveh skupin.

Pri naši raziskavi smo dokazovali, da različne vrste vlaknine (zaradi različnih kemijskih in fizikalnih lastnosti) različno vplivajo na prebavljivost hranljivih snovi. Dokazovali smo podobne vplive pektina in guar guma, kot vira topne prehranske vlaknine, za razliko od pšeničnih otrobov (netopna prehranska vlaknina), kjer so se pokazali nekoliko drugačni vplivi. Ugotovili smo, da je prebavljivost hranljivih snovi vseh treh poskusnih krmnih mešanic, ki so imele dodan en vir vlaknine, slabša v primerjavi s kontrolno krmno mešanico, v kateri je bil vir vlaknine samo čista celuloza.

8 VIRI

- Amrein T.M., Gränicher P., Arrigoni E., Amadò R. 2003. In vitro digestibility and colonic fermentability of alerone isolated from wheat bran. *Lebensmittel - Wissenschaft + Technologie*, 36: 451-460
- Bach-Knudsen K.E., Hansen I. 1991. Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions. 1. Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major constituents. *British Journal of Nutrition*, 65: 217-232
- Carnovale E., Lintas C. 1995. Dietary fibre: effect of processing and nutrient interactions. *European Journal of Clinical Nutrition*, 49, 3: S307-S311
- Davidson M.H., McDonald A. 1998. Fiber: forms and functions. *Nutrition Research*, 18, 4: 617-624
- Donangelo C.M., Eggum B.O. 1985. Comparative effects of wheat bran and barley husk on nutrient utilization in rats. *British Journal of Nutrition*, 54: 741-751
- Drochner W. 1993. Digestion of carbohydrates in the pig. *Archives of Animal Nutrition*, 43: 95-116
- Engelhardt W., Bartels J., Kirschberger S., Düttingdorf H.D.M., Busche R. 1998. Role of short – chain fatty acids in the hind gut. *The Veterinary Quarterly*, 20, 3: 52-59
- Fajdiga S. 2001. Vpliv dodatka različnih vrst vlaknin na mikrobnost aktivnost v prebavilih pujskov. Diplomsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Enota medoddelčnega študija mikrobiologije: 86 str.
- Fleming L.L., Floch M.D., Floch M.H. 1986. Digestion and Absorption of Fiber Carbohydrate in the Colon. *The American Journal of Gastroenterology*, 81, 7: 507-511

GENU[®]Pectin Book. 2004. Pkelco

http://www.cpkelco.com/pectin/product_information.html (16. sept. 2004)

Golob T., Plestenjak A., Čater N. 1995. Dietary Fiber in Whole Grain and Enriched Bread.
Prehrambeno-tehnološka biotehnološka revija, 33, 1: 47-49

Guar Gum. 2004a. Whole Foods Market

<http://www.wholefoodsmarket.com/healthinfo/guargum.html> (16. sept. 2004)

Guar Gum. 2004b. Food Reference

<http://www.foodreference.com/html/fguargum.html> (16. sept. 2004)

Guar Gum. 2004c. Cargill

<http://www.texturant-systems.com/texturant/html/e/products/guar.htm> (16. sept. 2004)

Henningsson A.M., Björck I.M.E., Nyman E.M.G.L. 2002. Combinations of indigestible carbohydrates effect short – chain fatty acid formation in the hindgut of rats. Journal of Nutrition, 132: 3098-3104

Herbstreith and Fox. 2006. The specialists for pectin. Edition 2/8.

<http://www.herbstreith-fox.de/pdf/ehfspez.pdf> (15. jun. 2006)

Hove E.L., King S. 1979. Effects of Pectin and Cellulose on Growth, Feed Efficiency, and Protein Utilization, and their Contribution to Energy Requirement and Cecal VFA in Rats. Journal of Nutrition, 109: 1274-1278

Jeganathan S. 2003. Potential of fungi used in Chinese remedies for cancer treatment.
http://www.world-of-fungi.org/Mostly_Medical/Jeganathan/Jeganathan.htm (13 jun. 2006)

- Jensen B.B., Jørgensen H. 1994. Effect of dietary fiber on microbial activity and microbial gas production in various regions of the gastrointestinal tract of pigs. *Applied and Environmental Microbiology*, 60, 6: 1897-1904
- Koch V., Pavčič M., Salobir K. 1993. Vlaknine v prehrani. V: Ogljikovi hidrati. 15. Bitenčevi živilski dnevi '93, Ljubljana, 10-11 jun. 1993. Plestenjak A. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilsko tehnologijo: 39-58
- Krotkiewski M. 1984. Effect of guar gum on body weight, hunger ratings and metabolism in obese subjects. *British Journal of Nutrition*, 52: 97-105
- Kutoš T. 1997. Vlaknina v suhem in obdelanem fižolu. Magistrsko delo. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 73 str.
- Lee S.C, Prosky L. 1994. Perspectives on New Dietary Fiber Definition. *Cereal Food World*, 39, 10: 767-768
- Lupton J.R., Turner N.D. 2000. Dietary fiber. V: Biochemical and physiological aspect of human nutrition. Stipanuk M.H., Pladelpia W.B. (eds.). New York, W.B. Saunders Company: 143-154
- McDonald P., Edwards R.A., Greenhalgh J.F.D., Morgan C.A. 1995. *Animal nutrition*. 5th edition. New York, Longman: 607 str.
- Mongeau R., Brooks S.P.J. 2003. Dietary fibre: determination. V: *Encyclopedia of food science and nutrition*. Vol. 3. 2nd ed. Caballero B., Trugo L.C., Finglas P.M. (eds.). Amsterdam, Academic Press, Elsevier: 1813-1844
- Mongeau R., Johnson I., Wolever T.M.S., Stephens A., Bingham S.A. 1993. Dietary fibre. V: *Encyclopedia of food science, Food Technology and Nutrition*. Vol. 2. Macrae R., Robinson R.K., Sadler M.J. (eds.). London, Academic Press: 1362-1387

Mosenthin R., Sauer W.C., Ahrens F. 1994. Dietary Pectin's Effect on Ileal and Fecal Amino Acid Digestibility and Exocrine Pancreatic Secretions in Growing Pigs. *Journal of Nutrition*, 124: 1222-1229

Nyman M., Asp N.G. 1982. Fermentation of dietary fibre components in the rat intestinal tract. *British Journal of Nutrition*, 47: 357-366

Owen D.F., Cetton R.H. 1982. Dietary Fiber. *Cereal Foods World*, 27, 10: 519-520

Passmore R., Eastwood M.A. 1986. *Human Nutrition and Dietetics*. Edinburg, Churchill Livingstone: 35 str.

Pectins. 2004. Cargill

<http://www.texturant-systems.com/texturant/html/e/products/pectins.htm> (16. sept. 2004)

Pluske J.R., Pethick D.W., Durmic Z., Hampson D.J., Mullan B.P. 1999. Non – starch polysaccharides in pig diets and their influence on intestinal microflora, digestive physiology and enteric disease. V: *Recent advances in animal nutrition*. Garnsworthy P.C., Wiseman J. (eds.). Nothingam, Nothingam University Press: 189-226

Prosky L., Asp N.G., Schweizer T.F., Devries J.W., Furda I. 1992. Determination of Insoluble, soluble and total dietary fiber in foods and food products: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 75: 360-367

Salobir J. 1999. Vlaknina v prehrani prašičev. V: *Zbornik predavanj 8. posvetovanja o prhrani domačih živali. Zdravčevi – Erjavčevi dnevi, Radenci, 28-29 okt. 1999*. Murska Sobota, Živinorejsko – veterinarski zavod za Pomurje: 113-125

Salobir J., Salobir B. 2001. Funkcionalnost prehranske vlaknine. V: *funkcionalna hrana. 40 let študija živilstva. 21. Bitenčevi živilski dnevi, Portorož, 8-9. nov. 2001*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo: 51-65

SAS/STAT. 2000. SAS Users's Guide: Statistics release 8e. Cary, SAS Institute Inc.: 877 str.

Schneeman, B.O. 1989. Dietary Fiber. Food Technology, 43, 10: 133-139

Selvendran R.R. 1984. The plant cell wall as a source of dietary fibre: chemistry and structure. American Journal of Clinical Nutrient, 39: 320-337

Shah N., Mhoney R.R., Pellett P.L. 1986. Effect of Guar Gum, Lignin and Pectin on Proteolytic Enzyme Levels in the Gastrointestinal Tract of the Rat: A Time – Based Study. Journal of Nutrient, 116: 786-794

Soffrant W.B. 2001. Effect of dietary fibre on ileal digestibility and endogenous nitrogen losses in the pig. Animal Feed Science Tehnology, 90: 409-414

Spiller G.A., Chernoff M.C., Hill R.A., Gates J.E., Nassar J.J., Shipley E.A. 1980. Efect of purified cellulose, pectin, and a low – residue diet on fecal volatile fatty acids, transit time, and fecal weight in human. The American Journal of Clinical Nutrition, 33: 754-759

Stekar J. 1983. Ocena hranilne vrednosti beljakovin v krmilih. Sodobno kmetijstvo, 16, 3: 115-117

Stekar J. 1987. Splošna prehrana živali. Ljubljana, Založba Kmečki glas: 95 str.

Stekar J., Muck O. 1969. Biloška vrednost beljakovin. Sodobno kmetijstvo, 16, 6: 337-338

Theander O., Westerlund E., Amon P. 1993. Structure and components of dietary fiber. Cereal Foods World, 38, 3: 135-141

Thebaudin J.Y., Lefebvre A.C., Harrington M., Bourgeois C.M. 1997. Dietary fibres: Nutritional and technological interest. *Trends in Food Science & Technology*, 8: 41-48

Walker A.R.P. 1993. Does the Dietary Fiber Hypothesis Really »Work«?. *Cereal Foods World*, 38, 3: 129-134

Williams B.A., Verstegen M.W.A., Tamminga S. 2001. Fermentation in the large intestine of single-stomached animals and its relationship to animal health. *Nutrition Research Reviews*, 14: 207-227

Yin Y.L., McEvoy J.D.G., Schulze H., Henning U., Souffrant W.B., McCracken K.J. 2000. Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients and endogenous nitrogen losses in growing pigs fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with xylanase supplementation. *Livestock Production Science*, 62: 119-132

Younes H., Garleb K., Behr S., Révész C., Demigné C. 1995. Fermentable fibers or oligosaccharides reduce urinary nitrogen excretion by increasing urea disposal in the rat cecum. *Journal of Nutrition*, 125: 1010-1016

Zitterman A. 2003. Bran. V: *Encyclopedia of food science and nutrition*. Vol. 3. 2nd ed. Caballero B., Trugo L.C., Finglas P.M. (eds.). Amsterdam, Academic Press, Elsevier: 1844-1850

Žgajnar A. 1999. *Prehrana in krmljenje goved*. Ljubljana, Založba Kmečki glas: 571 str.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem:

- mentorci doc. dr. Tatjani Pirman za izredno mentorstvo pri izdelavi diplomske naloge, za pomoč pri izvedbi poskusa, statistični obdelavi podatkov, za vse nasvete ter ves čas in trud, ki mi ga je namenila,
- prof. dr. Andreju Orešniku in prof. dr. Juriju Pohar za strokovni pregled diplomskega dela,
- kemijskim tehnikom kemijskega laboratorija, predvsem Marku Kodri, za pomoč pri opravljanju analiz,
- dr. Nataši Siard za pregled oblike diplomskega dela,
- osebju Biotehniške fakultete, Oddelka za zootehniko, ki so mi kakorkoli pomagali z strokovnimi nasveti in moralno podporo,
- moji družini, ki me je skozi celoten študij podpirala in bodrila
- ter vsem prijateljem, ki so mi v času priprave diplomske naloge stali ob strani.