



Sistem zagotavljanja
kakovosti lesnih pelet

PRIROČNIK S4Q

za proizvajalce pelet

Ljubljana, 2024



GOZDARSKI INŠTITUT SLOVENIJE
SLOVENIAN FORESTRY INSTITUTE



PRIROČNIK S4Q za proizvajalce pelet

DRUGA, PRENOVLJENA IZDAJA

Prislan Peter, Krajnc Nike, Piškur Mitja, Triplat Matevž, Stare Darja, Dremelj Matjaž

Ljubljana, 2024



Naslov: Priročnik S4Q za proizvajalce pelet

Avtorji dokumenta: Peter Prislan, Nike Krajnc, Mitja Piškur, Matevž Triplat, Darja Stare, Matjaž Dremelj



To delo je ponujeno pod licenco Creative Commons Priznanje avtorstva
Deljenje pod enakimi pogoji 4.0 Mednarodna licenca.

Založil in izdal: Gozdarski inštitut Slovenije, Založba Silva Slovenica

**Za založbo in
izdajatelja:** Nike Krajnc, direktorica Gozdarskega inštituta Slovenije

Izdaja: 2., prenovljena izd.

Ljubljana, 2024

Ključne besede: Lesna biomasa, proizvodnja pelet, sistem nadzora, S4Q, podpora za kakovost

Keywords: Wood biomass, pellet production, control system, S4Q, quality support

DOI 10.20315/SilvaSlovenica.0027

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID 209489923

ISBN 978-961-6993-89-0 (PDF)

Kazalo

A. SISTEM NADZORA in ZAGOTAVLJANJA KAKOVOSTI	6
1. Ukrepi za učinkovit nadzor in zagotavljanje kakovosti.....	6
1.1. Sledljivost	7
1.2. Proizvodne zahteve.....	8
1.3. Nadzor in evidentiranje kakovosti	14
1.4. Deklaracija proizvoda	17
2. Izvajanje nadzora kakovosti	18
2.1. Analiza in specifikacija pelet	18
B. PROIZVODNJA PELET	28
3. Vrsta surovine	28
4. Mletje	30
5. Sušenje	31
6. Kondicioniranje.....	34
7. Peletiranje	35
8. Hlajenje.....	37
9. Sejanje.....	37
10. Fizikalno-kemijske lastnosti surovine in pelet	38
10.1. Velikost delcev surovine	38
10.2. Vlažnost surovine in pelet.....	39
10.3. Gostota nasutja pelet	39
10.4. Mehanska obstojnost	40
10.5. Vsebnost pepela.....	42
10.6. Vsebnost naravnih veziv.....	43
Literatura / Reference	47

A. SISTEM NADZORA in ZAGOTAVLJANJA KAKOVOSTI

Sistem nadzora in zagotavljanja kakovosti povečuje zaupanje potrošnikov, saj lahko proizvajalci končnim uporabnikom pokažejo ali dokažejo, da s spremljanjem in nadzorom procesov v dobavni verigi dosegajo opredeljeno kakovost. Končni uporabnik se tako lahko zanaša na kakovost uporabljenega trdnega biogoriva, proizvajalci pa lahko optimizirajo, nadzirajo in proizvajajo izdelek v skladu s potrebami trga.

Uvedba celotnega sistema nadzora in zagotavljanja kakovosti, kot ga opisujejo sheme EN plus ali DIN plus za manjše proizvajalce velikokrat iz finančnega ozira ni smiselna, praktična ali realna. Za proizvajalce, ki prodajo manj kot 1.000 ton/leto, je smiselno predlagati lažje izvedljiv in realen pristop. Zagotoviti je mogoče ustrezno testiranje in označevanje najpomembnejših parametrov, sistem pa je mogoče razširiti ter izboljšati, tako da ustreza dodatnim zahtevam.

Predlagan poenostavljen sistem nadzora in zagotavljanja kakovosti zajema vse subjekte v dobavni verigi, ki spadajo v okvir standarda EN 15234.

Za sistem so relevantni standardi:

Terminologija in definicije:

EN ISO 16559:2022 - Trdna biogoriva – Slovar (nadomešča EN 14588:2010)

Zagotavljanje kakovosti goriv:

EN 15234-1:2011, Trdna biogoriva – Zagotavljanje kakovosti goriv – 1. del: Splošne zahteve
CEN/TR 15569:2009 – Trdna biogoriva – Vodilo za zagotavljanje sistema kakovosti

Specifikacije in razredi lesnih goriv:

EN ISO 17225-1:2021, Trdna biogoriva – Specifikacije goriv in razredi – 1. del: Splošne zahteve (nadomešča EN ISO 17225-1:2014; EN 14961-1:2010)

1. Ukrepi za učinkovit nadzor in zagotavljanje kakovosti

Glavni postopki, ki jih je treba uvesti, zajemajo ključna področja sledljivosti, proizvodnih zahtev in označevanja izdelkov. **Predlagana struktura ter metodologija zagotavljanja in nadzora kakovosti omogoča sledljivost in primeren nadzor nad dejavniki, ki vplivajo na kakovost goriva, kar vzbuja zaupanje končnih uporabnikov v kakovost goriva.**

Sistem zagotavljanja kakovosti mora biti preprost, z minimalnim obsegom dodatne birokracije in podpornimi režimi za zmanjšanje cen. Razlika med zagotavljanjem in nadzorom kakovosti (glede na standard EN 15234-1:2011; stran 10) je sledeča:



Nadzor kakovosti pomeni nadzor kakovosti izdelka ali procesa, s katerim se omogoči najbolj učinkovita in cenovno najugodnejša dobava izdelka ali storitve v okviru dogovorjenih parametrov.

Zagotavljanje kakovosti pomeni pregled izdelkov in procesov, ki se opravi predvsem na podlagi podatkov iz zapisov o nadzoru kakovosti, pri čemer se s temi podatki:

- a) zagotovi zaupanje, da so izdelki proizvedeni v okviru zahtevanih specifikacij in da so postopki ustrezno izpeljani, ter
- b) zagotovi dolgoročno vzdrževanje doslednosti (stabilnost rezultatov postopkov) ali načrtovani učinek izboljšav na področju kakovosti.

Pomemben del zagotavljanja in nadzora kakovosti je obvezna dokumentacija, ki v skladu s standardom EN 15234 zajema naslednja široka strokovna področja:

- sledljivost surovini
- proizvodne zahteve
- transport, ravnanje in skladiščenje po proizvodnji
- končna specifikacija gradiva

1.1. Sledljivost

Na splošno so vsi gospodarski subjekti v dobavni verigi odgovorni za zagotavljanje sledljivosti porekla in izvora dobavljenih surovin. Standard SIST EN ISO 17225-1:2021 podaja strukturno klasifikacijo glede na poreklo in izvor.

Za zagotavljanje sledljivosti surovin **predlagamo spremljanje sledečih parametrov:**

- *Podatki o dobavitelju;*
- *Izvor surovine (npr. les iz gozda - deblovina in sečni ostanki ali stranski proizvodi in ostanki iz lesno predelovalne industrije - kemično neobdelan oz. obdelan les)*
- *Oblika surovine (žagovina, sekanci,...)*
- *Prevladujoča drevesna vrsta (smreka, bukev, mešanica listavcev)*
- *Prisotnost skorje (Da, Ne)*

Sledljivost gospodarskim subjektom zagotavlja informacije, ki pomagajo izpolnjevati zahteve Uredbe Evropske unije o lesu (EU Timber Regulation – EUTR, št. 995/2010).



1.2. Proizvodne zahteve

Zahteve sistema zagotavljanja in nadzora kakovosti so odvisne predvsem od **kompleksnosti proizvodnega procesa** in **zahtevanih lastnosti (specifikacij) pelet**. Od teh dejavnikov je odvisna stopnja uporabljenih ukrepov ter raven podrobnosti dokumentacije.

Standard SIST EN 15234-2 podaja metodologijo uvedbe sistema zagotavljanja in nadzora kakovosti v proizvodni proces, sestavljeno iz šestih korakov:

1. Določanje značilnosti (specifikacija) biogoriva;
2. Dokumentacija členov proizvodnega in distribucijskega procesa;
3. Analiza dejavnikov, ki vplivajo na kakovost proizvoda in delovanje podjetja;
4. Opredelitev in dokumentiranje kritičnih nadzornih točk;
5. Izbira primernih ukrepov za spodbujanje zaupanja strank;
6. Uvedba in dokumentiranje ločenega ravnanja z neustreznimi materiali in trdnimi biogorivi.

1.2.1. Specifikacija pelet

Lastnosti lesnih pelet za neindustrijsko in industrijsko rabo opredeljuje standard **SIST EN ISO 17225-2:2021**. Skladno s standardom se peleti za neindustrijsko rabo razvrščajo v razred A1, A2 ter B, peleti za industrijsko rabo pa v razred I1, I2 ali I3. Pri vseh razredih je dovoljena le surovina pridobljena iz gozdov ali nasadov ter surovina, ki ni kemično obdelana (premazi, lepila, biocidi). Razred A1 predstavlja pelete, z nizko vsebnostjo pepela in dušika, medtem ko razred A2 dovoljuje rahlo povišan delež pepela in dušika. Razred I1 in I2 dovoljuje podobno vsebnost pepela in dušika kot razred A2. Razred B in I3 dovoljuje tudi rabo kemično obdelanega industrijskega lesa, lesne ostanke in rabljen les ter kemično neobdelan rabljen les. Kakovostni razred B je na meji uporabnosti za individualna kurišča, saj ga nekateri obravnavajo kot neustreznega za moderne peči na pelete.

Peleti izdelani iz kemično obdelanih lesnih ostankov iz lesne predelave in rabljen les spadajo v kakovostni razred B ali I3, v primeru, da ne vsebujejo težkih kovin ali halogenih organskih spojin kot posledica obdelave lesa s sredstvi za zaščito in površinsko obdelavo. Če je surovina kemično obdelan les (razred 1.2.2 in 1.3.2 glede na standard 17225-1) je potrebno izvor surovine natančno opisati (npr. ostanki iz proizvodnje lameliranega lesa).

Da se zagotovi primerna uporaba surovine in natančnost navedb na deklaracijah, so priporočljivi sledeči ukrepi:



- a) Navajanje vrednosti za posamezne lastnosti surovine in proizvoda bodisi na podlagi tipičnih vrednosti navedenih v aneksu B standarda SIST EN ISO 17225-1:2021, bodisi iz lastnih izkušenj.
- b) Izračun vrednosti posameznih kazalnikov kakovosti, npr. z uporabo tipičnih vrednosti ob upoštevanju dokumentiranih in splošno sprejetih specifičnih vrednosti;
- c) Opravljanje analiz:
 - a. s poenostavljenimi metodami, če so na razpolago
 - b. z referenčnimi metodami

Odgovornost proizvajalca ali dobavitelja je **podati natančne in pravilne informacije o lastnostih proizvoda**, ne glede na način pridobivanja informacij, kot so laboratorijske analize ali navajanje referenčnih vrednosti. Standard SIST EN ISO 17225-1:2021 priporoča, da se ob vsaki menjavi osnovne surovine opravi laboratorijske analize, ki podajo natančne informacije o lastnostih surovine ali proizvoda.

Končni uporabnik naj bi prejel naročeno količino pelet z nizko vsebnostjo finih delcev. Ob odpremi iz proizvodnje pelet, delež finih delcev naj ne bi bil večji od 1 %. Distributerji pa naj bi izvajali in zagotavljali ustrezne ukrepe, da se delež finih delcev, na poti od tovarniških vrat do porabnika, ne poveča. Ustrezno ravnanje in skladiščenje namreč omogoča ohranjanje kakovosti pelet na vseh nivojih dobavne verige.

Kakovost pelet naj bo navedena bodisi v deklaraciji izdelka ali spremljajoči etiketi na embalaži.

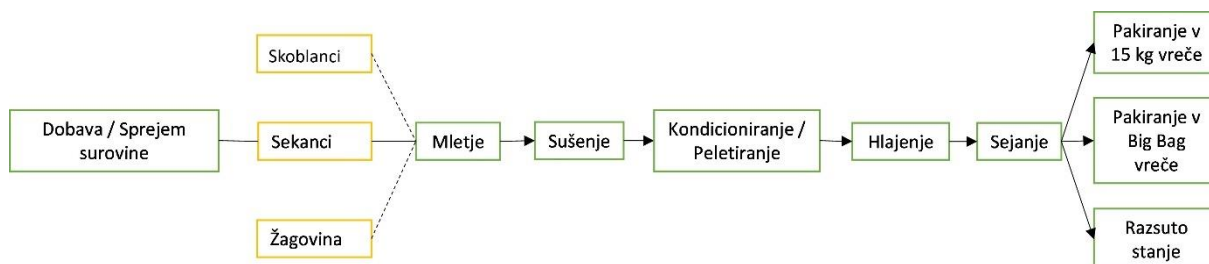


Tabela 1: Specifikacija pelet po standardu SIST EN ISO 17225-2:2021

Lastnosti	Lastnostni razred / Metoda analize	Enota	A1	A2	B
	Poreklo in izvor (SIST EN ISO 17225-1)		1.1.3 Deblovina 1.2.1 Kemično neobdelani lesni ostanki	1.1.1 Cela drevesa brez korenin 1.1.3 Deblovina 1.1.4 Sečni ostanki 1.2.1 Kemično neobdelani lesni ostanki	1.1 Les iz gozda, nasadov in drug neobdelan les 1.2 Stranski proizvodi in ostanki iz lesnopredelovalne industrije 1.3.1 Kemično neobdelan rabljen les
	Premier, D in dolžina L (SIST EN ISO 17829)	mm	D06, 6 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40		
			D08, 8 ± 1; 3,15 ≤ L ≤ 40		
	Vlaga, M (SIST EN ISO 18134-1, SIST EN ISO 18134-2)	% mase dostavljeno stanje	M10 ≤ 10		
	Pepel, A (SIST EN ISO 18122)	% mase suha snov	A0,7 ≤ 0,7	A1,2 ≤ 1,2	A2,0 ≤ 2,0
	Mehanska obstojnost, DU (SIST EN ISO 17831-1)	% mase dostavljeno stanje	DU98,0 ≥ 98,0 za D06 DU97,5 ≥ 97,5 za D08	DU97,5 ≥ 97,5	DU96,5 ≥ 96,5
	Delež finih delcev, F (SIST EN ISO 18846)	% mase dostavljeno stanje	F1,0 ≤ 1,0		
	Aditivi	% mase dostavljeno stanje	≤ 2 Potrebna navedba vrste in količine		
	Neto kalorična vrednost, Q (SIST EN ISO 18125)	MJ/kg ali kWh/kg dostavljeno stanje	Q16,5 ≥ 16,5 ali Q4,6 ≥ 4,6		
	Gostota nasutja, BD (SIST EN ISO 17828)	kg/m ³ dostavljeno stanje	600 ≤ BD ≤ 750		
	Dušik, N (SIST EN ISO 16948)	% mase suha snov	N 0,3 ≤ 0,3	N 0,5 ≤ 0,5	N 1,0 ≤ 1,0
	Žveplo, S (SIST EN ISO 16994)	% mase suha snov	S 0,04 ≤ 0,04		S 0,05 ≤ 0,05
	Klor, Cl (SIST EN ISO 16994)	% mase suha snov	Cl 0,02 ≤ 0,02		Cl 0,03 ≤ 0,03
	Arzen, As (SIST EN ISO 16968)	% mase suha snov	≤ 1		
	Kadmij, Cd (ISO 16968)	% mase suha snov	≤ 0,5		
	Krom, Cr (SIST EN ISO 16968)	% mase suha snov	≤ 10		
	Baker, Cr (SIST EN ISO 16968)	% mase suha snov	≤ 10		
	Svinec, Pb (SIST EN ISO 16968)	% mase suha snov	≤ 10		
	Živo srebro, Hg (SIST EN ISO 16968)	% mase suha snov	≤ 0,1		
	Nikelj, Ni (SIST EN ISO 16968)	% mase suha snov	≤ 10		
	Cink, Zn (SIST EN ISO 16968)	% mase suha snov	≤ 100		
	Taljenje pepela (SIST EN ISO 21404)	°C	DT ≥ 1200	DT ≥ 1100	

1.2.2. Dokumentacija členov proizvodne in distribucijske verige

Proizvodna veriga se prikaže s procesnim diagramom. Za učinkovito nadzorovanje posameznih členov je ključna razporeditev odgovornosti med zaposlenimi znotraj podjetja. Pozitiven vpliv na potek proizvodnega in distribucijskega procesa in posledično na trgovanje pa zagotavlja tudi dosledno dokumentiranje težav pri upravljanju posameznih členov procesa.



Slika 1: Primer poenostavljenega procesnega diagrama.

1.2.3. Analiza dejavnikov, ki vplivajo na kakovost proizvoda in rezultate podjetja

Dejavnike, ki določajo kakovost biogoriv in rezultate gospodarskega subjekta, je mogoče razdeliti na:

- primernost surovin, ki se ugotavlja s predhodnim pregledom porekla in preverjanjem vhodnega materiala;
- dejavnike, povezane s skladiščenjem in predelavo surovin, ki vplivajo na doseganje in vzdrževanje lastnosti goriva;
- človeške vire (znanje, zmogljivost in usposobljenost zaposlenih).

V tabeli 2 so zbrani dejavniki, ki lahko med proizvodnim procesom vplivajo na končne lastnosti pelet

Tabela 2: Tabela možnih vzrokov za odstopanje vrednosti različnih lastnosti:

Lastnost	Odstopanje	Možni vzroki
Mehanska obstojnost	Nizka vrednost	Neustrezna vlažnost surovine Neprimerna velikost delcev Neprimerno predhodno kondicioniranje surovine Kemična sestava surovine Proizvodni parametri: - dimenzija matrice - hitrost vrtenja valjev - razmik med matrico in valjem



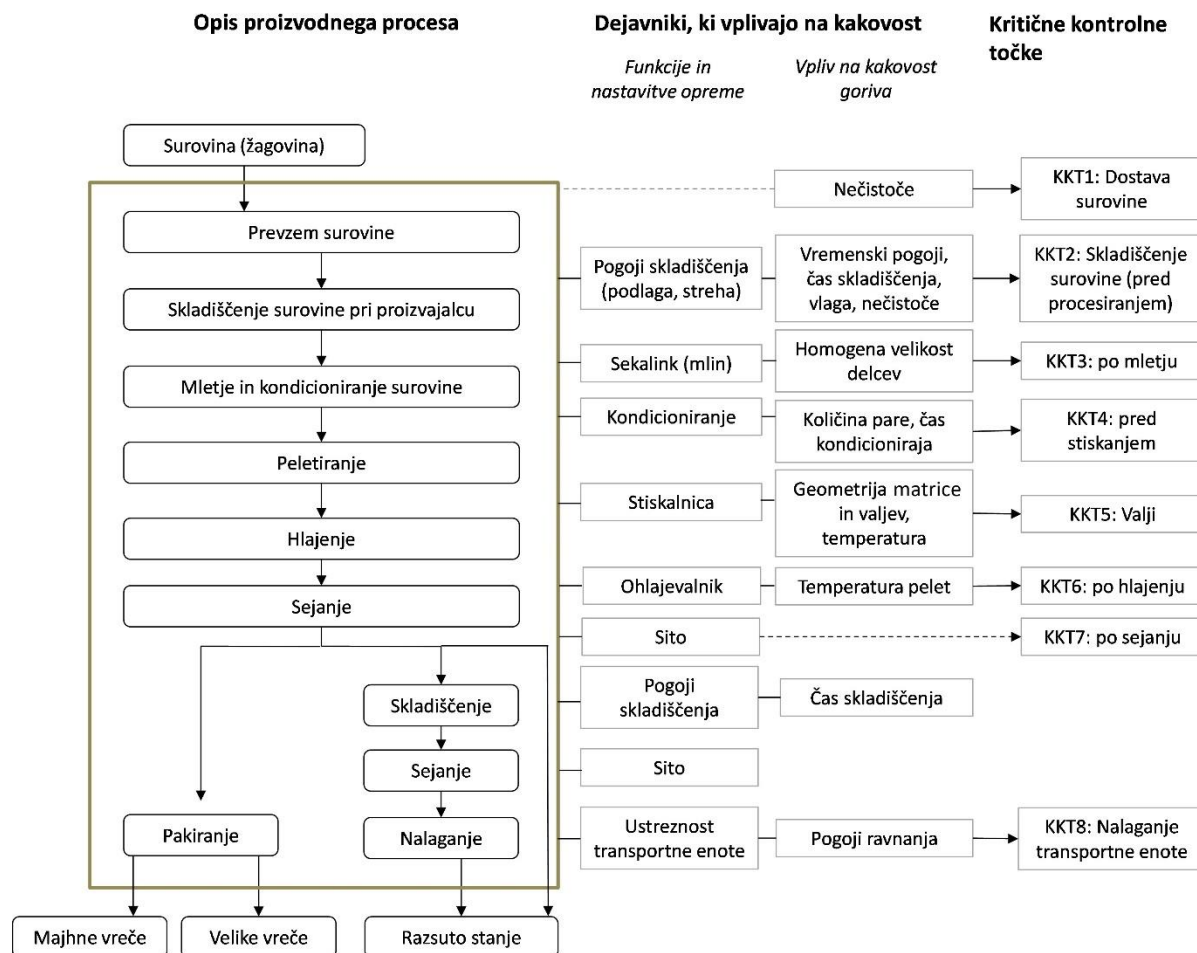
Pepel	Visoke vrednosti	Kontaminacija z zemljo/peskom Večji delež skorje v surovini Neorganski aditivi ali dodatki Kemični aditivi, kot so barvila, zaščitna sredstva itd.
Kalorična vrednost	Nizka vrednost	Visoka vsebnost pepela Delež gorljivega materiala z nižjo kalorično vrednostjo npr. lepila
Kalorična vrednost	Visoka vrednost	Delež gorljivega materiala z višjo kalorično vrednostjo npr. smole Rastlinska ali mineralna olja, plastika
N (dušik)	Visoka vrednost	Večja vsebnost skorje Lepila Plastika
S (žveplo)	Visoka vrednost	Večji delež skorje v surovini Organski aditivi/dodatki kot so koruzna moka, krompirjeva moka Neorganski aditivi, ki vsebujejo žveplove spojine Kemična zaščitna sredstva
Cl	Visoka vrednost	Večji delež skorje v surovini Surovina iz obalnega področja, ki je bila izpostavljena morski vodi Kontaminacija med skladiščenjem / transport pozimi po soljenih cestah Kemična zaščitna sredstva

1.2.4. Opredelitev in dokumentacija kritičnih nadzornih/kontrolnih točk

Izbira in spremljanje kritičnih nadzornih točk je ključno za zagotavljanje ustreznosti procesov dobavne verige ali proizvodnega procesa. Kritične kontrolne točke se izberejo znotraj določenega procesa in med posameznimi členi procesa, na katerih je mogoče spremljati posamezne parametre in lastnosti, kar omogoča potencialno izboljšavo kakovosti. Na kritičnih nadzornih točkah se v opredeljenih časovnih intervalih, nadzirajo in kontrolirajo vrednosti ključnih parametrov. Nadzor naj bi bil popolnoma vključen v sistem zagotavljanja kakovosti, med glavnimi nameni nadzora pa je optimiziranje razmerja med stroški in koristmi. **Na izbranih točkah se opravljajo ustrezna preverjanja oz. kontrole (npr. vizualni pregledi, vzorčenje in testiranje ali pregled opreme) z namenom zagotavljanja opredeljenih zahtev proizvoda.** Kontinuirana kontrola na posameznih točkah ni potrebna, frekventnost kontrole je odvisna predvsem od procesa in količine surovine oz. proizvoda.



Glavni namen določanja kritičnih kontrolnih točk je nadzirati proizvodni proces na čim bolj učinkovit in stroškovno ugoden način. Uspešno vzpostavljen sistem pa posledično omogoča ustrezno sledljivost proizvodnega procesa.



Slika 2: Primer shematskega prikaza proizvodnega procesa s kritičnimi kontrolnimi točkami (KKT).

1.2.5. Ukrepi za spodbujanje zaupanja strank

Zaupanje strank zagotavlja uvedba ustreznih ukrepov, npr.:

- **ukrepi za nadzor kakovosti (testiranje, nadzor, evidentiranje),**
- razporeditev odgovornosti med zaposlenimi,
- redno usposabljanje zaposlenih,
- jasna navodila za delo zaposlenim,

- ustrezno dokumentiranje proizvodnega procesa in rezultatov analiz ter spremljanja na nadzornih točkah,
- sistem za sprejemanje pritožb ali pripomb.

1.2.6. Navodila za ločeno ravnanje neustreznega materiala

Neustrezni materiali (npr. surovina, polproizvodi ali proizvodi) morajo biti fizično ločeni na vsaki stopnji proizvodnega procesa. V primeru neskladnosti materiala za proizvodnjo trdnih biogoriv je priporočljiva upora dodatnih ali naknadnih ukrepov, npr. dodatno mletje surovine za peletiranje. Neskladen proizvod je mogoče uporabiti tudi drugje, kjer je nižja kakovost sprejemljiva.

1.3. Nadzor in evidentiranje kakovosti

Standard EN 15234-2 za nadzor kakovosti pelet priporoča sledeče ukrepe:

1.3.1. Nadzor vhodnega materiala/surovine

- Vizualna kontrola dostavljene surovine
- Sklenitev pogodbe med dobaviteljem in proizvajalcem o pogojih dobave, ki vključujejo specifikacije goriva in opis ravnanja z biogorivi,
- Deklaracija dobave npr. s certifikati (PEFC, FSC itd.) – za zagotavljanje legalnosti in izvora.

1.3.2. Nadzor proizvodnega procesa

- Kontrola ključnih lastnosti v primeru sprememb (osnovne) surovine,
- Redna kontrola nastavitev, funkcij in stanja opreme,
- Popravilo in zamenjava opreme (če je potrebno); nekatere dele je potrebno menjati redno v skladu s specifikirano življenjsko dobo ali produkcijskega nadzornega sistema,
- Peleti naj bi bili zaščiteni pred možno povišano zračno vlago zaradi npr. dežja, snega, ter pred vlago zaradi kondenzacije na površini, do katere lahko pride v skladiščnem objektu,
- Peleti naj bi bili zaščiteni pred kontaminacijo z nečistočami (npr. kamenjem, prstjo in drugimi delci),
- Ločeno skladiščenje pelet različnih kakovosti,
- Pri transportu temperatura pelet naj ne bi presežala 40°C,



- Nadzor proizvodnih pogojev in prilagajanje nastavitev opreme (npr. potreba po energiji stiskalnice, temperatura valjev, vibracije itd.)
- Redno določanje kakovosti proizvedenih pelet. V tabeli 3 so navedene lastnosti, ki jih je potrebno redno nadzirati, mesto vzorčenja in frekvenca; frekventnost vzorčenja se izračuna po formuli:

$$N = \frac{10}{\text{dnevi}} * \sqrt{\frac{\text{tona}}{10}}$$

kjer je:

N – število vzorčenj v 24 urah

Dnevi – število delovnih dni v letu

Tona – letna količina pelet v tonah

Tabela 3: Redna analiza kakovosti pelet

Lastnost	Mesto kontrole	Frekvenca
Mehanska obstojnost	Proizvodna linija	Po formuli zgoraj
Vsebnost vode	Proizvodna linija	Po formuli zgoraj
Gostota nasutja	Proizvodna linija	Vsaj enkrat na izmeno
Dolžina pelet	Proizvodna linija	Vsaj enkrat na izmeno
Količina finih delcev	Na tovarniškem izhodu	Vsaj enkrat na izmeno

- **Dokumentiranje meritev kakovosti!**

1.3.3. Nadzor distribucije in skladiščenja

Pravilno skladiščenje, ravnanje in transport surovine ter proizvodov so dejavniki, ki vplivajo na končno kakovost goriva. Potrebno jih je ustrezno dokumentirati, saj so del sistema zagotavljanja in nadzora kakovosti. Primerna skrbnost med transportom, skladiščenjem in ravnanjem s trdnimi biogorivi zmanjša verjetnost izgube kakovosti, ter posledično večja zaupanje porabnikov (strank) v stalno dogovorjeno raven kakovosti biogoriv v skladu s standardi.

Med transportom, ravnanjem in skladiščenjem je potrebno posebno pozornost posvetiti naslednjim dejavnikom (glede na EN 15234-1):

- Reden nadzor nastavitev, delovanja in stanja distribucijske opreme (npr. primerna čistost opreme).



- Zagotovitev ustrezne zaščite (ter redna kontrola) pred povišano zračno vlago zaradi npr. snega ali dežja ter pred vlago zaradi kondenzacije na površini.
- Varovanje pred možnimi kontaminacijami z nečistočami (npr. kamenjem, peskom, prstjo, itd.).
- Ustrezna konstrukcija, velikost in razmere skladiščnega prostora.
- Ločeno skladiščenje pelet različnih kakovosti.
- Temperatura pelet pri transportu naj bi bila nižja od 40°C.
- Redno določanje kakovosti pelet:
 - o Izvedba analiz vsebnosti vode pred dostavo končnemu uporabniku, po dolgotrajnejšem obdobju skladiščenja,
 - o Izločanje finih delcev: delež finih delcev glede na EN ISO 17225-2 naj bi bil manjši od 1%, oz. po dogovoru s končnim uporabnikom,
 - o V primeru dostave pelet v razsutem stanju je potrebno v dostavni dokumentaciji zabeležiti tlak praznjenja.
 - o Priporočljivo je dnevno jemati vzorcev pelet natovorjenih na dostavno vozilo, ki naj bi se jih arhiviralo za obdobje vsaj 6 mesecev,
 - o Dokumentiranje vseh ukrepov za zagotavljanje kakovosti,
 - o Vzpostavitev sistema upravljanja s pritožbami.
- Ustrezna usposobljenost zaposlenih.



1.4. Deklaracija proizvoda

Z deklaracijo o kakovosti proizvoda, proizvajalec potrjuje da lastnosti končnega produkta izpolnjujejo zahteve standarda SIST EN ISO 17225-2 skladno s standardom EN 15234-1. Deklaracija naj bo izdana tako za embalarane pelete kot za pelete dostavljene v razsutem stanju. Za pakirane lesne pelete, naj bi bila deklaracija nameščena na embalaži. Dobavitelj mora na deklaraciji navesti datum proizvodnje ter hraniti vse relevantne podatke o proizvedenih peletih za obdobje najmanj enega leta od dostave.

Tabela 4: Primer poenostavljene deklaracije proizvoda.

DEKLARACIJA PORIZVODA NA PODLAGI SIST EN ISO 17225-2	
Dobavitelj	Ime, kontaktni podatki Številka pogodbe
Dobavljena količina	Dogovorjena dobavljena masa, prostornina ali število vreč. (Dobavitelj in končni uporabnik naj bi se dogovorila o metodi tehtanja ali določevanju volumna)
Izvor	Po standardu SIST EN ISO 17225-1
Država	Država/države (ali natančna lokacija, če je tako dogovorjeno)
Kemično obdelana surovina	Ne ☐
Premjer	D06 ☐ D08 ☐
Tržna oblika	Peleti
Razred	A1 ali A2 ali B

2. Izvajanje nadzora kakovosti

2.1. Analiza in specifikacija pelet

Med pomembnejše kazalnike kakovosti sodijo, vsebnost vode, gostota nasutja, mehanska obstojnost in delež pepela. Vsebnost vode je tesno povezana s kurilno vrednostjo lesnega energenta ter učinkovitostjo izgorevanja. Kurilna oz. energijska vrednost izraža količino energije, ki se sprosti med popolnim izgorevanjem enote mase goriva. Večja kot je vsebnost vode, več energije se porabi za njeno izhlapevanje med kurjenjem, posledično pa je energijska vrednost energenta manjša. Delež pepela v lesnih energentih (tako sekancih, kot peletih) naj bi bil čim manjši, saj to pomeni, da so intervali med posameznimi praznjenji zbiralnika pepela daljši. Poleg tega je večji delež pepela povezan z možnimi napakami v delovanju kotla ("žlindra"). V primeru pelet je pomembna tudi ustrezna mehanska obstojnost predvsem z vidika potrošnika; manjša mehanska obstojnost namreč pomeni večji delež finih delcev v skladiščnem prostoru, v najhujšem primeru pa lahko fini delci povzročijo celo zabijanje polžastega transporterja, ki dovaja pelete v kotel. Problematična pa je lahko tudi emisija finih delcev v zrak. Gostota nasutja je relevantna predvsem iz ekonomskega vidika; večja kot je gostota nasutja več energije je akumulirane na prostorninsko enoto, kar je povezano z manjšimi transportnimi in skladiščnimi stroški.

Lastnosti trdnih biogoriv morajo biti podane v deklaraciji izdelka in morajo ustrezati zahtevam iz ustreznih delov serije standardov SIST EN ISO 17225. Poudariti je potrebno, da celotno odgovornost glede pravičnih in natančnih informacij, ne glede na uporabljene metode, prevzemajo proizvajalci oz. dobavitelji.

Vsebnost vode in gostoto nasutja lahko proizvajalec na enostaven način preveri tudi sam. Na trgu pa je vedno več cenovno dostopnih naprav za določanje mehanske obstojnosti pelet. V nadaljevanju zato podajamo opise postopkov za določanje vsebnosti vode, gostote nasutja in mehanske obstojnosti.

2.1.1. Vsebnost vode (povzeto po standardu SIST EN ISO 18134-1 ali 2)

Evropski standard 18134-1 ali 2 opisuje gravimetrično metodo za določanje vsebnosti vode (vlažnost) v vzorčni količini pelet. Vzorec pelet sušimo v sušilniku pri temperaturi 105 °C, dokler ni dosežena konstantna masa. Vsebnost vode pa nato izračunamo na podlagi izgube mase vzora.

Naprave, ki jih za določanje vsebnosti vode potrebujemo so:



- **Posoda** iz nerjavečega in na vročino odpornega materiala. Dimenzija posode naj bi zagotavljala razporeditev vzorčne količine približno 1 g na cm². Površina posode naj bo takšna, da je možnost adsorpcije/absorpcije čim manjša (čista in čim bolj ravnih površin).
- **Sušilnik**, ki omogoča natančno nadzorovanje temperature v sušilni komori. Poleg tega je potrebno zagotoviti, da hitrost zraka v komori (v primeru, da ima sušilnik ventilatorje) ni previsoka.
- **Tehtnica** z natančnostjo 0,1 g.

Vzorke je potrebno pripraviti glede na standard SIST EN ISO 18135. Teža testnega vzorca naj bo v skladu s standardom SIST EN ISO 14780 in minimalno 300g.

Postopek:

1. Prazno in čisto posodo se zatehta na 0,1 g natančno.
2. Vzorec iz vreče se nato prestavi v prazno in stehtano posodo; vzorec naj bo enakomerno porazdeljen po posodi, tako da bo na 1 cm² približno 1 g vzorca.
3. V primeru, da na notranji površini embalaže (vreče) ostane vlaga, je tudi to potrebno zajeti v izračun deleža vode; vrečo je zato potrebno stehtati in jo sušiti skupaj z vzorcem. V primeru, da embalaže (vreče) ni mogoče izpostaviti temperaturi 105 °C, jo je dovoljeno posušiti na sobni temperaturi.
4. Posodo z vzorcem stehtamo, ter položimo v sušilnik z nastavljeno temperaturo 105 ± 2 °C. Vzorec se suši do konstantne teže. Konstantna masa je dosežena, ko se po 60 minutah ponovnega sušenja teža ne spremeni za več kot 0,2 %. Čas sušenja je odvisen od velikosti delcev vzorca, spremembe tlaka v sušilniku in debeline plasti vzorca v sušilniku, itd.
5. Posušeni peleti so higroskopi, zato jih je potrebno skupaj z referenčno posodo stehtati še vroče (v roku 10 do 15 s) na 0,1 g natančno, da ne pride do absorpcije vlage. Pred tehtanjem je potrebno zagotoviti, da vroča posoda ne pride neposredno v stik s tehtnico. Zato primerno uporabite material z dobrimi izolativnimi lastnostmi.

Opomba:

- V izogib nepotrebnih izgub hlapnih snovi, naj bi bil čas sušenja krajši od 24h.
- Potreben čas sušenja je mogoč določiti na podlagi predhodnih testov z različnimi tipi pelet primerljive velikosti.

Izračun

Vodo v lesu opredeljujemo kot delež mase vode glede na maso vlažnega lesa, in jo lahko izračunamo po sledeči enačbi:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \times 100, \text{ kjer je}$$



m_1 – masa prazne posode
 m_2 – masa posode in vzorca pred sušenjem
 m_3 – masa posode in vzorca po sušenju

Rezultat naj bo izračunan na dve decimalni mesti natančno.

2.1.2. Gostota nasutja / prostorninska masa (po standardu SIST EN ISO 17828)

Gostoto nasutja izmerimo tako, da posodo določenih dimenzij in oblike napolnimo s testno količino vzorca ter nato posodo z vzorcem stehtamo.

Gostota nasutja je pomemben parameter za dobavitelje, ki pelete dobavljajo na osnovi volumna, skupaj z energetsko vrednostjo pa določa količino energije na prostorninsko enoto. Podatek pripomore tudi k boljši oceni potrebnega prostora za transport in skladiščenje.

Zaradi praktičnih razlogov sta določeni dve standardni velikosti posod; 5 l in 50 l. Zaradi omejitev velikosti posod so nekatera goriva izvzeta iz tega standarda; na primer briketi in cepljena drva ipd.

Naprave, ki jih za določanje gostote nasutja potrebujemo so:

Merilna posoda - Posoda naj bi bila cilindrične oblike in izdelana iz trdnega, ravnega in gladkega materiala. Posoda naj bi bila toga (odporna na deformacije), saj je potrebno zagotoviti konstantno obliko in volumen posode. Posoda naj bi bila voodoodporna. Razmerje med premerom in višino posode naj bi bilo med 1,25 in 1,50. **Velika merilna posoda** mora imeti volumen 50 l. Efektivni notranji premer naj bi znašal 360 mm ter efektivna zunanja višina 491 mm. Deviacije dimenzij so dovoljene v kolikor je zagotovljeno prej omejeno razmerje. **Majhna posoda** mora imeti 5 l (0,005 m³) prostornine. Volumen lahko odstopa za 0,1 l. Efektivni notranji premer naj bi znašal 167 mm in efektivna notranja višina 228 mm. Odstopanja so dopustna v kolikor je zagotovljeno prej omenjeno razmerje med višino in premerom.

Pred uporabo je potrebno določiti maso in volumen merilne posode. Stehtati je potrebno prazno, čisto in suho posodo. Posodo je potem potrebno do maksimuma napolniti z vodo (in nekaj kapljicami tekočega mila) in skupaj z vodo še enkrat stehtati. Temperatura vode naj bi bila med 10 in 20 °C. Iz neto teže vode in gostote vode (1 kg/dm³) izračunamo volumen posode in rezultat zabeležimo na 0,000 01 m³ (za veliko posodo) ali 0,000 001 (za malo posodo) natančno. Volumen posode je potrebno redno preverjati!

Za vsa lesna goriva, ki jih obravnava standard je mogoče uporabljati veliko posodo. Za goriva s prečnim prerezo manjšim od 12 mm ter za pelete premera pod 12 mm je mogoče uporabljati manjšo posodo.



Tehtnica - Za tehtanje večje posode se uporablja tehtnica, ki omogoča tehtanje na 10 g natančno. Za tehtanje manjše posode se uporablja tehtnica zadostne natančnosti, ki omogoča tehtanje na 1 g natančno.

Letev - Za odstranjevanje odvečnega materiala naj bi se uporabljala letev iz trdega lesa, dolga približno 600 mm in s prečnim prerezemom dimenzij 50 x 50 mm.

Lesena plošča - Ravna lesena plošča (npr. OSB plošča) debeline približno 15 mm in zadostne velikosti za posodo. Plošča naj bi se uporabila za izpostavitve posode trku.

Vzorčenje naj bi se izvedlo skladno s standardom SIST EN ISO 18135. Če je potrebno, se vzorec razdeli glede na SIST EN ISO 14780. Vzorčna količina mora preseči volumen vzorčne posode za maksimalno 30 %.

Postopek

1. Posodo je z gorivom potrebno napolniti tako, da material nasujemo z višine približno 200 do 300 mm od zgornjega roba posode, dokler ne nastane kup ček maksimalne možne višine. Pred polnjenjem mora biti posoda čista in suha.
2. Napolnjeno posodo nato izpostavimo trkom ob leseno ploščo, tako da se vsebina v posodi posede. To naredimo tako, da posodo dvignemo, ter jo spustimo z višine 150 mm na leseno ploščo. Pred izpostavitvijo trku je potrebno površino očistiti morebitnih ostankov goriva. Zagotoviti je potrebno, da posoda na ploščo udari v vertikalni smeri. Postopek je nato potrebno še dvakrat ponoviti. Nato se posoda dopolni do roba. Za natančno oceno višine spusta, je smiselno kot distančnik uporabiti kos lesa višine 150 mm. Drugi mehanizmi za ustvarjanje primerljivega učinka trka so tudi primerni (npr. konstrukcija z vertikalnimi vodili)
3. Z letvico nato odstranimo odvečen material, ki je nad robom posode z nihajočimi premiki. V primeru, da vzorec vsebuje velike delce, jih je potrebno odstraniti z roko (če na površini nastane večja luknja jo je potrebno dopolniti).
4. Posodo z materialom nato stehtamo in vrednost zabeležimo na dve decimalni mesti natančno.
5. Uporabljeno količino materiala nato združimo z neuporabljenim in postopek še najmanj enkrat ponovimo.





Slika 3: Posoda za določanje goste nasutja pelet, ter primerjava teže dveh različnih vzorcev pelet.

Izračun gostote nasutja

$$BD_{ar} = \frac{(m_2 - m_1)}{V}, \text{ kjer je}$$

BD_{ar} - gostota nasutja

m_1 – masa prazne posode

m_2 – masa polne posode

V – neto volumen merilne posode

Rezultat vsake individualne meritve naj bi bil izračunan na $0,1 \text{ kg/m}^3$ natančno, za namen poročanja se podaja povprečna vrednost zaokrožena na 10 kg/m^3 natančno.

2.1.3. Mehanska obstojnost (povzeto po standardu SIST EN ISO 17831-1)

Kontrolni vzorec je izpostavljen kontrolirani obrabi tako, da peleti trkajo drug ob drugega ter ob stene kontrolne komore določenih dimenzij. Obstojnost se izračuna iz mase vzorca, ki ostane po ločevanju finih delcev nastalih zaradi mehanske obrabe.

Sestavni deli in dimenzije testne naprave so prikazani v standardu SIST EN ISO 17831-1.

Material in naprave, ki jih za določanje mehanske obstojnosti potrebujemo so:

Naprava za testiranje mehanske obstojnosti naj bi bila sestavljena iz škatle, ki jo je mogoče neprodušno zapreti. Škatla naj bi bila iz togega materiala z ravnimi in gladkimi površinami (npr. plošč nerjavečega jekla). Notranje dimenzije škatle naj bi znašale $300 \times 300 \times 125 \text{ mm}$. Pravokotno na center največje stranice naj bi bila pritrjena os, ki naj bi omogočala vrtenje škatle s hitrostjo 50

obratov na minuto. Na eno stran škatle naj bi bila po diagonali stranice simetrično pritrjena 230 mm dolga in 50 mm široka pregrada/ovira. Robovi pregrade naj bi bili ustrezno zaokroženi, da ne pride do dodatnega rezanja testnih peletov. Odprtina za vrata so lahko nameščena na katerikoli strani. Vijakov ali kovic naj bi bilo čim manj, njihovi robovi pa ustrezno zaobljeni.



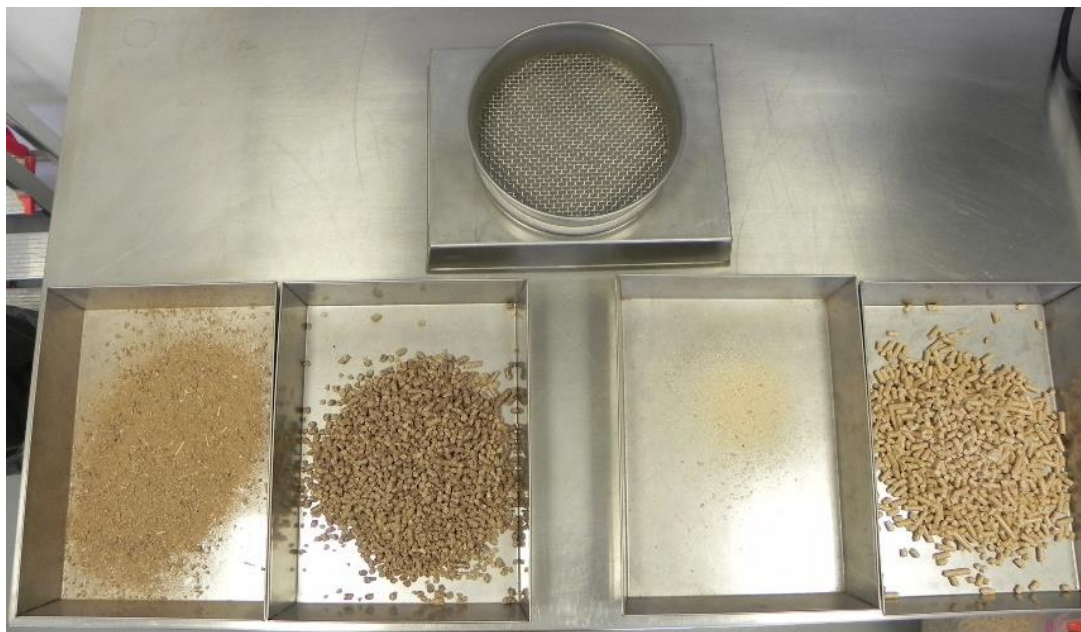
Slika 4: Izvedbe naprav za testiranje mehanske obstojnosti pelet sestavljenih v skladu s standardom SIST EN ISO 17831-1.

Sito z velikostjo rež 3,15 mm za ročno sejanje v skladu s standardom ISO 3310-2.

Tehnica s kapaciteto 2 kg in natančnostjo 0,1 g.

Postopek:

1. Zatehtati je potrebno tesno količino vzorca, ki znaša približno 500 ± 10 g.
2. Vzorčno količino je nato potrebno presejati. Sejanje opravimo s sitom velikosti 3,15 mm, tako da se ločijo fini delci novi pa naj nebi nastajali. To je mogoče doseči, če 1 kg do 1,5 kg vzorca stresemo z približno pet do desetimi krožnimi gibi na situ premera 40 cm. Zabeležimo maso grobih in finih delcev, na 0,1 g natančno.
3. Grobe delce nato stresemo v škatlo naprave za določanje mehanske obstojnosti. Škatli naj se vrtita s 50 obrati na minuto. Opravljenih mora biti 500 obratov.
4. Po postopku se pelete še enkrat preseje in zabeleži maso grobih in finih delcev.
5. Za en vzorec sta potrebni minimalno dve ponovitvi.



Slika 5: Presejani vzorci pelet po izpostavitvi v napravi za testiranje mehanske obstojnosti. Za pelete na levi strani je značilna relativno nizka mehanska obstojnost, saj je po obrabi v testirni napravi nastalo bistveno več finih delcev, kot v primeru pelet na desni strani.

Izračun mehanske obstojnosti:

$$D_u = \frac{m_A}{m_E} \times 100, \text{ kjer je}$$

D_u mehanska obstojnost v %;

m_E masa predhodno presejanih pelet pred vrtenjem v napravi v g

m_A masa presejanih pelet po vrtenjem v napravi v g

Rezultat pa naj bi se izračunal na dve decimalni mesti natančno, povprečje pa se zaokroži na 0,1 % za poročanje.

Opomba:

Iz mase grobih in finih delcev po prvem sejanju lahko izračunamo delež finih delcev v vzorcu, ki skladno s standardom SISTEN ISO 17225-2:2021 ne sme biti večji od 2 % v primeru vseh treh kakovostnih razredov.

2.1.4. Delež pepela (povzeto po standardu SIST EN ISO 18122)

Vsebnost pepela se izračuna na podlagi mase ostanka po segrevanju natančno določene količine vzorca, po točno določenem časovnem režimu, z opredeljeno opremo do temperature 550 °C.

Postopek določanja vsebnosti pepela opredeljuje standard SIST EN ISO 18122.

Material in naprave, ki jih za določanje vsebnosti pepela potrebujemo so:

- Analitska **tehtnica**, ki omogoča tehtanje na 0,1 mg natančno.
- **Pečica**, ki omogoča segrevanje vzorca skladno s temperaturnim režimom, ki ga opredeljuje standard.
- Kovinske prijemalke / klešče
- Eksikator (po potrebi)
- Podlago odporno na temperaturo (npr. keramično ploščo).
- **Posode** iz inertnega materiala (npr. porcelanaste), ki imajo maksimalno kapaciteto 0,1 g/cm².

Priprava vzorca:

Vzorec se pripravi skladno s standardom SIST EN ISO 14780. Nominalna velikost delcev v testnem vzorcu naj ne bi bila večja od 1 mm.

Lesni peleti in lesni prah so primerni za analizo tudi brez predhodnega mletja, vendar le v primeru, da je material na videz homogen. V tem primeru je potrebno izvesti vsaj dvojno meritve.

Vzporedno z analizami deleža pepela opravimo tudi meritve vsebnosti vode skladno s standardom SIST EN ISO 18134-3.

Priprava posodic:

Keramične posode je potrebno v peči segreti pri 550 ± 10 °C najmanj 60 min. Nato jih vzamemo iz pečice in pustimo, da se ohladijo na keramični plošči. Takoj, ko dosežejo sobno temperaturo jih stehtamo na 0,1 mg natančno, ter podatke o masi zabeležimo.

Glede na standard je potrebno keramične posode ohladiti v eksikatorju s silikagelom. Vendar v primeru, da posode uporabimo za določanje vsebnosti pepela takoj po ohladitvi, je napaka, ki nastane zaradi neuporabe eksikatorja zanemarljiva.

Določanje vsebnosti pepela:

Za en vzorec naj bi bili opravljeni vsaj dve meritvi.



Splošni vzorec previdno zmešamo preden ga stehtamo. Na dno keramične posodice nato položimo minimalno 1 g vzorca, ter ga enakomerno porazdelimo po dnu posode. Vzorec skupaj s keramično posodo stehtamo na 0,1 mg natančno ter podatek zabeležimo.

Po tehtanju se keramične posode napolnjene z vzorcem postavi v hladno peč (< 100 °C). Vzorce je potrebno segreti po sledečem programu/režimu:

- V času 30 min – 50 min temperaturo enakomerno višamo do 250 °C (t.j. stopnja segrevanja 4,5 °C/min do 7,5 °C/min). Temperaturo 250 °C vzdržujemo naslednjih 60 min, kar omogoča sproščanje hlapnih organskih spojin brez vžiga.
- V času 30 min temperaturo enakomerno povečamo do 550 ± 10 °C (stopnja segrevanja 10 °C/min). 550 °C je potrebno vzdrževati najmanj 120 min. V primeru, da se določanje pepela opravlja s peleti (namesto z zmletim materialom) je potrebno temperaturo vzdrževati vsaj 180 min.

Po preteku programa keramične posodice s pomočjo prijemalk / klešč prestavimo iz peči na keramično podlago. Ko se posode s pepelom ohladijo na sobno temperaturo (po približno desetih minutah), se stehtajo na 0,1 mg natančno – meritev zabeležimo.

Če obstaja dvom, da vzorec ni popolnoma upepeljen, je potrebno keramične posode ponovno postaviti v peč segreto na 550 ± 10 °C za 60 min, ter jih zatem ponovno stehtati. Postopke je potrebno ponavljati tako dolgo, da je razlika v teži glede na naslednje tehtanje < 0,5 mg.



Slika 6: Peč, ki omogoča segrevanje po temperaturnem režimu opredeljenem v standardu, ter keramične posode z vzorčno količino pred in po upepelitvi.

Izračun vsebnosti pepela:

Vsebnost pepela na suhi osnovi A_d se izračuna po sledeči formuli:

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}}$$

kjer je

m_1 – masa prazne posode v g

m_2 – masa posode in testnega vzorca v g

m_3 – masa posode in pepela v g

M_{ad} – vlaga testnega vzorca uporabljenega za določanje v %

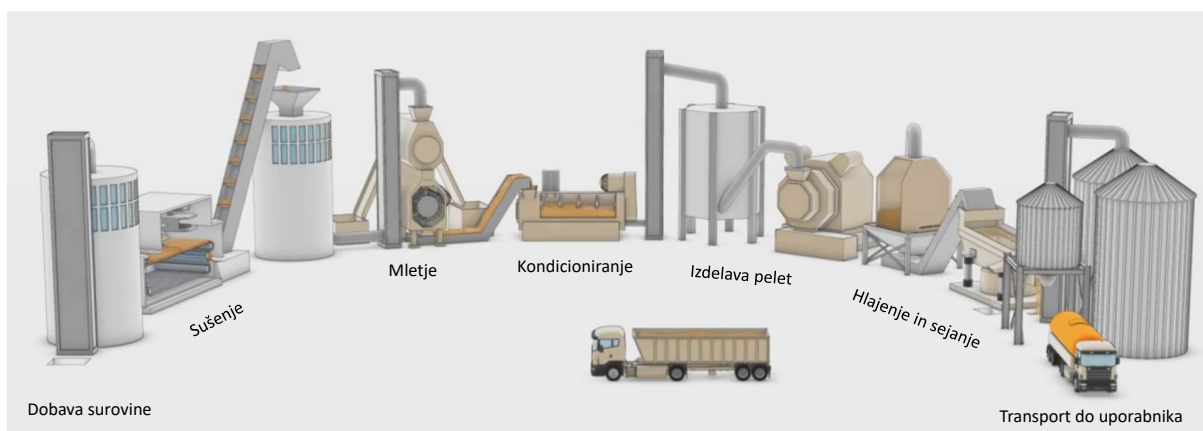
Rezultat je povprečna vrednost opravljenih ponovitev, ki se poda na 0,1 % natančno.

B. PROIZVODNJA PELET

V glavnem lahko proces proizvodnje pelet razdelimo v tri dele; (I) dobava in priprava surovine, (II) obdelava ter (III) distribucija. Obdelavo oz. proizvodnjo pelet lahko razdelim na več podfaz, katerih število je odvisno predvsem od uporabljene surovine (npr. lesni ostanki, žaganje oz. sekanci ali hlodovina).

- Dobava in priprava surovine
- Obdelava:
 - a. Mletje,
 - b. Sušenje,
 - c. Kondicioniranje
 - d. Peletiranje
 - e. Hlajenje
 - f. Sejanje
 - g. Embaliranje
- Distribucija

V vsak del procesa je mogoče vključiti merila za kontrolo in zagotavljanje kakovosti.



Slika 7: Shema proizvodnega procesa pelet (Vir: EnergieAgentur.NRW).

3. Vrsta surovine

Teoretično je za izdelavo pelet mogoče uporabiti katerikoli material iz lesne biomase. Surovina, ki se v Sloveniji največkrat uporablja za izdelavo pelet je žagovina iz žagarskih obratov ali ostružki in lesni prah iz drugih lesno-predelovalnih obratov. Ponekod v Evropi pa se zaradi pomanjkanja tovrstnih lesnih ostankov vedno več uporabljajo tudi sekanci in manj kakovostna hlodovina.



Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

Telefon: +386 1 200 7802 / Fax: +386 1 257 3589 / Davčna št.: 37808052 / Matična št.: 5051673

www.gozdis.si

Oblika in lastnosti uporabljene surovine ima znaten vpliv na stroške proizvodnega procesa ter lastnosti končnega proizvoda:

Hlodovina slabe kakovosti – v procesu izdelave pelet predstavlja največje stroške, saj je potrebno surovino najprej mehansko obdelati (zmleti) in nato še posušiti na ustrezno vlažnost.

Industrijski lesni sekanci - so mehansko zdrobljeni ostanki ali stranski proizvodi iz lesnopredelovalne in žagarske industrije. Industrijski sekanci iz žagarskih obratov so lahko zaradi pogojev skladiščenja kontaminirani z minerali, pri industrijskih sekancih iz lesnopredelovalnih obratov pa je možnost kontaminacij običajno manjša, saj se večinoma uporablja že žagan les. V procesu proizvodnje jih je potrebno še dodatno zdrobiti/zmleti v t. im. kladivarjih. Ker običajno vsebujejo manjši delež vode so stroški sušenja (v primerjavi s hlodovino slabše kakovosti) nižji.

Gozdni sekanci - prihajajo neposredno iz gozda in se jih uporablja predvsem za pridobivanje toplote v industrijskih pečeh. Za izdelavo pelet so zaradi velikega deleža nečistoč in skorje manj primerni.

Lesni prah in žagovina – nastane v procesu razžagovanja in obdelave lesa v lesnopredelovalni industriji in je zato možnost kontaminacij z nečistočami zelo majhna. Žaganje in lesni prah sta kot surovina najbolj primerna za izdelavo pelet saj nadaljnja predelava takšne oblike lesa predstavlja najmanjše stroške nadaljnje predelave. Žagovina, lesni prah in skoblanci iz lesnopredelovalne industrije so po velikosti primerni za peletiranje brez dodatne predelave, vendar se surovino običajno še dodatno melje (v kladivarju) saj se tako zagotovi večjo homogenost delcev. Medtem, ko je industrijske in gozdne sekance ter žagovino potrebno pred peletiranjem ustrezno posušiti v primeru lesnega prahu iz lesnopredelovalne industrije to ni potrebno.

Lesna vrsta - neto kalorična vrednost se med posameznimi lesnimi vrstami bistveno ne razlikujejo. Za les listavcev je v primerjavi z iglavci značilen nekoliko višja delež pepela. Zato obstaja možnost, da peleti proizvedeni le iz lesa listavcev prekoračijo mejno vrednost pepela, ki jo navaja standard SIST EN ISO 17225-2. Z ustreznim razmerjem med lesom iglavcev in lesom listavcev se je povišanemu deležu pepela mogoče izogniti. Z uporabo lesa iglavcev se zmanjša možnost povečanega deleža dušika in klora, lahko pa se poveča možnost prekoračitve mejne vrednosti žvepla. Če so peleti izdelani le iz bukovega lesa je možnost, da je presežena mejna vrednosti dušika večja. Na splošno so listavci nekoliko manj primerni za izdelavo pelet kot iglavci. Eden od razlogov je nižja vsebnost/delež lignina v lesu listavcev, ki v fazi peletiranja deluje kot adheziv (lepilo) in posledično vpliva na mehansko obstojnost in odpornost pelet.





Slika 8: Najpogosteje uporabljena surovina za izdelavo pelet (vir: www.german-pellets.de).

4. Mletje

Ciljna velikosti delcev za izdelavo pelet (premera 6 mm) je 4 mm, vendar so nihanja sprejemljiva, če to dopuščata peletirna naprava in lastnosti surovine; za izdelavo pelet večjih premerov pa so dopustni tudi sorazmerno večji delci. Velja, da z manjšanjem velikosti delcev narašča pretvorbena učinkovitost (za manjše delce ja namreč značilno hitrejšo in učinkovitejšo izgorevanje). Na drugi strani proizvajalci pelet strmiijo k čim manjši porabi energije v fazi mletja, ki se ustrezno večja z manjšanjem velikosti delcev (manjša kot je želena velikost delcev večja je poraba energije).

Surovina se običajno melje v napravah za mletje ali kladivarjih (ang. hammer mills), saj je z njimi mogoče doseči primerno velikost in homogenost delcev. Osnovni sestavni del kladivarja so, kladiva s karbidno kovinsko prevleko vpeta v rotor. Kladiva, material potiskajo ob stene tako imenovanega mlevnega mostu, ki je nameščen na ohišju naprave, kjer se vrši mletje. Velikost delcev je odvisna od sita, skozi katerega potujejo delci. Manjša kot je želena končna velikost delcev, večja je poraba energije in posledično večji stroški.

Preveč vlažna surovina se težje melje, saj material zabije sita. Material z nekoliko večjo vsebnostjo vode pa na drugi strani zmanjša možnost požarov ali eksplozij. Poleg tega je sušenje hitrejšo če so delci manjši.

5. Sušenje

Proces zgoščevanja v peletirni napravi je odvisen od trenja med kanali matrike in surovino, ki je med drugim odvisno tudi od vlage surovine. Zato je potrebno zagotoviti optimalno vlago surovine, ki bo v skladu z uporabljenimi tehnologijami peletiranja. Surovine z ustrezno vlago ni potrebno sušiti; npr. skoblance ali lesnega prahu iz lesnoprredelovalne industrije ali žagarskih obratov.

Če se pred peletiranjem izvaja kondicioniranje surovine, je potrebno režim sušenja prilagoditi tako, da bo po sušenju vlažnost surovine nekoliko pod optimalno vrednostjo za peletiranje. Kondicioniranje namreč do določene mere vsebnost vode še poveča.

Čas od 10 do 24 ur v (vmesnem) skladiščnem prostoru z zmernimi pogoji omogoča izravnavo vlage v že posušeni surovini. To je pomembno posebej v primeru lesnih sekancev saj je neposredno po sušenju vsebnost vlage (zaradi velikosti delcev) v sredini delca večja kot v zunanjih predelih. Nekateri proizvajalci sušilnikov zato priporočajo mletje sekancev pred sušenjem. Takšen pojav je veliko manj izrazit v primeru žaganja in lesnega prahu. Učinkovita je uporaba vmesnih skladišč (v silosih), s čimer se loči fazo sušenja in peletiranja, zaradi česar je celoten proces proizvodnje bolj fleksibilen.

Osnove sušenja – Les vsebuje prosto (nevezano) vodo, ki se nahaja v celičnih lumnih ter vodo, ki je vezana v celične sete lesnih vlaken. Delež proste vode je večji od deleža vezane vode za odstranitev pa je potrebno relativno malo energije. Točka ko les vsebuje vso vezano vodo in nič proste vode se imenuje točka nasičenja celičnih sten; takrat ima les približno 30% vlažnost (odvisno od lesne vrste). Za odstranitev vezane vode je potrebna večja ostrina sušenja zato je poraba energije večja.

Sušenje na prostem

Najenostavnejši način sušenja je naravno sušenje na prostem ali pokritih skladiščih. Kup surovine/materiala je v tem primeru potrebno redno obračati, saj tako pospešimo izhlapevanje vode. Lesno surovino je na takšen način mogoče posušiti le do določene vlažnosti, pred procesom peletiranja pa je nujno še prisilno sušenje do želene/optimalne vlažnosti.

Prisilno sušenje

Sušenje surovine do vlažnosti približno 10% je ključno za številne tehnologije peletiranja. Prisilno sušenje se izvaja z vrsto naprav, ki se razlikujejo bodisi po načinu transporta surovine, bodisi po smeri vpihovanja sušilnega medija, temperaturi medija ipd. Najpogostejši sistemi sušenja so opisani spodaj:



Cevni sušilniki

Za sušenje surovine v postopku peletiranja se najpogosteje uporabljajo bobenski ali cevni sušilniki. V cevni sušilnikih se material ogreva posredno, kar pomeni, da ni kontakta med medijem in sušečim materialom. Tako je material mogoče posušiti pod manj ostrimi pogoji pri 90 °C. Poleg tega nižje temperature zmanjšajo emisije organskih in drugih substanc. Kot grelni medij se najbolj pogosto uporablja para, termično olje ali voda. Vhodna temperatura je odvisna od vrste sušilnika in grelnega medija ter se giblje med 150 in 210 °C.

Cevni sušilniki običajno delujejo po principu nasprotnega toka, kar pomeni, da se vhod grelnega medija v napravo nahaja na nasprotni strani kot vhod surovine. Porabljena količina toplote je približno 1000 kWh na tona izparjene vode.

Osrednji del cevne sušilnika je skupek cevi, ki se vrti okoli horizontalne osi. Grelna površina je sestavljena iz niza cevi, ki so zvezdasto razporejene okoli osrednje gredi. Grelni medij teče skozi cevi, surovina pa obdaja cevi iz vseh strani. Na zunanjih delih cevi so transportne lopatice, ki transportirajo material horizontalno vzdolž osi in povzročajo konstanten kontakt surovine z grelna površino, kar omogoča zelo dober prenos toplote. Vpihavanje toplega zraka še izboljša prenos toplote in hkrati omogoča krajši čas sušenja. Cevni sušilniki so običajno opremljeni s sistemom sesanja izpušne pare ter sistemom za zmanjšanje emisij praha.

Cevni sušilniki so primerni za sušenje sekancev in žagovine ter predstavljajo najsodobnejši način sušenja na področju peletiranja.



Slika 9: Cevni sušilnik (Vir: www.buettner-energy-dryer.com in www.vettertec.de).

Bobenski sušilnik

Bobenski sušilniki predstavljajo najnovejši način sušenja v proizvodnji pelet. Pri bobenskem načinu sušenja se lahko koristi posreden ali neposreden način segrevanja surovine. V sušilnikih z neposrednim načinom segrevanja se grelni medij (npr. zrak primerne temperature) dovaja



direktno v sušilnik. V sušilnikih s posrednim gretjem sušilni medij (vroč zrak) ustvarja izmenjevalec, ki ga lahko poganjajo topel zrak, para, termično olje ali vroča voda.

Material se v bobne dovaja preko rotirajočega polža. Boben se vrti le z nekaj obrati na minuto, medtem ko se material transportira s pomočjo toka grelnega medija / plina. Proces sušenja spodbujajo še lopatice nameščene na notranjo steno cilindra, ki material še dodatno mešajo. Na koncu se posušen material izprazni pnevmatično.

Vhodna temperatura bobenskega sušilnika je med 300 in 600 °C odvisno od izvedbe. Pri tako veliki temperaturi pa pride tudi do emisij topnih organskih snovi, ki v stiku z dušikovimi oksidi in sončno svetlobo lahko tvorijo ozon in škodljive foto-oksidante. Zaradi tega so potrebni kompleksni izpušni sistemi, npr. sistemov za zmanjšanje prahu in sistemov naknadnega izgorevanja. Poleg tega lahko pri neposrednem sušenju pride do nastanka pepela v sušečem se materialu, kar pomeni tudi večji delež pepela v peletih.

Porabljena količina toplote je približno 1000 kWh na tono izparjene vode.



Slika 10: Bobenski sušilnik (Vir: www.buettner-energy-dryer.com).

Tračni sušilniki

Tračni sušilniki se med številnimi aplikacijami lahko uporabijo za sušenje žagovine. Odvisno od izvedbe naprave, vhodna temperatura grelnega medija variira med 90 in 110 °C in izhodna temperatura med 60 in 70 °C. Tako nizke temperature predstavljajo manjšo ostrino sušenja in preprečuje emisijo snovi s specifičnim vonjem.

Tračni sušilniki lahko delujejo tako na način neposrednega gretja s toplim zrakom kot tudi na način posrednega gretja z izmenjevalnikom toplote v kombinaciji s paro, termičnim oljem ali vročo vodo.

Trak se kontinuirano polni preko rotirajočega polža. Izpušni ventilator piha sušilni medij na trak in surovino. Nenehno čiščenje traku zagotavlja rotirajoča ščetka ter visokotlačni tračni čistilni sistem.

Poraba toplote je okoli 1200 kWh na tono izparjene vode, kar je le nekoliko več kot v primeru cevne in bobenskega sušilnika.

Tračni sušilniki so lahko vodeni popolnoma avtomatizirano s primernim kontrolnim sistemom. Vsebnost vlage materiala se meri ob izhodu, glede na meritve pa se nato prilagaja hitrost traku.

Potrebno je omeniti, da je zaradi mirovanja surovine možno nastajanje skupkov surovine, kar lahko povzroči neenakomerno porazdelitev vlage pri izhodu. Slednje lahko predstavlja težave v procesu peletiranja, saj naj bi se vsebnost vlage pri vstopu v peletirno napravo gibala med 8 in 12 %.

Tračni sušilniki so precej veliki, investicija pa je običajno večja kot v primeru cevne in bobenskega sušilnika. Pod ustreznimi pogoji pa se investicija izplača, saj tračni sušilniki delujejo pri nižjih temperaturah, kar ne zmanjša le stroškov sušenja, ampak je porabljeno toploto mogoče tudi naknadno porabiti.

6. Kondicioniranje

Kondicioniranje je faza dodajanja pare ali vode pripravljenemu (posušenemu) materialu pred fazo peletiranja. Z dodajanjem pare ali vode, na površini delcev nastane vležen sloj. Posledično se izenačijo neravnine, v fazi zgoščevanja pa omogoča boljšo vezavo delcev.

Kaliyan in Morey (2006) sta namreč ugotovila, da je za **aktivacijo inherentnih vezi** (npr. lignina, proteinov in škroba v lesnem tkivu) med delci nujno dovajati toploto in paro. Posledično pride do mehanizma aglomeracije delcev in nastanka trdnih povezav. Poleg tega, toplota in vlaga povečata plastično deformacijo delcev, s čemer se poveča kontaktna površina med delci. Plastične deformacije torej pripomorejo k večji kakovosti pelet, saj omogočajo večji stik med delci, hkrati pa se poveča število intermokularnih vezi.

Kondicioniranje naj bi trajalo približno 10 do 20 min (odvisno od izkušenj proizvajalca), tako da voda ali para enakomerno navlaži delce. Faza kondicioniranja služi tudi uravnavanju vsebnosti vlage.

Če se v procesu priprave surovine izvaja kondicioniranje je potrebno (predhodno) fazo sušenja prilagoditi tako, da je končna vlažnost materiala nekoliko pod optimalno vrednostjo, saj vsebnost vlage po kondicioniranju zopet naraste (po podatkih proizvajalcev pelet za približno 2%). Natančno



kondicioniranje z učinkovitim kontrolnim sistemom je zato ključno za ustrezno kakovost končnega proizvoda.

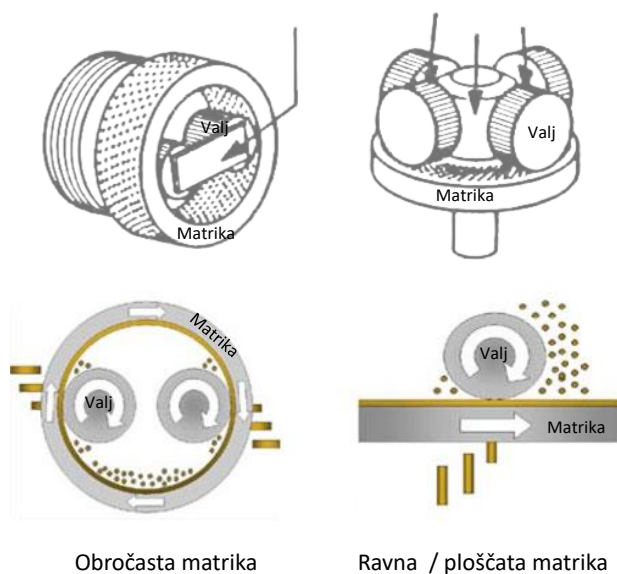
7. Peletiranje

V procesu peletiranja, se lesna biomasa potiska skozi cilindrične luknje matrice, ki ima običajno obliko obroča ali diska. Valji nameščeni na notranji strani obroča, potiskajo lesno biomaso skozi luknje iz notranje proti zunanji strani. Zaradi trenja med delci biomase in stenami lukenj matrice, pride do upočasnitve pretoka skozi odprtino, ter stiskanja delcev znotraj luknje matrice in nastanka peleta. En ali dva nastavljiva noža, nameščena na zunanji strani matrice nato odrežeta pelete na željeno dolžino.



Slika 11: Mehanizem nastanka pelet.

Glavna sestavna dela peletirne naprave sta torej matrica in valji. Glede na obliko matrice ločimo dva tipa peletirnih naprav; obročaste ali ravne matrice, ki so posebej zasnovane za izdelavo lesnih pelet. Matrica v obliki obroča (ang. ring die) je najbolj pogosto uporabljena pri peletiranju lesne biomase. Matrica se v tem primeru vrti okoli fiksnih valjev, pri čemer se surovina dodaja iz strani in se potiska skozi luknje matrice iz notranjosti proti zunanosti obroča. Valji pri ravni matrici (ang. flat die) krožijo po ravni, horizontalno postavljeni matrici. Surovina se dodaja iz vrha in pada na matrico, kjer jo valji potisnejo skozi luknje navzdol. Na spodnji strani, se nastali peleti zaradi lastne teže odtrgajo ali pa so s pomočjo nožev, ki krožijo pod matrico odrezani na določeno dolžino.



Slika 12: Način proizvodnje pelet z obročasto ali ploščato matriko.

Pomembni parametri peletiranja so:

- stiskalno razmerje,
- število lukenj/kanalov v matrici ter
- površina lukenj.

Stiskalno razmerje je razmerje med premerom in dolžino kanalov. Od vrste vhodne surovine ter stiskalnega razmerja je odvisna stopnja trenja, ki nastane v kanalu. Da je dosežena ustrezna kakovost pelet ter zagotovljena kontinuiteta mora biti stiskalno razmerje prilagojeno vrsti uporabljenega materiala. Stiskalno razmerje pri peletiranju lesne biomase (žaganja in skobljanja) je običajno med 1:3 in 1:5. Sprememba razmerja je možna samo s spreminjanjem dolžine kanalov (oz. debelino matrice), saj je premer pelet določen s premerom kanalov. Zato se za materiale, ki nimajo dobrih vezivnih lastnosti, priporoča uporabo daljših kanalov v matrici (debelejša matrica). Temperatura v kanalih namreč zaradi trenja raste skupaj z dolžino kanala, zato trdota pelet ravno tako narašča z dolžino kanalov.

Peletirne naprave, ki so prilagojene za en tip vhodne surovine, ne morejo enostavno ustrezati drugim vrstam vhodne surovine. Proizvodni parametri, ki jih je potrebno prilagoditi uporabljeni surovini/materialu so:

- debelina matrice;
- dolžina kanalov (brez vhodne ugreznine);
- število, oblika in premer kanalov v matrici;



- število, premer in širina valjev;
- oblika valjev (cilindrični ali konični) pri ravni matriki.

Število kanalov in skupna površina odprtin imajo skupaj s pogonsko močjo različen vpliv na pretok surovine. Kontinuirano dovajanje surovine in homogeno zmlet material s konstantno vsebnostjo vode med 8 in 13% so pogoj za proces peletiranja brez napak.

8. Hlajenje

Material je zaradi kondicioniranja s paro ali vročo vodo že pred peletiranjem segret na določeno temperaturo. Dodatno se nastajajoči peleti segrejejo tudi v fazi peletiranja zaradi trenja med delci surovine in steno kanalov matrike. Glede na vrsto peletirne naprave ter nastavitev proizvodne linije, lahko temperatura pelet takoj po izstopu iz matrike variira med 80 in 130 °C. Zato jih je pred skladiščenjem potrebno ohladiti. Hlajenje poleg tega še dodatno izboljša mehansko obstojnost pelet, vlaga pa se zmanjša za približno 2%.

Običajno se za to fazo uporabljajo, hladilni sistemi z nasprotnim vpihovanjem, kjer suh hladen zrak vstopi v hladilni sistem v nasprotni smeri kot material.

9. Sejanje

V vseh fazah procesa proizvodnje pelet, kjer nastaja prah, je potrebno zrak filtrirati. To so običajno področja (I) mletja, (II) sušenja, (III) po ohlajanju ter (IV) pred pakiranjem in tovorjenjem

Prah se običajno vrne nazaj v proizvodni proces. Sejanje pred pakiranjem in transportom pa zagotavlja majhen delež finih delcev v embalaži.

Peleti so običajno pakirani v 15 kg vreče, Big Bag vreče s kapaciteto 1000 kg, ali pa so skladiščeni v silosih oz. skladiščnih halah. Peleti so običajno takoj po ohlajanju transportirani v skladiščne prostore ali pa so embalirani v vreče. **Potrebno je zagotoviti, da med skladiščenjem, peleti ne pridejo v stik z vodo/vlago**, kar vodi do zmanjšanja kakovosti.



10. Fizikalno-kemijske lastnosti surovine in pelet

Na lastnosti pelet vplivajo številni dejavniki, od vrste izbrane surovine do faz proizvodnega procesa ter nadaljnjega ravnanja s proizvodom. Kot že omenjeno je izbira ustrezne surovine ključna za določanje nadaljnjih proizvodnih korakov. To pomeni, da je od vrste surovine odvisno število faz proizvodnega procesa ter uporabljene tehnologije npr. sušenja, kondicioniranja, peletiranja. Standard SIST EN ISO 17225-2 navaja vse relevantne lastnosti pelet, ki opredeljujejo njihovo kakovost in so predstavljeni v tabeli 1. Kakšna so razmerja med proizvodnimi parametri ter lastnostmi pelet je bila tema številnih raziskav, katerih rezultati podajajo splošne ugotovitve in smernice in jih navajamo v spodnjem besedilu.

Tabela 1: Lastnosti, ki opredeljujejo kakovost pelet in vplivni dejavniki proizvodnega procesa.

Lastnosti pelet, ki jih opredeljuje standard SIST EN ISO 17225-2.	Lastnosti surovine in proizvodni parametri
• Dimenzije pelet • Vlažnost pelet • Delež pepela • Mehanska obstojnost • Gostota nasutja • Kurilna vrednost • Vsebnost nekaterih kemijskih elementov (ogljik, vodik, dušik, klor, žveplo, težke kovine)	Surovina • <i>Vrsta oz. kemična sestava surovine</i> • <i>Vlažnost surovine</i> Proizvodni parametri • Mletje surovine (prevladujoča frakcija delcev) • Kondicioniranje • Dodajanje aditivov • Peletiranje: - <i>Dimenzije matrice</i> - <i>Hitrost valjev,</i> - <i>Razmik med matrico in valji</i> • Skladiščenje proizvoda • Transport proizvoda • Dobava

10.1. Velikost delcev surovine

Velikost delcev surovine je odvisna od končnega premera pelet, surovine same in tehnologije peletiranja. V vsakem primeru naj bi bil material čim bolj homogen. **Maksimalna velikost delca pa naj bi znašala približno 4 mm**, kakršna je povprečna velikost delcev žagovine. Dodatno mletje materiala je običajno povezano z dodatnimi stroški.

Kladivar, ki proizvaja delce velikosti med 3,2 in 4 mm omogoča proizvodnjo pelet najboljše kakovosti.



10.2. Vlažnost surovine in pelet

Vlažnost surovine je v veliki meri odvisna od tehnologije peletiranja ter surovine same. Če je vlažnost (vsebnost vode) surovine previsoka je potrebno sušenje, ki pa je povezano z dodatnimi stroški. Načini sušenja surovine so opisani v poglavju 5.

Glede na predhodne raziskave je **optimalna vlažnost surovine tik pred fazo peletiranja med 8 do 12 %**. Če je vlažnost prenizka je trenje v kanalih matrike lahko tako veliko, da onemogoči potek peletiranja; če je vlažnost previsoka proizvedeni peleti niso dimenzijsko stabilni. Pred peletiranjem je zato priporočljivo surovino kondicionirati z vodo ali paro; potrebno pa je upoštevati, da zaradi procesa kondicioniranja naraste vlažnost surovine za približno 2%. **Natančna regulacija vlažnosti surovine je izrednega pomena, in značilno vpliva na končne lastnosti proizvoda, kar potrjujejo številni proizvajalci.**

Primerna vlažnost pelet je pomembna predvsem zaradi učinkovitega izgorevanja in ima velik vpliv na kurilno vrednost. Večja je vsebnost vode oz. vlaga v peletih več energije se v procesu izgorevanja porabi za izhlapevanje vode in posledično manjše je kurilna vrednost. **Evropski standard SIST EN ISO 17225-2 navaja, da naj vsebnost vode nebi bila višja od 10 %.**

10.3. Gostota nasutja pelet

Gostota nasutja je odvisna od gostote pelet in velikosti vmesnih prostorov med posameznimi peleti. V grobem lahko gostoto nasutja določimo tudi tako, da gostoto (delca) peleta delimo z 2. **Večja kot je gostota nasutja večja je količina akumulirane energije na prostorninsko enoto in manjši so transportni ter skladiščni stroški.** Večja gostota nasutja je z ekonomskega vidika pomembna tako za proizvajalce pelet, posrednike, prodajalce ter potrošnike.

Način določanja gostote nasutja pelet po standardu SIST EN ISO 17828 je opisan v poglavju 2.1.2. **Standard SIST EN ISO 17225-2 za gostoto nasutja določa, da minimalno vrednost, ki znaša 600 kg/m³.** Glede na literaturo lahko gostota nasutja niha med 550 in 700 kg/m³.

10.3.1. Gostota (delca) peleta

Gostota delca peleta je definirana kot razmerje med maso in prostornino delca peleta. Gostota delcev pelet vpliva na gostoto nasutja; večja kot je gostota delcev večja je gostota nasutja. Poleg tega gostota delcev vpliva tudi na izgorevanje; delci z večjo gostoto izgorevajo daljši čas.



Največ težav pri določevanju gostote delca predstavlja ugotavljanje prostornine delca, zato je bilo testiranih več metod; od stereometrične do metode s potapljanjem v tekočino. Za najbolj natančno se je izkazala metoda s potapljanjem v tekočino; kjer se na podlagi vzgona tekočine določi prostornino peleta. Metoda je podrobno opisana v standardu SIST EN ISO 18847.

10.4. Mehanska obstojnost

Mehanska obstojnost spada med najpomembnejše parametre pri proizvodnji pelet. Zaradi nizke mehanske obstojnosti nastane večja količina finih delcev, ki lahko povzročijo zamašitev polžastega transporterja pri uporabniku, ki dovaja pelete iz skladiščnega prostora v kotel. Tudi z zdravstvenega in ekološkega vidika naj bi bila emisija finih delcev čim manjša.

Mehanizmi nastanka vezi med delci v procesu peletiranja: Trajnost in odpornost peletov je odvisna od fizikalnih sil, ki vežejo delce lesne biomase med sabo. Sile, ki vežejo delce (stisnjenega proizvoda) med sabo je mogoče razdeliti v pet večjih skupin; (I) trdne vezi, (II) privlačne vezi med trdimi delci, (III) mehanske vezi, (IV) adhezijske in kohezijske sile in (V) kapilarne in medploskovne sile.

Mehanska obstojnost je definirana v standardu SIST EN ISO 17831-1, kot lastnost zgoščenega biogoriva (npr. pelet, briket), da med nalaganjem, tovorjenjem in raztovorom ostane nepoškodovan. Glede na standard SIST EN ISO 17225-2 je pelet z mehansko obstojnostjo večjo ali enako 96,5 % mogoče razvrstiti v kakovostni razred B, z vrednostjo 97,5 % v A2 razred, z vrednostjo 98 %, pa v A1 razred.

10.4.1. Soodvisnost med vsebnostjo vode in obrabo (mehansko obstojnostjo) pelet

Raziskave so pokazale, da ima vsebnost vode pozitiven vpliv na mehansko obstojnost in posledično na obrabo pelet; najmanjša obraba (boljša mehanska obstojnost) je bila ugotovljena za pelete izdelane iz surovine z 12 do 13 % vlažnostjo. Tako v primeru večje kot manjše vlažnosti surovine je bila obraba posledično večja.

Na vlažnost pelet je mogoče vplivati med proizvodnim procesom, spremeni pa se lahko tudi med skladiščenjem. Lesna goriva so vedno občutljiva na povišano zračno vlažnost, saj jo bodisi absorbirajo ali oddajo. Raziskava je pokazala, da se z večanjem zračne vlage zmanjšuje tudi mehanska obstojnost in torej večja obraba.



10.4.2. Vpliv velikosti delcev surovine na mehansko obstojnost

Manjši delci so velikokrat povezani z večjo obstojnostjo pelet. Optimalna kakovost pa je velikokrat dosežena z mešanico različno velikih delcev, saj se s tem poveča število vezi med delci, ter hrkati zmanjša število praznih prostorov med delci.

10.4.3. Vpliv proizvodnih parametrov na mehansko obstojnost

Industrijske peletirne naprave so sestavljene iz matrice z različnimi perforacijami za katere je značilno različno razmerje med premeri perforaciji/lukenj in dolžino lukenj (razmerje L/D). Dolžina lukenj je odvisna od debeline matrice, premeri pa so odvisni od perforacij. Običajno je obstojnost pelet večja, če je razmerje L/D večje, zaradi povečanih strižnih sil, ki so posledica večjega trenja med surovino in matrico. Vendar preveliko razmerje L/D zmanjša prepustnost oz. zabije peletrino napravo. Pomembno je da proizvajalci za pelete iz iglavcev uporabljajo debelejšše za proizvodnjo peletov iz listavcev pa tanjše matrice.

Hitrost je odvisna od hitrosti tangencialnih valjev med procesom peletiranja. Thomas in sod. (1997) je opazil da so večje hitrosti (10 m/s) primerne za manjše pelete in nižje hitrosti za večje pelete (med 6 do 7 mm). Heinemans (1991) je opazil, da materiali z nižjo gostoto zahtevajo peletiranje z nižjo hitrostjo (4-5 m/s) zaradi značilne količine zraka, ki ga je potrebno iztisniti preden je dosežena želena gostota.

Razmak med valji in matrico določa silo s katero je surovina potisnjena skozi perforacije. Robohm in Apelt (1989) sta ugotovila, da je optimalni razmak med 2,0 in 2,5 mm. Nadaljnjo povečanje razmaka med 4,0 do 5,0 mm značilno zmanjša trdoto in obstojnost pelet.

Mohsenin in Zaske (1976) sta poleg tega opazila, da se mehanska obstojnost pelet takoj po proizvodnji časovno spreminja. Takoj po proizvodnji je bila mehanska obstojnost višja kot 45 minut kasneje. Vzrok je naknadno sušenja in raztezanja materiala, kar ima negativen vpliv na obstojnost pelet.

Hlajenje in sušenje

Zaradi trenja v procesu peletiranja, je temperatura in vlaga pelet takoj po izstopu iz proizvodnje višja od temperature v okolici. Takoj po proizvodnji se peleti ohladijo in posušijo, običajno s prisiljenim zrakom, na temperaturo okolja in ustrezno ravnovesno vlažnost (Turner, 1995). Neprimerno hlajenje in sušenje pelet lahko vodi do nastanka razpok v peletih. Optimalne nastavitve hlajenja pa omogočajo nastanek dodatnih vezi med delci, hkrati pa se poveča viskoznost tekočih komponent, kar še poveča strukturno obstojnost pelet (Thomas in sod., 1997).



10.4.4. Vpliv časa skladiščenja surovine na mehansko obstojnost ter druge kazalnike kakovosti (gostoto nasutja, delež finih delcev)

Raziskave so pokazale da daljše skladiščenje smrekove in borove žagovine pozitivno vpliva na gostoto nasutja, mehansko obstojnost in delež finih delcev. Vzrok so najverjetneje maščobne kisline ter smole, ki se med daljšim časom skladiščenja razgradijo zaradi oksidativnih procesov, kar poveča trenje v kanalih matrike, zaradi česar je gostota nasutja in mehanska obstojnost večja, delež finih delcev pa je majši.

10.5. Vsebnost pepela

Pepel je anorganski ostanek, ki ostane po izgorevanju goriva. Odvisno od učinkovitosti izgorevanja lahko pepel še vsebuje gorljive organske delce.

Vsebnost pepela v surovini ne vpliva na potek peletiranja (vse dokler vsebnost pepela ni previsoka, kar poveča obrabo in posledično zmanjša življenjsko dobo valjev in matrice). Glede na standard SIST EN ISO 17225-2 je za uvrstitev pelet v kakovostni razred A1 dovoljenih 0,7 % pepela. Če proizvajalec želi zadostiti zahtevam standarda, tudi surovina ne sme vsebovati več kot 0,7 % pepela.

Peleti za neindustrijsko rabo naj bi vsebovali čim nižji delež pepela, saj za uporabnike to pomeni daljše intervale med praznjenjem zalogovnika pepela in posledično večje udobje. Tudi z vidika učinkovitega delovanja peči je nizek delež pepela zelo pomemben, saj je možnost odlaganja »žlindre« na stene kotla posledično manjša.

Elementi kot so kalcij, magnezij, silicij in kalij so najpomembnejši sestavni deli pepela. Na taljenje pepela vplivajo predvsem kalcij, magnezij in kalij, pa tudi natrij; medtem ko kalcij in magnezij običajno zvišajo točko taljenja jo kalij in natrij znižata. Nižja točka tališča lahko vodi do nastanka žlindre in nastanka oblog na stenah kotla. V primeru lesa, kalij predstavlja glavno komponento za nastanek aerosolov; kar pomeni, da večja vsebnost kalija med izgorevanjem pospeši nastanek aerosolov in posledično poviša emisije finih delcev v zrak. Podobno se obnaša tudi natrij.

Metodo za določevanje deleža pepela (vseh bio-goriv) opisuje standard SIST EN ISO 18122; Vsebnost pepela se določa iz mase ostanka po izgorevanju vzorca pod natančno določenimi pogoji (na zraku, po predpisanem času in temperaturi 550°C).



Vsebnost pepela se med iglavci in listavci razlikuje; tipična vrednost deleža pepela za iglavce se giba med 0,4 in 0,8 % medtem, ko je pri listavcih nekoliko višja med 1,0 in 1,3 %. Skorja vsebuje med 2,0 do 5,0 % pepela. Če surovina vsebuje višji delež skorje bo posledično delež pepela višji. Visoka vsebnost pepela je lahko povezana tudi s kontaminacijo surovine z nečistočami med transportom in skladiščenjem.

S primerno izbiro surovine in ustreznim ravnanje se je mogoče izogniti prevelikim deležem pepela pelet za neindustrijsko rabo.

Tabela 1: Tipične vsebnosti pepela za različno biomaso.

Vrsta goriva	Tipična vsebnost pepela (%)
Iglavci*	0,4 - 0,8
Listavci*	1,0 - 1,3
Skorja	2,0 - 5,0
Slama	4,9 - 6,0

*Brez skorje

10.6. Vsebnost naravnih veziv

Vsebnost vezivnih snovi, kot je npr. škrob in maščobe, so v surovini za proizvodnjo pelet pomembne z vidika poteka peletiranja in kakovost kočnega proizvoda. Višja vsebnost maščob omogoča lažji prehod delcev skozi matrico, zaradi česar je poraba energije v fazi peletiranja manjša, manjši pa so posledično tudi proizvodni stroški. Večja vsebnost škroba izboljša vezivne lastnosti surovine in posledično mehansko obstojnost pelet.

Lignin je poleg celuloze in hemiceluloze osnovni sestavni del celičnih sten lesa – je tridimenzionalni aromatični polimerni kompozit, ki omogoča ustrezno togost celičnih sten. V procesu peletiranja je naravne vezivne lastnost lignina (mehčanje in ponovno utrjevanje lignina) mogoče izkoristiti za izdelavo kakovostnejših in odpornejših pelet. Točko pri kateri pride do mehčanja lignina (točka steklastega prehoda) je mogoče doseči tudi pri procesu peletiranja, s povečevanjem vlažnosti surovine ter temperature matrice. Pri absolutno suhi surovini pride do mehčanja lignina šele pri temperaturi 190 do 200 °C. V procesu izdelave pelet, pa imamo vlažnost surovine med 10 in 15 %, tako se lignin začne mehčati že pri temperaturah pod 100 °C (Gorišek, 2009; Salmen, 1982).

Biološki aditivi, ki vsebujejo škrob se lahko uporabljajo v procesu proizvodnje za izboljšanje kakovosti pelet. Dodajanje aditivov regulira standard SIST EN ISO 17225-2, ki dovoljuje do 2% naravnih aditivov. Z dodajanje drugih aditivov, kot so na primer lignosulfonati (stranski produkt pri



produkciji celuloze) je mogoče doseči podoben učinek, vendar uporaba takšnega aditiva spremeni fizikalno-kemijske karakteristike biogoriva zaradi česar material ni več naraven oz. je kemično obdelan. Tako obdelane surovine pa standard SIST EN ISO 17225-2 ne dovoljuje - dovoljeni so aditivi kot je škrob, koruzna moka, krompirjeva moka ali rastlinsko olje.



Tabela 1: Dejavniki, ki med proizvodnjo vplivajo na končne lastnosti pelet.

Parameter	Enota	Omejujoča / vodilna vrednost	Relevantnost	Učinek/komentar
Dolžina	mm	< 40	P	Izbira transportne naprave in peči; nevarnost zamašitve zaradi prekoračene dolžine; čas izgorevanja
Gostota nasutja	kg/m ³	600-750	P	Količina energije; transportni in skladiščni stroški
Gostota delca	Kg/dm ³	> 1,12	P	Čas izgorevanja; gostota nasutja
Mehanska obstojnost	%	> 98,0	P	Obnašanje pri transportu; emisija prahu; izgube pri transportu
Vsebnost naravnih veziv	%	h	R/P	Posebej relevantni so škrob, maščobe in lignin; obstojnost pelet: proizvodnja in ekonomika peletiranja; dodajanje bioloških aditivov, ki vsebujejo škrob dovoljeno do 2 % po standard SIST EN ISO 17225-2.
Vsebnost vlage	%	8 – 12 < 10	R P	Relevantna pri izdelavi pelet, vpliva na obstojnost pelet; odvisno od surovine; surovina z večjo količino vlage je potrebno sušiti
Vsebnost pepela	%	> 0,7	R/P	Udobje pri upravljanju peči; poveča nastanek žlindre v peči
Bruto kalorična vrednost (BKV)	MJ/kg	h	R/P	Dimenzija in nadzor tovarne; odvisna samo od surovine; ni mogoče vplivati
Neto kalorična vrednost (NKV)	MJ/kg	h	R/P	Dimenzija in nadzor tovarne; energetska gostota
Energetska gostota	MJ/m ³	h	P	Dimenzija in nadzor tovarne; kapacitete transporta in skladiščenja
Vsebnost ogljika, vodika in kisika	%		R/P	BKV in NKV; odvisno samo od uporabljene surovine; ni mogoče vplivati
Hlapne snovi	%		R/P	Termična razgradnja; obnašanje pri izgorevanju; odvisno samo od uporabljene surovine
Delež dušika	%	0,30	R/P	Indikator za prepovedane substance; povečano NO _x emisij
Delež žvepla	%	0,04	R/P	Indikator za prepovedane substance; povečano tveganje korozije in SO _x emisij
Delež klora	%	0,02	R/P	Indikator za prepovedane substance; povečano tveganje korozije in HCl, Cl ₂ , in PCDD/F emisij
Količina elementov, ki vplivajo na delež pepela	%		R/P	Relevantni so Ca, Mg, Si, K in P ; vpliva na taljenje pepela in posledično na zanesljivost peči; Ca in Mg povečata, P zniža točko taljenja pepela; K vpliva na nastanek aerosolov; Povečana količina Si in P v kombinaciji z K povzroči nastanek žlindre.

Vsebnost težkih kovin	%	I	R/P	Kakovost pepela; uporaba pepela; emisija finih delcev; indikator prepovedanih snovi; Zn in Cn posebej relevantna za lesna goriva
Kontaminacija z minerali	%	I	R	Zmanjša NKV, poveča vsebnost pepela ter obrabo peletirne naprave
Velikost delcev	mm	< 4	R	Izjemno pomembno za proces peletiranja; vodilna vrednost je približno ekvivalentna delcu žagovine; surovino z večjimi delci je potrebno dodatno mleti.

Opomba: P...relevantno (bistveno) za proizvodnjo pelet; R...relevantno (bistveno) za surovino; h...čim višja možna vrednost; l... čim nižja možna vrednost



Literatura / Reference

1. Gorišek, Ž. Les zgradba in lastnosti. Njegova variabilnost in heterogenost. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, (2009).
2. Hansen, M., Jain, A., Hayes, S., and Bateman P. "English Handbook for Wood Pellet Combustion-Pellet Atlas." München, Germany, (2009).
3. Heinemans, H., The interaction of practical experience and the construction of new pelleting and cooling machinery. *Advances in Feed Technology*, 6: pp. 24-38. (1991).
4. Holm, J. K., Henriksen, U. B., Hustad, J. E., & Sørensen, L. H. Toward an understanding of controlling parameters in softwood and hardwood pellets production. *Energy & Fuels*, 20(6), 2686-2694. (2006).
5. Kaliyan, N., & Morey, R. V. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and bioenergy*, 33(3), 337-359. (2009).
6. Lehtikangas, P. "Quality properties of pelletised sawdust, logging residues and bark." *Biomass and bioenergy* 351-360. (2001).
7. Mohsenin, N., and Zaske, J. "Stress relaxation and energy requirements in compaction of unconsolidated materials." *Journal of Agricultural Engineering Research* 21.2, 193-205. (1976).
8. Nielsen, N. P. K., Gardner, D. J., Poulsen, T., & Felby, C. Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood residues into fuel pellets. *Wood and Fiber Science*, 414-425. (2009).
9. Obernberger, I., and Thek, G. "The pellet handbook." Earthscan Ltd (2010).
10. Robohm, K.F. and Apelt, J. Die automatische Spaltweitenverstellung. *Mühle Mischfutter.*, 126: 271-275. (1989).
11. Salmen, L. Temperature and Water Induced Softening Behaviour of Wood Fiber Based Materials, (1982).
12. SIST EN ISO 17225-1:2014; Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 1: General requirements
13. SIST EN ISO 17225-2:2014; Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 2: Graded wood pellets
14. SIST EN 15234-1:2011; Solid biofuels - Fuel quality assurance - Part 1: General requirements
15. SIST EN 15234-2:2012; Solid biofuels - Fuel quality assurance - Part 2: Wood pellets for non-industrial use
16. Ståhl, M., Granström, K., Berghel, J., & Renström, R. Industrial processes for biomass drying and their effects on the quality properties of wood pellets. *Biomass and Bioenergy*, 27(6), 621-628. (2004).



17. Stelte, W., Holm, J. K., Sanadi, A. R., Barsberg, S., Ahrenfeldt, J., and Henriksen, U. B. Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. *Fuel*, 90(11), 3285-3290. (2011).
18. Temmerman, M., Rabier, F., Jensen, P. D., Hartmann, H., & Böhm, T. Comparative study of durability test methods for pellets and briquettes. *Biomass and Bioenergy*, 30(11), 964-972. (2006).
19. Thomas, M., Van Zuilichem, D. J., and Van der Poel, A. F. B. "Physical quality of pelleted animal feed. 2. Contribution of processes and its conditions." *Animal Feed Science and Technology* 64.2-4, 173-192. (1997).
20. Turner R. Bottomline in feed processing: achieving optimum pellet quality. *Feed Manager*; 46:30-33. (1995).
21. Wilson, T. O. Factors affecting wood pellet durability. Diss. The Pennsylvania State University, 2010.

