

## 10. Fizikalno-kemijske lastnosti surovine in pelet

Na lastnosti pelet vplivajo številni dejavniki, od vrste izbrane surovine do faz proizvodnega procesa ter nadaljnega 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 surovina in proizvodni parametri
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimenzije pelet</li> <li>• Vlažnost pelet</li> <li>• Delež pepela</li> <li>• Mehanska obstojnost</li> <li>• Gostota nasutja</li> <li>• Kurilna vrednost</li> <li>• Vsebnost nekaterih kemijskih elementov (ogljik, vodik, dušik, klor, žveplo, težke kovine)</li> </ul>	<p>Surovina</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Vrsta oz. kemična sestava surovine</i></li> <li>• <i>Vlažnost surovine</i></li> </ul> <p>Proizvodni parametri</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mletje surovine (prevladujoča frakcija delcev)</li> <li>• Kondicioniranje</li> <li>• Dodajanje aditivov</li> <li>• Peletiranje: <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Dimenzije matrike</i></li> <li>- <i>Hitrost valjev,</i></li> <li>- <i>Razmik med matriko in valji</i></li> </ul> </li> <li>• Skladiščenje proizvoda</li> <li>• Transport proizvoda</li> <li>• Dobava</li> </ul>

### 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 ali 3,2 do 4 mm omogoča proizvajajo 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 vlaga surovine za približno 2%. **Natančna regulacija vlažnosti surovine je izrednega pomena, in signifikantno 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, posrednikov, prodajalcev ter potrošnikov.

Način določanja gostote nasutja pelet po standardu EN 15103:2010 je opisan v poglavju 2.1.2. **Standard SIST EN ISO 17225-2 za gosto nasutja določa, da minimalno vrednost, ki znaša 600 kg/m<sup>3</sup>.** Glede na literaturo lahko gostota nasutja niha med 550 in 700 kg/m<sup>3</sup>.

### 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 EN 15150:2011.

#### 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 (stisnjene 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 EN 14588:2010, kot lastnost zgoščenega biogoriva (npr. pelet, briket), da med nalaganje, tovorjenjem in raztovorom ostane nepoškodovan. Glede na standard SIST EN ISO 17225-2 je pelet z mehansko obstojnostjo večjo od 97,5 °C mogoče razvrstiti v kakovostni razred A1 in A2. Peleti z mehansko obstojnostjo pod zgoraj omenjeno mejo se uporabljajo večinoma kot industrijski peleti.

##### 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 matrike 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 matrike, 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 matriko. Vendar preveliko razmerje L/D zmanjša prepustnost oz. zabije peletirno 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 et al. (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 signifikantne 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 signifikantno 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 negeativen vplivu na obstojnost pelet.

#### *Hlajenje in sušenje*

Zaradi trenja v procesu peletiranja, je temperatura in vlaga pelet takoj po izstopu iz proizvodnje višja od ravnovesja v okolju. 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 et al., 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 matrike). 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 zvišata. 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 EN 14775:2010; 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 giblje med 0,4 in 0,8% medtem, ko je pri listavcih nekoliko višja med 1,0 in 1,3 %. Skoraj 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 vsebnost 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, maščobe v surovini za proizvodnjo pelet, je pomembna z vidika poteka peletiranja in kakovost kočnega proizvoda. Višja vsebnost maščob omogoča lažji prehod delcev skozi matriko, 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 osnovni sestani del celičnih sten lesa – je aromatični polimer, 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. Točka pri kateri pride do mehčanja lignina sicer pri običajnem peletirnem procesu ni dosežena, in je zato potrebno uporabiti posebne postopke kot je predhodna obdelava surovine s parno eksplozijo... Do mehčanja lignina namreč pride šele pri temperaturi med 190 in 200 °C, s povečano vlago pa lahko ta točka pade ne okoli 90 do 100 °C. Pri vsebnosti vode materiala okoli 10 % temperatura mehčanja lignina znaša okoli 130°C. **V običajnih peletirnih linijah (z vlažnostjo surovine okoli 12%) je v procesu peletiranja dosežena temperatura maksimalno med 80 do 90 °C (odvisno od tehnologije) – zaradi česar ni mogoče koristiti vezivnih lastnosti lignina.**

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 proizvodnji 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 ko 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 <sup>3</sup>	> 600	P	Količina energije; transportni in skladiščni stroški
Gostota delca	Kg/dm <sup>3</sup>	> 1,12	P	Čas izgorevanja; gostota nasutja
Mehanska obstojnost	%	> 97,5	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 EN 14961-2.
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 <sup>3</sup>	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 <sub>x</sub> emisij
Delež žvepla	%	0,03	R/P	Indikator za prepovedane substance; povečano tveganje korozije in SO <sub>x</sub> emisij
Delež klora	%	0,02	R/P	Indikator za prepovedane substance; povečano tveganje korozije in HCl, Cl <sub>2</sub> , 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	%	l	R/P	Kakovost pepela; uporaba pepela; emisija finih delcev; indikator prepovedanih snovi; Zn in Cn posebej relevantna za lesna goriva
Kontaminacija z minerali	%	l	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 za proizvodnjo pelet; R...relevantno za surovino; h...čim višja možna vrednost; l... čim nižja možna vrednost