

# Puun polton optimointi GA:n avulla

Touko Hallasmaa

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Puun polton tehokkuuteen vaikuttavat tekijät</b>	<b>1</b>
1.1	Puun kosteus . . . . .	2
1.2	Happi . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Kemiallinen tarkastelu</b>	<b>2</b>
2.1	Vaiheet . . . . .	2
2.2	Selluloosan palamisreaktio . . . . .	3
2.3	Ligniinin palamisreaktio . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Geneettinen algoritmi</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Toteutus</b>	<b>4</b>
4.1	Tehokkuuden mittaus . . . . .	4
4.2	Työn ulkopuolelle rajatut tekijät . . . . .	4
4.3	Tekijöitä, joita optimoijan käyttäjä pystyy määrittelemään . . . . .	4
4.4	Geneettinen algoritmi . . . . .	4
4.4.1	Mutaatio . . . . .	4
4.4.2	Risteytys . . . . .	4

## Tiivistelmä

Työn tavoitteena on selvittää puun polton tehokkuuteen vaikuttavat tekijät. Lopputuloksena on geneettisellä algoritmilla toimiva optimoija, joka optimoi puun polton tehokkuuteen vaikuttavia parametreja. Puunpolton tehokkuutta mitataan työssä syntyneen lämpöenergian perusteella.

## 1 Puun polton tehokkuuteen vaikuttavat tekijät

Tehokkuutta mitataan systeemin syötetyn energian lämpöä tuottavan osuuden avulla. Kaava tälle voidaan kirjoittaa auki seuraavasti.

$$\eta = \frac{Q_{in} - Q_a - Q_b}{Q_{in}} \quad (1)$$

Jossa  $Q_a$  on lämpöhäviöt, ja  $Q_b$  kemialliset hävikit (kaasut, jotka häviävät ennen polttoa). Lämpöhäviöt koostuvat vesihöyrystä ja päästöjen kuivasta osuudesta.

$$Q_a = \int_0^t \dot{V}_f c_{p,dry}(T_f - T_{0,i}) + \dot{V}_w c_{p,w}(T_f - T_{0,i}) dt \quad (2)$$

$$Q_b = \int_0^t \dot{m}_{CO} LHV_{CO} \quad (3)$$

Jotta puu palaisi mahdollisimman täydellisesti tarvitaan riittävästi aikaa, tarpeeksi korkea lämpötila palamisprosessin ylläpitoon sekä riittävä ilmavirtaus. Nopeasti palava tuli on tyypillisesti ‘tehokkaampi’ kuin hidas tuli, sillä palamisnopeuden kasvaessa lämpötila ja ilmavirtaus kasvaa.

## 1.1 Puun kosteus

Tuore puu on usein kosteaa. Kosteuden kasvaessa puun lämpöarvo laskee, koska osa lämmöstä kuluu veden haihduttamiseen. Toisaalta, puun ollessa liian kuivaa, se palaa liian nopeasti, jolloin hapen syöttö voi olla rajoittavana tekijänä maksimaalisen tehon saavuttamiseksi.

## 1.2 Happi

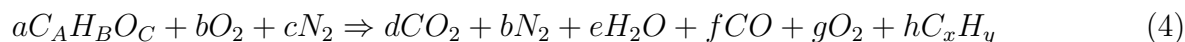
Palamisreaktioon saadaan happea systeemiin syötetystä ilmasta. Polttoprosessin tehostamiseksi ilman täytyy sekoittua polttoaineeseen oikeassa lämpötilassa ja pysyä polttoastiassa niin kauan, että palamisen kemiallinen reaktio on saatu suoritettua loppuun.

Ilmaa syötetään järjestelmään pääasiallisen palamisreaktion edistämiseksi (pääasiallinen ilma). Toisaalta sen lisäksi järjestelmään täytyy syöttää lisäilmaa paikkaamaan epätäydellistä polttoaineksen ja hapen seosta. Tämän ‘ylimääräinen’ ilma laskee järjestelmän kokonaistehoa.

# 2 Kemiallinen tarkastelu

Puuaines koostuu pääosin selluloosasta, hemiselluloosasta ja ligniinistä (eli siis hiilestä, typestä, vedystä ja hapestä). Tässä työssä ei oteta muita aineita huomioon niiden vähäisen vaikuttavuuden ja esiintyvyyden takia. Puun puhtaan palamisen lopputuotteita ovat vesi ja hiilidioksidi. Jotta saavutettaisiin mahdollisimman puhdas palamisprosessi, tulee olla sopivasti aikaa, tarpeeksi korkea lämpötila ja oikeanlainen ilmavirtaus, joka sekoittaa hapen poltettaviin kaasuihin.

Ideaalisen palamisen  $aC_AH_BO_C + bO_2 + cN_2 \Rightarrow dCO_2 + bN_2 + eH_2O$  lopputuotteita on typpi, hiilidioksidi ja vesi... Tosiasiassa osa aineksesta jää palamatta



## 2.1 Vaiheet

Puun palaminen voidaan jakaa taulukossa 1 esitettyihin vaiheisiin. **Kuivumisen** aikana puusta haihtuu sen sisältämä kosteus. Kosteuden haihtuminen vaatii energiaa ja se hidastaa palamisprosessia. **Pyrolyysissä** puuaineksen molekyylit hajoavat ja muodostavat palavia kaasuja. Pyrolyysin jälkeen alkaa **Haihtuvien aineiden palaminen**. Palamista hidastaa samassa tilassa oleva hiilimonoksi sekä puun kuivumisessa vapautuva vesihöyry, ja sen ylläpito vaatii riittävästi ilmavirtaa. Lopulta tapahtuu **hiilijäännöksen palaminen**, joka vaatii hapen ja puun pinnalla olevan hiilen yhdistymistä. Lopullinen palaminen tapahtuu vasta, kun puun pinnalta ei enää haihta kuivumisen tai pyrolyysin seurauksena vapautuvia kaasuja.

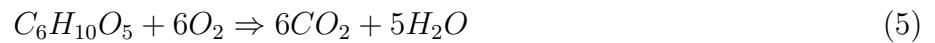
Vaihe	Lämpötila (°C)	Vaatimukset
Kuivuminen	–200	Energia lämpenemiseen
Pyrolyysi	200–	Energia lämpenemiseen
Haihtuvien aineiden palaminen	225–	Ilmaa
Hiilijäännöksen palaminen	225–	Ilmaa

Taulukko 1: Puun palamisen vaiheet

Taulukossa 1 esitetyt lämpötilat ovat suuntaa-antavia ja riippuvaisia käytettävän puun koostumuksesta.

Varsinaisen palamisprosessin voidaan kuitenkin katsoa tapahtuvan kahdessa vaiheessa. Ensimmäisen vaiheen aikana hiili muodostaa ympäristön hapen kanssa hiilimonoksidia  $CO$  (häkää). Toisen vaiheen aikana happi yhdistyy hiilimonoksidin kanssa ja muuttuu hiilidioksidiksi  $CO_2$ .

## 2.2 Selluloosan palamisreaktio



## 2.3 Ligniinin palamisreaktio



# 3 Geneettinen algoritmi

Geneettinen algoritmi (GA) on luonnolliseen valinnan inspiroima optimointitekniikka. Sen aikana käytetään *periytymisen*, *mutaatioiden* ja *rekombinaatioiden* prosesseja.

1. Luodaan populaatio, jonka alkioiden arvot asetetaan tässä työssä alussa satunnaisiksi
2. Populaatiosta luodaan uusi sukupolvi (**Tämä kohta ohitetaan ensimmäisellä iteraatiolla**)
  - (a) Alkioihin voidaan tehdä satunnaisia mutaatioita
  - (b) Tämän jälkeen niiden välillä saatetaan tehdä ristitys, josta syntyy uusi alkio. Alkio voi myös siirtyä muuttumattomana seuraavaan sukupolveen, jos esimerkiksi populaatiossa tehtävää risteytysten määrää on rajattu.
3. Genotyyppi  $\rightarrow$  fenotyyppi
4. Kunkin fenotyypin perusteella lasketaan sille kelvollisuusarvo
5. Kelvollisuusarvon perusteella lasketaan genotyypin todennäköisyys selviytyä seuraavaan sukupolveen
6. Eliminoidaan alkioita edellisessä kohdassa laskettujen todennäköisyyksien avulla
7. Fenotyyppi  $\rightarrow$  genotyyppi
8. Palataan kohtaan 2. ellei keskeytykselle asetettu ehto toteudu.

## 4 Toteutus

### 4.1 Tehokkuuden mittaus

Tehokkuutta mitataan tuotetun lämpöenergia ja käytettävän polttoaineen välisenä suhteena. Suurin mahdollinen arvo on 1, jolloin tapahtuu täydellinen palaminen.

- Lämmönsiirron tehokkuus
  - Kuinka hyvin polttoastia siirtää energiaa ympäristöön.
  - astian massa, kyky siirtää tai säilyttää lämpöä, lämpöhäviöt (hormi)
- lämpöhäviöitä voi mitata järjestelmästä poistuvien pakokaasujen, jotka sisältävät energiaa polttamattoman kaasun ja partikkelimaterian muodossa, perusteella.

### 4.2 Työn ulkopuolelle rajatut tekijät

### 4.3 Tekijöitä, joita optimoijan käyttäjä pystyy määrittelemään

Nimi	Suure	Kuvaus
Palokaika	$t$	Kuinka pitkän aikaa palamista tarkastellaan?
Massa	$m$	Poltettavan puun massa

### 4.4 Geneettinen algoritmi

Alkion genotyypin alleelit ovat liukulukuja väliltä  $[0, 1]$ .

#### 4.4.1 Mutaatio

#### 4.4.2 Risteytys

## Viitteet

- [1] Ojarinta, Petteri, *Wood as fuel and combustion technology*, [http://www.karelia.fi/bioenergia/nwh/course\\_materials/material/Burning\\_of\\_wood.pdf](http://www.karelia.fi/bioenergia/nwh/course_materials/material/Burning_of_wood.pdf)
- [2] <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplmisc/rpt2136.pdf>
- [3] Häkkinen, Jari, *Puun pienpoltto — palaminen ja teknologiat*, <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201704201520.pdf>
- [4] <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/20008Y0S.PDF?Dockkey=20008Y0S.PDF>
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Genetic\\_algorithm](https://en.wikipedia.org/wiki/Genetic_algorithm)