



# Vedens placering i eldstaden

Thomas Lindroos

Lärdomsprov

Energi- och miljöteknik

2025

# Lärdomsprov

Thomas Lindroos

Vedens placering i eldstaden.

Yrkeshögskolan Arcada: Energi- och miljöteknik, 2025.

## Uppdragsgivare:

Yrkeshögskolan Arcada

## Sammandrag:

Detta lärdomsprov undersöker hur vedens placering i eldstaden påverkar förbränningsresultatet, med fokus på värmeutveckling och utsläpp. Bakgrunden behandlar vedeldningens roll i dagens energimix, dess klimatpåverkan samt förbränningsprocessens faser och utsläppens sammansättning. Ämnet är relevant då småskalig eldning står för en stor andel av partikelutsläppen i kallt klimat, och bättre förbränningsmetoder kan bidra till minskad miljöpåverkan. Syftet var att jämföra tre vedplaceringsmetoder (korsvis tändning underifrån, tätpackad top-down och lodrät stapling) med avseende på värmeeffektivitet och renhet i förbränningen. Gran ved användes som testmedia och standardiserades noggrant vad gäller fukthalt, vikt och storlek. Temperaturdata samlades in manuellt och analyserades med Simpsons regel för att jämföra avgiven värmeenergi mellan de olika sätten att placera veden. Resultaten visade att lodrät vedplacering genererade mest värme, följt av top-down och på tredje plats korsvis placering. Top-down-metoden hade en långsammare start men höll jämn värme längre, medan lodrät placering kombinerade hög intensitet och varaktighet. Dessa skillnader pekar på att vedplacering har konkret inverkan på både energinytta och emissionsnivå. Studien indikerar att smart vedplacering kan förbättra vedeldningens verkningsgrad och miljöprestanda utan tekniska investeringar. Lodrät eller top-down-placering rekommenderas för att minska utsläpp och öka verkningsgraden vid småskalig eldning.

## Nyckelord:

Småskalig vedeldning, eldningsteknik, utsläpp

# Degree Thesis

Thomas, Lindroos

Vedens placering I eldstaden.

Arcada University of Applied Sciences: Energi- och miljöteknik, 2025.

## Commissioned by:

Arcada University of Applied Sciences

## Abstract:

This thesis investigates how the placement of firewood in the fireplace affects combustion performance, with a focus on heat output and emissions. The background addresses the role of wood burning in today's energy mix, its climate impact, and the phases of the combustion process as well as the composition of emissions. The topic is relevant as small-scale wood burning accounts for a significant portion of particulate emissions in cold climates, and improved combustion methods can contribute to reduced environmental impact. The objective was to compare three firewood placement techniques (traditional bottom-up cross-stacking, tightly packed top-down, and vertical stacking) in terms of heat efficiency and combustion cleanliness. Spruce firewood was used as the test medium and was carefully standardized for moisture content, weight, and size. Temperature data was collected manually and analysed using Simpson's rule to compare the total released heat energy between the different wood placement methods. The results showed that vertical placement generated the most heat, followed by the top-down method, and lastly the cross-stacking method. The top-down method had a slower ignition phase but maintained a more stable temperature over time, while vertical placement combined high intensity with long duration. These differences indicate that wood placement has a concrete impact on both energy yield and emission levels. The study suggests that smart wood placement can improve combustion efficiency and environmental performance without any technical investment. Vertical or top-down placement is recommended to reduce emissions and increase efficiency in small-scale wood burning.

## Keywords:

Small scale woodburning, woodburning technique, emissions

# Innehållsförteckning

## Sammandrag

## Abstract

<b>1</b>	<b>Inledning</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Syfte</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Förbränningsprocessens mekanismer och faser för fasta bränslen</b> .....	<b>7</b>
3.1	Förbränningsfaser hos fasta biobränslen .....	7
3.2	Kemiska reaktionsvägar: Hydroxylation och crackning .....	9
3.3	Fullständig förbränning .....	9
3.4	Praktiska aspekter i förbränningsanläggningar .....	9
<b>4</b>	<b>Miljöpåverkan</b> .....	<b>11</b>
4.1	Koldioxid .....	11
4.2	Partiklar .....	12
4.2.1	Partikelstorlek.....	12
4.2.2	Svartkol .....	13
4.3	PAH .....	14
4.4	Förslag på minskning av utsläpp.....	15
4.4.1	Energimyndigheten.....	15
4.4.2	Boverket.....	16
<b>5</b>	<b>Vedplacering</b> .....	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Vedart</b> .....	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>Vedplaceringens påverkan på utsläpp och värmevärde</b> .....	<b>24</b>
7.1	Placeringsmetoder.....	24
7.2	Test media .....	26
7.3	Värmemätning.....	27
7.4	Resultat.....	28
7.4.1	Top down .....	30
7.4.2	Lodrät.....	30
7.5	Tolkning / Analys .....	31
<b>8</b>	<b>Slutsats</b> .....	<b>32</b>
	<b>Källor</b> .....	<b>33</b>

# 1 Inledning

Under vinterhalvåret står hushållens energiförbrukning för en betydande del av Nordens totala koldioxidutsläpp, och många söker efter alternativa sätt att minska sitt klimatavtryck. Samtidigt blir energipriserna alltmer volatila, vilket ökar osäkerheten kring uppvärmningskostnader. Att använda ved som en energikälla kan vara en hållbar lösning för att möta både miljö- och energibehoven. Vedeldning, när den utförs korrekt med modern teknik och rätt val av bränsle, är en koldioxidneutral energiform, eftersom det koldioxid som frigörs vid förbränningen motsvarar det som trädet tidigare absorberat under sin livstid. Dessutom erbjuder ved en lokal och tillgänglig energikälla, vilket minskar beroendet av fossila bränslen och importerad energi.

## 2 Syfte

Syftet med detta arbete är att ge en djupare förståelse för vedeldning som en energikälla och dess betydelse för både hushåll och samhället. Vedeldning har varit en av människans mest använda metoder för uppvärmning genom tiderna, och trots framsteg inom andra energiformer, fortsätter den att spela en viktig roll i många delar av världen. Arbetet undersöker olika aspekter av vedeldning, från fördelarna med att använda ved som bränsle till dess miljöpåverkan och praktiska användning. I detta arbete strävas det efter att belysa både de positiva och negativa sidorna av vedeldning. Fördelarna inkluderar kostnadseffektivitet, tillgång till en förnybar resurs och den naturliga känslan av värme som en eld ger. Samtidigt kommer vi att diskutera de miljömässiga konsekvenserna, såsom utsläpp av partiklar och koldioxid, som uppstår vid förbränning av ved men som kan vara flerdubbel om det inte görs på rätt sätt. Ett centralt mål med arbetet är att ge rekommendationer för hur vedeldning kan optimeras för att minimera dess negativa effekter och samtidigt utnyttja dess fördelar. Genom att förstå hur man eldar effektivt och hållbart kan hushåll och samhällen fortsätta att använda ved som en energikälla på ett ansvarsfullt sätt. Slutligen syftar arbetet till att skapa en medvetenhet om den roll vedeldning har i vår energimix och hur man kan fortsätta använda denna traditionella metod i framtiden utan att kompromissa med vår miljö.

### 3 Förbränningsprocessens mekanismer och faser för fasta bränslen

Förbränning är en kemisk reaktion där ett brännbart ämne, som trä, reagerar med syre och avger värme. Det är en så kallad exoterm reaktion, vilket betyder att den frigör energi i form av värme. I de flesta tekniska system används vanlig luft som syrekälla, och luften innehåller ungefär 23 % syre räknat i vikt. (Alvarez, 1991)

Vid fullständig förbränning omvandlas alla brännbara ämnen i bränslet – framför allt kol (C), väte (H<sub>2</sub>) och ibland svavel (S) – till stabila föreningar som koldioxid (CO<sub>2</sub>), vattenånga (H<sub>2</sub>O) och svaveldioxid (SO<sub>2</sub>). Vid ofullständig förbränning uppstår däremot mellanprodukter som kolmonoxid (CO), tjäror, flyktiga organiska ämnen (VOC) och sotpartiklar (PM), eftersom syret inte räcker till för att förbränna alla ämnen helt. (Alvarez, 1991)

#### 3.1 Förbränningsfaser hos fasta biobränslen

När ett fast bränsle som ved eldas sker förbränningen inte på en gång, utan i flera steg. Varje steg har olika temperaturkrav och sker under olika kemiska förhållanden. Här följer de viktigaste faserna. (Vogel, 2005) Som även illustrerats i Figur 1 nedan.

- Torkning ( $\leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ )  
Först värms veden upp och det vatten som finns i träet börjar avdunsta. För att detta ska ske krävs mycket energi - vattnet måste först uppnå kokpunkt ( $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), och sedan krävs ytterligare energi för att omvandlas till ånga. Så länge det finns fukt i veden hålls temperaturen på denna nivå, vilket fördröjer antändning. Det är därför blöt ved är svår att tända. (Vogel, 2005)
- Pyrolys ( $200\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$ )  
När träets temperatur stiger över  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  börjar träets organiska material (cellulosa, hemicellulosa, lignin) att brytas ner utan att det finns tillräckligt med syre – en process som kallas pyrolys. Detta bildar gaser som kolmonoxid, metan, metanol och organiska syror. Dessa gaser är mycket brännbara och utgör upp till hälften av vedens energiinnehåll. (Vogel, 2005)

- Primär och sekundär förbränning (> 500 °C)  
När de flyktiga gaserna blandas med syre och temperaturen är tillräckligt hög, börjar förbränningen på allvar. (Vogel, 2005)

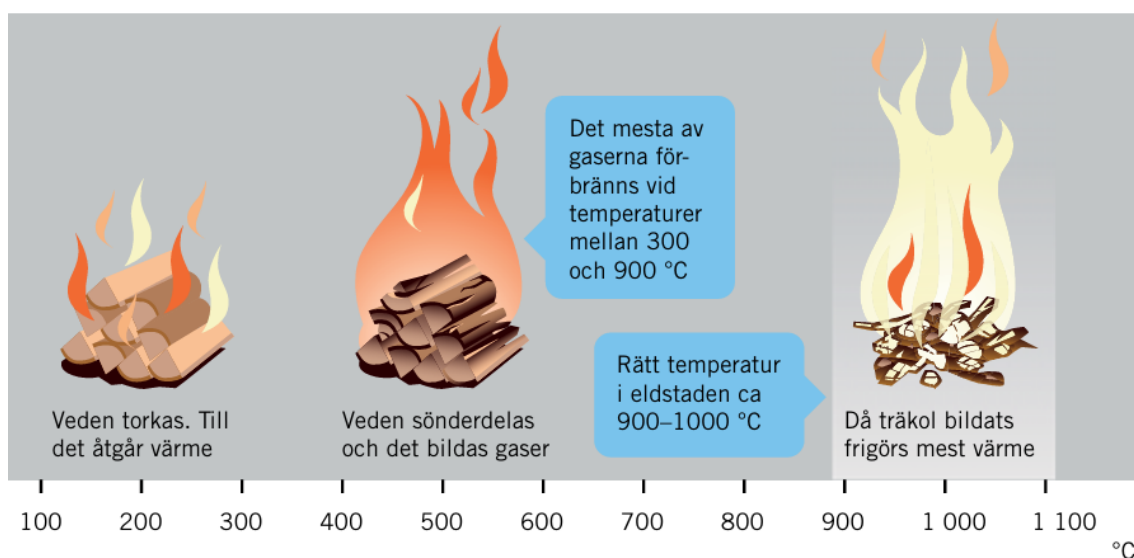
Primär förbränning sker nära bränslet och förbrukar syre som finns där. Sekundär förbränning sker längre ut i flamman, där mer luft finns tillgängligt. Här oxideras de pyrolytiska gaserna, vilket ger hög temperatur och kraftig låga. Denna fas står för den största delen av den totala energin från ved. Om för lite syre finns tillgängligt leder det till ofullständig förbränning och mer utsläpp. Om för mycket luft tillförs sänks temperaturen och förbränningen blir ineffektiv. (Vogel, 2005)

#### d) Glödfas (> 800 °C)

När gaserna är förbrukade återstår träkol - alltså kol och aska. I detta sista steg sker en långsam men energirik reaktion där kol brinner:

- Vid tillräckligt syre:  $C + O_2 \rightarrow CO_2$
- Vid syrebrist:  $2C + O_2 \rightarrow 2CO$

Glöden avger värme under lång tid och är viktig för att utnyttja veden fullt ut. (Vogel, 2005) (Alvarez, 1991)



Figur 1. Illustrering av brandfaser (Naturvårdsverket, 2009).

### 3.2 Kemiska reaktionsvägar: Hydroxylation och crackning

I förbränningskammaren kan två typer av kemiska reaktioner dominera beroende på förhållandena: (Alvarez, 1991)

- Hydroxylation sker när syret och bränslet blandas väl, och reaktionen drivs av reaktiva radikaler (OH•, H•). Detta ger en jämn och kontrollerad förbränning.
- Crackning sker vid snabb uppvärmning utan god luft-bränsleblandning. Större molekyler i bränslet sönderdelas till enklare ämnen (till exempel kol och väte), som sedan oxideras vidare.

### 3.3 Fullständig förbränning

För att elda på ett sätt som är både effektivt och miljövänligt krävs följande: (Alvarez, 1991)

- Tillräckligt med syre i rätt mängd
- Hög temperatur – tillräcklig för att förbränningen ska vara självbärande
- God blandning av luft och bränsle
- Lång nog reaktionstid så att alla ämnen hinner förbrännas

### 3.4 Praktiska aspekter i förbränningsanläggningar

I pannor och kaminer är utformningen avgörande. För att få en ren och effektiv förbränning behöver man kontrollera: (Alvarez, 1991)

- Luftflödet: För mycket luft kyler förbränningen, för lite luft ger ofullständig förbränning
- Turbulens: Bättre blandning av luft och gaser
- Reaktionstid: Tillräcklig uppehållstid i flamzonen

För moderna vedpannor används ofta automatisk styrning av luft och bränsle, vilket förbättrar verkningsgrad och minskar utsläpp. (Turns, 2012) (van Loo & Koppejan, 2008)

Fukten i veden är också viktig, för fuktig ved leder till mycket ångbildning i stället för värme, och risken för sot och kolmonoxid ökar. (Valik, 2016) (Filipsson & Karlsson, 2003) Utformningen av själva förbränningskammaren är också viktig. Genom att dela upp primär och sekundär luftinsprutning kan man se till att både pyrolys gaserna och kolmonoxiden brinner upp fullständigt. (Turns, 2012) (van Loo & Koppejan, 2008)

Sammanfattningsvis är förbränningen av fasta bränslen en komplex process som sker i flera steg. Genom att förstå hur torkning, pyrolys, gasförbränning och glödning fungerar kan man förbättra både effektivitet och miljöprestanda. Med rätt lufttillförsel, temperatur och tid kan vedeldning göras både ren och energisnål.

## 4 Miljöpåverkan

De föroreningar som genereras vid förbränning av trä kan delas in i två huvudsakliga kategorier: partiklar och gaser. Bland dessa betraktas partiklar som den största hälsoriskfaktorn på grund av deras potential att påverka luftvägar och kardiovaskulär hälsa.

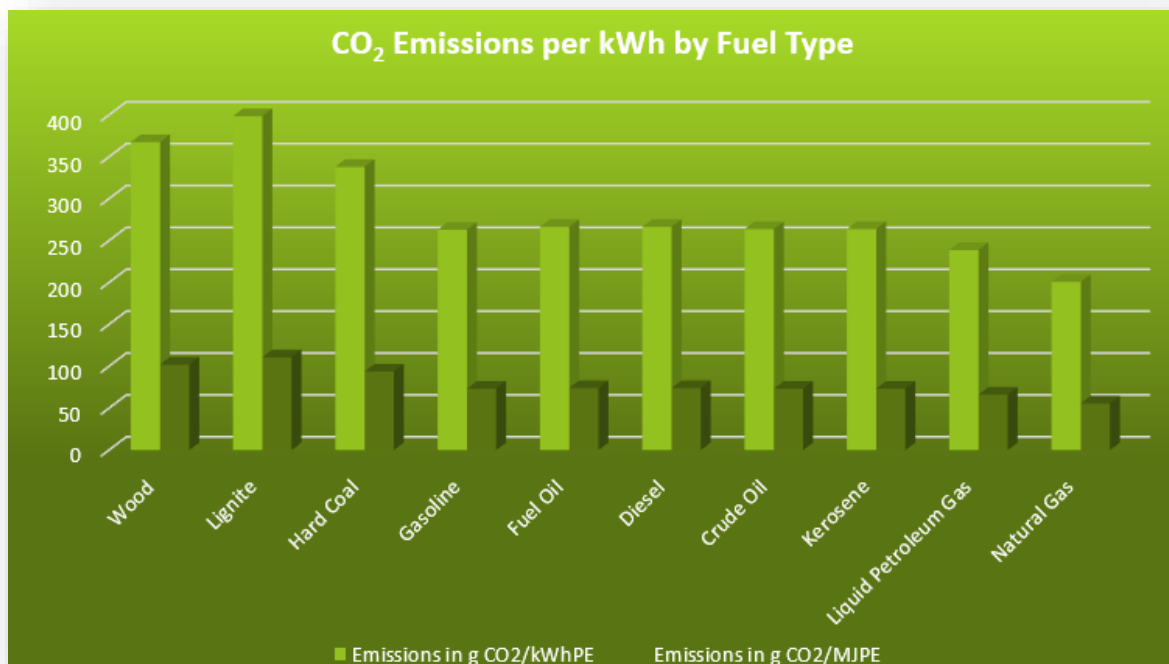
(EPA, Why Wildfire Smoke is a Health Concern, 2025) (Vogel, 2005)

### 4.1 Koldioxid

Vedeldning betraktas ofta som koldioxidneutral, även om tillfälliga utsläppet är högre än för många andra bränslen som man kan se i Figur 2, Då den koldioxid ( $\text{CO}_2$ ) som frigörs vid förbränning exakt motsvarar den mängd som trädet absorberat och bundit under sin livstid, ger vedeldning inget nettobidrag av koldioxid till atmosfären över tid. Emellertid är denna koldioxidneutralitet beroende av att vedresurserna hanteras genom hållbara skogsbruksmetoder, där nya träd planteras för att ersätta de som skördas, och där skogsarealen förblir konstant. Ved består av cirka 33 % kol i vikt, vilket vid förbränning kombineras med syre och omvandlas till  $\text{CO}_2$ . Vid förbränning av ett ton torr ved frigörs omkring 1,8 ton  $\text{CO}_2$ . (Kilgore, 2024) (Love-logs, 2024)

Trots att vedeldning genererar större koldioxidutsläpp per enhet energi jämfört med vissa andra förnybara energikällor, är dessa utsläpp i ett hållbart system av mindre betydelse på en lokal skala. De enda permanenta koldioxidutsläppen relaterade till vedeldning härrör från processer som skörd och transport av veden, där fossila bränslen ofta används, vilket bidrar till utsläpp som inte ingår i den naturliga kolcykeln. (Love-logs, 2024)

Även om vedeldning inte är lika effektivt som energikällor som vind-, sol- och vattenkraft i termer av koldioxidutsläpp per producerad enhet energi, representerar det fortfarande ett hållbart och förnybart alternativ när det hanteras på ett ansvarsfullt sätt. (Love-logs, 2024)



Figur 2. Koldioxidutsläpp för olika bränslen (Kilgore, 2024).

## 4.2 Partiklar

Vid förbränning av ved bildas olika typer av partiklar, vilka utgör en betydande miljö- och hälsorisk. Dessa partiklar varierar i storlek och sammansättning, och deras påverkan beror bland annat på hur effektivt förbränningen sker. Kapitlet belyser de viktigaste partikeltyperna PM<sub>2.5</sub> och PM<sub>10</sub>.

### 4.2.1 Partikelstorlek

Forskning har visat att partiklar med en diameter på 2,5 mikrometer eller mindre (PM<sub>2.5</sub>) kan penetrera djupt in i lungvävnaden, ända ner till alveolerna, och i vissa fall ta sig in i blodomloppet. Denna mekanism har associerats med ökad risk för respiratoriska och kardiovaskulära sjukdomar. (EPA, Why Wildfire Smoke is a Health Concern, 2025) Det råder dock ännu vetenskaplig osäkerhet kring huruvida olika källor till PM<sub>2.5</sub> kan leda till distinkta typer av hälsoproblem

(EPA, Why Wildfire Smoke is a Health Concern, 2025) (Love-logs, 2024)

Partiklar med en diameter på upp till 10 mikrometer (PM10) har en begränsad förmåga att tränga djupt in i lungorna. I stället tenderar dessa partiklar att fastna i de övre luftvägarna, vilket kan orsaka irritation i ögon, näsa och hals. PM10 har dock inte påvisats utgöra någon betydande hälsorisk under normala exponeringar.

(EPA, Why Wildfire Smoke is a Health Concern, 2025)

#### **4.2.2 Svartkol**

Svartkol, även känt som sot, är en av de mest skadliga kortlivade klimatpåverkande ämnena. Enligt vissa forskare är det den näst största bidragande faktorn till global uppvärmning efter koldioxid. Svartkolpartiklar absorberar inkommande solljus och omvandlar det till värme, vilket direkt bidrar till uppvärmningen av den lokala atmosfären. Denna effekt, som kan kännas omedelbart efter att partiklarna släppts ut, gör svartkol till en betydande klimatfaktor, särskilt i regioner nära dess utsläppskällor

(Envirotech, 2024)

När svartkol är luftburet påverkar det inte bara temperaturökningen utan också molnbildning, väder och nederbördsmonster. Genom att störa atmosfärens dynamik kan det bidra till oregelbundna regnperioder eller förvärra torka i vissa områden. När partiklarna deponeras på polarisar och glaciärer försämrar de isens och snöns albedo, vilket innebär att mindre solljus reflekteras tillbaka ut i rymden och mer absorberas. Denna process accelererar smältningen av polarisarna och glaciärerna, vilket i sin tur påverkar havsnivån och klimatmönstren globalt. Under de senaste 270 åren har svartkolutsläpp bidragit till en global temperaturökning på uppskattningsvis 0,04 grader Celsius, vilket visar dess betydande påverkan trots dess kortlivade natur

(Coalition, 2024)

En av de största källorna till svartkolutsläpp är mänsklig aktivitet. Vedeldning, fotogenlampor och koleldning står för cirka 58 % av världens totala svartkolutsläpp. Dessa utsläpp sker till största delen i utvecklingsländer, där traditionella uppvärmningsmetoder och energikällor fortfarande är vanliga. Men även i industrialiserade regioner som Norden är svartkol en pågående utmaning. På grund av Nordens geografiska närhet till Arktis hinner de luftburna sotpartiklarna, som har en atmosfärisk livslängd på cirka två veckor,

nå de arktiska områdena och deponeras på isarna. Detta bidrar till den redan alarmerande smältningen av polarisen, vilket har både regionala och globala konsekvenser.(Enviro-tech, 2024)

Effekterna av svartkol är oproportionerligt stora i förhållande till mängden som släpps ut. Ett ton svartkol i atmosfären har en global uppvärmningspotential som motsvarar hela 900 ton koldioxid. Detta innebär att även om svartkol släpps ut i mindre mängder än koldioxid, har det en avsevärt större kortsiktig påverkan på klimatet. Svartkol absorberar solstrålning mycket effektivt och bidrar snabbt till en ökad uppvärmning av atmosfären. Dess påverkan är särskilt märkbar i känsliga miljöer som glaciärer och polarområden, där dess deponering på snö och is leder till snabbare smältning. På grund av detta betraktas svartkol som en kritisk måltavla i arbetet med att bromsa den globala uppvärmningen. Att minska svartkolutsläppen kan ge en relativt snabb lindring av klimatförändringarnas effekter, vilket gör det till en prioritet för forskare och beslutsfattare världen över. (scientists, 2025)

En dansk studie har också belyst att svartkolutsläpp i Europa till stor del kommer från hushållseldning. Enligt studien orsakas omkring hälften av Europas svartkolutsläpp av ved- och koleldning för uppvärmning i den privata sektorn. Studien varnar för att denna andel kan öka ytterligare, eftersom striktare regler för utsläpp från andra uppvärmningsmetoder, såsom fossila bränslen i industrin, kan leda till ett ökat beroende av vedeldning. Detta är särskilt problematiskt i länder där vedeldning är en vanlig traditionell uppvärmningsmetod och där regleringarna för vedeldning är mindre strikta (Coalition, 2024)

### **4.3 PAH**

Polycykliska aromatiska kolväten (PAH) och kan förekomma både som gaser och partiklar. De bildas vid ofullständig förbränning av organiskt material, såsom kol, olja, och ved. PAH förekommer naturligt i miljön men kan också uppstå genom mänskliga aktiviteter, exempelvis vid industriella processer och fordonsutsläpp. (Gulland, 2024)

The complicated hydrocarbons that spew into the air as smoke from a smouldering wood fire are inherently unstable. And they stink. Hence their formal name: polycyclic aromatic hydrocarbons.

As soon as the tarry droplets exit the chimney their more volatile gases start to evaporate and their chemical make-up changes. In the scheme of things these are heavy molecules, so they eventually fall to ground. There, they mix with water and soil, transforming again as they blend into the background as humus. The key point is that while wood smoke is unhealthy to breathe in high concentrations, it is not poisonous to the environment.

(Gulland, 2024)

De komplicerade kolvätena som rymmer ut i luften från en brasa som pyr/ryker är instabila till natur. Och de luktar. Därför kallas de formellt för polycykliska aromatiska kolväten. Så fort de tjärlika dropparna rymmer ur skorstenen börjar dess mera instabila gaser avdunsta och deras kemiska struktur förändras. I stora hela är dessa molekyler tunga, så de faller förr eller senare till marken. Där blandas de med vatten och jord och förändras igen när de försvinner i marken som humus. Poängen är att fast träd rök är ohälsosamt att andas in i hög koncentration, är den ändå inte giftig för omgivningen.

## **4.4 Förslag på minskning av utsläpp**

Energimyndigheten och Boverket är svenska myndigheter med olika ansvarsområden. Boverket, som ansvarar för samhällsplanering, byggande och boende, har i detta fall fått ett regeringsuppdrag med namnet "Småskalig vedeldning - återrapporteringskrav om tidigareläggande av ekodesign". Energimyndigheten, som är Sveriges statliga energimyndighet, har gjort en analys och presenterat förslag på förändringar gällande småskalig vedeldning i arbetet "Småskalig vedeldning – Energimyndighetens analys och förslag till åtgärder".

### **4.4.1 Energimyndigheten**

Naturvårdsverket har utrett småskalig vedeldning sedan 1980-talet och föreslagit olika åtgärder för att minska utsläpp. Förslag från 1998 och 2003 inkluderar en särskild vedeldningsförordning som kräver tillstånd enligt Miljöbalken för installation, ändring eller användning av värmepannor och lokaleldstäder. Reglerna syftar till att begränsa utsläpp av kolväten, stoft och kolmonoxid, med krav på ackumulatortankar för pannor, bränslekvalitet och eldningsteknik. Modifierade förslag ger kommuner rätt att föreskriva lokala begränsningar beroende på miljö och hälsa, särskilt i tätbebyggda områden. Åtgärder kräver resurser och tidsplanering för att implementeras effektivt. (Filipsson & Karlsson, 2003)

Den föreslagna tillståndsplikten för småskalig vedeldning syftar till att minska miljöpåverkan och förbättra luftkvaliteten, men medför betydande privatekonomiska konsekvenser. Hushåll med äldre vedpannor utan ackumulatortankar drabbas hårdast, då de behöver göra investeringar i nya system eller byta till dyrare bränslen. Totala investeringskostnader uppskattas till 2,5–3 miljarder kronor, och årliga merkostnader för hushållen beräknas till 1,7 miljarder kronor, huvudsakligen på grund av högre bränslekostnader. Hushåll med lägre inkomster, såsom pensionärer, påverkas oproportionerligt mycket. Kostnader varierar geografiskt, med störst påverkan i vissa landsbygdsregioner. (Filipsson & Karlsson, 2003)

#### **4.4.2 Boverket**

Det första förslaget handlar om att skärpa utsläppskraven för rumsvärmare och fastbränslepannor genom ändringar i Boverkets byggregler (BBR). Målet är att tidigarelägga införandet av krav enligt EU:s ekodesigndirektiv, vilket skulle bidra till minskade utsläpp och förbättrad luftkvalitet. Förslaget fokuserar på att reglera nyinstallationer av vedeldningsutrustning för att säkerställa att modern teknik med hög energieffektivitet och lägre utsläpp används. Detta är särskilt viktigt eftersom den äldre utrustningen utgör en stor del av utsläppsproblematiken och bytestakten för dessa produkter är låg. (Valik, 2016)

Konsekvensanalysen visar att skärpta utsläppskrav för rumsvärmare och fastbränslepannor skulle leda till viss minskning av utsläpp, men effekten på totalnivå är begränsad. Detta beror på att de största utsläppen kommer från äldre, ineffektiva modeller som fortfarande används i stor utsträckning. Många av dessa produkter byts sällan ut, då deras livslängd är lång och kostnaden för ny, modern utrustning är hög, vilket utgör en tröskel för konsumenter. Det är dessutom möjligt att installera begagnad utrustning, vilket förvärrar problemet. (Valik, 2016)

För att minska utsläppen krävs det styrmedel som ekonomiska incitament för att underlätta övergången till moderna, mer energieffektiva lösningar. Ett exempel är Tyskland, som infört stödprogram för att uppmuntra konsumenter att investera i nyare teknik. Eftersom befintliga produkter används länge kommer naturlig förnyelse av beståndet att ske mycket långsamt, och problemen med höga utsläpp från äldre modeller kan inte lösas

utan aktiva insatser. Det påpekas även att vissa produkter som inte uppfyller dagens krav fortfarande säljs, vilket gör det ännu svårare att förbättra situationen. (Valik, 2016)

## 5 Vedplacering

Enligt Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY bör ved staplas i en specifik ordning för att optimera förbränningsprocessen och minimera utsläpp. Större vedklabbar placeras i botten, mellanstora klabbar ovanpå, och tändmaterial så som stickor högst upp enligt Figur 3. När tändmaterialet antänds genererar värmen en pyrolytisk nedbrytning i de mellanstora klabbarna, vilket frigör brandfarliga vedgaser. Dessa stiger genom elden och förbränns effektivt när de når en tillräckligt hög temperatur. Därefter fortskrider samma process i de större vedklabbarna. Denna metod möjliggör en stegvis sekundär förbränning, där gaserna från varje nivå förbränns innan de släpps ut, vilket leder till högre verkningsgrad och lägre emissioner. (HSY, 2024)

Om brasan i stället tänds från botten, finns ingen överliggande låga som kan antända de uppstigande vedgaserna. Detta resulterar i en ofullständig förbränning och ökad produktion av partiklar och kolväten, vilket kan observeras som ökad rökutveckling från skorstenen. (HSY, 2024)



*Figur 3. HSY exempelbrasa (HSY, 2024).*

Liknande principer förespråkas av spistillverkaren Jötul, som rekommenderar att tända brasan ovanifrån för optimal förbränning. De föreslår dock en modifierad metod där vedklabbarna staplas luftigt genom att varje lager korsläggs Figur 4, vilket förbättrar syretillförseln och främjar en effektivare förbränning. Trots denna variation är den underliggande termodynamiska processen densamma. (Jötul, 2024)



*Figur 4. Jötul exempelbrasa (Jötul, 2024).*

## 6 Vedart

En omfattande studie vid Östra Finlands universitet har visat att valet av ved spelar en avgörande roll i förbränningsprocessens utsläpp. Genom att genomföra detaljerade mätningar av utsläpp från björk, tall, gran och al i en avancerad förbränningssimulator har forskare identifierat tydliga skillnader. Resultaten visar att björk är det renaste alternativet, medan gran orsakar de högsta utsläppen. Förbränning av björk resulterar i avsevärt lägre utsläpp av kolmonoxid (CO) och totala kolväten (THC) jämfört med andra trädslag. Detta beror på björkens fysikaliska och kemiska egenskaper som möjliggör en mer fullständig förbränning. Gran producerar å andra sidan upp till fyra gånger mer CO och åtta gånger mer THC, vilket innebär att för varje bränt granvedträd släpps betydligt mer oförbrända gaser ut i atmosfären. Dessa gaser bidrar både till smogbildning och kan ha skadliga effekter på luftvägarna. Förutom gasutsläpp, varierar även partikelutsläppen beroende på trädslag. Små partiklar, som kan tränga djupt ner i lungorna och påverka luftvägarna negativt, förekommer i störst mängd vid förbränning av gran och al. Däremot genererar björk och tall avsevärt färre partiklar, vilket gör dem till bättre alternativ ur hälsosynpunkt. Studien belyser även förhållandet mellan förbränning och utsläpp av kväveoxider (NO<sub>x</sub>), vilka är en bidragande faktor till försurning och negativ påverkan på luftkvaliteten. Här utmärker sig al med de högsta utsläppen, sannolikt beroende på dess högre kväveinnehåll. (Tamminen, 2022)

Eri puulajien kosteus vaihteli, mutta se huomioitiin klapien massassa siten, että energiasisältö polttoaineilla olisi sama. (Tamminen, 2022)

Dvs. De olika trädslagens fukthalt varierade, men det var uppmärksammat i klabbarnas massa, så att energiinnehållet är samma. Dessa kompenseringar i massa syns i Figur 5.

<b>Päivämäärä ja mittaussnumero</b>	<b>Polttoaine</b>	<b>Polttoaineen kosteus (%)</b>	<b>Polttoaineen määrä per panos (kg)</b>
12.1.2022 (1)	Mänty	18,3	1,53
13.1.2022 (2)	Kuusi	17,0	1,59
14.1.2022 (3)	Leppä	15,7	1,50
19.1.2022 (4)	Koivu	15,3	1,50
25.1.2022 (5)	Mänty	18,3	1,53
2.2.2022 (6)	Kuusi	17,0	1,59
3.2.2022 (7)	Leppä	15,7	1,50
4.2.2022 (8)	Koivu	15,3	1,50

Figur 5. Fukthalt och massa (Tamminen, 2022).

Enligt (Eckelman, 1997) kan brännbara vikten och vattenmängden räknas ut med formeln:

$$mc = \frac{(w_g - w_o)}{w_o} * 100\%$$

mc = Fukthalt

wg = Fuktig ved

wo = Torr ved

Fukthalt och fuktiga vikten är kända så man löser för torr vikt:

$$w_o = \frac{100 * w_g}{mc + 100}$$

I Figur 6 kan man notera att vattenskillnaden mellan björk och tall 40 g.

	Fukthalt (%)	Massa (kg)	Torr ved (kg)	Vatten (kg)
Tall	18,3	1,53	1,29	0,24
Gran	17	1,59	1,36	0,23
al	15,7	1,5	1,30	0,20
björk	15,3	1,5	1,30	0,20
tall	18,3	1,53	1,29	0,24
gran	17	1,59	1,36	0,23
al	15,7	1,5	1,30	0,20
björk	15,3	1,5	1,30	0,20

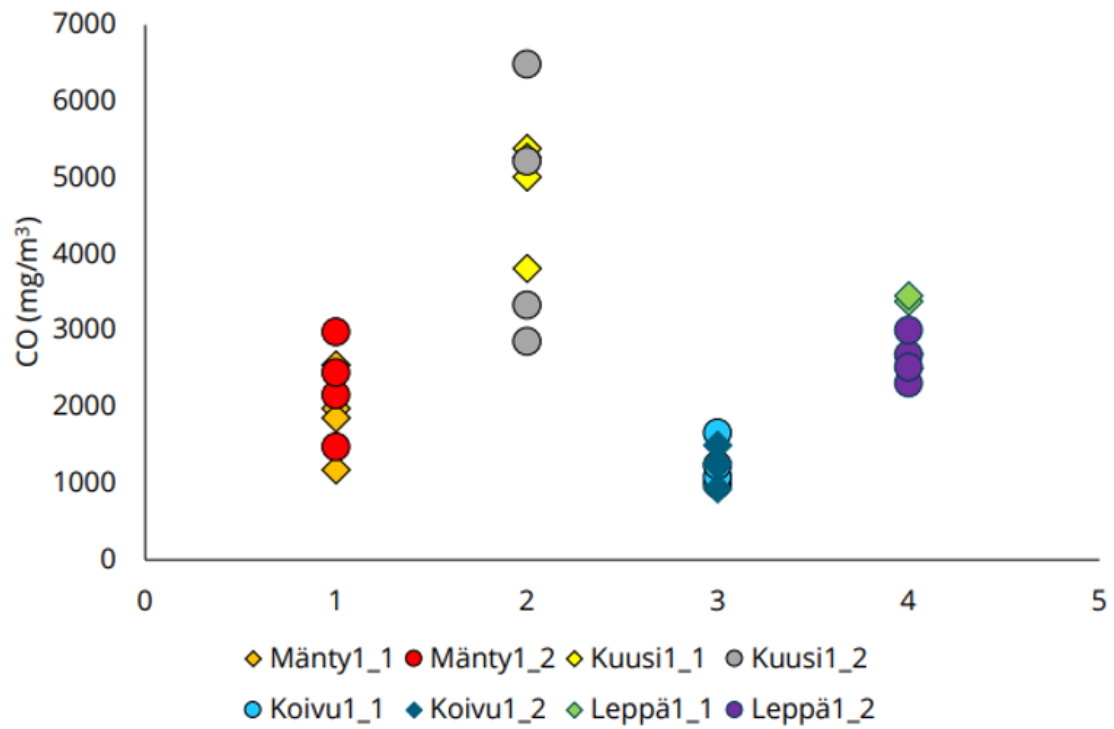
Figur 6. Vattenmängder enligt (Eckelman, 1997).

Med specifika värmeformeln:  $Q = m * c * \Delta T$  och ångbildningsformeln:  $Q = m * L$  får man reda på att 40g mera vatten i brasan kräver 103,8 kJ att förångas.

Arbetet lämnar det oklart huruvida den erforderliga energin för avdunstning av olika mängder vatten i de olika träarterna har beaktats. Detta skapar potentiella komplikationer i förbränningstesterna, eftersom träarterna, trots att de kan ha samma potentiella värmeenergi, innehåller olika mängder vatten. Eftersom varje träslag har en unik fukthalt, krävs olika mängder energi för att förånga vattnet vid förbränning. Denna variation i energibehov påverkar förbränningsprocessens effektivitet. När en högre mängd vatten måste avdunsta vid en lägre förbränningstemperatur, innebär det att mer energi går åt till att förånga vattnet i stället för att användas för att höja temperaturen i bränslet till den nivå som krävs för en fullständig förbränning. Detta leder till en lägre förbränningstemperatur, vilket kan resultera i en ofullständig förbränning och i sin tur leda till högre utsläpp av oförbrända gaser och partiklar. (Vogel, 2005)

Denna effekt är särskilt viktig att ta hänsyn till när man jämför olika träslag, då deras fukthalt varierar. Om denna skillnad i vatteninnehåll inte beaktas kan det ge en missvisande bild av träslagets miljöpåverkan och effektivitet vid förbränning. För att uppnå mer exakt och rättvisande resultat i förbränningstester måste den energi som krävs för att förånga vattnet från varje träslag tas med i beräkningarna. Detta skulle bidra till en bättre förståelse för hur fukthalten påverkar både förbränningstemperaturen och de utsläpp som genereras under förbränningsprocessen.

Vi kan se i **Error! Reference source not found.** att tall kanske i verklighet kunde ha tävlat med björk i form av kolmonoxid utsläpp ifall fukthalten var lik.



Figur 7. Koldioxidutsläpp per träslag (Tamminen, 2022).*Error! Reference source not found.*

## 7 Vedplaceringens påverkan på utsläpp och värmevärde

Syftet var att finna en staplingsmetods vinnare i form av renare utsläpp och högre värmevärde, eller skillnader, till exempel, kan en staplingsmetod ge värme snabbt men inte brinna så länge och en annan tända långsamt men ge värme under en längre tid, har de ändå samma area under värmekurvan.

### 7.1 Placeringsmetoder

Det finns en mängd olika metoder för att placera ved inför eldning till exempel korsvis placering nerifrån och upp, korsvis uppifrån och ner, tipi-/hyddformad placering, halv tipi mot en vägg, samt tätpackad placering uppifrån och ner (HSY-metoden). I det här projektet valdes några av de vanligaste och mest populära metoderna att testa. Samtidigt representerar dessa metoder också olika teoretiska principer för hur en eld utvecklas.

De placeringsmetoder som jämfördes var:

- Korsvis placering med tändning underifrån - en traditionell metod där vedklabbarna läggs i korsade lager och elden startas längst ner som illustrerats i Figur 8.



*Figur 8. Korsvis placering.*

- HSYs rekommenderade tätpackade metod med tändning uppifrån - en mer modern och ofta energieffektiv teknik där elden tänds ovanpå ett tätt packat veduppbygg som illustrerats i Figur 9.



*Figur 9. Top Down placering.*

- Lodrät/halv tipi-placering - där vedklabbarna placeras stående och lutar mot ett hörn eller en vägg i eldstaden som illustrerats i Figur 10. Beroende på spismodell. Denna metod liknar en halv tipi och används ofta för att uppnå god luftcirkulation.



*Figur 10. Lodrät placering.*

Genom att välja metoder med så olika förbränningskaraktär får vi möjlighet att analysera hur placeringsmetoden påverkar både värmeutvecklingen och förbränningsförloppet. Det ger också en praktisk jämförelse mellan traditionella och nyare rekommenderade metoder.

## 7.2 Test media

Till testet valdes granved, primärt på grund av dess tillgänglighet och vertikala integrering i detta fall. Vilket gör den särskilt användbar i tester där placeringsmetodernas inverkan på värmeutvecklingen ska analyseras.

För att minimera variation i vedens fysikaliska egenskaper hämtades allt virke från samma trädstam. Detta tillvägagångssätt begränsar variationen i årsringtäthet och därmed också skillnader i densitet mellan enskilda klabbar. En enhetlig densitet är en viktig förutsättning för att kunna jämföra förbränningsdata mellan olika laddningar utan att resultatet påverkas av olikheter i bränslematerialet.

Veden klövs och torkades utomhus under regnskydd, placerad på en plats med god luftgenomströmning och direkt solexponering. Denna kombination främjar effektiv avdunstning av fukt samtidigt som nederbörd undviks. Torkningen pågick under två säsonger (dvs. cirka 18–24 månader), vilket säkerställer att veden når ett stabilt och lågt fukttillstånd. Därefter förvarades veden inomhus i två veckor innan testerna, i syfte att acklimatiseras till den rådande inomhusmiljön där testerna genomfördes. Detta steg minskar risken för att skillnader i omgivande luftfuktighet påverkar vedens beteende vid antändning.

För att främja homogenitet inom varje vedladdning granskades fukthalten hos samtliga klabbar individuellt. Endast klabbar med fukthalt mellan 5% och 10% inkluderades i testet. Mätningen utfördes med en elektronisk fuktmätare modell brennenstuhl MD 1298680, och flera punkter per klabb kontrollerades för att få en representativ avläsning. Alla klabbar som användes var kvistfria, vilket eliminerar risken för lokala variationer i förbränningshastighet som kan uppstå vid förtätningar i träet. Vikten på varje laddning kontrollerades med digital våg till 3000g, och variationen hölls inom en tolerans på  $\pm 25$

gram för att säkerställa att energiinnehållet var så likvärdigt som möjligt mellan laddningarna.

Volymen på vedladdningarna utvärderades visuellt. Bedömningen omfattade både total storlek och proportionell fördelning av klabbtyper – med en avvägd blandning av stora, medelstora och mindre/tändklabbar. Även helhetsintrycket av varje laddning kontrollerades, så att samtliga konfigurationer uppvisade ungefär samma dimensioner och visuella volym. Denna typ av manuell volymjämförelse, i kombination med noggrann kontroll av massa och fukthalt, säkerställer att skillnader i resultat kan tillskrivas placeringsmetoden snarare än variation i bränslematerialet.

Sammanfattningsvis har betydande ansträngningar lagts på att standardisera vedmaterialet i syfte att skapa så jämförbara testförhållanden som möjligt. Detta möjliggör en mer tillförlitlig analys av hur olika placeringsmetoder påverkar förbränningsförlopp, värmeutveckling och effektivitet.

### **7.3 Värmemätning**

Värmemätningen genomfördes med hjälp av ett typ k termoelement, (FINBULLET K133826) placerat på en fast punkt med högre massa för att minimera påverkan från kortvariga värme fluktuationer och därmed ge en jämnare och mer representativ temperaturavläsning över tid. För att ytterligare säkerställa stabila mätförhållanden valdes en mät-punkt något vid sidan av eldstaden. Detta minimerade risken för direkt exponering för lågor, vilket annars skulle kunna leda till snabba och oregelbundna temperatursvängningar som inte speglar brasans generella värmeutveckling.

Själva temperaturvärdet som registreras har inget absolut eller standardiserat referensvärde, eftersom vi inte täcker hela värmeytan och därmed inte strävar efter att mäta den totala värmeeffekten från varje brasa. Syftet med mätningen är i stället att identifiera relativa skillnader i effekt mellan olika placeringsmetoder, snarare än att fastställa exakta energivärden. Det gör att resultaten är mest meningsfulla i en jämförande kontext, snarare än som fristående mätdata.

Temperaturvärden registrerades med en frekvens på var femte minut. Dessa loggades manuellt på papper för att säkerställa enkel felsökning och spårbarhet, och överfördes därefter till Excel för vidare analys och visualisering. Genom att rita upp temperaturförloppet i grafisk form kan man tydligt följa hur varje brasa utvecklas från tändning, genom den intensiva förbränningsfasen, till dess att lågorna falnar och enbart glöd återstår.

Mätningen fortgick under hela detta förlopp för att fånga den kompletta värmeprofilen för varje brasa. Vid den punkt då lågorna har slocknat och endast glöd återstår, upphör skillnaderna mellan olika placeringsmetoder att vara visuellt eller mätbart tydliga. Alla brasor ser då likadana ut, och värmekurvorna antar en gemensam, utdragen form som tyder på att förbränningsfasen i praktiken är avslutad. Det gör detta skede till en naturlig och meningsfull punkt att avsluta testet.

För att säkerställa jämförbarhet mellan försöken och undvika godtyckliga avbrott, är samtliga mätningar ändå standardiserade till att pågå under en fast tidsperiod på en timme. Detta skapar en gemensam ram för analysen och underlättar jämförelser mellan olika försök, även om vissa brasor slutar ge relevant värme tidigare än så.

## 7.4 Resultat

Med Simpsons regeln kan vi räkna ut en ungefärlig integral eller area på värmekurvorna för att bättre kunna jämföra skillnaderna i totala energin, och den ser ut på följande vis i Figur 11.

Figur 11

För en funktion  $f(x)$  approximeras integralen:

$$\int_a^b f(x) dx \approx \frac{h}{3} \left[ f(x_0) + 4 \sum_{\text{udda } i} f(x_i) + 2 \sum_{\text{jämna } i} f(x_i) + f(x_n) \right]$$

Där:

- $h = \frac{b-a}{n}$  är steglängden (mellan datapunkter),
- $n$  är **jämnt antal delintervall** (måste vara jämnt!),
- $x_0, x_1, \dots, x_n$  är datapunkter (t.ex. tid),
- $f(x_i)$  är funktionsvärdena (t.ex. temperaturer).

Figur 11. Simpsons regel.

Och för att anpassa formeln till vårt bruk ser den ut som i Figur 12. Figur 12

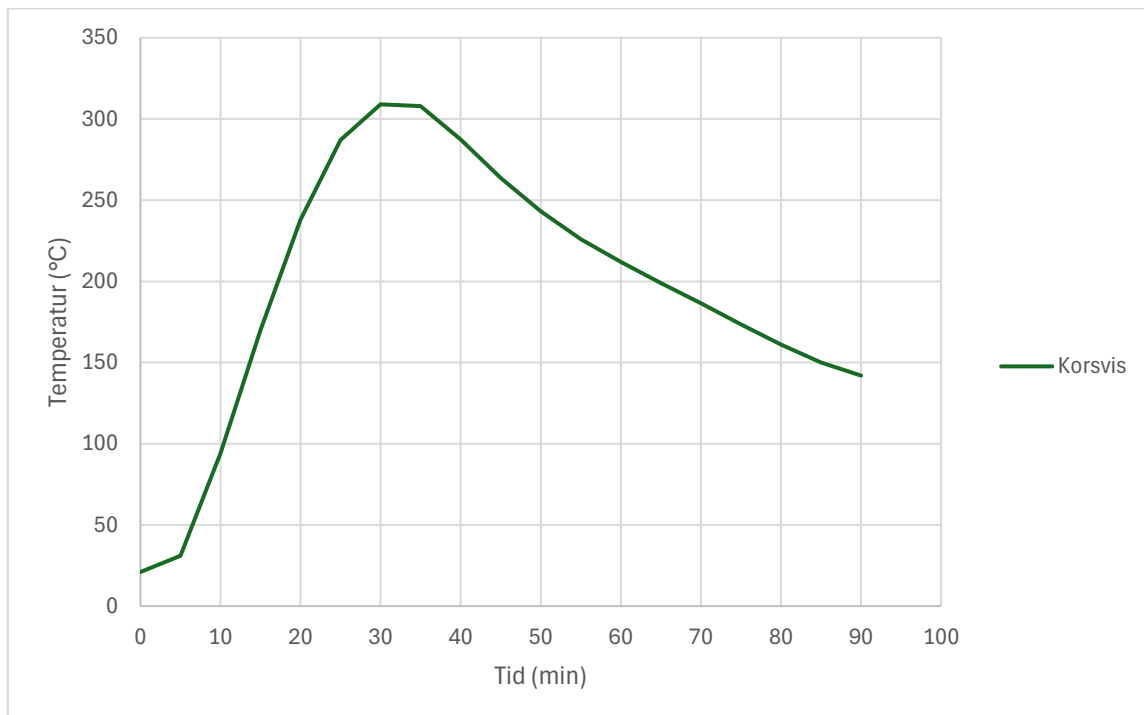
- $x_0 = 0, x_1 = 5, \dots, x_{18} = 90$
- $h = 5$
- Temperaturen  $T_i = f(x_i)$  ges i varje punkt.

Formeln blir:

$$\text{Area} \approx \frac{5}{3} [T_0 + 4(T_1 + T_3 + \dots + T_{17}) + 2(T_2 + T_4 + \dots + T_{16}) + T_{18}]$$

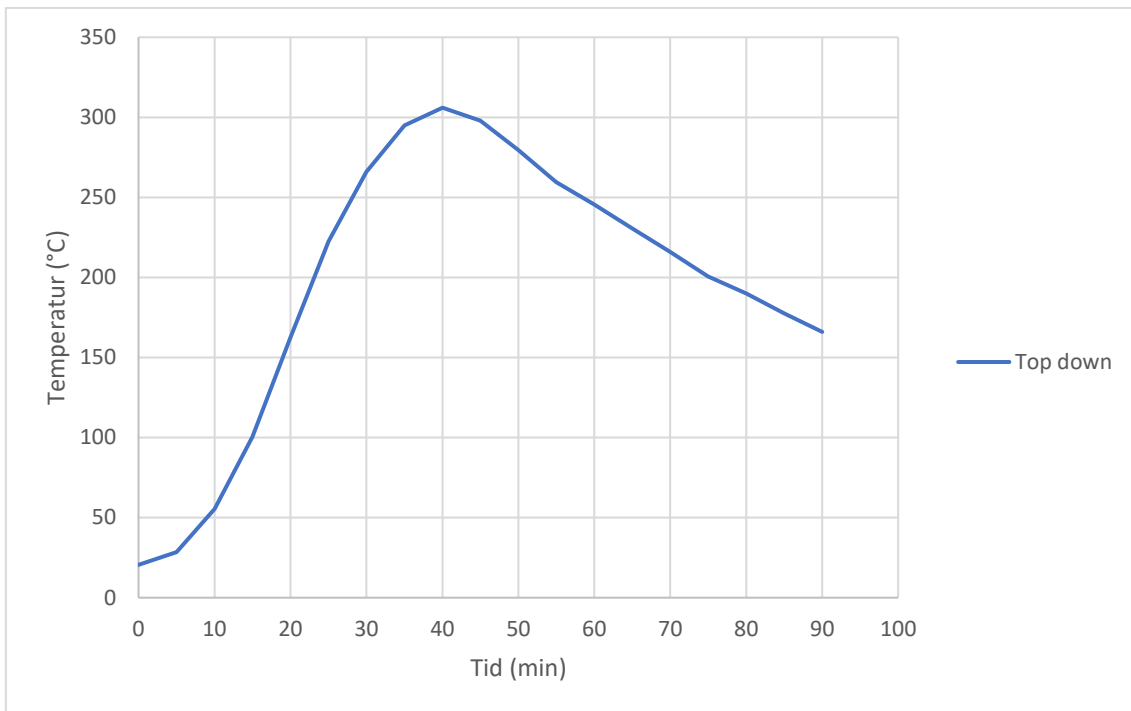
Figur 12. Anpassad Simpsons regel.

Som resultat av Simpson regeln får vi värdena 18095 °C·min För korsvis metoden, 18130,8 °C·min för Top down metoden och 18981,7 °C·min för lodräta metoden. Visualiserats i **Error! Reference source not found.**, **Error! Reference source not found.** och **Error! Reference source not found.**



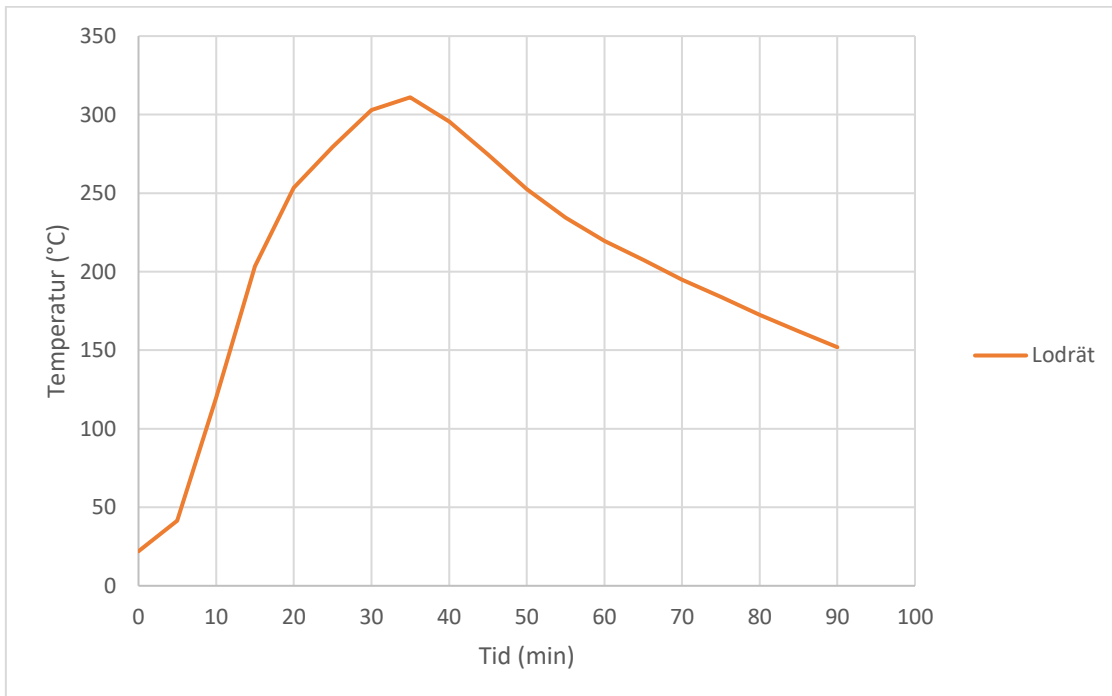
Figur 13. Värmekurva för korsvis placering.

### 7.4.1 Top down



Figur 144. Värmekurva för top down placering.

### 7.4.2 Lodrät



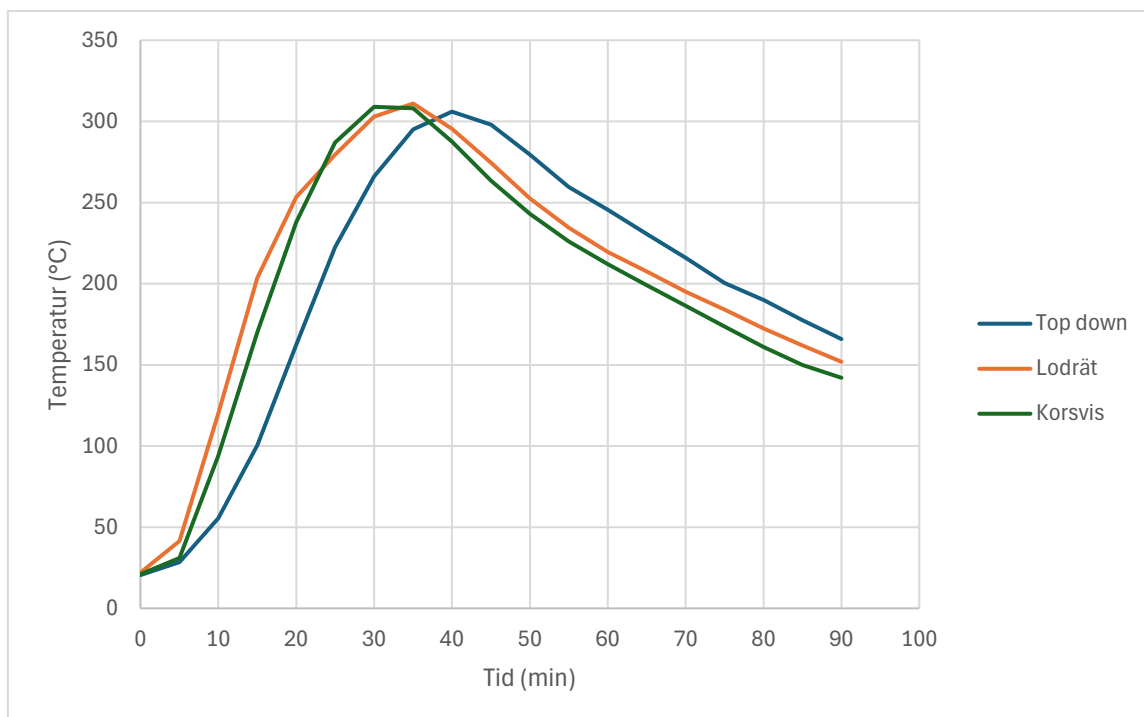
Figur 15. Värmekurva för lodrät placering.

## 7.5 Tolkning / Analys

**Error! Reference source not found.** Visar värmeutvecklingskurvorna för de tre testade tänd metoderna: Top down, Korsvis placering samt lodrät placering. Genom att visualisera kurvorna i samma diagram blir skillnaderna i förbränningsförlopp tydliga. Den mest markanta skillnaden är att Top down metoden uppvisar en fördröjd start, men bibehåller förbränningen under en längre tidsperiod jämfört med de övriga metoderna.

Trots att temperaturförloppen för den traditionella och lodräta metoden till stor del liknar varandra, uppvisar den lodräta metoden en avsevärt större area under kurvan. Eftersom arean under temperaturkurvan är proportionell mot den totala mängden genererad värme, kan detta indikera att den lodräta metoden uppnått en mer effektiv och fullständig förbränning.

Därmed tyder resultaten på att den lodräta metoden genererat mest värme per gram ved, vilket i förlängningen kan tolkas som ett tecken på högre verkningsgrad och renare förbränning i denna försöksupställning.



Figur 156. Värmekurvorna jämförelse.

## 8 Slutsats

Arbetet ger en god inblick i förbränning i Norden, dess påverkan på klimatet samt de åtgärder som vidtas för att minska dess negativa effekter. Det ger också förståelse för vilka utsläpp som är mest betydelsefulla och hur dessa påverkar människors hälsa.

Forskningsresultaten var tydliga, men det finns behov av tester i större skala med fler upprepningar än tre per brasa, samt med varierade placeringsmetoder. Resultaten påverkas dessutom av externa faktorer som inte kan kontrolleras, såsom luftfuktighet, temperatur, vind och lufttryck.

Största inverkan kan man göra med modern eldtröstning och torr ved, även vedarten har inverkan på utsläpp och värmevärde och björk och al visade sig vara de mest miljövänliga. Genom att använda sig av lodrät placeringsmetod kan man göra en marginell inverkan på sitt utsläpp och eldstadens verkningsgrad. Eftersom björkved brinner renare och med högre verkningsgrad kan man anta att det bildas mindre sot i skorsten.

## Källor

- Alvarez, H. (1991). *Energiteknik del 1*. Studentlitteratur.
- Coalition, C. (2024). *CCACoalition*. Hämtat från Where there is fire, there is smoke: <https://www.ccacoalition.org/news/where-there-fire-there-smoke>
- Eckelman, C. (den 24 Februari 1997). *Forestry & natural resources*. Hämtat från Purdue university: (<https://www.extension.purdue.edu/extmedia/FNR/FNR-156.pdf>)
- Envirotech. (2024). *Which Countries Emit the Most Black Carbon?* Hämtat från Envirotech: <https://www.envirotech-online.com/news/air-monitoring/6/breaking-news/which-countries-emit-the-most-black-carbon/58547>
- EPA. (2025). *Overview of Greenhouse Gases*. Hämtat från EPA: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>
- EPA. (2025). *Why Wildfire Smoke is a Health Concern*. Hämtat från EPA.
- Filipsson, E., & Karlsson, G. (2003). *Småskalig vedeldning Energimyndighetens analys och förslag till åtgärder*. statens energimyndighet.
- Gulland, J. (den 20 03 2024). Hämtat från Woodheat: <https://www.woodheat.org/index.php>
- HSY. (2024). *Sytytä päältä*. Hämtat från HSY: <https://www.hsy.fi/poltapuhtaasti/tulisijan-kaytto/sytyta-paalta/>
- Jötul. (2024). *NÄIN SYTYTÄT TULEN TULISIJAAN*. Hämtat från Jötul: <https://www.jotul.fi/oppaat-ja-vinkit/sytytysohjeet/nain-sytytat-tulen-tulisijaan>
- Kilgore, G. (2024). *Carbon Footprint of Wood Burning Stoves: The Real Answer*. Hämtat från 8billiontrees: <https://8billiontrees.com/carbon-offsets-credits/carbon-ecological-footprint-calculators/carbon-footprint-of-wood-burning-stoves/>
- Love-logs. (2024). *Is Burning Wood Bad for the Environment?* Hämtat från Love-logs: <https://www.love-logs.com/blogs/science-and-the-environment/is-burning-wood-bad-for-the-environment#:~:text=Renewability%20of%20firewood,are%20felled%20they're%20replaced.>
- Naturvårdsverket. (den 15 May 2009). *Elda rätt*. Hämtat från Naturvårdsverket: <file:///C:/Users/tumpp/AppData/Local/Microsoft/Windows/INetCache/Content.Outlook/CIXSWVLF/978-91-620-8392-2.pdf>
- scientists, D. a. (den 2 3 2025). *Wood burning and our climate*. Hämtat från Doctors and scientists: <https://www.dsawsp.org/environment/climate>
- Tamminen, R. (2022). *Puulajin vaikutus pienpolton päästöihin*. University of eastern Finland.
- Turns, S. R. (2012). *An introduction to combustion*. McGraw Hill Education.
- Valik, J. (2016). *Småskalig vedeldning Återraorderingskrav om tidigareläggande av ekodesign*. Boverket.
- van Loo, S., & Koppejan, J. (2008). *The handbook of biomass combustion and co-firing*. Earthscan.
- Vogel, M. (2005). *Heating with wood: Principles of combustion*. Hämtat från Montana State University: <https://woodlandinfo.org/wp-content/uploads/sites/310/2017/09/mt198405hr.pdf>