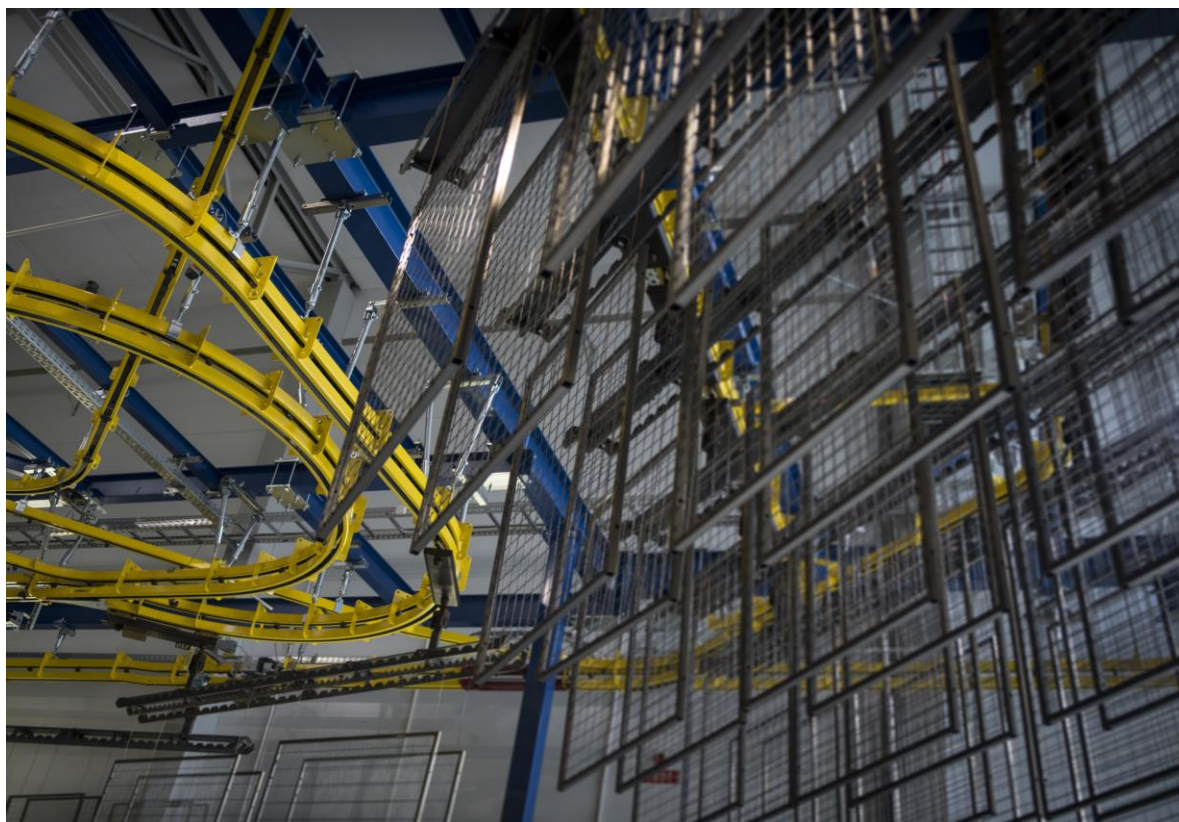




CHALMERS



Energikartläggning av industriell pulverlackering

Förstudie av energieffektiviseringsförslag

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammen mekatronik och maskinteknik

Jakob Lagerström
Edvin Törefors

**INSTITUTIONEN FÖR
MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER**

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025
www.chalmers.se

Energikartläggning av industriell pulverlackering

Förstudie av energieffektiviseringsförslag

Examensarbete inom högskoleingenjörprogrammen mekatronik och maskinteknik

JAKOB LAGERSTRÖM

EDVIN TÖREFORS

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Avdelningen för Mekanik och maritima vetenskaper

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025

Energikartläggning av industriell pulverlackering
Förstudie av energieffektiviseringsförslag
Examensarbete inom högskoleingenjörprogrammen mekatronik och maskinteknik
JAKOB LAGERSTRÖM
EDVIN TÖREFORS

© JAKOB LAGERSTRÖM, EDVIN TÖREFORS, 2025

Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Avdelningen för Mekanik och maritima vetenskaper
Chalmers tekniska högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon: + 46 (0)31-772 1000

Omslag:
Nätpaneler som färdas genom Troax AB's pulverlackering

Tryckeri /Institutionen för Mekanik och maritima vetenskaper
Göteborg, Sverige 2025

Förord

Detta examensarbete på 15 högskolepoäng är gjort i samarbete med Troax AB under vårterminen 2025 på Chalmers tekniska högskola. Arbetet är uträttat av Jakob Lagerström och Edvin Törefors. Jakob studerar mekatronik, 180 hp och Edvin studerar maskinteknik, 180 hp.

Vi vill rikta ett stort tack till våra handledare på Troax: Mikael Landahl och Tomas Wettefors, som har väglett och hjälpt oss genom hela arbetet. Tack även till Calle Jacobsson och Gustav Kennestig på Troax som möjliggjorde detta arbete.

Tack också till Mats Andersson på Chalmers, handledare och examinator, som har varit ett viktigt bollplank för oss genom arbetets gång.

Jakob Lagerström

Edvin Törefors

Göteborg, maj 2025

Abstract

A significant portion of Sweden's total energy consumption is attributed to the industry, specifically 38%. With a drastic increase in energy prices and heightened environmental demands, it should be in the interest of industrial companies to streamline and enhance their processes from both economic and environmental perspectives.

This report includes an energy mapping of Troax's powder coating operation. The energy mapping was conducted through measurements taken on the drying, curing, and primer oven during four different operational stages: normal operation, idle, startup, and measurement for low curing powder.

The results indicated that substantial amounts of energy are lost in the powder coating process, with only 16% being used for heating goods under normal operation through the drying and curing oven. Simultaneously, 60% of the energy consumption is lost through ventilation, radiation from outer surfaces, and thermal leakage through openings. The heating of the load carriers accounts for the remaining energy consumption (24%).

Furthermore, a preliminary study on energy efficiency proposals has been conducted. The proposals that have been analysed from an energy perspective include low-curing powder and increased hanging density. The results showed that low-curing powder provides an energy saving of 15%, equivalent to 1 GWh annually, if it can be implemented.

Since the thesis has not assessed what is achievable regarding increased hanging density, an increase of 10% in hanging density was established as a reference for increased hanging density. The results indicated that an energy saving of 8%, amounting to 0.5 GWh annually, can be obtained if the hanging density is increased by 10%. That said, the potential for savings grows with a greater increase in hanging density.

Future work is recommended to evaluate the feasibility of implementing low-curing powder as well as increasing hanging density.

Keywords: energy mapping, powder coating, low temperature coating powder, hanging density,

Sammanfattning

I Sverige står industrin för en stor andel av den totala energiförbrukningen, närmare bestämt 38%. Med ett drastiskt ökat energipris och större miljökrav bör det ligga i industriföretagens intresse att effektivisera och förbättra sina processer ur såväl ekonomi- som miljösynpunkt.

I denna rapport har en energikartläggning av Troax pulverlackering utförts. Kartläggningen gjordes genom mätningar på tork-, härd och primerugnen i fyra olika driftsstadier:

normaldrift, tomgång, uppstart och mätning för låghärdande pulver.

Resultatet visade att stora mängder av energin går förlorad i pulverlackeringen, enbart 16% går till uppvärmning av gods vid normaldrift genom tork- och härdugnen. Samtidigt som 60% av energimängden förloras i processen genom ventilation, strålning genom yttre ytor samt värmeläckage genom öppningar. Uppvärmning av bommar står för resterande energimängd (24%).

Dessutom har en förstudie på energieffektiviseringsförslag gjorts. De förslag som har analyserats ur energisynpunkt är låghärdande pulver samt ökad hängdensitet. Resultatet visade att låghärdande pulver ger en energibesparing på 15%, 1 GWh årligen, om det är möjligt att implementera.

Eftersom examensarbetet inte har utvärderat vad som är möjligt att uppnå gällande ökad hängdensitet gjordes ökning av hängdensitet på 10% som referens till ökad hängdensitet. Resultatet visade att en energibesparing på 8%, 0.5 GWh årligen, kan erhållas om hängdensiteten ökas med 10%. Med det sagt, besparingspotentialen växer i förhållande till ökningen i hängdensitet.

Framtida arbeten rekommenderas att utvärdera den praktiska möjligheten att implementera låghärdande pulver samt att öka hängdensiteten.

Innehåll

1.	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	1
1.3	Avgränsningar	1
1.4	Precisering av frågeställning.....	2
2.	Referensram.....	3
3.	Introduktion till området.....	4
3.1	Pulverlackering.....	4
3.1.1	Generell processbeskrivning	5
3.2	Troax AB anläggning.....	7
3.3	Energieffektiviseringsförslag samt avgränsningar	7
3.3.1	Låghärdande pulver.....	7
3.3.2	Ökad hängdensitet.....	7
3.3.3	Återvinning av spillvärme avgränsas	7
4.	Metod.....	8
4.1	Planering och arbetets inledningsfas.....	8
4.2	Praktiskt genomförande av mätningar.....	8
4.2.1	Normaldriftsmätning.....	8
4.2.2	Tomgångsmätning.....	9
4.2.3	Mätning för låghärdande pulver.....	9
4.2.4	Mätning för uppstartscykel.....	9
4.2.5	Effektfördelning vid normaldrift och teoretisk maxlast	11
4.4	Låghärdande pulver.....	11
4.5	Ökad hängdensitet	12
5.	Resultat av energikartläggning.....	13
5.1	Normaldriftskörning	13
5.2	Tomgångskörning.....	13
5.3	Uppstartscykel	13
5.3.1	Energiförbrukning upp till olika temperaturer	14
5.4	Mätning för låghärdande pulver.....	16
5.5	Effektfördelning.....	17
5.6	Jämförelse av uppstartscykel mot tomgångskörning	18
6.	Utvärdering av energieffektiviseringsförslagen.....	19
6.1	Analys av låghärdande pulver.....	19
6.2	Analys av ökad hängdensitet.....	20

6.3 Alternativ som uppkommit under arbetets gång	20
6.3.1 Drift med tomma bommar.....	20
6.3.2 Minskning av genomströmningen av antalet bommar	21
7. Slutsats och rekommendation.....	22
7.1 Framtida arbeten.....	22
8. Referenser.....	23

1. Inledning

För att inleda denna avhandling kommer en kort presentation av företaget för vilket examensarbetet kommer att utföras. Troax är ett globalt börsnoterat företag som tillverkar lösningar för att skydda människor, egendom och processer, med säte i Tyngel. År 2023 hade koncernen 1141 anställda och en årsomsättning på 2,6 miljarder (Troax Group AB, 2024). Examensarbetet kommer att utföras vid huvudanläggningen på Troax AB i Tyngel.

1.1 Bakgrund

Energifrågorna blir alltmer relevanta i dagens industriprocesser, där miljökrav och höga energipriser driver företag att se över sin energikonsumtion. För att säkerställa en kostnadseffektiv och hållbar industriprocess krävs en kartläggning av energianvändningen.

På Troax är pulverlackeringen en av de mest energikrävande processerna och därmed en viktig del att kartlägga för att få underlag för energieffektiviseringsåtgärder. Med en detaljerad energikartläggning av pulverlackeringen kan företaget få en bättre förståelse för energiförbrukningen och fatta beslut för optimering av processen och utföra kostnadsbesparingar.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att kartlägga energiförbrukningen i pulverlackeringsprocessen på Troax för att skapa underlag för beslutsfattande. Energikartläggningen ska ge en bild av var och hur energi förbrukas i olika driftslägen och bidra med en ökad förståelse om hur energiförbrukningen kan minskas utan att äventyra process, produkt eller produktionskvalitet.

1.3 Avgränsningar

Att avgränsa examensarbetet är väsentligt för att skapa en tydlig bild av dess innehåll. I denna avhandling kommer, som tidigare nämnt, enbart pulverlackeringen att betraktas. Hos vilket enbart energiförbrukningen för uppvärmningen av ugnarna kommer att mätas, som går på biogas. Skälet till detta är att ugnarna står för den största delen av den totala energiförbrukning i pulverlackeringen, och att mätningarna då uppskattas vara en tillräckligt god representation för hela pulverlackeringen. Ytterligare, kommer mätningarnas *relativa* förhållande att appliceras även på förbehandlingen. Resultaten av mätningarna ska sedan sammanställas och tolkas som underlag för energieffektiviseringsåtgärder.

Vidare är det minst lika viktigt att påpeka att ett helhetsperspektiv ska användas. Således blir infallsvinkeln på problemställningen naturligtvis vägd ur ett kostnadsperspektiv.

1.4 Precisering av frågeställning

Frågor som förväntas besvaras av energikartläggningen är framförallt frågor som rör fördelningen av uppvärmningsenergin i pulverlackeringsprocessen. Exempelvis borde ett svar erhållas om när det är lönsamt att stänga av pulverlackeringen och inte, genom att jämföra tomgångskörningens genomsnittliga effekt mot uppstartscykelns energiförbrukning. Samt, hur stor mängd av energin som används som inte är värdeskapande. Sammanfattningsvis borde resultatet av mätningarna ge en uppfattning om vilket håll företaget ska rikta sig åt för störst kostnadsbesparing.

2. Referensram

I detta kapitel kommer två tidigare arbeten att presenteras inom samma verksamma område. Dessa kommer användas som referens för att verifiera antaganden och bistå med kunskap i områden i pulverlackeringsprocessen som enbart ytligt kommer att behandlas i denna rapport, för att skapa en bättre blick över processen.

2011 utfördes en masteruppsats på Chalmers tekniska högskola i samarbete med Quality Powder Coating AB där en energikartläggning på deras pulverlackering genomfördes (Bergek, 2011). Denna avhandling innehåller en genomgripande energikartläggning (energifördelning bland annat) med fokus på att återanvända spillvärme. Av resultatet drogs slutsatsen att värmeväxling skulle införas för en energibesparing på 21%, samt att värmeväxlingen skulle införas i samma enhet i processen för att bibehålla sin flexibilitet.

År 2018 genomfördes ett examensarbete på Umeå Universitet, tillsammans med Ålö AB, där en energikartläggning på deras tork- samt härdugn uträttades (Stoehr, 2018). Även denna avhandling innehåller mycket relevant information inom området som ska undersökas, avhandlingen fokuserar på att minska transmissionsförlusterna genom tilläggsisolering. Dessutom jämfördes två fall, där det visade sig att det var mycket mer energikrävande att låta ugnarna tomgångsköra i tre och en halvtimme än *en* (under samma tid) avstängning samt uppstart av dem.

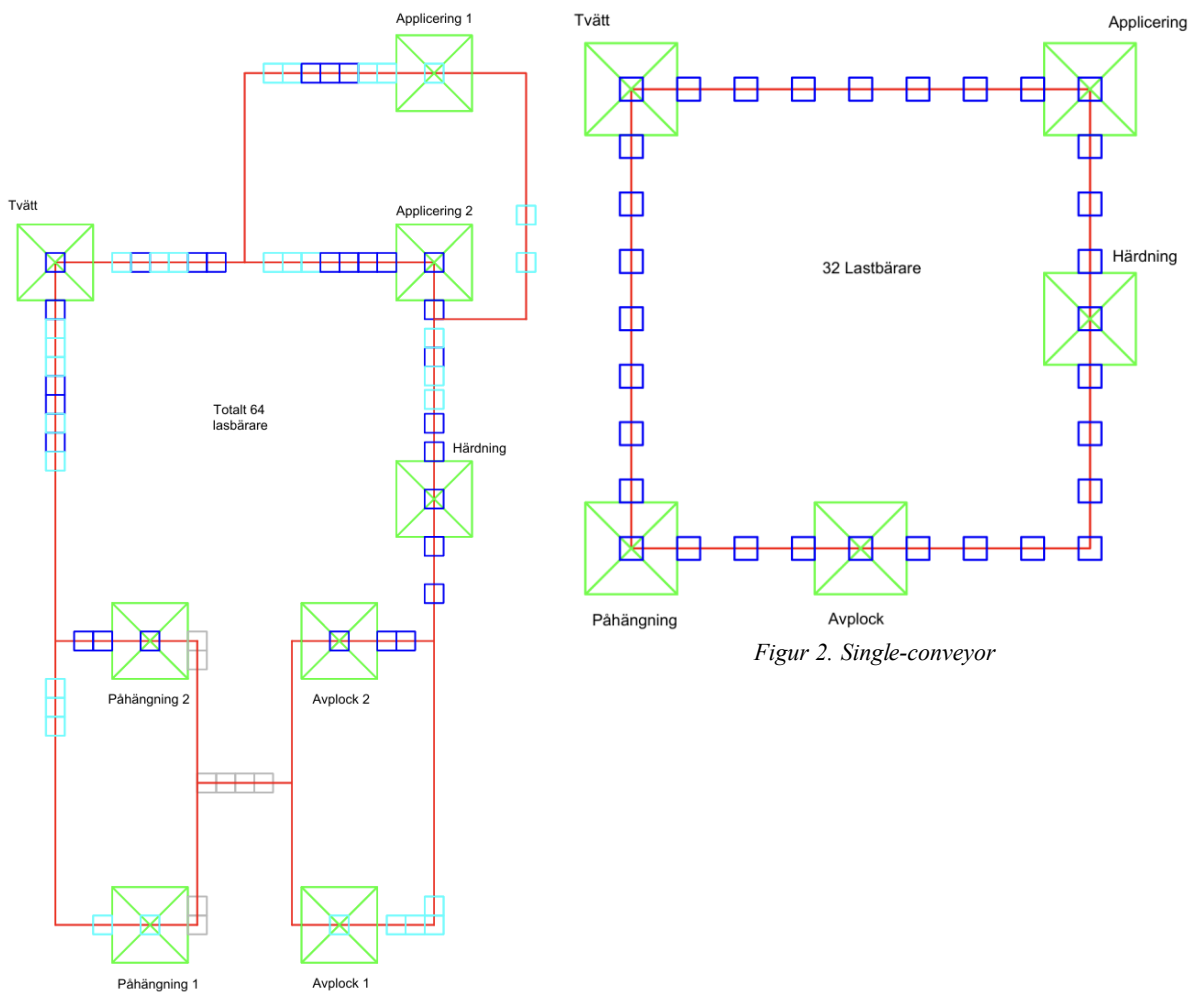
3. Introduktion till området

I detta kapitel kommer det presenteras hur pulverlackering fungerar samt hur Troax AB pulverlackering ser ut. Dessutom kommer en redogörelse för energieffektiviseringsförslag, samt förslag som avgränsas bort från detta arbete.

3.1 Pulverlackering

Pulverlackering är en av de mest populära (och prisvärda) ytbehandlingsmetoderna och jämfört med många andra lackeringsmetoder, exempelvis våtlackering, betraktas pulverlackering som mer miljövänlig (Demex Coating AB, 2025). De stora fördelarna med pulverlackering är att det ger ett mycket bra korrosionsskydd, jämn och slitstark yta och möjligheten att lackera i vilken färg som helst.

Värt att tillägga är att det ofta talas om anläggningar som antingen är *single-conveyor* eller *power-and-free*. Skillnaden mellan dessa är att en *single-conveyor* enbart har ett spår, vilket innebär att den har samma hastighet genom hela processen. Medan *power-and-free* är flerspårig och använder en bom som har möjligheten att frikopplas för att byta spår, där spåren kan ha olika hastigheter. Vidare har *power-and-free* möjligheten att köra flera färger samtidigt, medan det hos en *single-conveyor* enbart är möjligt att köra en färg åt gången. Se figur 1 för illustration av *power-and-free* samt figur 2 för illustration av *single-conveyor*.



Figur 1. Power-and-free

Figur 2. Single-conveyor

För att förtydliga hur en bom rent praktiskt kan se ut i en power-and-free anläggning, har en AI-genererad bild skapats, se figur 3.



Figur 3. AI-genererad bild över ett power-and-free system med bommar på conveyorn.

Vad som kan ses i figur 3 är bommar på conveyorn, där upphängningen sker i delen som är grön eller brun och delvis ihålig. Det ska förtydligas att detta enbart är en schematisk bild och att bommar kan se ut på olika sätt.

3.1.1 Generell processbeskrivning

Processen börjar med att arbetsobjekt hängs upp på hackskenor eller bommar som transporteras av conveyorn. I power-and-free-systemet medför conveyorn bommen, som hackskenorna är monterade på. Det finns en uppsjö av olika upphängningslösningar, eftersom sällan är ett fall det andra likt.

Det som följer därefter är att godset (arbetsobjekten) förs in i en förbehandling, som används för att tvätta bort smuts och olja från arbetsobjekten samt för att öka färgens vidhäftning mot objektet. Förbehandlingen är en process som innehåller flera *steg*, hur förbehandlingen går till och hur många steg den innehåller kan skilja sig från process till process, beroende på vilka krav som ställs på produkten. Förbehandlingen är en av de mest avgörande faktorerna för slutresultatet och vidhäftning av pulvret.

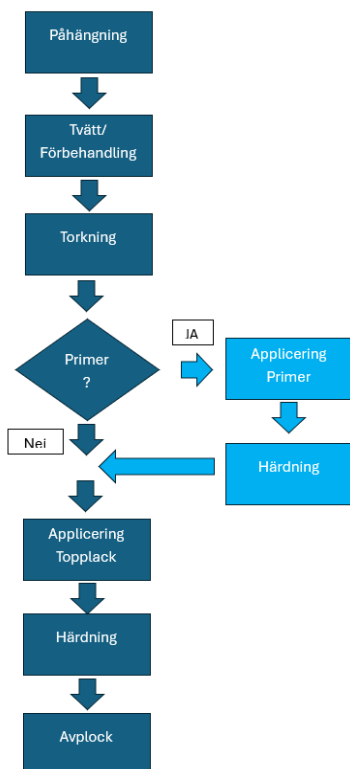
Efter förbehandlingen ska godset torkas, detta görs vanligtvis med en ugn.

Godset kyls vanligtvis ned med fläktar till rumstemperatur för att sedan få pulvret applicerat. Appliceringen av pulvret kan vara automatisk eller manuell. Figur 4 nedan illustrerar en automatiserad pulverapplicering.



Figur 4. AI-genererad bild över automatiserad pulverapplicering

I vissa fall kan en primer användas för att grundlackera innan godset topplackeras. För att få pulvret att fastna på godset, laddas färgen elektriskt. Därefter härdas färgen i en härdugn, som har högre temperatur än pulverlackens smältpunkt (så fungerar det, 2024). Slutligen kyls godset ner och förs vidare för avplockning. Se figur 5 för en illustration av pulverlackeringsprocessen som flödesschema. Vidare, för att få en uppfattning hur det kan se ut när godset är färdiglackerat, se figur 6 som är en AI-genererad bild där godset lämnat härdugnen och väntar på avplock.



Figur 5. Flödesschema över pulverlackeringsprocessen



Figur 6. AI-genererad bild på en single-conveyor anläggning som visar färdiglackerade produkter

3.2 Troax AB anläggning

Troax anläggning är av sorten power-and-free. Den använder både robot och människor för upphängning samt avplockning. Deras förbehandling innehåller sju *steg*, temperaturen på de två första stegen håller en temperatur på 55-60°C, övriga är rumstempererade. Efterföljande processteg är en torkugn som har en temperatur på 130°C, följt av fläktar för nedkylning av godset. Sedan appliceras färg genom automatiska pulverboxar. Godsets färd fortsätter sedan in i härdugnen, med en temperatur på 190°C, där pulverlacken härdas. Slutligen, efter härdugnen, kyls godset ner i en kylzon och förs vidare till en buffertzon, där godset placeras sig tillhörande rätt beställning. Efter det transporteras godset vidare för manuell eller automatiserad avplockning.

3.3 Energieffektiviseringsförslag samt avgränsningar

Under detta delavsnitt kommer energieffektiviseringsförslag samt förslag som avgränsas, att presenteras.

3.3.1 Låghärdande pulver

Låghärdande pulver är ett energieffektiviseringsförslag som är högaktuellt. I detta fall handlar det om att sänka temperaturen på härdugnen från 190°C till 160°C. Examensarbetet syftar till att göra en förstudie av detta energieffektiviseringsförslag.

3.3.2 Ökad hängdensitet

Ett annat förslag som också kommer att analyseras är ökad hängdensitet. Definitionen av hängdensitet kan beskrivas som antalet gods per conveyormeter. Det vill säga, i grunden en fråga om ökning av genomströmning av gods i processen per tidsenhet. Vilket i förlängningen även kan ses som en fråga om produktionskapacitetsökning.

3.3.3 Återvinning av spillvärme avgränsas

Detta arbete avgränsar sig från energieffektiviseringsförslaget återvinning av spillvärme. Det finns flera faktorer som spelar in i beslutet. Ett starkt skäl är att det inte är aktuellt hos vederbörande företag att bygga om pulverlackeringen. Dessutom är det svårt att återvinna överskottsvärme i industriell applikation vid temperaturer under 200°C (Little & Garimella, 2011).

Med det sagt kan det fortfarande finnas stora möjligheter för återvinning av spillvärme. Men det avgränsas i detta arbete.

4. Metod

I detta kapitel redogörs för genomförandet av arbetet däribland planering, mätupplägg och beräkningsmetoder. Uppvärmningen av ugnarna sker genom biogas.

4.1 Planering och arbetets inledningsfas

I arbetes inledning gjordes en planeringsrapport för att strukturera arbetet. Detta gjordes för att bestämma syfte, mål samt avgränsningar för arbetet. Dessutom gjordes det, under arbetes inledning, datainsamling vad gäller pulverlackering i allmänhet, men också data specifikt kopplat till undersökande företags pulverlackeringsprocess.

4.2 Praktiskt genomförande av mätningar

Energikartläggningen baserades på mätningar från en mätare som kopplades till de tre ugnarna, hårdugnen, primerugnen och torkugnen. Från mätaren avlästes data i form av gasvolym i normalkubikmeter (m^3n).

Momentanföbrukningen avlästes inte på grund av att tillfälliga variationer gjorde det svårt att få ut ett representativt värde. I stället gjordes manuella avläsningar vid bestämda tidpunkter, vilket gav en bättre fördelning av den genomsnittliga biogasförbrukningen.

För att bestämma gasförbrukningen under en viss tid användes ekvation A. Där V_{slut} är förbrukningen av gas under periodens slut och V_{start} vid dess början.

$$\text{Gasförbrukning} = V_{slut} - V_{start} \quad (\text{A}).$$

För att omvandla gasförbrukningen till energi (kWh) användes en omvandlingsfaktor 10 kWh / m^3n (Energigas Sverige AB, 2023), enligt ekvation B.

$$\text{Energi (kWh)} = \text{Gasförbrukning} * 10 \quad (\text{B}).$$

Effekten (kW) beräknades genom att dividera energin (kWh) med tiden i timmar enligt ekvation C nedan.

$$\text{Effekt (kW)} = \frac{\text{Energi (kWh)}}{\text{Tid (timmar)}} \quad (\text{C}).$$

Varje mätning använde samma mätmetodik där varje mätning avlästes manuellt och följde samma grundläggande principer. Men under olika förutsättningar, vilket kommer att beskrivas för varje mätning i senare delavsnitt.

4.2.1 Normaldriftsmätning

Den första mätningen som genomfördes var normaldriftsmätningen. Mätningen utfördes under en produktionsdag när pulverlackeringen kördes under ”normal” drift, vilket innebär produktion av till största del nätpaneler.

Under tiden för mätningen registrerades biogastillförseln för tork- och hårdugnen.

Primerugnen körs inte alltid och uteslöts således ur mätningen. Därefter omvandlades biogasförbrukningen till energiförbrukning, som sedan dividerades med tiden i timmar. Vilket gav effektförbrukningen vid normaldrift enligt ekvation A, B och C ovan.

4.2.2 Tomgångsmätning

Mätningen för tomgångskörning genomfördes vid ett tillfälle då produktionen i pulverlackeringen inte påverkades. Härdugnen och torkugnen var i drift, medan primerugnen var avstängd, så att ett *relativt* förhållande mellan normaldrift och tomgång senare kunde erhållas.

Tomgångsmätningen motsvarade normaldriftsmätningen, fastän utan vare sig gods- eller bomflöde. Effektförbrukningen för tomgångskörningen beräknades på samma sätt som för normaldrift.

4.2.3 Mätning för låghärdande pulver

Under mätningen för låghärdande pulver gjordes två mätningar under tomgångskörning. Där den första mätningen gjordes då härdugnen hade en driftstemperatur på 160°C och torkugnen 130°C, samtidigt som primerugnen var avstängd. Under den andra mätningen stängdes torkugnen av. Effektförbrukningen under båda mätningarna beräknades enligt samma principer som för normaldrifts- och tomgångsmätningen.

4.2.4 Mätning för uppstartscykel

Under mätningen för uppstartscykeln registrerades värden för gasförbrukning, temperatur för respektive ugn samt tiden för varje mätning. Mätningarna genomfördes med tio minuters intervall, från det att gasförbrukningen påbörjades till dess att varje ugn uppnått sin driftstemperatur.

Driftstemperaturer för respektive ugn:

- Härdugn: 190°C
- Primerugn: 170°C
- Torkugn: 130°C

Planerad metod

Under det planerade utförandet var det tänkt att varje ugn skulle starta sin uppvärmningsprocess från rumstemperatur till driftstemperatur samtidigt. Mätningarna under intervallet skulle sedan användas för att identifiera den totala energiförbrukningen för att varje ugn skulle nå sin driftstemperatur.

Verkligt utförande

På grund av tekniska komplikationer startades inte ugnarna samtidigt. Primerugnen och torkugnen startade ungefär samtidigt och nådde sina driftstemperaturer efter cirka 90 minuter. Härdugnen startade efter att både primerugnen och torkugnen hade uppnått sina driftstemperaturer.

Under en mellanperiod på 30 minuter då primerugnen och torkugnen hade uppnått sina driftstemperaturer och härdugnen ännu ej var i drift, befann de sig i tomgångskörning. Energiförbrukningen för enbart härdugnen kunde sedan räknas fram genom att använda tomgångsperioden som referens för att isolera energiförbrukningen för härdugnen. Vilket i sin tur möjliggjorde skapandet av en modell där varje ugn antas starta samtidigt, likt den verkliga uppstartsprocessen för anläggningen.

Tomgångskörningens energiförbrukning under 30 minuter beräknades enligt ekvation D nedan.

$$E_{Tomgång,30\ min} = V_{Tomgång} * 10 \quad (D).$$

Genom att dividera värdet för energiförbrukningen under tomgång med tre, fås det i likhet med tio minuters intervallet enligt ekvation E nedan.

$$E_{Tomgång,10\ min} = \frac{E_{Tomgång,30\ min}}{3} \quad (E).$$

För att beräkningen av energiförbrukningen vid uppstart skulle bli korrekt, korrigerades energin för härdugnen genom att subtrahera tomgångsenergin från primerugnen och torkugnen från den totalt uppmätta energiförbrukningen. Energiförbrukningen per tio minuters intervall beräknades sedan enligt ekvation F nedan.

$$E_{I,10\ min} = E_{I,Primer+Tork} + (E_{I,Härdugn} - E_{I,Tomgång\ för\ tork+primer}) \quad (F).$$

Där $E_{I,10\ min}$ är den korrigerade energiförbrukningen per intervall. $E_{I,Primer+Tork}$ är den uppmätta energin för primer och torkugnen. $E_{I,Härdugn}$ är den uppmätta energin för härdugnen. $E_{I,Tomgång\ för\ tork+primer}$ är tomgångsenergin under samma intervall. Genom att summera alla intervall fås den totala energiförbrukningen för hela uppstartscykeln.

Tomgångskörning upp till vissa temperaturer

Härdugnens uppstartscykel delades upp i olika temperaturintervall för att analysera var den största energiförbrukningen skedde under uppstartscykeln. För att identifiera energikrävande delar under uppstarten samt att utvärdera förbrukningen av energi under uppstartscykeln vid användning av låghärdande pulver där drifttemperaturen är lägre än nuvarande driftstemperatur.

De temperaturer som togs i beaktning var:

- 150°C
- 160°C
- 170°C
- 180°C
- 190°C

För varje temperatur beräknades energiförbrukningen för perioden från dess start till dess att temperaturen uppnåts.

Beräkningarna följde samma principer som tidigare enligt ekvation F ovan, men till olika temperaturnivåer för härdugnen, beroende på vilket temperaturintervall som skulle beräknas.

4.2.5 Effektfördelning vid normaldrift och teoretisk maxlast

Vid analys av energianvändningen vid normaldrift beräknades effektfördelningen av energi för uppvärmning av bommar och gods, samt energiförluster.

Genom att subtrahera tomgångsdriften från normaldriften erhöles effekten som går åt för uppvärmning av bom och gods.

Därefter kunde massflödet för bom och gods tas reda på eftersom allt annat i ekvationen antogs vara känt (Cp är specifik värmekapacitet för järn, samt temperaturskillnaderna antogs vara skillnaden mellan 20°C och respektive ugnens temperatur), se ekvation G.

$$\dot{Q}_{normal} - \dot{Q}_{tomgång} = \dot{Q}_{bom+gods} = \dot{m}_{bom+gods} * Cp * (\Delta T_{hård} + \Delta T_{tork}) \quad (G).$$

Därefter var det viktigt att särskilja vad som var godsflöde och bomflöde. För att särskilja vad som var vad, uppmättes bomflödet.

Den genomsnittliga vikten för en bom framgick genom vägning och bomhastigheten erhöles enligt produktionsdata (Troax Group AB, 2025). Bommarnas massflöde beräknades därefter genom att multiplicera bom-massan med antalet bommar per timme.

Således kunde godsflöde särskiljas från bomflöde så att ekvation H kunde appliceras enskilt på de båda flödena.

$$\dot{Q} = \dot{m} * Cp * \Delta T \quad (H).$$

Detta gav ett resultat av effektfördelning i tork- och härdugnen.

För att verifiera att alla antaganden stämde och gav ett pålitligt resultat, så räknades det ut var den genomsnittliga godsmassan per bom var, för att jämföra det mot godset som *faktiskt* hängde på bommarna under den aktuella mätningen. Resultatet visade att antagandena var rimliga.

4.4 Låghärdande pulver

Med mätningen för låghärdande pulver beräknades energiförbrukningen för ett sådant fall.

Det som var intressant var att jämföra helheten relativt mot det totala normaldriftsfallet. Alltså antogs massflödet för bom och gods vara densamma som för normaldrift.

Tomgångsmätningen för härdugnen på 160°C utgjorde grunden (motsvarande processförluster) för fallet. I övrigt var det enda som förändrades beräkningsmässigt att temperaturskillnaden minskade för härdugnen med 30°C, annars följdes metodiken för kapitel 4.2.5.

Därefter erhöles ett resultat mellan normaldriftsfallet och låghärdande pulver-fallet genom jämförelse av respektive fall med ekvation I.

$$\frac{E_{tot}}{vecka} = E_{uppstart} * \frac{uppstarter}{vecka} + \frac{produktionstimmar}{vecka} * \dot{Q}_{drift} + \frac{timmar\ rast}{vecka} * \dot{Q}_{tomgång} \quad (I).$$

4.5 Ökad hängdensitet

För ökad hängdensitet gjordes antagandet att förhållandet mellan nuvarande och ny hängdensitet var känd, för att det skulle vara möjligt att räkna på fallet. Förhållande mellan nuvarande och ny hängdensitet nyttjades genom ekvation J och K.

$$\text{Cykeltid} = \frac{\text{produktionstid}}{\text{antal produkter}} \quad (\text{J}),$$

$$\text{Cykeltid} = \frac{1}{\text{godshastighet} * \text{hängdensitet}} \quad (\text{K}).$$

Kombinationen av ekvation J och K mynnade ut i ekvation L.

$$\frac{\text{nuvarande ct}}{\text{ny ct}} = \frac{\text{nytt pcs} * \text{nuvarande prtid}}{\text{nuvarande pcs} * \text{ny prtid}} = \frac{\text{ny godshast} * \text{ny hd}}{\text{nuvarande godshast} * \text{nuvarande hd}} \quad (\text{L}).$$

I tabell 1 presenteras det vad de olika variabelförkortningarna står för i ekvation L.

Tabell 1. Variabelförkortningars betydelse i ekvation (L)

Variabelnamn:	Pcs	godshast	hd	ct	prtid
Betydelse:	antal produkter	godshastighet	hängdensitet	cykeltid	produktionstid

Ekvation L användes för att beräkna hur produktionstiden påverkades av ökad hängdensitet. Därefter beräknades en ny genomsnittlig normaldriftseffekt, med den enda förändringen beräkningsmässigt, att massflödet för godset förändrades. Ekvation H användes för ny uppvärmningseffekt av gods.

Därefter kunde en total energiförbrukning jämföras mellan de olika fallen, enligt ekvation I. Alltså bestod den totala energiförbrukningens förändring mellan de båda fallen i att produktionstiden och normaldriftseffekten hade förändrats.

5. Resultat av energikartläggning

I detta kapitel presenteras resultatet för alla mätningar.

5.1 Normaldriftskörning

Mätningen för normaldriftskörningen visade att härd- och torkugnen hade en effektförbrukning på 1000 kW. Resultatet som presenteras är en enskild mätning, det bakomliggandeskålet till detta är att just mätningen i fråga antas vara den bästa representationen för normaldrift, i stället för flera genomsnittliga mätningar.

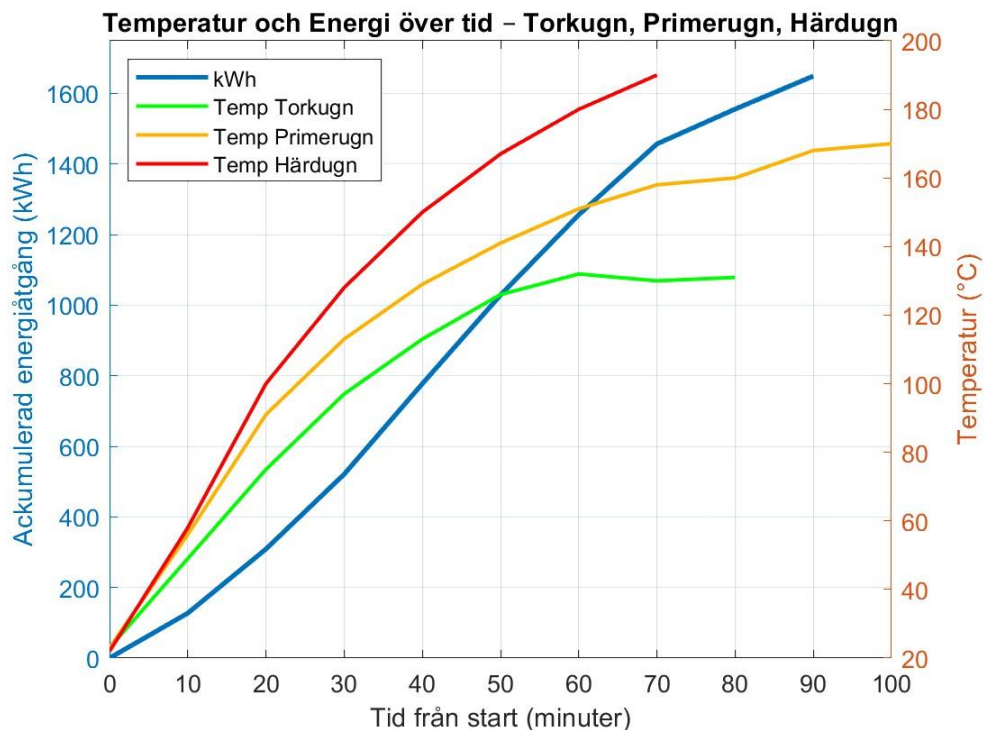
5.2 Tomgångskörning

Tomgångskörning visade ett resultat på 600 kW.

Alltså går det åt minimum 600 kW för härd- och torkugnen *oavsett* hur de körs (en fast energiförbrukning vid normaldrift). Den tillförda tomgångseffekten går åt till värmeläckage genom öppningar, strålning genom yttre ytor samt ventilation.

5.3 Uppstartscykel

För att fastställa hur mycket energi som krävs för att värma upp ugnarna från rumstemperatur till driftstemperatur, gjordes en mätning för uppstartscykeln. I figur 7 nedan visas temperaturen över tid för härdugnen, torkugnen och primerugnen, samt energiförbrukningen i kilowattimmar (kWh).



Figur 7. Temperatur och Energiförbrukning över tid för Torkugn, Primerugn och Härdugn

Från figur 7 går det att urskilja hur energiförbrukningen stiger gradvis tills att varje ugn har nått sin driftstemperatur, där den totala energiåtgången uppgick till 1650 kWh. Temperaturökningen är markant större för härdugnen gentemot torkugnen och primerugnen, där ökningen var minst för torkugnen. Se tabell 2 för energiförbrukning under uppstartscykel.

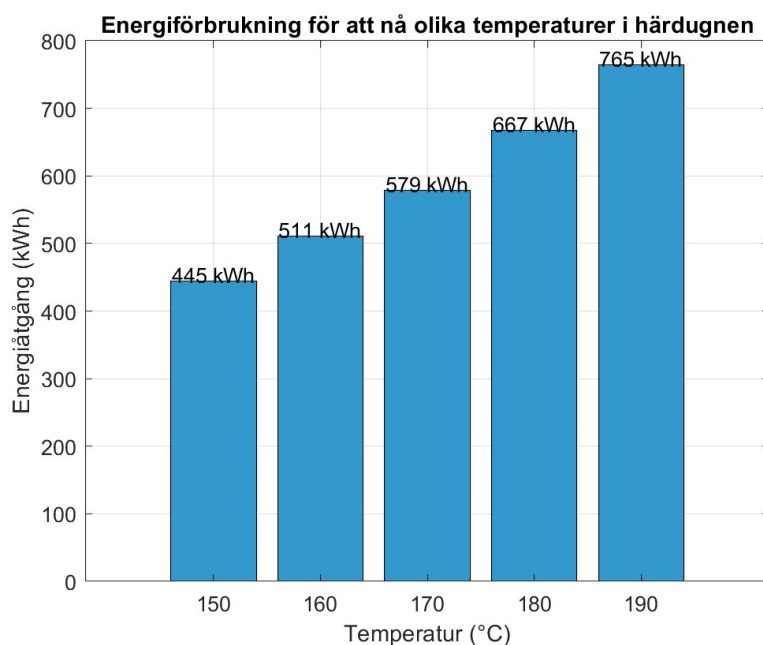
Tabell 2. Energiförbrukning under uppstartscykeln

Ugn	Tid till uppnådd driftstemperatur (min)	Energiförbrukning (kWh)	Andel av total uppstart	Måltemperatur (°C)
Härdugn	67	765	46%	190
Torkugn + Primerugn	90	885	54%	130, 170
Totalt	-	1650	100%	-

Från tabell 2 framgår det att härdugnen står för 46% av den totala förbrukningen av energi vid uppstart, trots att uppvärmningstiden för torkugnen och primerugnen är 23 minuter längre. Enskilda resultat för torkugnen och primerugnen finns inte tillhands på grund av tekniska komplikationer under mätningen.

5.3.1 Energiförbrukning upp till olika temperaturer

I samband med mätningen för uppstartscykeln, gjordes även mätningar av energiförbrukningen för härdugnen upp till fem olika temperaturnivåer. För att se hur förbrukningen förändras beroende på temperatur. Figur 8 visar den totala energiförbrukningen som behövs för att nå de olika temperaturnivåerna och tabell 3 visar hur mycket energi som gick åt per temperaturintervall.



Figur 8. Energiförbrukning för att nå olika temperaturer i härdugnen.

Tabell 3. Energiförbrukning per temperaturintervall

Temperaturökning	Energiåtgång (kWh)
150°C → 160°C	66
160°C → 170°C	68
170°C → 180°C	88
180°C → 190°C	98

I figur 8 framgår skillnaden i energiförbrukningen upp till vissa temperaturer för härdugnen. Där skillnaden i förbrukning mellan högsta och lägsta temperaturen är 320 kWh. En temperatursänkning på 40°C ger således en minskning av energi på 42% för uppstarten. Utifrån tabell 3 redogörs hur energiförbrukningen ökar per temperaturintervall, där förbrukningen är relativt mindre mellan 150°C till 170°C och ökar mellan 170°C och 190°C. Förbrukningen från 180°C till 190°C är 48% större jämfört med 150°C till 160°C.

Energi och tidsbesparing för uppstartscykel vid lägre driftstemperatur

För att undersöka hur energiförbrukningen kan optimeras under uppstartscykeln, analyserades det hur uppstartscykeln påverkas av driftstemperaturen. Tabell 4 visar hur mycket energi och tid som sparas om uppstartscykeln för härdugnen avbryts vid en lägre temperatur än 190°C.

Tabell 4. Minskning av energi och tidsbesparing jämfört med 190°C

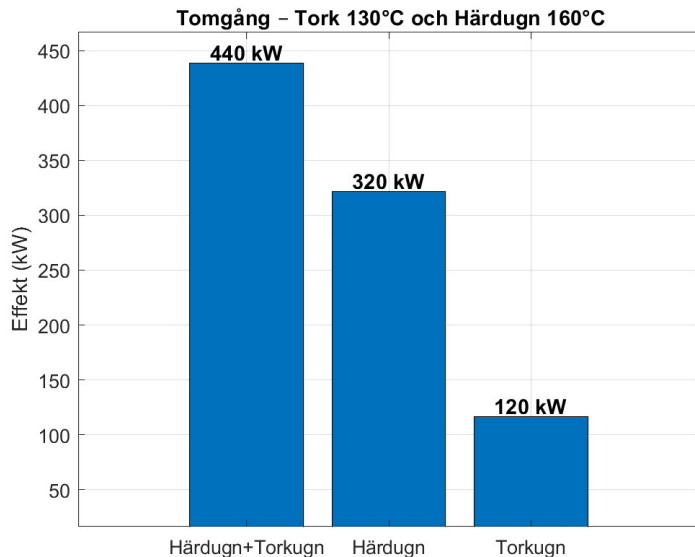
Temperatur (°C)	Energiskillnad mot 190°C (kWh)	Tidsbesparing (min)
150	320	30
160	254	25
170	186	20
180	98	10
190	-	-

Tabellen visar att varken energi och tidsåtgången är linjär och att således relativt små temperatursänkningar kan ge en betydande minskning av både energi- och tidsåtgång. De största skillnaderna mellan temperaturnivåerna sker i början av temperatursänkningen, framför allt ner till 170°C. Därefter är skillnaden i energiförbrukning och tidsbesparing inte lika stora. Vid en driftstemperatur på 160°C minskar uppstartsförbrukningen av energi med 254 kWh och ger en tidsbesparing på 25 minuter.

Den totala energibesparingen som görs är starkt kopplat till antalet uppstarter i processen. När uppstarter sker mer frekvent blir energibesparingen som störst. Tidsbesparingen gör det möjligt för produktionen att under rätt omständigheter starta snabbare, vilket bidrar till extra produktionstid.

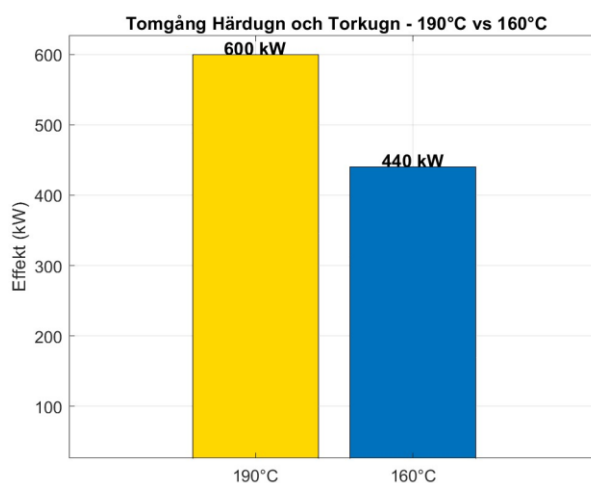
5.4 Mätning för låghärdande pulver

För att få en referenspunkt för tomgångskörning vid drifttemperatur för låghärdande pulver samt för att se hur effektförbrukningen fördelas mellan härdugnen och torkugnen, gjordes två olika mätningar. Där den första mätningen gjordes med härdugnen inställd på drifttemperatur för låghärdande pulver (160°C) och torkugnen (130°C). Vid den andra mätningen stängdes torkugnen av och effektförhållandet kunde urskiljas, vilket redovisas i figur 9.

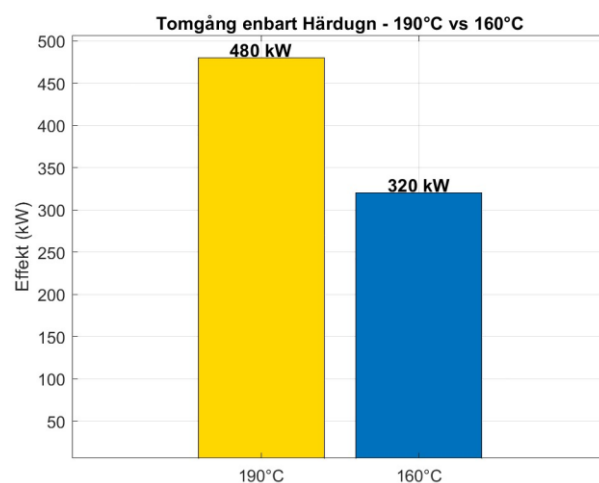


Figur 9. Tomgång – Tork 130°C och Härdugn 160°C

Resultatet visar att den totala effektförbrukningen uppgick till 440 kW, där härdugnen stod för 320 kW och torkugnen 120 kW. Detta medför att härdugnen står för omkring 72% av den totala effektförbrukningen under tomgångskörningen, borträknat primerugnen. I figur 10 nedan visas effektförbrukningen under tomgång för härdugnen och torkugnen vid drifttemperatur på 190°C och 160°C och i figur 11 redovisas motsvarande effektförbrukningen för enbart härdugnen vid samma temperaturer.



Figur 10. Tomgångsmätning för Härdugn och Torkugn vid 190°C och 160°C.



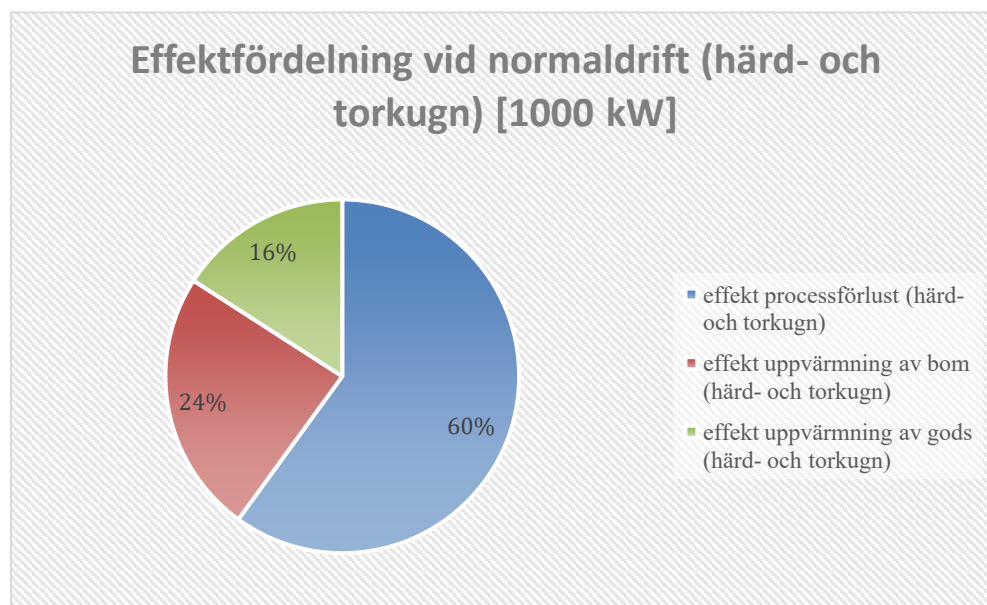
Figur 11. Tomgångsmätning för enbart Härdugn vid 190°C och 160°C.

Resultatet från figur 10 visar att effektförbrukningen minskade med 160 kW vid driftstemperatur på 160°C, vilket innebär en reduktion på 27% i fallet med både härdugn och torkugn, samt 33% i fallet med enbart härdugn i figur 11. Sammantaget går det att konstatera att förbrukningen är starkt kopplat till temperaturen och en relativt liten sänkning av temperaturen kan ge en betydande minskning av energianvändning under perioder för tomgångskörning.

5.5 Effektfördelning

För att kunna räkna ut effektfördelningen för tork- och härdugn krävs bommarnas massflöde. Alltså behövs den enskilde bommens vikt, samt en genomsnittlig bomhastighet. Den enskilde bommen uppmäts till 115 kg, samt uppskattas den genomsnittliga bomhastigheten till 1 bom/min (Troax Group AB, 2025). Dessutom, för att kunna räkna på effektfördelningen görs antaget att massflödet för bommarna är jämnt utspritt över hela pulverlackeringen.

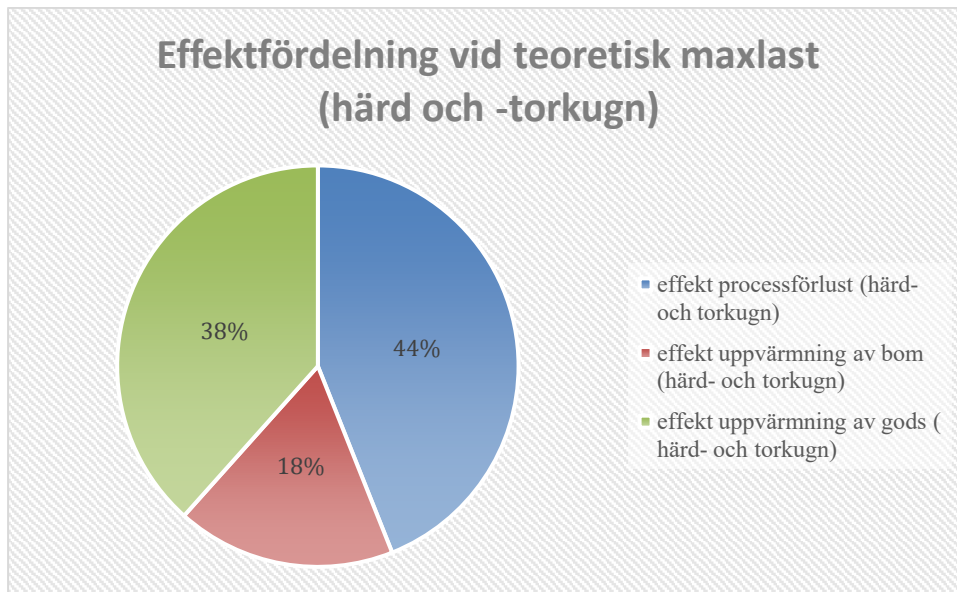
Enligt ekvation G, under kapitel 4.2.5, fås det att massflödet för bom och gods är 11 454 kg/h och andelen som bommarna står för är $115 \frac{kg}{bom} * 60 \frac{bom}{h} = 6900 kg/h$. Alltså är massflödet för godset mellanskillnaden. Effektfördelningen för tork- och härdugn presenteras i figur 12.



Figur 12. Effektfördelning vid normaldrift

Figur 12 förtäljer att effekten till stor del är *semi-fixerad*. Eftersom 60% av effekten är fast. Figuren visar också att bara 16% av effekten går åt till godset vid normaldrift och att resterande energimängd inte är värdeskapande. Intressant är också att mycket energi går åt till uppvärmning av bommarna, denna mängd är svår att påverka då godsflödet beror på bomflödet. Den kan betraktas som till huvudsak konstant.

Kort sagt är det alltså bara godset, i praktisk mening, som är möjligt att påverka. Därtill utformas en undersökning, där samma fall används (normaldrift) fastän att bommarnas teoretiska maxlast utnyttjas, vilket innebär att varje bom skulle lastas med maximal godsvikt som bommen kan belastas med. Utfallet visas i figur 13.



Figur 13. Effektfördelning vid teoretisk maxlast

Den totala effekten påverkas relativt lite i förhållande till hur mycket mer bommen utnyttjas. Det går att konstatera att ökningen i effekt *inte* är proportionell mot massökningen, och att detta beror på att den absolut största delen av effekten vid drift är konstant.

5.6 Jämförelse av uppstartcykel mot tomgångskörning

Energiåtgången för hela uppstartscykeln resulterade i 1650 kWh. Vid tomgångskörning uppmättes effektförbrukningen till 600 kW. Se ekvation M.

$$\frac{1650 \text{ kWh}}{600 \text{ kW}} = 2,75 \text{ h} \quad (\text{M}).$$

Tomgångskörning i ungefär 2 timmar och 45 minuter förbrukar lika mycket energi som under en uppstartscykel. Men eftersom kvoten *inte* är en *relativ* jämförelse så blir detta ett något missvisande resultat. Det vill säga, i uppstartscykeln är primerugnen medräknad medan den i tomgångskörningen *inte* är det. Dock går det att konstatera att kvoten hade blivit mindre om primerugnen var medräknad i tomgångskörningen.

Allt sammantaget blir ett mer praktiskt användbart svar att det lönar sig att stänga av pulverlackeringen, i stället för att tomgångsköra, om avstängningen väntas vara längre än 3 timmar.

För en mer detaljerad jämförelse skulle även förbehandlingen medräknats. Till detta hade en falluppdelning varit givande. Alltså beaktat olika scenarion. För detta skulle det krävas information om tork-, hård-, primerugnens och förbehandlings respektive energiåtgång vid uppstart samt tomgångseffekt.

6. Utvärdering av energieffektiviseringsförslagen

I detta kapitel kommer energieffektiviseringsförslagen att analyseras och utvärderas. Därtill är det värt att notera att eventuell energibesparing kan delas upp i två grenar: kostnadsbesparing samt miljöbesparing.

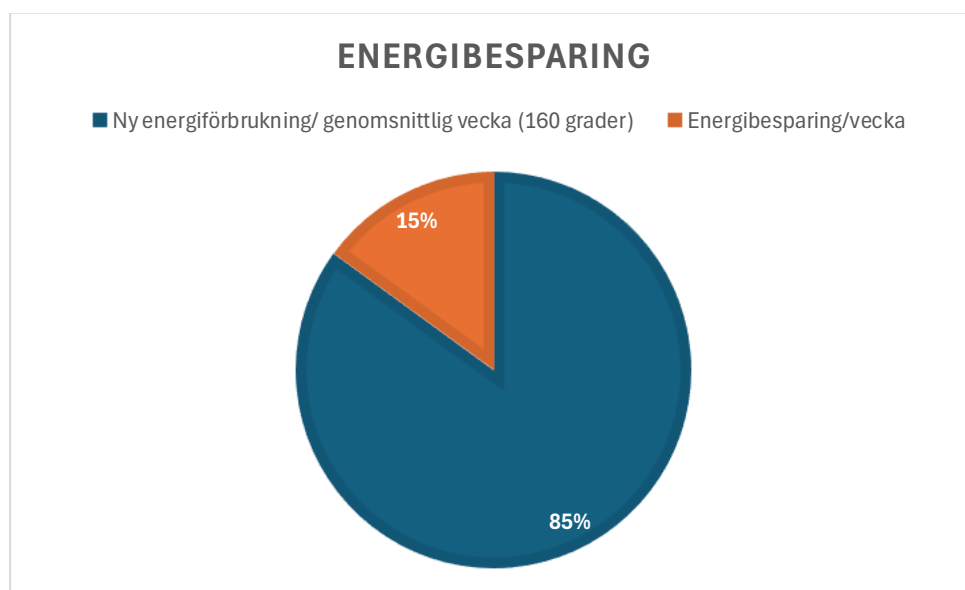
För energin antas priset för 1 kWh vara 1,5 kr (som ett genomsnitt för de olika energityperna som förekommer i pulverlackeringen), och för miljön antas ett utsläpp som påverkas försumbart.

Dessutom för utvärdering av energieffektiviseringsförslagen krävs det att de stora energiförbrukarna medräknas (härdugn, torkugn, förbehandling och pulverboxarna). Dessa tillsammans ger en total normaldriftsförbrukning på 1370 kW.

6.1 Analys av låghärdande pulver

Effekten vid normaldrift, om härdugnen i stället hade en temperatur på 160°C, blir 1170 kW. Jämfört med nuvarande total normaldriftsförbrukning på 1370 kW.

Av detta kan den totala energiförbrukningen jämföras för normaldriftsfallet med härdugnen på 190°C mot samma fall, fastän att härdugnen vore på 160°C. Se figur 14 som visar energibesparingen om låghärdande pulver skulle införas.



Figur 14. Procentuell energibesparing med låghärdande pulver

På ett år, med 48 produktionsveckor, skulle energibesparingen landa på 1 GWh. Därtill förväntas inga kostnader att öka, pulverlacken förväntas kosta densamma.

Med antaget kWh-pris enligt kapitel 6.0, blir kostnadsbesparingen 1,5 Miljoner kronor årligen.

Det ska tilläggas att den absoluta besparingen starkt beror på hur många produktionstimmar processen har.

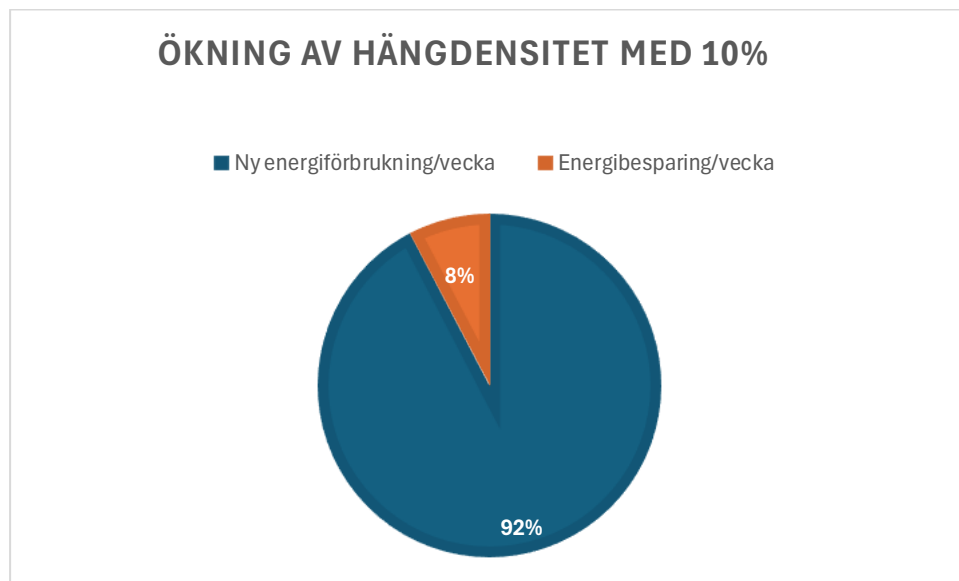
6.2 Analys av ökad hängdensitet

För ökad hängdensitet antas efterfrågan och godshastigheten vara oförändrad. Hängdensiteten antas öka med 10%, detta ger att den nya produktionstiden kan minskas med 9%, se ekvation L under kapitel 4.5.

Alltså frigörs produktionstid vid ökning av hängdensitet. Detta ger en energibesparing. Men kan även komma att innebära förändringar i hur personal används.

Den nya totala normaldriftseffekten (förbehandling, pulverboxar, härd- samt torkugn inräknas) ökar med 17 kW vid ökning av hängdensitet på 10%.

Jämförelse av de båda fallen, det vill säga nuvarande normaldrift mot normaldrift med ökad hängdensitet på 10%, presenteras som energibesparing i figur 15.



Figur 15. Energibesparing vid ökning av hängdensiteten på 10%.

Det visar sig att med en i genomsnitt ökad hängdensitet på 10% kan en årlig energibesparing på 0.5 GWh uppnås.

Sammantaget blir kostnadsbesparingen 750 000 kronor årligen.

6.3 Alternativ som uppkommit under arbetets gång

I detta avsnitt analyseras delar och idéer som identifierats under arbetets gång, men som ursprungligen inte ingick i arbetet.

6.3.1 Drift med tomma bommar

Ett alternativ som har funnits med i bakgrunden, är att köra igenom tomma bommar för att kunna generera ett bättre produktflöde. Med figur 11, som visas i kapitel 5.5, kan det konstateras att det går åt 4 kWh att köra igenom en bom genom härd- och torkugn oavsett godsbelastning, se ekvation N.

$$\frac{240kWh/h}{60 bom/h} = 4 kWh/bom \quad (N).$$

Därtill ska det adderas att primerugnen och förbehandlingen inte är medräknad. Vilket skulle öka energiförbrukningen per bom ytterligare något.

Med erhållen kostnad för att köra igenom en bom, utesluts alternativet, och förstärker egentligen bara vikten av att fylla bommen med så mycket gods som är möjligt.

Ett annat alternativ gällande bommar, som kan ses som en möjlighet, är att minska vikten på den enskilde bommen. Dock är detta något som avgränsas i detta arbete, då ett sådant arbete kräver en djupgående analys, med många faktorer i spel, som i slutändan inte ska innebära en försämrad produktionskvalitet.

6.3.2 Minskning av genomströmningen av antalet bommar

Ett ytterligare förslag för att minska energiförbrukning är att minska antalet bommar som rör sig i processen för att öka den värdeskapande delen av processen. Vid minskning av bommar antas hastigheten på conveyorn vara densamma som i dagsläget.

Förslaget utformas så att mängden gods per bom ökar men att bommarna körs glesare, det vill säga så att det inte sker någon produktivitetförändring.

Beräkningarna utgick ifrån en minskning av antalet bommar med 10%, antalet gods per bom antas därmed öka med 11%. Energimängden för uppvärmning av en bommar uppgår till 240 kWh/h. Vid en minskning på 10% av antalet bommar minskar energimängden per produktionstimme med 24 kWh. Figur 16 visar effektfördelningen med 10% minskning av bommar.



Figur 16. Effektfördelning vid minskning av genomströmning av bommar med 10%.

Effektfördelningen i figur 16 blir relativt oförändrad jämfört med nuvarande fall från figur 11. Den höga andelen av förluster gör att den värdeskapande delen ökar marginellt, trots en viss minskning i den totala effektförbrukningen. Det bör även noteras att primerugnen är exkluderad från beräkningarna, eftersom den enbart används i en mindre andel av fallen. Det går att konstatera att en minskning av bommar ger en relativt liten påverkan för att öka den värdeskapande delen av processen, trots att den totala energiförbrukningen minskar med 24 kWh per produktionstimme.

Sammantaget visar analysen att den största förbättringspotentialen för effektfördelningen uppnås genom att öka genomströmningen av gods per tidsenhet.

7. Slutsats och rekommendation

En generell slutsats som kan dras gällande pulverlackering, även om det anses vara en plattityd, är att stora delar av kostnaderna beror på produktiviteten. Där faktorer som godshastighet och hängdensitet inte ska förbises.

För Troax räkning rekommenderas det att utreda möjligheten att implementera låghärdande pulver. Huruvida en implementation av låghärdande pulver skulle kunna påverka process eller produktkvalitet negativt, är något som inte har utretts i denna avhandling. Utan är något som företaget rekommenderas att utreda framåt.

Om företaget analyserat alla möjliga baksidor och genom riskbedömning kommit fram till att förändringarna inte är något som inte kan hanteras, kan en årlig kostnadsbesparing på 1,5 Miljoner kronor erhållas vid tillämpning av låghärdande pulver.

Vidare rekommenderas företaget att utreda möjligheten att öka hängdensiteten. Som referens kan fallet med ökad hängdensitet på 10% användas, vilket skulle ge en årlig energibesparing på 0.5 GWh. Det ska tilläggas att kostnadsbesparingen är starkt kopplat till hur mycket hängdensiteten ökar. Sammantaget går det att konstatera att störst potentiell kostnadsbesparing nås via hängdensiteten, vilket i sin tur väcker ett antal praktiska frågor:

- Hur kan godset hängas utan att skuggning och ojämnheter på ytan blir ett problem?
- Hur ska arbetsskiften se ut?
- Hur många behöver vara på pulverlackeringen?
- Hur ska ingående och utgående flöde se ut?
- Vad blir investeringskostnaden?"

Dessa frågor är något som företaget rekommenderas att utreda framåt. Kort sagt: *vad är möjligt att uppnå?*

7.1 Framtida arbeten

Samttaget behöver varken det ena eller andra energieffektiviseringsförslaget utesluta varandra. Kombinationen av båda förslagen är vad som kommer att ge den största kostnadsbesparingen.

Således är det naturligt att framtida arbeten som denna avhandling kan ligga till grund för, är att undersöka möjligheten att implementera låghärdande pulver, samt att undersöka möjligheten att öka hängdensitet.

Vidare är ett förslag på framtida arbeten att analysera hängdensitet ur ett helhetsperspektiv (vilken roll hängdensitet spelar i helheten, och inte bara energimässigt), då mycket och betydande information gällande hängdensitet inte har undersökts i denna rapport.

8. Referenser

- Bergek, C. (2011). *Energy efficiency opportunities within the powder coating industry*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
- Demex Coating AB. (2025). *Demex Coating. Pulverlackering*. Hämtat från 2025 Demex Coating AB-<https://demexcoating.se/pulverlackering/>.
- Energigas Sverige AB. (den 13 April 2023). *Vad är energiinnehållet i naturgas, biogas och fordonsgas?* Hämtat från Energigas Sverige-<https://www.energigas.se/fakta-om-gas/biogas/faq-om-biogas/vad-ar-energiinnehallet-i-naturgas-biogas-och-fordonsgas/>.
- Energimyndigheten. (2023). *Energimyndigheten*. Hämtat från Slutlig energianvändning per sektor fr.o.m. 1970, TWh: https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Energimyndighetens_statistikdatabas/Energimyndighetens_statistikdatabas_Officiell_energistatistik_Arlig_energibalans_Total_slutlig_energianvandning/EN0202_7.px/table/tableViewLayout2/?loadedQueryId=8a953
- Little, A., & Garimella, S. (2011). *Comparative assessment of alternative cycles for waste heat recovery and upgrade*. ScienceDirect. Hämtat från <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544211002374>
- Rempala, S. (den 1 Juni 2008). *Hanging System Design: Not Just Hanging Around*. USA: Paint & Coating Industry. Hämtat från <https://www.pcimag.com/articles/95726-hanging-system-design-not-just-hanging-around>
- Stoehr, A. (2018). *Energikartläggning av industriella tork- och härdugnar*. Umeå: Umeå Universitet. Hämtat från <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1239182/FULLTEXT01.pdf>
- så fungerar det. (den 20 Januari 2024). *så fungerar det*. Hämtat från hur fungerar pulverlackering?: <https://safungerardet.se/hur-fungerar-pulverlackering/>
- Troax Group AB. (2024). *Troax årsredovisning 2023*. Hillerstorp. Hämtat från https://www.troax.com/app/uploads/TROAX-Arsredovisning_2023_sv.pdf
- Troax Group AB. (den 17 Mars 2025). *Produktionsdata över pulverlackeringen*. Internt dokument.
- Xiao, L., Jing, F., Xinping, Z., Haiping, Z., Yuanyuan, S., Hui, Z., & Jesse, Z. (2023). *A latened catalytic strategy for low cure thermoset powder coating by post-dry-blending technique*. ScienceDirect. Hämtat från <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300944023005180>

**INSTITUTIONEN FÖR
MEKANIK OCH MARITIMA VETENSKAPER
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA**

Göteborg, Sverige 20xx
www.chalmers.se



CHALMERS