

Optimering av sopsugsystem i Brunnshög

Jasmin Charkas

DIVISION OF INNOVATION | DEPARTMENT OF DESIGN SCIENCES
FACULTY OF ENGINEERING LTH | LUND UNIVERSITY
2024

EXAMENSARBETE



LUNDS
KOMMUN



Optimering av sopsugsystem i Brunnshög

Jasmin Charkas



LUNDS
UNIVERSITET

Optimering av sopsugsystem i Brunnshög

Copyright © 2024 Jasmin Charkas

Publicerad av

Institutionen för designvetenskaper
Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet
Box 118, 221 00 Lund

Ämne: Produktutveckling (MMKM05)

Avdelning: Innovation

Huvudhandledare: Per Kristav

Examinator: Anders Warell

Abstract

The thesis explores the possibilities for optimization of the implemented automated vacuum waste collection system in Brunnshög, Lund. Brunnshög is a newly developed residential area in Lund. As it is planned for Brunnshög to keep expanding to 8 000-9 000 apartments and offices by 2045, it is necessary to analyze and ensure that the automated vacuum waste collection system operates at its optimized potential. Today, the system accommodates approximately 1 200 units. Reducing heavy vehicle traffic in the area, noise and emissions, aligning with Lund's goals for sustainable urban development.

The study focuses on investigating potential improvements in the system's energy efficiency, by analyzing factors in the system such as pneumatic transport airflow and material properties of the waste. An already established two-phase flow mathematical model is used to support an assessment of whether the system's airspeed could be reduced, depending on the material properties, to make the system more energy efficient without compromising functionality. A user-feedback prototype is proposed for the residents to encourage waste reduction and behavioral changes to raise awareness of energy consumption and environmental impact that could improve the system.

Results show opportunities for energy savings. One way to do this is to tailor system airflow, as the mathematical model indicates, to the specific material characteristics of the different waste fractions. This will ensure that the system operates optimally and reduces blockages and system strain, saving unnecessary energy consumption. However, this analysis needs further investigation by testing and measuring the different waste fractions' material characteristics to obtain reduced airspeed. Another way for energy savings is by implementing the user-feedback system through further prototype development and testing, leading to user behavioural changes.

Keywords: Automated vacuum waste collection system, pneumatic transport, feedback on energy consumption, energy optimization, user feedback system.

Sammanfattning

Examensarbetet undersöker möjligheterna för optimering av det implementerade sopsugsystemet i Brunnshög, Lund. Brunnshög är ett nyutvecklat bostadsområde i Lund. Eftersom det är planerat för Brunnshög att fortsätta expandera till 8 000-9 000 lägenheter och kontor år 2045, är det nödvändigt att analysera och säkerställa att sopsugsystemet fungerar med sin optimala potential. Idag förser sopsugsystemet cirka 1 200 enheter. Systemet bidrar med att reducera tung trafik i området, buller och utsläpp. Vilket är i linje med Lunds mål för hållbar stadsutveckling.

Arbetet fokuserar på att undersöka potentiella förbättringsmöjligheter i systemets energieffektivitet genom att analysera faktorer i systemet som luftflödet i den pneumatiska transporten och materialegenskaper hos avfallet. En redan etablerad tvåfas matematisk flödesmodell används för att stödja en bedömning om systemets luftflöde kan sänkas, beroende på materialegenskaperna hos avfallet, för att få ett mer energieffektivt system utan att kompromissa med funktionalitet. En prototyp av ett användarvänligt feedback system föreslås för att uppmuntra bättre vanor hos användaren vad gäller avfallshantering och miljövänligt tänkande kring avfall.

Resultatet visar möjligheter till energibesparingar. Antingen genom att anpassa hastigheten i systemets luftflöde, som den matematiska modellen indikerar, till materialegenskaperna hos de olika avfallen. Vilket leder till att systemet fungerar optimalt och minskar blockeringar och påfrestningar, vilket sparar onödig energiförbrukning. Denna analys behöver dock vidare undersökning genom att testa och mäta de olika avfallsfraktionernas materialegenskaper i relation till den minskade luftflödeshastigheten.

En annan möjlighet till energibesparingar är genom implementering av användarvänligt feedback system, vilket skulle leda till beteendeförändringar hos användaren genom vidare utveckling av prototypen.

Nyckelord: Sopsugsystem, pneumatisk transport, feedbacksystem på energiförbrukning, energi optimering, användar-feedback system.

Förord

Examensarbetet har utfärdats under avdelningen för innovation vid institutionen för designvetenskaper på LTH, Lunds universitet. Arbetet genomfördes självständigt med uppdrag från Lunds Renhållningsverk, Lunds kommun.

Jag vill härmed tacka Lunds renhållningsverk för uppdraget och förtroendet samt Kim Hansen för den vägledning jag fick vid starten av uppdraget. Ett stort tack till Sustainalink för att de presenterat arbetet för mig och fick mig i kontakt med Lunds renhållningsverk.

Jag vill även tacka min handledare Per Kristav för perspektiven och stödet jag fått under arbetets gång.

Ett stort tack till min examiner Anders Warell och mina opponenter Simon Thuresson och Cajsa Svensson för deras feedback på mitt examensarbete.

Lund, Oktober 2024

Jasmin Charkas

Innehållsförteckning

1 Introduktion	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Syfte och mål	10
1.3 Avgränsningar	11
1.4 Hållbar och etisk synvinkel	12
2 Metod	13
2.1 Litteraturstudie	13
2.2 Kvalitativ metod	13
2.2.1 Fältobservation	14
2.2.2 Intervjufrågor	14
3 Systembeskrivning	15
3.1 Sopsugsystemet i Brunnshög	15
3.2 Problem som uppstår i systemet	17
3.3 Data över energikonsumtion	18
3.4 Användning av sopsugsystemet	19
4 Teori	21
4.1 Pneumatisk transport	21
4.1.1 Luftflöde	22
4.1.2 Solids Loading Ratio	22
4.2 Matematiska modeller	24
5 Feedback till användare	26
5.1 Feedback i systemet	26
5.1.1 Metod	26
5.2 Tillämpning i systemet	37
6 Resultat & Diskussion	38
6.1 Slutsatser	38
6.2 Vidare arbete	41
Referenslista	42
Appendix A	44

1 Introduktion

Det här examensarbetet är i samarbete med institutionen för designvetenskaper, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet och Lunds renhållningsverk som är en verksamhet i Lunds kommun. I detta kapitel presenteras verksamheten och examensarbetet.

1.1 Bakgrund

Statistik om den insamlade mängden hushållsavfall från hushåll och verksamheter i Sverige år 2023 uppgår till 4,5 miljoner ton. Detta motsvarar ungefär 431 kg hushållsavfall för varje svensk [1]. Ämnet om avfallshantering och sopinsamling är fortfarande relevant i dagens samhälle då befolkningen i Sverige fortsätter att öka snabbt. Det är beräknat att passera 11 miljoner invånare i Sverige till år 2040 [2].

Den traditionella avfallshanteringen med tung trafik har nästan dubbelt så mycket miljöpåverkan jämfört med ett sopsugsystem. Detta beror på den körning som krävs med den tunga trafiken med det traditionella avfallssystemet [3]. Sopsugsystem ersätter den manuella delen av avfallshanteringen och många nybyggda områden börjar implementera denna typ av avfallshantering i deras områden. Det finns många positiva aspekter med att övergå från manuell sophantering till ett automatiserat sopsugsystem. Nybyggda bostadsområden slipper tung trafik i området, lukt och underlättar sorteringen av avfall [4].

Lunds renhållningsverk (LRV) ansvarar för avfallshantering i Lunds kommun. Det som kännetecknar LRV är att resurser ska sparas och miljön ska skyddas. Deras hållbara och innovativa arbete är i fokus idag i Brunnshög, en ny växande stadsdel i Lunds kommun. Målet med Brunnshög är att området ska vara ett europeiskt föredöme för hållbarhet och utveckling. En ökad livskvalite på riktigt. Med hjälp av det implementerade sopsugsystemet behövs ingen tung trafik i området, vilket leder till ett mer yteffektivt och resurssnållare bostadsområde [5].

Sopsugsystemet är idag i drift för Brunnshögs cirka 1200 lägenheter och kontor. Men utvecklingen och byggnationen för Brunnshög är inte färdigställd.

Byggnationen av Brunnshög är planerad att bli klar år 2045 där det planeras att finnas mellan 8 000-9 000 lägenheter och kontor som systemet ska tillgodose. Detta innebär att även sopsugsystemet utvecklas och byggs ut i samma takt som bostadsområdet byggs ut. Därför är det extra viktigt att undersöka sopsugsystemets effektivitet innan vidare byggnation för att säkerställa en optimal drift eftersom kapaciteten kommer att öka.

Planritning över sopsugsystemet i Brunnshög är färdigställt. Byggnation av systemet samt andra fastigheter förhåller sig till ritningen, planritningen visas nedan i figur 1.



Figur 1: Planritning av Brunnshögs sopsugsystem [6].

1.2 Syfte och mål

Innan byggnationen av bostadsområdet Brunnshög är färdigställt vill LRV undersöka om sopsugsystemet drivs optimalt idag i sin nuvarande kapacitet. Syftet

med examensarbetet är att undersöka sopsugsystemet i Brunnshög och försöka optimera driften så effektivt som möjligt med avseende på energiförbrukningen.

Sopsugsystemet i Brunnshög är det första sopsugsystemet implementerat i Lunds kommun och är planerat att bli det största sopsugsystemet i Sverige. Det är av stor vikt att kunna analysera driften av systemet och optimera det för vidare implementering av liknande system i staden.

Arbetet ska skrivas utifrån följande frågeställningar:

- Med hjälp av befintlig matematisk modell, undersöka om det är möjligt att sänka hastigheten i systemet för en mer optimal drift.
- Utveckla en teknisk lösning som inkluderar användaren och gör det möjligt för användaren att påverka driften genom positiv feedback.

Frågeställningarna syftar till att med hjälp av matematiska modeller ska arbetet försöka analysera om det går att sänka hastigheten i systemet och därmed minska energikonsumtionen. Detta kommer ske genom att analysera materialet i flödet med hjälp av tidigare modeller.

Arbetet ska också undersöka och tillgodose hur feedback till användaren påverkar energikonsumtionen i sopsugsystemet, en prototyp av en teknisk lösning ska tillgodoses i arbetet.

1.3 Avgränsningar

Examensarbetet avgränsar sig ganska hårt. Eftersom sopsugsystemet i Brunnshög redan är implementerat och i drift betyder det alltså att dimensionerna i systemet som rördiametern, materialet i rören, planritningen samt andra viktiga parametrar redan är bestämda och kan inte ändras i efterhand. Det betyder att på grund av denna hårda avgränsning så finns det ingen möjlighet att analysera och undersöka dessa parametrar även om det finns rum till en mer optimal drift. Med andra ord ska optimeringen utgå från hur systemet ser ut idag, det innebär både dimensionerna i systemet och den förnybara energin som används i systemet idag.

Arbetet fokuserar på hur avfallet i Brunnshögs sopsugsystem och hur deras materialegenskaper kan påverka den pneumatiska transporten. Arbetet fokuserar även på hur användaren och deras beteenden kan påverka energiförbrukningen.

1.4 Hållbar och etisk synvinkel

Lunds renhållningsverk arbetar med att uppnå en mer hållbar stadsutveckling i det nya bostadsområdet Brunnshög. Genom att ersätta den traditionella avfallshanteringen med tung trafik i området så minskar sopsugsystemet koldioxidutsläppen och bidrar till ett renare område, sopsugsystemet är alltså ett viktigt steg mot de mål som LRV har satt upp. Förutom en renare miljö med minskad koldioxidutsläpp bidrar systemet till att minska buller genom att slopa den tunga trafiken och på så vis förbättrar livskvaliteten för boenden i området.

En av de största fördelarna med sopsugsystemet ur ett hållbarhetsperspektiv är användningen av förnybar energi, som att Brunnshög använder sig av solceller för driften. Genom att använda förnybara energikällor minskar systemet dess beroende av fossil energi och bidrar till att uppnå de globala miljömålen. Genom att studera optimeringen av sopsugsystemets energiförbrukning kan driften ytterligare bidra till att nå de globala miljömålen.

Ur ett etiskt perspektiv är det viktigt att ta hänsyn till de sociala aspekterna av sopsugsystemet i Brunnshög, som att ge användarna av systemet möjlighet att påverka systemets effektivitet. Den tekniska lösningen om användarfeedback som är planerad att utföras i arbetet är ett exempel på hur teknologi kan uppmuntra hållbara vanor och leda till att minska avfallsmängderna i området, genom att öka medvetenheten om systemets energiförbrukning och den miljöpåverkan systemet har. Att ge användarna den insikt om hur deras avfallshantering påverkar systemets energikonsumtion kan leda till beteendeförändringar som är till fördel för miljön och bostadsområdet.

2 Metod

I det här kapitlet beskrivs de metoder och utförandet för att uppnå examensarbetets syfte.

2.1 Litteraturstudie

Innan examensarbetet inleddes utfördes en litteraturstudie för att se vilken vetenskap och undersökning som finns inom området. Primära källor har använts som vetenskapliga artiklar, rapporter, böcker och information från myndigheter. För att hitta vetenskapliga artiklar och rapporter har databaser använts som LUP Student Papers, LUBsearch, ScienceDirect och GoogleScholar. Sökord som “Automated Vacuum Waste Collection System”, “Underground Vacuum Waste Collection System”, “Energy Efficiency in Automated Waste Collection”, och liknande sökord har använts för att få den relevanta litteraturen för examensarbetet.

Vetenskapliga böcker inom området har utnyttjats som litteratur om pneumatisk transport, energieffektivisering och förnybar energi, samt offentliga utredningar om systemet från Lunds kommun har utnyttjats. Den offentliga dokumentationen av arbetet som skett med sopsugsystemet i Brunnshög kommer från Lunds kommun och finns online för nedladdning i form av PDF-filer. Annan offentlig dokumentation som använts har skickats från LRV.

2.2 Kvalitativ metod

En kvalitativ studie genomfördes i form av intervjuer, en fältobservation och en enkätstudie till användare av systemet i bostadsområdet. Den kvalitativa studien är till för att medföra relevant information som litteraturstudien inte kan tillgodose. Information som bakgrund till hur systemet är i drift idag och hur användare ser på systemet utifrån deras perspektiv och åsikter till förbättring och utveckling.

2.2.1 Fältobservation

Fältobservationen genomfördes med handledning av LRV, där blev det en rundtur av det implementerade sopsugsystemet i Brunnshög. Rundturen började där soporna först slängs, vid ett sopnedkast vid en slumpmässig lägenhetsbyggnad och avslutades i sopsugsystemets terminal. Under fältobservationen förmedlades lite information om hur sopnedkastan fungerar, ventilernas påverkan, vad för rör som används, hur snabbt och hur frekvent systemet tömmer soporna, vilka förnybara energikällor som används och några hinder som LRV stött på med systemet. Syftet med fältobservationen var att få ett större perspektiv på problemställningen och hur sopsugsystemet är i drift.

2.2.2 Intervjufrågor

Intervjufrågorna var väl planerade och studerades på förhand. Med hjälp av litteraturstudien och frågeställningarna för examensarbetet kunde intervjufrågorna formuleras. Intervjufrågorna skulle svara mer detaljerat på "hur" och "varför" sopsugsystemet fungerar idag som det gör. Personerna som är involverade i intervjuerna är anställda på LRV och har nära koppling till arbetet som sker med sopsugsystemet i Lunds kommun, och de är medvetna om att deras information kommer att utnyttjas för vidare utveckling i arbetet.

3 Systembeskrivning

I detta kapitel presenteras och beskrivs sopsugsystemet i Brunnshög och hur det opererar.

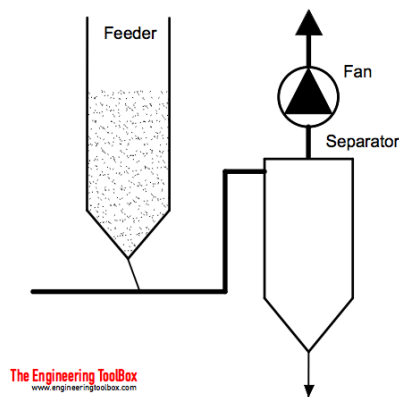
3.1 Sopsugsystemet i Brunnshög

Avfallshanteringen i Brunnshög hanteras med hjälp av ett sopsugsystem. Cirka 50 meter från varje lägenhetsbyggnad finns det sopstationer med fyra olika fraktioner, matavfall, organiskt avfall, pappersförpackningar och plast. Systemet suger soporna från varje fraktion till sopterminalen som ligger precis utanför bostadsområdet vid motorvägen. Bild på en sopstation utanför en lägenhet från Brunnshög syns i figur 2 nedan, där visas också hur de olika fraktionerna är märkta med text och figur som illustrerar vilket typ av avfall som fraktionen avser. Beroende på lägenhetsbyggnadens kapacitet så kan det antingen finnas exakt en av varje fraktion eller dubbletter av något eller några av fraktionerna.



Figur 2: Bild från fältobservationen på sopnedkassen i området.

Sopsugsystemet i Brunnshög genererar sin sugning genom att ha tre stora fläktar i systemet som genererar ett undertryck i rören. När det är dags att suga avfallet till terminalen sätts fläktarna igång som flyttar luften ut ur rören vilket skapar ett undertryck, vilket i sin tur skapar sugningen på grund av tryckskillnaderna i rörledningen och omgivningen. Det ska noteras att i framtiden, när området och systemet beräknas vara färdigbyggt, så planeras det att en fjärde fläkt ska installeras i terminalen för att klara av den kapacitet som kommer uppstå i bostadsområdet. Fläktarna är placerade efter containrarna där soporna töms och separeras från luften i rören, en schematisk skiss över systemet syns i figur 3 nedan. Med hjälp av ventiler öppnas de olika fraktionerna som suger varje fraktion till sin container i terminalen. I terminalen finns det fyra olika containrar för vardera fraktion där avfallet hamnar för att sedan bli borttransporterat för återvinning av lastbilar. Den genererade hastigheten i systemet är 70 km/h, rörledningen till terminalen visas i figur 4 nedan. Rörledningarna kan vara upp till två kilometer från terminalen och rördiametern är 400 mm. Samma information står utanför terminalen av sopsugsystemet på affischer, en av dessa affischer visas i figur 5 längre ner.



Figur 3: En schematisk skiss över sopsugsystem [7].



Figur 4: Bild från fältobservationen på rörledningen som ansluter til terminalen.

Varje sopnedkast har en sensor som läser av hur fullt inkastet är. Detta skickar en signal till systemet, antingen skickas en Low Level eller en High Level. Low Level innebär att inkastet är mer än 50% fullt och High Level innebär att inkastet är mer än 80% fullt. Systemet registrerar informationen om vilket inkast som har antingen en Low Level respektive en High Level, dessa töms sedan under förutbestämda tider. Tiderna för tömning och tömningsfrekvensen nämns under kapitel 3.4.

Systemet använder sig av förnybar energi i form av solceller på taket i terminalen och ett batteri som lagrar energin. Resterande av energin som krävs för systemet kommer från elnätet.

3.2 Problem som uppstår i systemet

Idag upplever sopsugsystemet vissa problem. Systemet har upplevt att efter sugning av matavfall så fastnar det mat och annat kladd på väggarna i rören. Detta löser LRV idag genom att "städa upp" med hjälp av de andra fraktionernas avfall. Det har även upplevts att under sugning av pappersförpackningar så sker det stopp i systemet. Fraktionen pappersförpackningar har skapat flertal stopp i systemet vilket bidrar till att LRV måste manuellt ner i rörledningarna och städa upp. En anledning till varför pappersförpackningar orsakar stopp i systemet beror på att pappersförpackningarna inte blir korrekt nedpackade för att klara av en sugning genom dimensionerna i rörledningen. Det kan också förmodligen bero på att sugningen inte är optimal med avseende på materialets egenskaper och dess flöde. Idag chockar LRV systemet genom att öka lufthastigheten från den normala

hastigheten 70 km/h till 90 km/h för att skapa ett större tryck i rören vilket får bort avfallet som stoppat systemet.

3.3 Data över energikonsumtion

Den insamlade datan som visas i detta avsnitt är taget från LRVs månadsrapporter av sopsugsystemet. Eftersom systemet endast varit igång sedan 2021 så var de första årens månadsrapporter ofullständiga och installeringen av systemet ledde till en betydligt högre energikonsumtion jämfört med idag när systemet är implementerat och i drift. Därför har detta examensarbete tagit data från månadsrapporterna över det första halvåret av 2024 för att få så bra siffror som möjligt över sopsugsystemet.

Den energin som förbrukas idag av systemet visas i tabell 1 nedan, datan är insamlad över första halvåret av 2024, januari till juni. Den manuella energikonsumtionen syftar på allt annat än att systemet är självständigt. Alltså varje gång LRV måste manuellt titta till efter felrapporter från sopnedkast, eller om LRV måste själva ner i soprören för att få bort sopor som fastnat och skapat stopp i driften. Den automatiska energikonsumtionen syftar till när systemet är självstyrt och svarar till datan och det förprogrammerade tömningsprogrammet och klarar sig självt.

Tabell 1. Sopsugsystemets energikonsumtion (kWh) januari-juni 2024

	<i>Automatisk</i>	<i>Manuell</i>	<i>TOT</i>
JAN	2118	1025	3143
FEB	1731	705	2436
MAR	1737	1245	2982
APR	1758	1497	3255
MAJ	2323	940	3263
JUN	2130	1028	3158
TOT	11797	6440	18237

3.4 Användning av sopsugsystemet

Idag töms sopsugsystemet två gånger om dagen på vardagar och tre gånger om dagen på helgdagar. Under vardagar töms systemet först klockan 10:00 och sedan klockan 19:00 och på helgdagar töms systemet klockan 10:00, 13:00 och 19:00.

Tömningsmönstret är som följande, matavfall, restavfall, pappersförpackningar och plastförpackningar. Matavfall töms alltid först och varje gång oavsett nivå i sopnedkassen. Det har efter erfarenhet visat sig att matavfall lämnar efter mycket kladd i rörledningarna på grund av sitt innehåll och dess materialegenskaper när det sugas i den hastighet som det gör. För att behålla en fräsch doft i sopnedkassen och fräschare miljö töms matavfallen varje klockslag oavsett om det är fullt i sopnedkassen eller inte. För att sedan behålla pappersförpackningar och plastförpackningar rena från matavfallet så töms restavfallet för att "städa upp" rörledningarna och ta med så mycket kladd som det går efter matavfallet. Det är betydligt viktigare att behålla pappersförpackningar och plastförpackningar rena för en ordentlig och mer miljövänlig återvinning och därför töms dessa fraktioner sist. Dock så töms inte restavfall, pappersförpackningar eller plastförpackningar inte om det inte har visat sig ha en Low Level eller en High Level. Alltså som sopnedkassen i dessa tre fraktioner inte är tillräckligt fulla så skickas inte en signal till systemet för tömning, endast om de nått Low Level respektive High Level skickas en signal till systemet och då töms dessa i den ordning som har förklarats efter matavfallen. Det är endast matavfall som töms oavsett nivå i sopnedkassen.



Figur 5: Bild från fältobservationen på en affisch utanför terminalen av sopsugsystemet.

4 Teori

I detta kapitel presenteras de olika grundläggande koncepten inom pneumatisk transport och hur dessa kan tillämpas på sopsugsystemet i Brunnshög.

4.1 Pneumatisk transport

Att transportera material med pneumatiska system innebär att använda tryckskillnader för att förflytta material från punkt A till punkt B. Genom att utnyttja luftflödet i rörledningarna skapas rörelse från undertrycket i rörledningarna till övertrycket utanför och detta fenomen är vad som transporterar materialet. Pneumatisk transport kan ske antingen via övertryck eller undertryck, där tryckskillnaden driver luftflödet som i sin tur för materialet genom rörsystemet. Vid slutdestinationen separeras materialet från luftflödet och hamnar på sin avsedda plats.

Detta examensarbete fokuserar på pneumatisk transport som utnyttjar undertryck (vakuum) eftersom sopsugsystemet i Brunnshög drivs med hjälp av undertryck. Fläktarna i terminalen skapar det undertryck som krävs i rörledningarna för att sugning ska uppstå och avfallet transporteras till terminalen för vidare hantering. En viktig fördel med undertryck i pneumatisk transport är en mer tolererbar och säkrare transport med avseende på tillförlitlighet och känslighet för förändringar i materialegenskaper [8]. En annan fördel med undertryck i pneumatisk transport är att praktiskt taget kan vilket material som helst bli pneumatiskt transporterat med undertryck [9].

Det kommer dock inte utan dess svårigheter att transportera material genom undertryck i pneumatisk transport. Flödet i ett pneumatiska tvåfasigt transportsystem är oerhört komplext. En av de största svårigheterna med att exakt förutsäga prestandan av pneumatiska transportsystem ligger i brist på förståelse av exakt hur materialegenskaperna påverkar det transporterade flödet i rörledningarna [10; 8].

Ett annat problem vad gäller pneumatisk transport som är viktig att lyfta är de höga operationskostnaderna. Pneumatiska system har höga operationskostnader på grund av det vakuum som måste genereras i rörledningarna med hjälp av fläktarna [9].

Transporten i sopsugsystemet sker genom att ventiler öppnas för respektive fraktion (matavfall, restavfall, plast och pappersförpackningar) och suger avfallet in i rörledningarna och vidare till slutterminalen. Genom att kontrollera luftflödet, som genereras av fläktarna i terminalen, kan systemets effektivitet och energiförbrukning påverkas.

4.1.1 Luftflöde

Den viktigaste parametern vid pneumatisk transport är hastigheten, närmare bestämt lufthastigheten som styr hur effektivt materialet transporteras genom systemet. Om värdet av lufthastigheten är för låg riskerar materialet att falla ur sin upphängning från den bärande luften, vilket kan orsaka blockeringar i rörledningen och leda till driftstopp. Om lufthastigheten är för hög kommer transporten garanterat att fungera, det finns dock viktiga aspekter att överväga innan systemet förses med ett för högt värde av lufthastigheten. Om materialet är benäget för erosivt slitage och fördärv, vilket avfallet i sopsugsystemet är, kommer en hög lufthastighet att förvärra dessa problem. Dessutom kräver en hög lufthastighet mer energi och kraft från fläktarna för att generera det vakuum som krävs, vilket ökar energiförbrukningen och medför onödiga kostnader. Därför är det viktigt att balansera lufthastigheten till materialegenskaperna för att optimera både systemets prestanda och energieffektivitet [9].

Därför är en utav frågeställningarna i examensarbetet att undersöka ifall systemet kan optimeras genom att justera lufthastigheten till varje fraktions materialegenskaper. Det finns potential till en reducerad energiförbrukning i sopsugsystemet om en mer optimerad lufthastighet implementerades i systemet, samt som att vissa av problemen nämnda i kapitel 3.2 som blockeringar skulle kunna förhindras.

4.1.2 Solids Loading Ratio

Solids Loading Ratio (SLR) används generellt för att beskriva koncentrationen av det transporterade materialet i luften och är en dimensionslös kvot. Det är kvoten mellan massflödeshastigheten av det transporterade materialet mot massflödeshastigheten av luften som används för att transportera materialet, enligt ekvation 1 nedan [9].

SLR är en viktig parameter för att förstå hur effektivt systemet transporterar material. Ett för högt SLR värde indikerar att systemet transporterar mycket luft i förhållande till avfall, vilket är ineffektivt ur ett energiperspektiv [9].

$$\phi = \frac{\dot{m}_p}{\dot{m}_a} \quad (1)$$

Där

$\dot{m}_p$ = *materialets massflödes hastighet, kg/s*

$\dot{m}_a$ = *luftens massflödes hastighet, kg/s*

Och massflödes hastighet beräknas enligt ekvation 2 nedan.

$$\dot{m}_i = A * v * \rho \quad (2)$$

Där *i* betecknar om det är luft eller ett specifikt material, och

A = *area, m²*

v = *hastighet, m/s*

ρ = *densitet, kg/m³*

För de olika fraktionerna i Brunnsnäs så varierar SLR beroende på avfallstyp. SLR är beroende av materialets massflödes hastighet och massflödes hastigheten är i sin tur beroende av materialets densitet, vilket innebär att för varje fraktion i Brunnsnäs så kommer densiteten i fraktionerna och SLR att variera med de andra fraktionerna. Matavfall som vanligtvis är tyngre och kladdigare kommer ha ett lägre SLR värde jämfört med plastavfall som är lättare och torrare.

På grund av att de olika fraktionerna i Brunnsnäs har olika densiteter och därmed olika SLR värden innebär detta att lufthastigheten vid sugning bör justeras till varje fraktions SLR värde, istället för att köra sugningen på 70 km/h för allt avfall oavsett fraktion.

Hastigheten av materialet som flödar i pneumatisk transportsystem har ett mindre värde än lufthastigheten som genererar transporten, skillnaden mellan lufthastigheten och hastigheten av materialet som blir transporterat kallas för *slip velocity*. Typiskt så är hastigheten av materialet 80% av luftens hastighet i horisontell rörledning [9].

Arean förblir densamma oavsett om det är massflödes hastighet för luft eller material som ska beräknas. Det är arean av rörledningen som har en diameter på 400 mm, som nämnt i systembeskrivningen i kapitel 3.

4.2 Matematiska modeller

Matematiska modeller används inom pneumatiska transportsystem för att beräkna och optimera prestandan. Modellerna som finns har tagits fram genom experiment och analyser. Modellerna hjälper till att förutsäga hur luft och material interagerar i systemet vilket är avgörande för att justera hastigheten, tryck och energiförbrukningen.

En av de vanligaste modellerna för att beräkna den transporterade lufthastigheten och materialflödet är Rose och Duckworths modell. Modellen tar hänsyn till flera parametrar som materialets densitet, rörets diameter och luftens egenskaper. Modellen beräknar den minimala lufthastighet som krävs för att transportera materialet utan att materialet faller ur sin upphängning [10].

Rose och Duckworth ger en komplett modell för pneumatisk transport av material. De baserar sin modell på experimentell korrelation mellan dimensionslösa parametrar (erhållna genom dimensionsanalys) och olika egenskaper hos flödet. Korrelationerna är baserade på experiment gjord på tvåfas system med luft som medium och med fasta material. En omfattande undersökning genomfördes av olika approximerade sfäriskt formade material och deras flödesegenskaper i luft för att uppnå korrelationerna [10].

Det ska noteras vilken utrustning som användes under Rose och Duckworths experiment för att få fram den matematiska modellen. Med luft som medium användes en rörledning som var 9.75 m lång och med en diameter på 32 mm. Diametern på materialet i experimentet var mellan 960 μm och 3.2 mm. Det material som användes i experimentet var senapsfrö, glas, stål och bly med en *solids loading ratio* upp till 10 [10].

Deras modell definierar den minsta hastigheten som krävs för att hålla materialet i rörelse, u_s [m/s], som den punkt vid vilken flödet av materialet blir instabilt. Modellen syns nedan i ekvation 3 och är rent endimensionell för ett stabilt flöde av en inkompressibel medium, vilket är luft i detta arbete [10].

$$u_s = 3,2u_t(\phi^{0,2}(\frac{D}{d_p})^{0,6}(\frac{\rho_p}{\rho})^{-0,7}(gD)^{-0,25}) \quad (3)$$

Där

u_t = sluthastighet (terminal velocity) [m/s]

ϕ = solids loading ratio, [dimensionslös]

D = rörets diameter, [m]

d_p = materialets diameter, [m]

ρ = luftens densitet, [kg/m³]

ρ_p = materialets densitet, [kg/m³]

g = tyngdacceleration, [m/s²]

5 Feedback till användare

I detta kapitel presenteras en teknisk lösning som implementerar användarfeedback i systemet.

5.1 Feedback i systemet

Det finns idag ingen feedback till användare om hur deras avfall och användning av sopsugsystemet påverkar systemets energiförbrukning. Olika typer av feedback har visat resultat på att det är möjligt att påverka beteendeförändringar hos användare med hjälp av teknik. För just energikonsumtion i hushåll har flera studier genomförts som visar att feedback till användaren om deras energikonsumtion leder till en reducerad konsumtion [11].

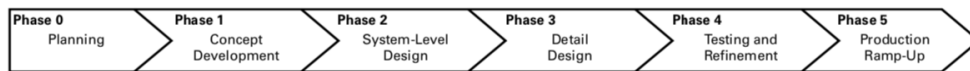
Samtidigt visar sig en mer frekvent och snabb feedback mer lämpad till stimulans för beteendeförändringar, förändringarna har visat sig leda i sin tur till en minskad energikonsumtionen. Det finns även resultat på att feedback som erbjuder mycket variation i informationen, feedback som är interaktiv och feedback som är detaljerad ger bäst resultat [12].

Genom att implementera denna fakta och skapa en teknisk lösning som är enkel att komma åt, enkelt att använda och enkel att förstå kan användarna av sopsugsystemet i Brunnshög vara med och påverka energiförbrukningen och optimera driften i systemet.

5.1.1 Metod

Med hjälp av Ulrich och Eppingers produktutvecklingsmodell från boken Product Design and Development, kommer en teknisk lösning skapas som ger användarna feedback på sin användning av sopsugsystemet i Brunnshög.

Produktutvecklingsmodellen är uppdelad i olika faser som syns i figur 6 nedan.



Figur 6: Produktutvecklingsprocessen enligt Ulrich och Eppinger.

De olika faserna har ingående delar som kommer att användas under processen för att få fram en slutgiltig prototyp till ett feedback systemet.

Fas 4 och 5, testning och förfining respektive produktionsuppgång, kommer endast att nämnas kort men inte studeras i detta arbete. Dessa faser fokuserar på att lansera och testa prototypen, testa prototypens övergripande prestanda, tillförlitlighet och hållbarhet, bedöma miljöpåverkan samt utvärdera tidig produktions output.

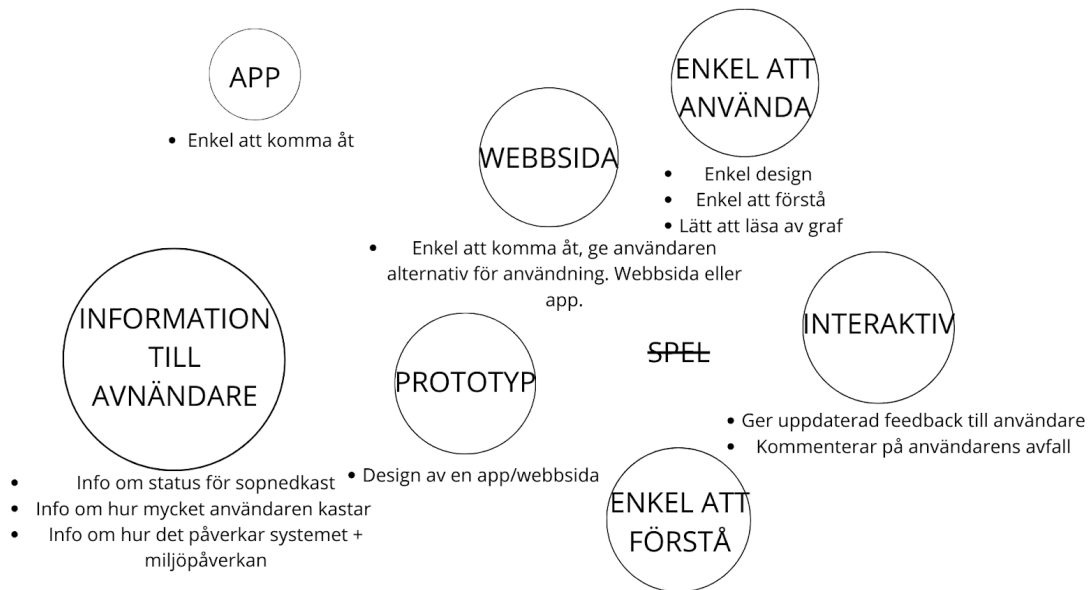
Varför fas 4 och 5 i produktutvecklingsmodellen inte är relevanta för detta arbete är eftersom arbetet hade en snäv tidsram samt så fanns inte möjligheten att producera och lansera en prototyp. Därför är det överflöd att undersöka dessa faser i detta arbete, vidare utveckling finns möjlig för framtida arbeten se avsnitt 6.2.

5.1.1.1 Fas 0: Planering

Initialt börjar produktutveckling i en planeringsfas. Denna fas handlar om att överväga och undersöka marknadsmöjligheter, produktplattform, produktarkitektur och vilken teknik som kommer att användas.

Planeringsfasen bestod därför av brainstormingsessioner. Sessionerna var uppdelade i tre delar. Första sessionen bestod av att endast skriva ner alla tankar som kom upp vad gäller prototypen, idéer och tillvägagångssätt på ett blankt papper. Under andra sessionen stryks ord bort från pappret, de ord som stryks över är ord som inte har någon utvecklingsmöjlighet i kommande faser. Tredje och sista brainstormingsessionen bestod av att utveckla vidare orden på pappret i meningar som förklarar hur orden kan bidra till en färdigställd prototyp.

Resultatet från denna fasen och brainstormingsessionerna syns i figur 7 nedan.



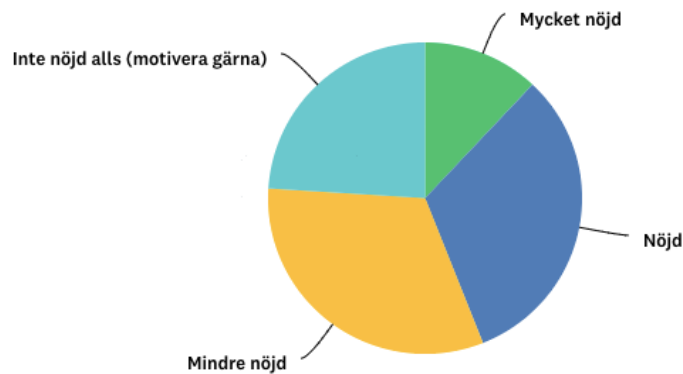
Figur 7: Bild på sammanställningen av brainstorming sessionerna.

Prototypen ska vara enkel att komma åt, enkel att använda och enkel att förstå. Den bör tillhandahålla relevant information till användaren som kan påverka deras beteende till framtida sophanteringar. Ge användaren information om deras närmaste sopnedkast och ge alternativ till andra möjliga sopnedkast att använda i området. Prototypen bör vara en digitaliserad app/hemsida som är enkel att få tillgång till med ett personligt inlogg.

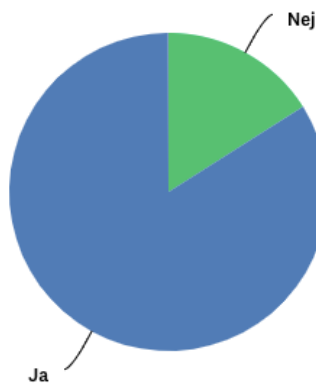
5.1.1.2 Fas 1: Konzeptutveckling

Konzeptutvecklingen innehåller delar som fokuserar på att identifiera behovet. Denna fas handlar om att samla in kundens behov, identifiera huvudanvändare, bygga och testa experimentella prototyper.

Huvudanvändaren för prototypen är personerna som bor i området Brunnshög i Lunds kommun och som använder sig utav sopsugsystemet i området. För att samla in relevant information av huvudanvändaren skickades en enkät ut till en offentlig Facebook grupp med titel "Vi som bor i Brunnshög". Enkäten samlade in 69 svar från huvudanvändaren. Figurerna 8, 9 och 10 nedan visar de mest relevanta svaren från enkäten.



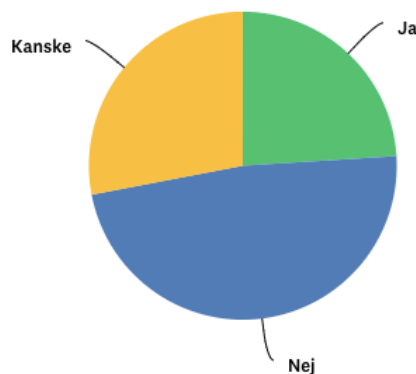
Figur 8: Hur nöjd är du med sopsugsystemet idag?



Figur 9: Har du upplevt störningar i systemet?

85% svarade att de någon gång upplevt störningar i systemet enligt figur 9 ovan. Användaren kunde lägga en kommentar efter denna fråga om vad för störningar de upplevt. Många kommentarer nämner att sopbehållaren alltid är full eller att användaren hittar sopor liggandes på marken utanför sopnedkasten på grund av att behållarna är fulla. Det är på grund av driftstopp eller andra drift problem som sopnedkasten är fulla och inte töms så frekvent som kapaciteten kräver. Det kan

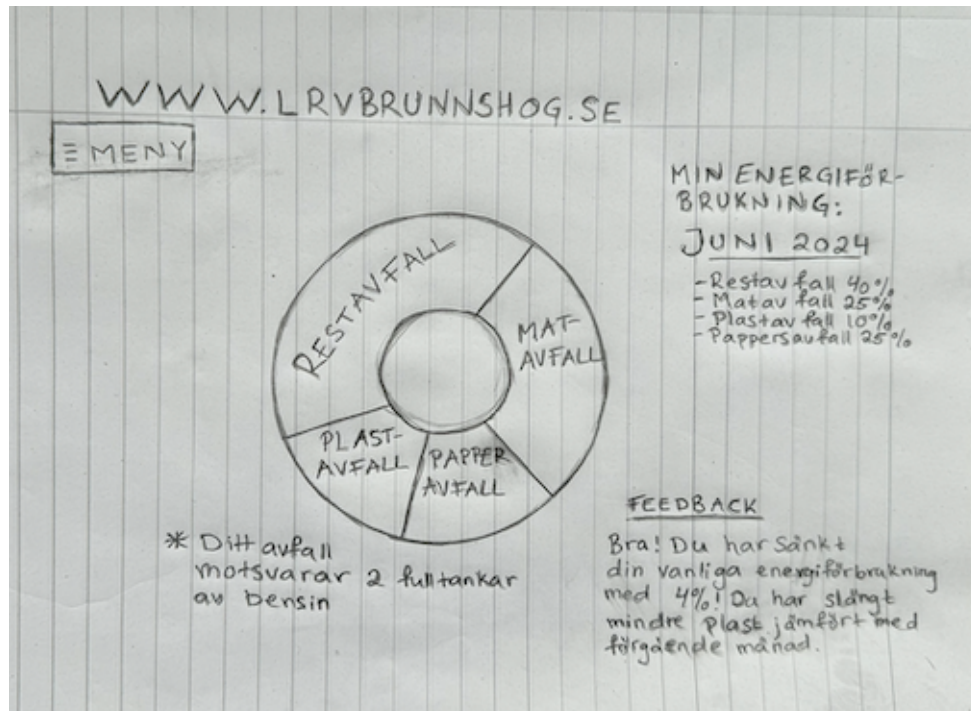
även vara så att sopnedkastan är under sugning just vid den tidpunkten som användaren vill slänga sina sopor, och då kan det finnas en tendens att lägga soporna på marken utanför nedkastan vilket bidrar till problemet. Många kartonger ligger också på marken utanför sopnedkastan, det upplevs att användarna inte viker ihop kartongerna ordentligt och därför får de inte plats i sopnedkastan och användaren ställer kartongerna utanför på marken istället.



Figur 10: Hade du velat se hur mycket energi det går åt för ditt avfall i området?

Ungefär 50% av de som svarat skulle vara öppna för att få feedback på hur deras användning av sopsugsystemet påverkar driften och miljön.

Sammanställning av planeringsfasen samt svaren från enkäten från konceptutvecklingsfasen gav en första skiss på prototypen som syns i figur 11 nedan.



Figur 11: Skiss över prototyp.

5.1.1.3 Fas 2: Design på systemnivå

Fas två behandlar utvecklingen av första prototypen, specifika mål och nödvändigheter klassificeras. Denna fas fokuserar på att utveckla produktarkitektur, definiera systemet och gränssnitt och förfina industriell design.

För att bygga vidare på skissen från fas 1 ovan finns vissa krav som feedback systemet bör ta hänsyn till, i denna fasen specificeras dessa krav och de listas nere i tabell 2. Kraven nämns i prioritetsordning i tabellen och deras ordning motiveras av litteraturen samt svaren från enkätundersökningen. Med hjälp av denna tabell kan produktarkitekturen utvecklas och möjliga gränssnitt definieras.

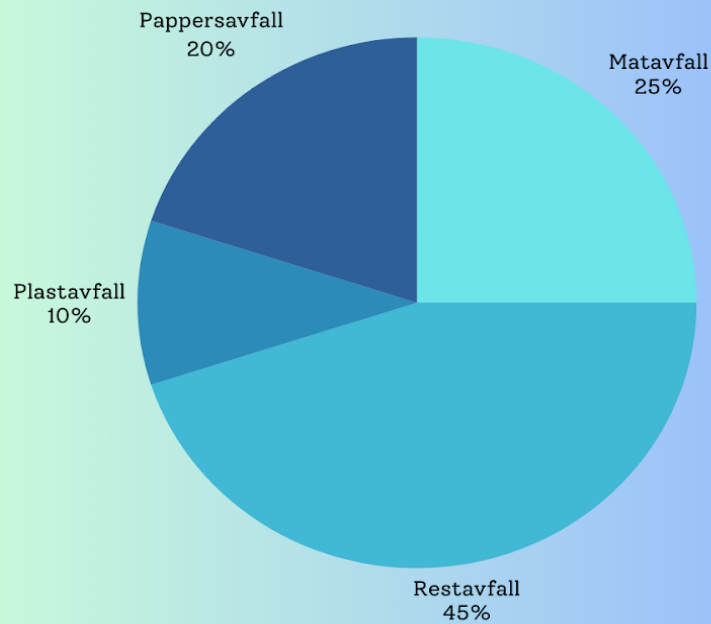
Tabell 2. Lista med krav på feedback system.

<i>Prio</i>	<i>Krav</i>
1	En användare ska kunna se: - Hur mycket avfall som slängs i varje fraktioner, i antingen vikt eller nyttjad energi - Det totala avfallet som genererats över en viss tid
2	En användare ska kunna se grafiskt över sitt tidigare avfall och kunna bestämma layouten till vad som passar användaren bäst
3	En användare ska kunna få positiv feedback när de minskar sitt avfall
4	En användare bör få notifikationer med uppmuntran till förbättring
5	En användare ska kunna få tips på hur den kan minska sitt avfall och alternativa lösningar
6	En användare ska kunna se ifall en fraktion är full eller håller på att tömmas En användare ska kunna se en karta över områdets sopnedkast och deras status
7	En användare ska kunna se hur mycket ens avfall kostar systemet och tips på hur de kan påverka resultatet
8	En användare ska kunna se deras miljöpåverkan En användare ska kunna få information om återvinning och dess nytta

En första prototyp kan nu utvecklas utifrån kravlistan i tabell 2 och skissen och resultatet från tidigare fas. Prototypen syns i figur 12 nedan.

Prototypen visar en första layout av vad användaren kan se när den loggat in med sitt personliga inlogg. Det som visas är ett cirkeldiagram som visar de olika fraktionernas avfall som hushållet stod för under månaden, kommentarer på avfallet samt kommentarer på förbättringspotential för framtid hantering av avfall och en enkel layout som är enkelt att förstå och följa.

MITT AVFALL JUNI 2024



 Ditt avfall denna månaden motsvarar 2 fulltankar av bensin jämfört med förgående månad

 Bra jobbat! Du har sänkt ditt avfall med 4% jämfört med förgående månad.

 Genom att ordentligt vika ihop pappersförpackningar kan sopsuget fungera bättre

Figur 12: Prototyp av app.

Prototypen från figur 12 blev sedan testad av fem olika användare från området Brunnshög som använder sopsugsystemet. De fick titta på prototypen och se sig själva använda den, därefter fick de ge sina kommentarer och kritik. Kommentarererna skulle handla om layouten, hur enkel prototypen är att förstå/använda, hur deras avfallshantering skulle påverkas om de använt appen idag och om de hade andra kommentarer att tillägga. Samtliga kommentarer är uppdelade i positiva kommentarer och negativa kommentarer i tabell 3 nedan utan någon specifik ordning.

Tabell 3. Kommentarer efter test av prototyp.

<i>Bra</i>	<i>Dåligt</i>
“Fin design”	“Kunde varit mer interaktiv”
“Bra kommentarer om hur mycket man förbättrats”	“Färgerna är för starka och för stimulerande, en lite mer känsligare design hade varit bra”
“Tydligt struktur”	“Mer fakta om hur man kan vara mer miljövänlig med sitt avfall”
	“Mål inför nästa månad hade varit nyttigt”

5.1.1.4 Fas 3: Detalj design

Fas 3 fokuserar på att utveckla en marknadsplan och komplettering av prototypen.

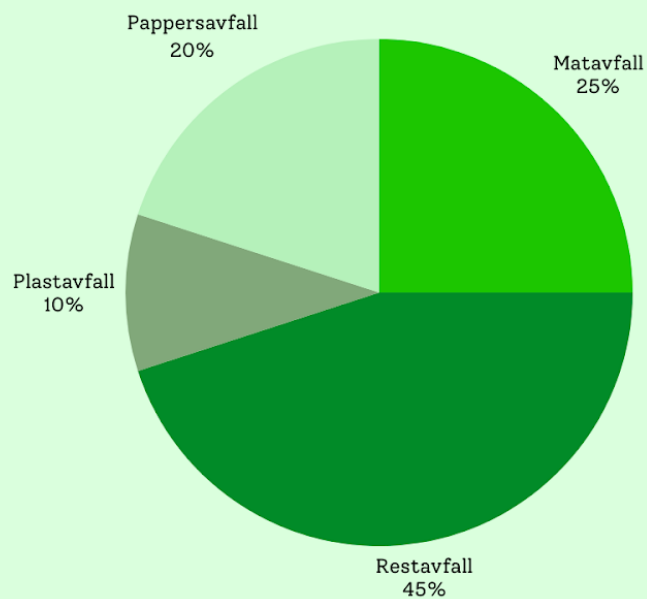
Marknadsplanen förklarar i introduktionen av prototypen att en denna tekniska lösningen kommer att bidra till ett smartare och ett mer hållbart system. Eftersom området står för att vara i framkant och ett innovativt bostadsområde kan användaren som bor på Brunnshög och utnyttjar sopsugsystemet se sig som delaktig och ansvarig att ta an och hjälpa området att fortsätta vara i framkant vad gäller hållbarhet och innovation. Därför förklarar marknadsplanen att detta verktyg är ett komplement av vad som redan sker i användarnas bostadsområde idag och kan bidra till förbättring av sopsugsystemet.

Efter fas två där användare fick testa den första sammanställningen av prototypen från figur 12 har prototypen ändrat och tagit hänsyn till kommentarerna från tabell 3. De förändringar som gjorts är att ta hänsyn till layouten och ge den ett mer bekvämligt utseende, kommentarerna och feedbacken utvecklades till att tydligt separera vad som är kommentarerna av månadens avfall och vad som kommer att bli mål till nästkommande månad för användaren. Detta gav prototypen

en mer interaktiv sida. Tanken är att användaren ska kunna följa sina framsteg genom att appen håller koll på vilka mål som uppfyllts under månaderna och kommentarerna anpassas efter vilka mål som uppnåts och vilka mål som fortfarande inte bockats av. Efter justeringarna sammanställdes den slutgiltiga prototypen, vilket visas i figur 13 nedan.

≡ MENY

MITT AVFALL JUNI 2024



Kommentarer

- Bra jobbat! Du har sänkt ditt avfall med 4% jämfört med förgående månad
- Genom att ordentligt vika ihop pappersförpackningar kan sopsuget fungera bättre
- Ditt avfall denna månaden motsvarar 2 fulltankar av bensin jämfört med förgående månad

Mål till nästa månad

- Minska restavfall:
Försök sänka ditt restavfall genom att köpa produkter med färre förpackningsmaterial
- Förbättra driften:
Genom att ordentligt vika ihop pappersförpackningar kan du undvika att det blir stopp i systemet
- Minska plastavfall:
Minska ditt plastavfall genom att återanvända plastpåsar du har hemma

Figur 13: Slutgiltig prototyp.

5.2 Tillämpning i systemet

Idag finns det ingen teknik som registrerar statistiken över avfallet för varje hushåll. Det går att utnyttja sensorerna i sopnedkassen som känner av hur fullt respektive tomt ett sopnedkast är, som nämns i kapitel 3.1. Varje gång ett hushåll gör sig av med avfall i respektive fraktion kan sensorerna registrera hur mycket avfallet var. För att kunna veta och registrera informationen för varje hushåll kan LRV utnyttja taggarna de planerar att införskaffa i framtiden. Det är planerat att i framtiden införa tagg till varje hushåll för att öppna sopnedkassen till varje fraktion, taggen kan göras personlig om det inte redan är planerat för det i nuläget. Och därmed kan den personliga taggen användas för att registrera användarens statistik och ge nyttig personlig feedback till användaren vilket kan leda till minskad energiförbrukning.

För att undvika att inte alla kan ta nytta av feedbacken och göra det så lättillgängligt som möjligt till alla hushåll bör informationen vara tillgänglig utöver en app, som till exempel en hemsida också. Så att alla användare, oavsett teknisk kunnighet, ska enkelt kunna ta del av sin personliga information och få feedback på hur ens avfall påverkar sopsugsystemet och miljön.

Slutgiltigen betyder det alltså att LRV måste skapa applikationen samt införa taggsystem för att kunna tillämpa tekniken i sopsugsystemet i Brunnshög.

6 Resultat & Diskussion

I detta kapitel presenteras och diskuteras resultaten av frågeställningarna.

6.1 Slutsatser

Relevansen för detta examensarbete är stort och det bör ses nödvändigt att studera vidare vad som undersökts i detta arbete. På grund av att befolkningen ökar snabbt och kommer att nå upp till 11 miljoner i Sverige till år 2040 och varje svensk gör sig av med cirka 431 kg hushållsavfall per år så måste avfallshantering och återvinning vara i framkant i diskussioner och vetenskapliga arbeten. För den mängd avfall som Sverige gör sig av med och kommer att fortsätta göra sig av med måste det utvecklas nya tekniska lösningar som gör detta hållbart. Sopsugsystemen är en riktning i rätt väg, för att kunna vidareutveckla tekniken är det viktigt att förstå sig på sopsugsystemen både matematiskt och experimentellt.

Analysen som arbetet genomfört av sopsugsystemet i Brunnshög visar på både svagheter med förbättringsmöjligheter och styrkor med avseende på energiförbrukningen och effektiviteten i systemet. Datan insamlad mellan januari och juni 2024 visar att systemet fungerar väl men datan över den automatiska och manuella driften visar på att det finns flera möjligheter för optimering. Den automatiska driften är hög och bör sänkas om så går och den manuella driften är alldeles för hög för ett automatiskt system. LRV måste vid flera tillfällen manuellt hantera driften genom att antingen få bort stopp i rören eller manuellt fixa de felsignaler systemet ger, som nämnt i kapitel 3.3. Detta visar att systemet inte riktigt är helt optimalt än och det finns rum till förbättring. Det finns även stora klyftor mellan den automatiska och manuella driften, i tabell 1 visas det att i juni 2024 var den automatiska driften 2130 kWh medan den manuella var 1028 kWh. Det kan finnas flera anledningar till varför denna stora klyftan existerar. Den tydligaste av observationerna är problemet med blockeringar i systemet samt att det ofta uppstår driftstopp av andra diverse anledningar som gör att LRV behöver tömma något rör. Idag löser LRV detta genom att öka hastigheten för att "chocka" systemet och få igång sugningen från blockeringen. Detta är något som nyttjar onödig energi, energi som hade kunnat sparas istället om sopsugsystemet hade drivits optimalt idag.

Inga matematiska resultat kunde tas fram för detta arbete enligt modellen beskriven av Rose och Duckworth i kapitel 4 eftersom säkra värden för ekvation 1 och 3 inte var tillgängliga eller kunde fås fram. Ekvation 1 om SLR värdet inom pneumatisk transportteknik är ett väsentligt värde som måste vara korrekt för att kunna tillämpas i ekvation 3 och vidare analys. Men på grund av tidsbrist inom ramen av examensarbetet och brist på material och tillgång till laborativt arbete kunde inte den korrekta massflödes hastigheten för varje fraktion beräknas. Varje fraktion kommer att ha olika massflödes hastigheter, fraktioner som plast och papper kan vara enklare att beräkna eftersom hela fraktionen består av samma material. Men fraktioner som mat- och restavfall innehåller flera olika avfall och deras materialegenskaper kan variera mycket från avfallspåse till avfallspåse. För vidare arbete kan det vara bra att ta experimentella värden på dessa fraktioner för att sedan bestämma ett medelvärde som fraktionens massflödes hastighet. På grund av omständigheterna var de matematiska värden som kunde beräknas fram osäkra. Därför är det väsentligt att inför framtida arbeten planera för att utföra specifika laborativa och experimentella undersökningar som kommer att passa tidsramen vad gäller ett examensarbete på denna nivå samt tillhandahålla material och tillgång till laborativ plats. Det hade behövts en labbutrustning för att testa teorin om att lufthastigheten inte är ideal idag för varje fraktion. Det finns en stor chans till att lufthastigheten kan ställas in för att gynna pappersförpackningarna så det slipper bli stopp i systemet.

Enligt Rose och Duckworth modellen kan det upplysas om möjligheten att justera lufthastigheten för olika avfallstyper. Även fast detta arbete inte kunde ge några siffror som ett resultat, så kan modellen studeras med de andra centrala begreppen som SLR. Den optimala lufthastigheten för varje fraktion kan beräknas med hjälp av modellen och leda till en mer effektiv och energisnål drift. Enligt modellen finns det potential till att sänka hastigheten vid transport av lättare material som plast- och pappersavfall, medan tyngre material som mat- och restavfall kräver något högre hastighet. Detta skulle leda till en energieffektivare drift där systemet justeras beroende på det specifika avfallet som transporteras. Att implementera ett sådant dynamiskt system kan leda till betydliga energibesparingar utan att påverka sopsugsystemets prestanda. Dessa energibesparingar skulle kunna användas till framtida utökning av systemet i samma takt som Brunnshög byggs ut, när kapaciteten kommer att öka.

Att implementera en teknisk lösning med avseende på användarnas beteende hade varit en lönsam lösning för energibesparingar i systemet. Enligt teorin är användarnas beteendeförändringar avgörande för hur optimalt sopsugsystemet kan drivas. Enligt användarstudien som genomfördes visade det sig att ungefär 85% av de som bor i Brunnshög idag upplevt problem med systemet. Främst var det problem som överfulla sopnedkast och svårigheter att slänga vissa typer av avfall

som papperförpackningar. Enkäten visade även att ungefär hälften var intresserade av att få feedback om sin avfallshantering på något vis. Detta tyder på stor potential till att påverka användarnas beteende genom att skicka feedback med hjälp av ett digitalt system. Enkätfrågan som syns i figur 10 om användaren hade velat få feedback över hur deras avfall påverkar systemet fick som sagt endast ungefär hälften som svarade nej, och ungefär en fjärdedel svarade ja respektive kanske. Jag förmodar att om enkätundersökningen hade haft lite mer kontext bakom frågan så skulle resultatet av frågan blivit annorlunda. Ifall de svarande hade fått en mer utförlig förklaring till varför undersökningen behövs och vad som ska studeras i examensarbetet så hade nog svaret på den frågan varit mycket annorlunda med fler som svarat ja till frågan. Men eftersom enkätundersökningen var kort med endast sju frågor och inte så djup förklaring till vad examensarbetet ska handla om fick den frågan inte så många som svarade ja som jag hade hoppats på. Detta bör tas i beaktning eftersom jag tror fler i området är öppna och villiga till tekniska lösningar precis som förklarat i fas 3 under kapitel 5.1.1.4, bostadsområdet ska vara i framkant för innovation och hållbarhet så det är stor sannolikhet att de som bor i området identifierar sig och tar stolthet till samma åsikt.

Idag bidrar redan sopsugsystemet till en mer grönare närvaro genom att minska koldioxidutsläppen genom att ersätta traditionella sopbilar med det automatiserade systemet. Det finns dock utrymme för ytterligare förbättringar, speciellt när det gäller energiförbrukningen i systemet. Genom att optimera lufthastigheten och implementera ett användarvänligt feedbacksystem kan systemet bli mer energieffektivt och hållbart för vidare byggnation i området. Att optimera systemet leder också till ett mer robust och pålitligt system som tar hand om de problemen som uppstår idag vid sugning samt det som är mindre bra idag från användarens perspektiv. Det leder även till att vid vidare byggnation av området när fler lägenheter och kontor ska täckas av sopsugsystemet så kommer systemet att klara av den belastning som leder till en ökad rörelse i området.

6.2 Vidare arbete

För framtida studier finns det stor potential för vidare utveckling av examensarbetet. Antingen kan vidare studier handla om att bygga vidare på tekniken om ett användarvänligt feedbacksystem till bostadsområdet där tekniken kodalas och utvecklas till verklighet och där användaren får möjlighet att testa det på riktigt under en period. Eller så finns det möjlighet att för framtida studier planera in laborationer och förbereda utrustning som gör det möjligt att experimentera enligt den matematiska teorin, om möjligheten finns att sänka själva lufthastigheten i sugningen som i sin tur sparar på energin i systemet.

Ett tredje alternativ vore att tänka på nya spår men med samma syfte, andra möjligheter att optimera sopsugsystemet på.

Referenslista

- [1] Avfall Sverige. Hushållsavfall [Internet]. Malmö: Avfall Sverige; 2024 [uppdaterad 2024-07-05; citerad 2024-08-02]. Hämtad från: <https://www.avfallsverige.se/fakta-statistik/avfallsstatistik/hushallsavfall/>.
- [2] Statistiska centralbyrån. Befolkningsprognos för Sverige [Internet]. Stockholm: Statistiska centralbyrån; 2024 [uppdaterad 2024-05-16; citerad 2024-08-02]. Hämtad från: <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/manniskorna-i-sverige/befolkningsprognos-for-sverige/>.
- [3] Farré J, Llantoy N, Cháfer M, Gómez G, Cabeza L. Life Cycle Assessment (LCA) of Two Pneumatic Urban Waste Collection Systems Compared to Traditional Truck Collection in an Airport. 2022;14. doi: <https://doi.org/10.3390/su14031109>.
- [4] Avfall Sverige. Insamlingssystem [Internet]. Malmö: Avfall Sverige; 2022 [uppdaterad 2022-08-31; citerad 2024-08-01]. Hämtad från: <https://www.avfallsverige.se/fakta-statistik/insamling/insamlingssystem/>.
- [5] Lunds kommun. Hög hållbarhet i Brunnshög [Internet]. Lund: Lunds kommun; okänt år [uppdaterad 2024-05-13; citerad 2024-08-01] Hämtad från: <https://lund.se/stadsutveckling-och-trafik/stadsutvecklingsomraden/brunnshog/hog-hallbarhet-i-brunnshog>.
- [6] Lunds kommun. Så fungerar det när soporna sugas under marken! [videofil]. 2021, 26 maj [citerad 2024, 5 september]. Hämtad från: https://www.youtube.com/watch?v=MYmj150oNIE&ab_channel=Lundskommun.
- [7] The Engineering ToolBox. Pneumatic Powder and Solid Transport Systems [Internet]. 2003 [citerad 2024-09-20]. Hämtad från: https://www.engineeringtoolbox.com/pneumatic-powder-transport-d_133.html.
- [8] Manjula J, Ariyaratne H, Ratnayake C, Melaaen M. A review of CFD modelling studies on pneumatic conveying and challenges in modelling offshore drill cuttings transport. 2017;305:sidor 782-93. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2016.10.026>.
- [9] Mills D. Pneumatic Conveying Design Guide. 3 uppl. Oxford: Elsevier; 2016.
- [10] Martinussen S. The Influence of the Physical Characteristics of Particulate Materials on their Conveyability in Pneumatic Transport Systems [doktorsavhandling på Internet]. Greenwich: Telemark University College; 1996 [citerad 2024-09-20]. Hämtad från: <https://openarchive.usn.no/usn-xmloi/handle/11250/2438495?locale-attribute=en>.
- [11] Faruqui A, Sergici S, Sharif A. The impact of informational feedback on energy consumption - A survey of the experimental evidence. 2010;35:sidor 1598-608. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.07.042>.

- [12] Fischer C. Feedback on household electricity consumption: A tool for saving energy?. 2008;1:sidor 79-104. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s12053-008-9009-7>.

Appendix A

PRELIMINÄR PROJEKTPLAN

ATT GÖRA / MÅNAD	JUNI	JULI	AUGUSTI	SEPTEMBER	OKTOBER	NOVEMBER	DECEMBER
Registrering / Uppstart av arbete							
Planering och Gantt-schema							
Litteraturstudie							
Enkätundersökning och framtagning av resultat							
Förberedelse muntlig presentation							
Muntlig presentation							
Revidera examensarbete efter muntlig presentation							
Skriva examensarbete							

VERKLIG PROJEKTPLAN

ATT GÖRA / MÅNAD	JUNI	JULI	AUGUSTI	SEPTEMBER	OKTOBER	NOVEMBER	DECEMBER	JANUARI
Registrering / Uppstart av arbete								
Planering och Gantt-schema								
Litteraturstudie								
Enkätundersökning och framtagning av resultat								
Förberedelse muntlig presentation								
Muntlig presentation								
Revidera examensarbete efter muntlig presentation								
Skriva examensarbete								