



Operasjonell analyse av BIRs vakuumbaserte bossnett i Bergen sentrum

*En inngående beskrivelse av det vakuumbaserte bossnettets ytelse, med fokus på
operasjonelle måltall*

Preben Njøsen Norevik & Martin Aamodt Haugen

Veileder: Sigrid Lise Nonås og Mario Guajardo

Masteroppgave i Økonomi og Administrasjon

Hovedprofil: Økonomisk styring (BUS)

NORGES HANDELSHØYSKOLE

Dette selvstendige arbeidet er gjennomført som ledd i masterstudiet i økonomi- og administrasjon ved Norges Handelshøyskole og godkjent som sådan. Godkjenningen innebærer ikke at Høyskolen eller sensorer innestår for de metoder som er anvendt, resultater som er fremkommet eller konklusjoner som er trukket i arbeidet.

Sammendrag

Formålet med denne oppgaven er å utvikle en grundig og detaljert forståelse av systemet som omfatter bossnettet til BIR. Oppgaven er en operasjonell analyse av bossnettet med hovedfokus på ytelsen for drift av rørnettet. Målet med oppgaven er å undersøke om systemet blir mer kostnadseffektivt om vi endrer tømmemønsteret med hensyn til dagens kapasitet.

Hele systemet som omfatter rørnettet består av ressurser som nedkastpunktene og selve rørsystemet, men også selve håndteringen av avfallet som foregår nede på sentralen. Bossnettet påvirkes av ankomsten av kunder, kastvolumet per lukeåpning, kapasitet på nedkastpunkt og tømmemønsteret. Forskningsartikler og ansatte i BIR er enige om at det vil være mest kostnadseffektivt å starte vakuumpumpen færrest mulig ganger så fremt det ikke går utover kunden.

Vi har utviklet en simuleringsmodell basert på empirisk data fra BIR. Simuleringsmodellen brukes til å analysere bossnettet sin ytelse. Etter at vi testet hvordan modellen fungerer i forhold til realiteten, utviklet vi den for å utforske hvordan endringer i tømmemønsteret vil påvirke ytelsen til rørsystemet. Resultatene fra modellene danner grunnlaget for analysen som sammenlignes med datasettet og forskningsartikler som omhandler vakuumbaserte bossnett.

Analysen vår viser at antallet start av vakuum kan reduseres fra 310 ganger fra datasettet til 90 ganger i uken ved å endre til et forgreningsbasert tømmemønster. Denne reduksjonen vil føre med seg en økt kostnad per tømming i form av økt energiforbruk og tømming ettersom fraktet volum per tømming øker. Det vil likevel være rimelig å anta at reduksjonen i antall tømminger veier opp for slitasjekostnadene og det økte energiforbruket. Løsningen gjør det også mulig å tilføre flere bedriftskunder til systemet for å øke fyllingsgraden ved ulike nedkastpunkt uten at det påvirker antall vakuumpumper. På grunn av usikkerhet knyttet til modellen kan vi ikke slå fast at dette vil være gjeldende i praksis, men det er løsning som burde undersøkes nærmere av BIR.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet som en del av masterstudiet i økonomi og administrasjon ved Norges Handelshøyskole. Oppgaven er skrevet innenfor hovedprofilen økonomisk styring (BUS), og tilsvarer 30 studiepoeng av et studieløp på 120 studiepoeng.

Oppgaven har vært en lærerik, men krevende opplevelse med tanke på at det er et felt få har analysert før. Vi er veldig glade for muligheten vi har fått. Det har vært meget spennende å få benytte simulering i praksis og få arbeide selvstendig med et prosjekt av denne størrelsen. Vi har fått mye erfaring og lært mye underveis som vi tar med oss videre i livet.

Vi vil spesielt rette en stor takk til Andre Tangen og Roger Langedal fra BIR som gav oss muligheten til å skrive denne oppgaven. I tillegg vil vi takke Björn Deh og Tore Mehl fra BIR som hjalp oss med å forstå hvordan det vakuumbaserte bossnettet i Bergen fungerer og hvordan datasettet er bygget opp. Uten dere hadde ikke oppgaven vært mulig å gjennomføre.

Til slutt ønsker vi å takke våre veiledere Sigrud Lise Nonås og Mario Guajardo som har vist engasjement for oppgaven og hatt troen på oss hele tiden.

Bergen, Juni 2018

Preben Njøsén Norevik

Martin Aamodt Haugen

Innholdsfortegnelse

SAMMENDRAG.....	2
FORORD	3
INNHALDSFORTEGNELSE	4
1. INNLEDNING	12
1.1 VALG AV TEMA OG OPPGAVE.....	12
1.2 RENOVASJON I NORGE	12
1.3 RENOVASJON I BERGEN.....	15
1.3.1 BIR	15
2. PROBLEMSTILLING.....	16
3. BESKRIVELSE AV FORSKNINGSOBJEKT	18
3.1 DEFINISJON AV BEGREPER I OPPGAVEN	18
3.2 BESKRIVELSE AV BOSSNETTET OG JEKTEVIKEN	18
3.3 SENTRALENS RESSURSER.....	23
3.3.1 Viftene	23
3.3.2 Terminalene.....	24
3.3.3 Rørveksler	24
3.3.4 Syklonen	25
3.3.5 Containere og komprimator	25
3.4 PROSESSBESKRIVELSE	26
3.4.1 Prosesskisse.....	27
3.4.2 Kunde kaster søppel	28
3.4.3 Nedkastene	28
3.4.4 Ventilsjakter og skrutanker	30
3.4.5 Ventilsjaktene tømmes	31

3.4.6	<i>Avfallet fraktes i rørnettet</i>	32
3.4.7	<i>Fraktes inne i sentral</i>	32
3.4.8	<i>Avfallet fylles i container</i>	33
4.	TEORI	34
4.1	OPERASJONELLE MÅLTALL I SERVICESYSTEMER	34
4.1.1	<i>Gjennomløpstid (T)</i>	35
4.1.2	<i>Gjennomstrømningsrate (R)</i>	36
4.1.3	<i>Lager (I)</i>	37
4.2	VARIABILITET	37
4.2.1	<i>Variabilitet i ankomstrate</i>	38
4.2.2	<i>Variabilitet i prosesseringstider</i>	39
4.2.3	<i>Kø lengde-formelen</i>	39
4.3	TIDLIGERE FORSKNINGSARTIKLER	40
4.3.1	<i>Introduksjon</i>	41
4.3.2	<i>Hoveddel av forskningen</i>	42
5.	METODE	46
5.1	FORSKNINGSDESIGN	46
5.2	INNSAMLING AV DATA	47
5.2.1	<i>Kvalitativ metode</i>	48
5.2.2	<i>Kvantitativ metode</i>	49
5.3	DATABEHANDLING	50
5.4	VALIDITET OG RELIABILITET	50
5.4.1	<i>Validitet</i>	50
5.4.2	<i>Reliabilitet</i>	53

5.4.3	<i>Etiske utfordringer ved oppgaven</i>	55
6.	FORKLARING AV MODELLEN	56
6.1	GPSS	56
6.2	GENERELT OM SIMULERINGEN	56
6.3	OM DATASETET	57
6.4	ANKOMST AV KUNDER	58
6.4.1	<i>Ankomst til nedkastpunkt</i>	59
6.4.2	<i>Kunder ved nedkast</i>	61
6.4.3	<i>Prosesseringstid og kø</i>	62
6.5	TØMMINGER.....	64
6.5.1	<i>Antall tømminger og kapasitet</i>	65
6.5.2	<i>Effekt av stenging om natten for tømming</i>	65
6.6	FYLLING AV CONTAINERE	66
6.7	AVGRENSNINGER	67
6.7.1	<i>Publikumsnedkast</i>	67
6.7.2	<i>Nedkast</i>	68
6.7.3	<i>Papp/papir/plast</i>	68
6.7.4	<i>Sekundære nedkastpunkt</i>	70
6.8	VURDERING AV VALIDITET FOR MODELLEN	70
6.8.1	<i>Ankomsttid til kundene</i>	70
6.8.2	<i>Fyllingsgrad til nedkastpunkt</i>	71
6.8.3	<i>Kapasitetsutnyttelsen ved nedkastene</i>	71
6.8.4	<i>Kapasitetsutnyttelse ved bosnettet</i>	72
6.8.5	<i>Containere fylles</i>	73

6.8.6	<i>Annet</i>	74
6.8.7	<i>Oppsummering for validering av modellen</i>	74
7.	ANALYSE	75
7.1	BASE CASE (MODELL 1).....	75
7.1.1	<i>Nøkkeltall for ankomst til systemet</i>	76
7.1.2	<i>Avfallsvolum for base case</i>	78
7.1.3	<i>Nøkkeltall for tømminger base case</i>	79
7.1.4	<i>Nøkkeltall for container base case</i>	84
7.2	NEDKAST (MODELL 2).....	86
7.2.1	<i>Generelt om modell 2</i>	86
7.2.2	<i>Nøkkeltall for ankomst til systemet</i>	87
7.2.3	<i>Avfallsvolum modell 2</i>	87
7.2.4	<i>Nøkkeltall for tømming modell 2</i>	88
7.2.5	<i>Nøkkeltall for container modell 2</i>	92
7.3	FORGRENINGER (MODELL 3).....	93
7.3.1	<i>Generelt om modell 3</i>	93
7.3.2	<i>Avfallsvolum</i>	94
7.3.3	<i>Nøkkeltall for tømming</i>	95
7.3.4	<i>Nøkkeltall for container</i>	99
7.4	EKSPERIMENT.....	100
7.4.1	<i>Endring i standardverdi for bedrift og husholdningskunde</i>	100
7.4.2	<i>Fyllingsgrad ved de ulike nedkastpunktene</i>	103
8.	REFLEKSJON RUNDT RESULTATENE	106
8.1	RESULTATENE KNYTTET OPP MOT FORSKNINGSARTIKLENE.....	106

8.2	BEGRENSNINGER OG SVAKHETER VED OPPGAVEN.....	107
8.3	DRØFTING RUNDT RESULTATENE	108
8.4	KONKLUSJON	109
8.5	VIDERE FORSKNING.....	110
9.	LITTERATURLISTE	111

Figurer

Figur 1: Opprinnelse av avfallet (Skjerpen & Vinju, 2016).....	14
Figur 2: Total avfallsmengde og gjenvinningsandel (Skjerpen & Vinju, 2017).....	14
Figur 3: Oversikt bossnett i Bergen (BIR Nett, 2017)	19
Figur 4: Oversikt over rørsystemet Bergen, blått bossnett (BIR, 2018a).....	20
Figur 5: Oversikt bossnett terminal 1	21
Figur 6: Fordeling av kast for husholdningskunder for de ulike avfallskategoriene	22
Figur 7: Fordeling av kast for bedriftskunder for de ulike avfallskategoriene.....	23
Figur 8: Oversikt over viftene (BIR, 2018b, s. 2)	24
Figur 9: Funksjonen til rørveksler (BIR, 2018b, s. 1)	24
Figur 10: Syklonen sin funksjon (BIR, 2018b, s. 3)	25
Figur 11: Komprimator sin funksjon og container (BIR, 2018b, s. 4).....	26
Figur 12: Prosesskart bossnett.....	27
Figur 13: Eksempel på et nedkastpunkt i Bergen sentrum (Markussen, 2015).....	29
Figur 14: Oversikt over luker for nedkast (BIR, 2017b).....	30

Figur 15: Nedkastpunkt med ventilsjakt (Valle, 2015)	31
Figur 16: Skrutank (foto privat)	31
Figur 17: Container og komprimator (foto privat)	33
Figur 18: Throughput delay curve (Anupindi et al., 2012, s.201).....	40
Figur 19: Rørsystem med flere forgreninger (Fernandez et al. ,2015).....	43
Figur 20: Ulike forgreninger som kan tømmes enkeltvis (Fernandez et al. ,2015).....	43
Figur 21: Antall lukeåpninger for restavfall i 2017 fordelt på måneder	57
Figur 22: Antall lukeåpninger for observasjonsperioden	58
Figur 23: Fordeling av antall lukeåpninger i 2017 på ukedag.....	59
Figur 24: Fordeling av antall lukeåpninger i 2017 på døgnbasis	60
Figur 25: Tømming av papir/plast/papp gjennomsnitt hver dag	69
Figur 26: Ankomst for modell 1 og datasett.....	76
Figur 27: Antall tømminger/start av bossnettet for modell 1 og datasett.....	79
Figur 28: Kumulativ tømming lagringsenhet modell 1	81
Figur 29: Fordeling kapasitetsutnyttelse	82
Figur 30: Modell 1 Tømming av lagringsenhet.....	83
Figur 31: Tømming av lagringsenhet i datasett.....	84
Figur 32: Antall containere per uke.....	85
Figur 33: Sammenligning volum avfall modell 1 og 2	88
Figur 34: Antall tømminger av bossnettet for modell 1 og modell 2.....	89
Figur 35: Kumulativ tømming av lagringsenhet modell 2	90

Figur 36: Fordeling kapasitetsutnyttelse Modell 2.....	91
Figur 37: Antall tømminger i modell 2	92
Figur 38: Volum avfall modell 1,2,3.....	94
Figur 39: Antall tømminger modell 3 og modell 2	95
Figur 40: Kumulativ tømming lagringsenhet modell 3.....	96
Figur 41: Fordeling kapasitetsutnyttelse modell 3	97
Figur 42: Antall tømminger per lagringsenhet modell 3.....	98
Figur 43: Tid for tømming container.....	99

Tabeller

Tabell 1: Flytenhetenes ressurser i systemet.....	34
Tabell 2: Klassifisering av variabilitet i ankomstrate.....	38
Tabell 3: Klassifisering av variabilitet i prosesseringstid	39
Tabell 4: Gjennomløpstid nedkast (vedlegg 2)	62
Tabell 5: Variasjonskoeffisient for prosesseringstid.....	63
Tabell 6: Kapasitetsutnyttelse for ankomst til nedkast (se vedlegg 3 for hel tabell)	64
Tabell 7: Publikumsnedkast For hele tabell se (vedlegg 5)	67
Tabell 8: Papp/papir/plast (Se vedlegg 6)	69
Tabell 9: Endring av tid det tar å tømme.....	73
Tabell 10: Statistikk totalt generert avfallsvolum fra modell 1.....	78

Tabell 11: Statistikk totalt generert avfallsvolum fra datasett.....	78
Tabell 12: Kapasitetsutnyttelse tømning av nedkast modell 1 nedkast.....	82
Tabell 13: Generert og totalt volum containere.....	86
Tabell 14: Kapasitetsutnyttelse tømning modell 2 for utvalgte nedkastpunkter	91
Tabell 15: Endring i standardverdi for husholdningskunder	101
Tabell 16: Endring i standardverdi for bedriftskunder	102
Tabell 17: Fyllingsgrad utvalgte nedkast i modell 3 (Se vedlegg 13 for hel tabell)	104

1. Innledning

1.1 Valg av tema og oppgave

Våren 2017 hadde BIR et foredrag for studenter om avfallshåndtering og hvordan BIR bruker mer moderne avfallsløsninger for fremtiden. Moderne renovasjon hørtes spennende ut og vi begynte å diskutere mulighetene for å skrive en masteroppgave om det nye bossnettet BIR åpnet i 2015.

Bergen er den første byen i verden som har planer om å installere bossnett i hele sentrumskjernen. Bergen er også den eneste byen i Norge som har vakuumbasert bossnett i denne skalaen, men systemet blir mer og mer vanlig rundt om i verden. Flere flytter til urbane strøk, som fører til at det blir mindre plass og mer avfall. Den gjennomsnittlige avfallsmengden per person er også økende hvert år, som gjør at sortering og resirkulering av avfall får større betydning. Stadig flere byer investerer i moderne avfallsløsninger. Målet med bossnettet er at alle husholdningskunder skal ha omtrent 100 meter til nærmeste nedkastpunkt. Avfallet håndteres i områder med lite plass som har ført til at det har blitt mer aktuelt å grave ned bossnettet.

1.2 Renovasjon i Norge

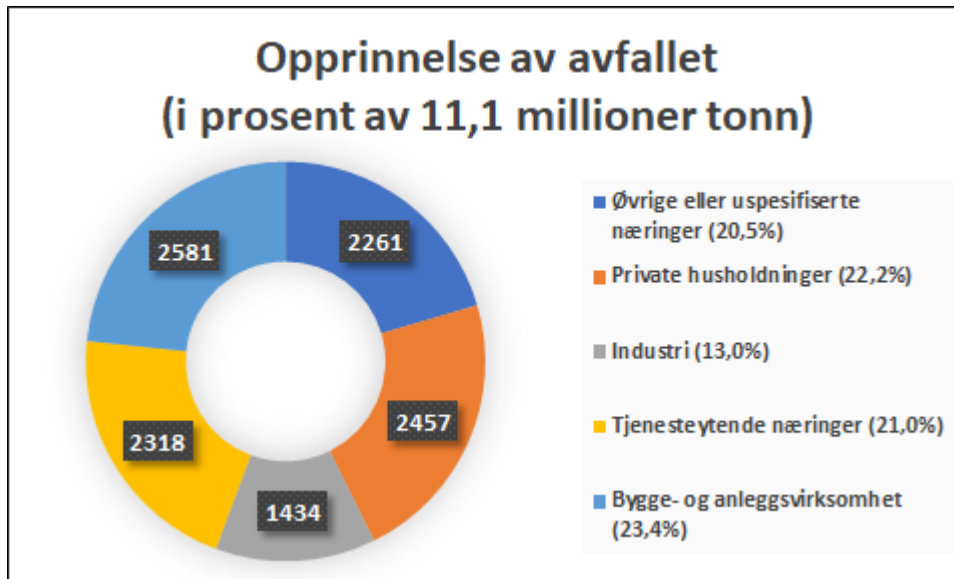
De fleste nordmenn i dag tar det for gitt at renovasjonstjenestene deres er i orden og tar seg av søppelet de trenger å bli kvitt. Siden starten av 1980-tallet har forbruket av varer og tjenester mer enn doblet seg (Strand, SSB, 2014). Dette har ført til at avfallet tilsvarende har økt med 70% siden 1995 til i dag (Skjerpen & Vinju, 2016). Halvparten av veksten i konsum skyldes økt befolkningsvekst (Torstenson, 1997, s. 99-120). Renovasjonstjenestene er viktige for å få sortert og resirkulert avfallet slik at det kan bli benyttet til gjenbruk, men også hindre at avfallet skaper dårlig hygiene.

Fokus på renovasjon startet på 1600-tallet når staten begynte med reguleringer av avfallshåndtering som følge av helseproblemer og vond lukt (Torstenson, 1997, s. 23-59). Da den industrielle revolusjonen kom, begynte husholdningene å konsumere mer og

avfallsmengdene økte. Utover 1800-tallet økte avfallsmengden betydelig ettersom flere flyttet til byene. Bergen var først ut i Norge til å opprette et kommunalt renholdsverk i 1881, som er forløperen til dagens Bergensområdets Interkommunale Renovasjonsselskap (BIR). Påfølgende kom det i 1928 en lov om kommunal renovasjonsavgift som gjorde det mulig for kommuner å kreve inn renovasjonsgebyrer fra alle husstander. Utover 1960-tallet ble det mindre vanlig å benytte deponier og det ble et stadig sterkere fokus på gjenvinning av brukt materiale og resirkulering.

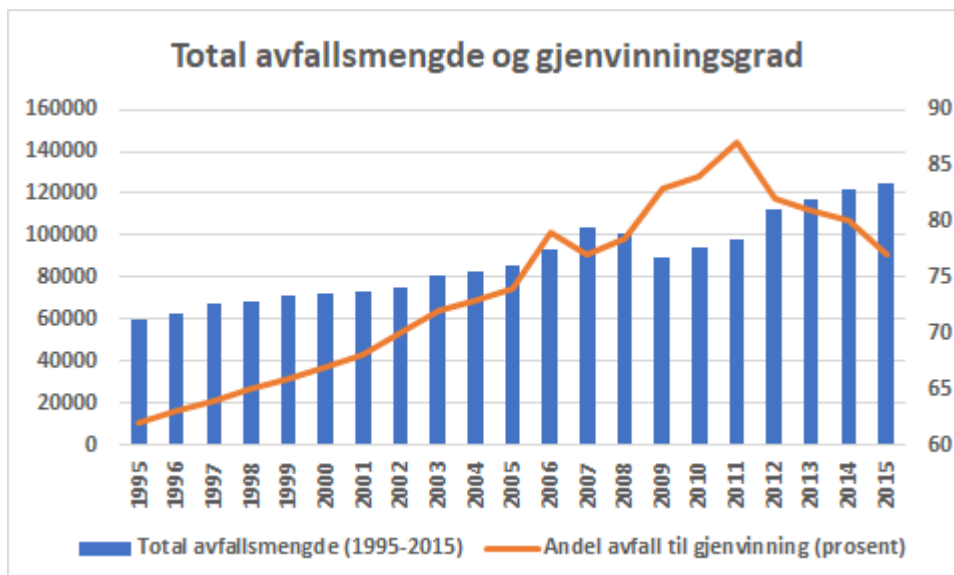
Avfall er noe som omgir oss i dagliglivet og samfunnet har blitt mer fokusert på bærekraft og gjenbruk av ressursene. Digitalisering gir store muligheter ved blant annet bruk av smart teknologi for mer effektiv søppelhåndtering. Verdensbanken har estimert at søppel i de store byene vil doble seg fra 1,3 milliarder tonn per år til 2,2 milliarder tonn per år i løpet av de neste ti årene (Bhada-Tata & Hoornweg, 2012, side 9). Dette gjør det ekstra spennende å skrive en oppgave om et tema som ikke er forsket så mye på og blir stadig mer aktuelt i samfunnet.

Private husholdninger sto for 2,4 millioner tonn avfall (22%) av den totale mengden avfall i Norge på totalt 11,1 millioner tonn i 2015. Tjenesteytende sto for tilsvarende 2,3 millioner tonn avfall (21%). Figur 1 gir en grafisk fremstilling av situasjonen. Av de 2,4 millionene tonn avfall husholdningene kastet, utgjorde 986 000 tonn av dette avfallet restavfall. Restavfallet inneholder store mengder avfall fra andre kategorier som kan gjenbrukes eller resirkuleres hvis blir sortert riktig (Skjerpen & Vinju, 2016). Hver norske innbygger kastet i gjennomsnitt 439 kilo avfall og sorterte 166 kilo avfall til materialgjenvinning.



Figur 1: Opprinnelse av avfallet (Skjerpen & Vinju, 2016)

Norge har gjennom EØS-avtalen forpliktet seg til at veksten i mengde avfall fra år til år ikke skal være høyere enn veksten i landets BNP. Dette bidrar til økt fokus på renovasjon og resirkulering av avfall. I tillegg har Stortinget satt et nasjonalt politisk mål om at over 50% av alt husholdningsavfall skal gjenvinnes innen 2050. Avfallet kan gjenvinnes ved å bli brukt på nytt eller i form av energi til fjernvarme (Avfall Norge, 2017).



Figur 2: Total avfallsmengde og gjenvinningsandel (Skjerpen & Vinju, 2017)

1.3 Renovasjon i Bergen

Bergen sentrum har mange smale gater og har i mange år hatt problemer med skadedyr og avfall som ikke blir samlet inn. Det ble derfor besluttet i 2007 om å etablere et vakuumsystem i sentrum for å håndtere avfallet, redusere omfanget av skadedyr, mindre tungtrafikk og bedre hygiene i sentrum.

Husholdningskunder er regulert ved lov om at de må betale kommunale renovasjonsavgifter til sin kommune. Hver kommune er dermed ansvarlig for å samle husholdningsavfall innad i kommunen. Alle avgifter er bestemt av kommunene basert på selvkost og enkelte kommuner har gått sammen om renovasjonstjenestene i et såkalt interkommunalt samarbeid.

Bedriftskunder har ikke det samme lovverket og avfallet deres må derfor håndteres av konkurranseutsatte renovasjonsselskaper. Hjemlet i lov er private aktører ansvarlig for å håndtere avfallet de skaper og behandle det miljøvennlig.

1.3.1 BIR

Bergensområdets Interkommunale Renovasjonsselskap (BIR) er et av de største renovasjonsselskapene i Norge og ble opprettet i 1881 (BIR, 2018c). Selskapet er ansvarlig for innsamling og håndtering av avfall fra husholdninger og bedrifter i Bergensområdet etter lov om kommunal renovasjonsavgift. BIR AS eies av kommunene Askøy, Bergen, Fusa, Kvam, Os, Osterøy, Samnanger, Sund og Vaksdal. Bedriften driver også gjenvinningsstasjoner for private og bedrifter i eierkommunene. Selskapet er delt opp i flere datterselskaper med forskjellige arbeidsoppgaver, hvor BIR AS er moderselskapet. Datterselskapene er BIR Privat, BIR Nett, BIR Bedrift, BIR Transport og BIR Avfallsenergi AS. Samlet har BIR omtrent 175000 kunder, der 4479 er tilknyttet bossnettet (BIR,2017a). Av kundene knyttet til bossnettet utgjør husholdningskunder 4385 og bedriftskunder 94.

Ansvar for å gjennomføre kommunale lovpålagte oppgaver som utgjør innsamling, oppsamling og håndtering av avfall fra husholdningskunder i de ulike kommunene ligger hos BIR Privat. Selve transporten og innsamlingen av husholdningsavfallet har BIR Transport ansvaret for gjennom en avtale med BIR Privat. Ansvar for næringslivskunder har BIR Bedrift, og de tilbyr ulike avfallsløsninger som leie av container og tilgang til nedkastpunkt for bedriftskunder. Drift og utbygging av bossnettet i Bergen styres av BIR Nett.

2. Problemstilling

Det vakuumbaserte bossnett i Bergen er det største av sitt slag i Norge. Flere byer i verden har vakuumsystemer, men Bergen er den første byen som gjennomfører et prosjekt som skal dekke hele bykjernen. Vi vil derfor se om bossnett kan driftes mer kostnadseffektivt enn det gjøres i dag. Målet er derfor å kartlegge kapasiteten til rørsystemet, størrelsen på forbrukerbasen, forbrukermønster og antall tømminger. Videre ønsker vi å se på muligheten for å optimere verdikjeden med grunnlag i teori og forskning.

Oppgaven kommer til å fokusere på å gjennomføre analyser og undersøkelser av kapasitetsutnyttelsen av de ulike variablene i bossnett. For å få mest mulig reelle resultater vil vi bruke simulering til å svare på problemstillingen. Forskningsartikler danner grunnlaget for å sammenligne våre outputdata med resultater fra andre vakuumsystemer. Ifølge ansatte i BIR vil det være optimalt å kjøre systemet minst mulig med tanke på strømforbruk, slitasje og miljøhensyn. Informasjonen samsvarer med hva forskning på andre bossnett finner. På den andre siden må det tømmes ofte nok sånn at avfallet ikke flyter over. Et poeng er også at punkt som nesten er fulle før bossnett stenger (23:00-07:00) bør tømmes slik at de ikke blir fulle om natten. Dette fordi det vil være en kostnad for bossnett og BIR i form av omdømme hvis det flyter over av søppel ved et nedkastpunkt eller at kunden ikke får kaste. I virkeligheten vil en kunde bli sendt til sitt sekundære nedkastpunkt og nedkastet som er fullt vil ikke være tilgjengelig for bruk før det er tømt. Dette vil ikke være et reelt problem ettersom BIR tømmer på kvelden og når nedkast er fulle.

Hovedproblemstillingen vil derfor være:

Vil en endring i tømmemønsteret gjøre bossnett mer kostnadseffektivt?

For å besvare hovedproblemstillingen vil vi dele oppgaven opp i flere delproblemstillinger for å analysere ulike scenarioer som kan oppstå. Avgrensninger, beregninger og simuleringer vil danne grunnlaget for å besvare problemstillingene i oppgaven. I de første delproblemstillingene vil vi undersøke kapasiteten til systemet basert på drift i dag. Analysen for den optimale kapasiteten vil fokusere på hvordan endring av tømmemønster påvirker

antall tømminger. Funnene fra delproblemstillingene danner grunnlaget for besvarelse av hovedproblemstillingen. Vi vil blant annet se på:

- Gitt dagens containervolum og antall nedkastpunkt, hva er gjennomløpstiden til avfallet og hva er kapasitetsutnyttelsen på bossnettet?
- Hvor mye søppel håndterer bossnettet over en uke?
- Finnes det volatilitet i forbruksmønsteret avhengig av sesong eller tid på døgnet?

En sentral del av oppgaven blir å kartlegge kapasitetsutnyttelsen under dagens drift.

Kapasitetsutnyttelsen ved de ulike søppelkategoriene vil også være sentralt ved at det kastes mer restavfall enn papir. Datasett gir informasjon om forbrukermønster og nøkkeltall over tid, som vil bli brukt i simuleringer og analyser.

- Hvordan påvirker tømmemønsteret antall tømminger?
- Hvordan påvirker tømmemønster tiden det tar å fylle container?
- Hvordan vil volum per lukeåpning påvirke systemet?
- Undersøker hvordan antall bedriftskunder per punkt kan påvirkes for å glatte oppfyllingstid per punkt?

Delproblemstillingene vil bli diskutert i analysen, men vil ikke bli direkte besvart i teksten. Resultatene vi får vil ikke kunne gi eksakte svar på delproblemstillingene, og vil derfor bli brukt som hjelpemiddel for å diskutere hovedproblemstillingen til slutt.

3. Beskrivelse av forskningsobjekt

I denne delen blir først uttrykk og begreper som blir brukt i oppgaven forklart. Videre blir bossnettet presentert og forklart. Til slutt kommer en detaljert gjennomgang av prosessen vi har som mål å analysere i denne oppgaven.

3.1 Definisjon av begreper i oppgaven

Når det er snakk om et enkelt nedkast i oppgaven refereres det til en enkelt søppelkasse. Et nedkastpunkt er en ansamling av flere nedkast på en adresse. Bossnettet brukes som begrep om hele systemet fra nedkast til sentralen i Jekteviken. I Jekteviken er det to terminaler som dekker hver sin del av det blå nettet. Når det er snakk om terminal refereres det til hver enkelt av de to. Under nedkastene er det lagringsenheter for avfall gitt ved ventilsjakt eller tank.

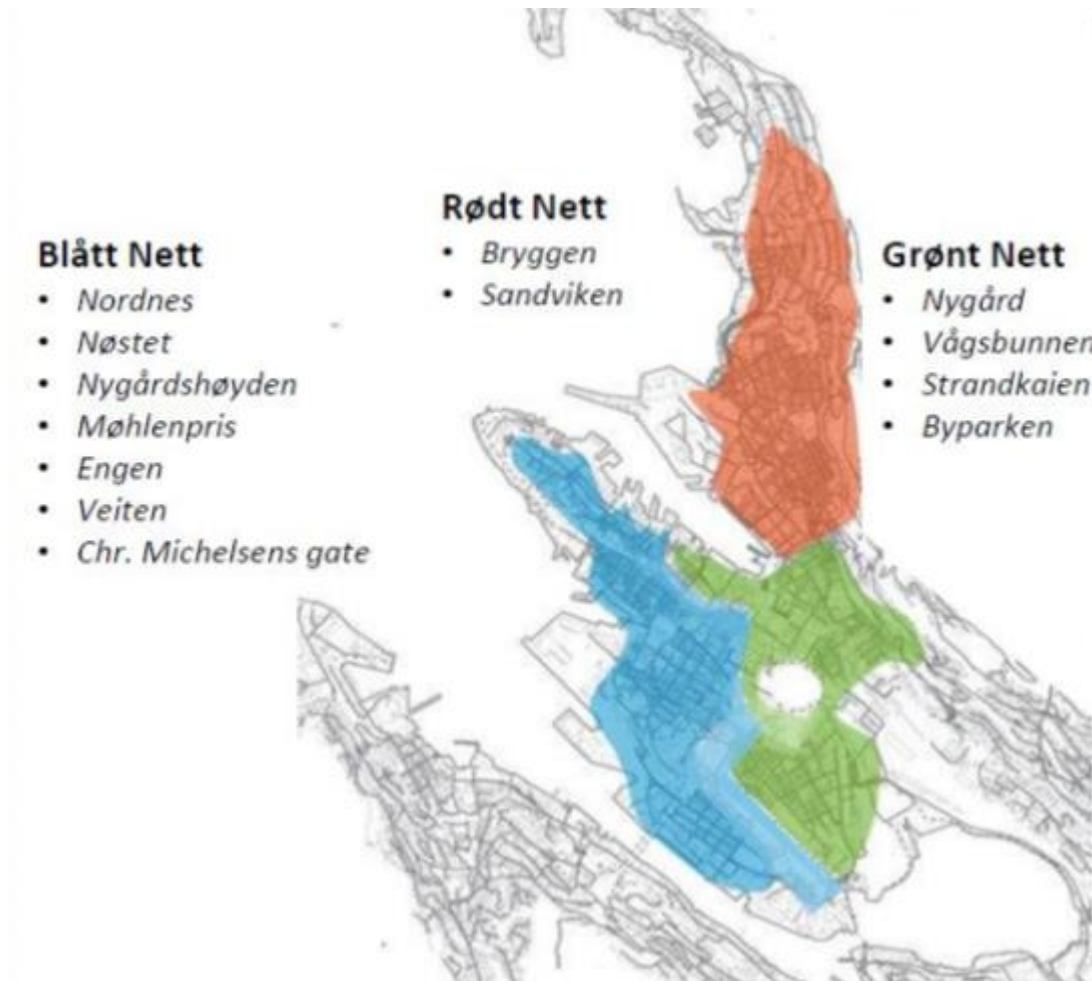
Vi skiller i oppgaven mellom husholdningskunder og bedriftskunder. Husholdningskunder er en vanlig forbruker som benytter bossnettet for å kvitte seg med husholdningsavfall. En bedriftskunde er en aktør fra næringslivet som bruker bossnettet til å kvitte seg med avfall. Forbruker/kunde er en fellesbetegnelse som brukes om alle kunder av bossnettet, både bedrift og husholdning. Bruk av avfallstype refererer til en av de to kategoriene restavfall og papp/papir/plast.

3.2 Beskrivelse av bossnettet og Jekteviken

BIR har i samarbeid med Bergen kommune etablert et vakuumbasert bossnett i sentrumskjernen. Systemet bruker rørnett under gatene hvor vakuum brukes til å frakte avfall kunden kaster fra nedkastpunkt til sentralen som er oppsamlingspunkt. Det er denne delen av bedriftens arbeidsområde som vil være i fokus i oppgaven.

Planen for bossnettet er at det skal være tre ulike nett i Bergen sentrum. Nettene er delt opp i blått, grønt og rødt nett. De ulike nettene vil ha hver sin sentral hvor avfallet blir samlet.

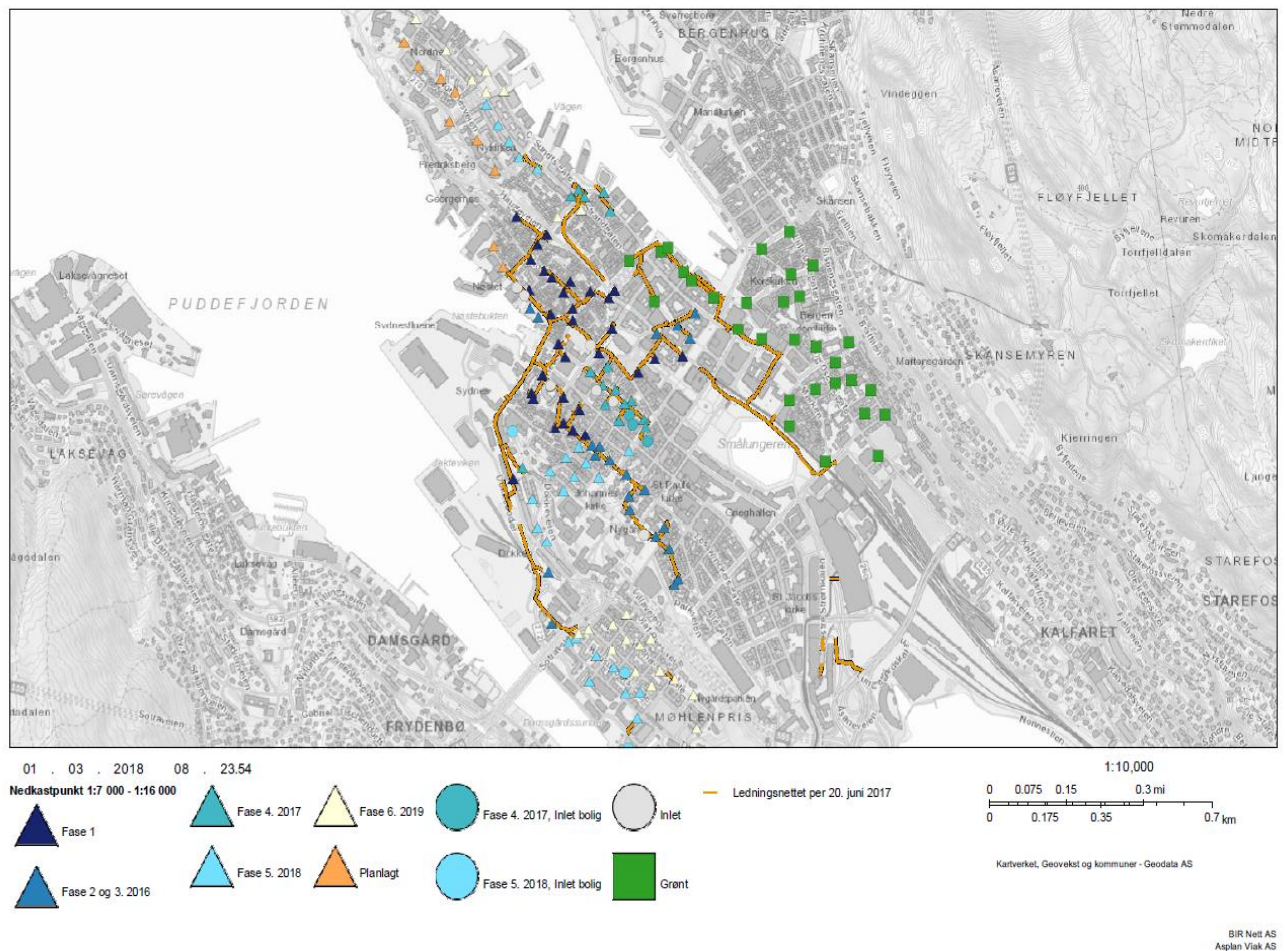
Områdene nettene dekker kommer frem i figur 3 under.



Figur 3: Oversikt bossnett i Bergen (BIR Nett, 2017)

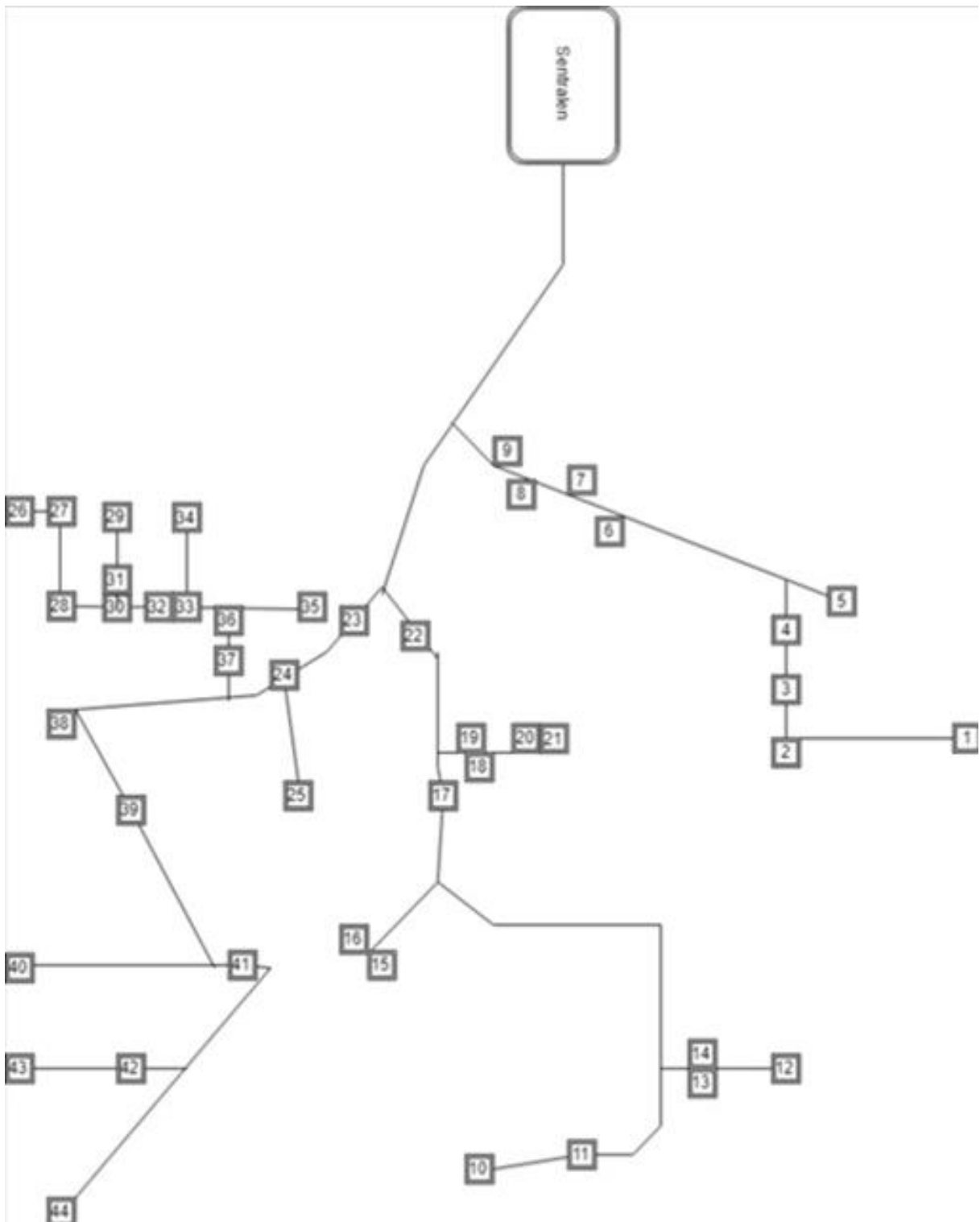
BIR begynte utbygging av det blå nettet i 2007, og var per 31 desember 2017 54.3% utbygget. Det blå nettet har blitt bygget i etapper slik at det kan brukes etterhvert som etappene blir fullført. Mandag 26 oktober 2015 ble bossnettet tilgjengelig for de første beboerne i Bergen, henholdsvis på Nøstet, Klosteret, Sydnes og Engen. Utbyggingen og åpning av nye punkter holder fortsatt på for det blå nettet i dag. I oppgaven er det blå nettet i fokus, dette fordi det grønne nettet ikke er i drift enda.

Bossnett Bergen



Figur 4: Oversikt over rørsystemet Bergen, blått bossnett (BIR, 2018a)

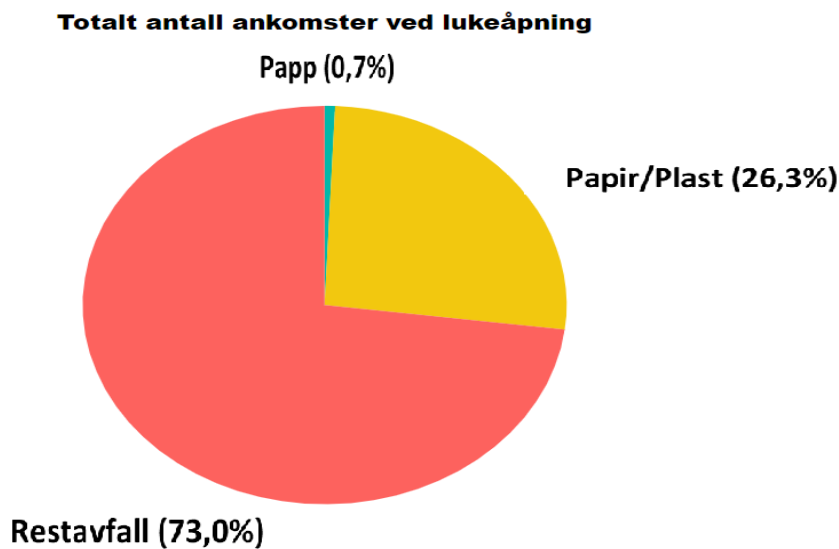
Figur 4 viser en oversikt over hvor nedkastpunktene er lokalisert i sentrum og hvor rørsystemet ligger. Trekantblokkene hvis ulike nedkastpunkt og i hvilke faser de er lagd. De grønne blokkene er planlagt lokasjon for nedkastpunkt til det grønne nettet og de oransje trekantblokkene er planlagte nedkastpunkter i det blå nettet.



Figur 5: Oversikt bossnett terminal 1

Figur 5 viser en visuell framstilling for de ulike nedkastpunktene og lokalisasjon sett i forhold til hverandre og sentralen. De ulike forgreningene kommer ikke synlig frem i figuren, men alle endepunkter er en forgrening. Se vedlegg 1 for oversikt over adresse til de ulike nedkastpunktene.

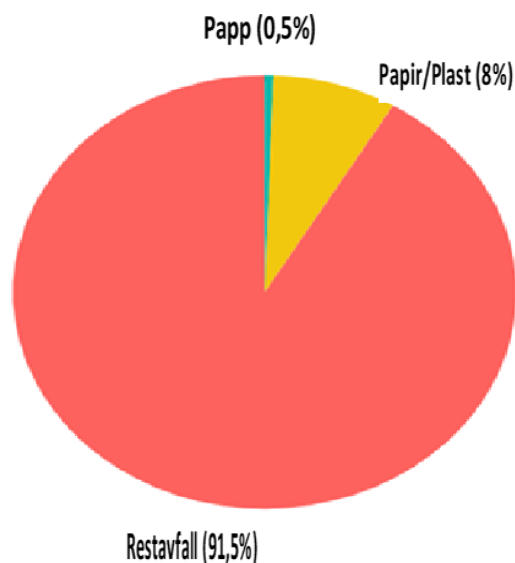
Figur 6 viser fordelingen av avfallskategorier for husholdningskunder ut ifra antall lukeåpninger og er basert på 574 437 observasjoner. Papp utgjør en liten andel fordi mange kunder kaster papp i papir/plast. Grunnen til at det er selvstendige pappnedkast er for å håndtere større mengde papp, mens papir/plast kan ta imot papp som er revet opp.



Figur 6: Fordeling av kast for husholdningskunder for de ulike avfallskategoriene

Figur 7 viser en grafisk fremstilling av bedriftskunders bruk av de ulike avfallskategoriene. Tallene kommer fra 24941 observasjoner fordelt på papp, restavfall og papir/plast. Fremstillingen viser at bedriftskunder kaster en større del av restavfall sett i forhold til husholdningskundene.

Totalt antall ankomst bedriftskunder ved lukeåpning



Figur 7: Fordeling av kast for bedriftskunder for de ulike avfallskategoriene

3.3 Sentralens ressurser

Sentralen i Jekteviken er hjernen i hele bossnettet og det er her bestemmelser om tømning av nedkast blir tatt og håndtering av avfall gjennomført. Bygget har flere ulike ressurser for å håndtere avfallet som kommer inn i systemet, som skal presenteres i dette kapittelet.

3.3.1 Viftene

Viftene ved sentralen skaper en lufthastighet på 70km/t, men avfallet blir transportert med en fart på opptil 35km/t. Effekten til hver vifte utgjør 90 kilowatt og kapasiteten på hver vifte kan justeres til mellom 30-100% (BIR, 2015). Kapasiteten til viftene vil si hvor mye de yter for å skape lufttrykk. Hvor høy kapasitet man setter på hver vifte er avhengig av avstand til lagringsenhet som tømmes og mengden av avfall. Det er mulig å justere kapasiteten ved en frekvensomformer som er foran hver vifte. Frekvensomformeren vil påvirkes av hvordan luftstrømmen i røret endres gjennom prosessen. Dersom trykket endres vil det føre til endring i luftstrøm og sensorer gir beskjed til sentralen om å øke viftenes kapasitet grunnet en mulig blokkering i røret. I tilfeller der avfall danner blokkering, vil trykkmåleren registrere tidspunkt for endring og kartlegge hvor problemet er lokalisert i røret. På sentralen lar de alltid en vifte hvile på rotasjon for å redusere slitasje. Viftene er seriekoblet for å få maksimal utnyttelse.



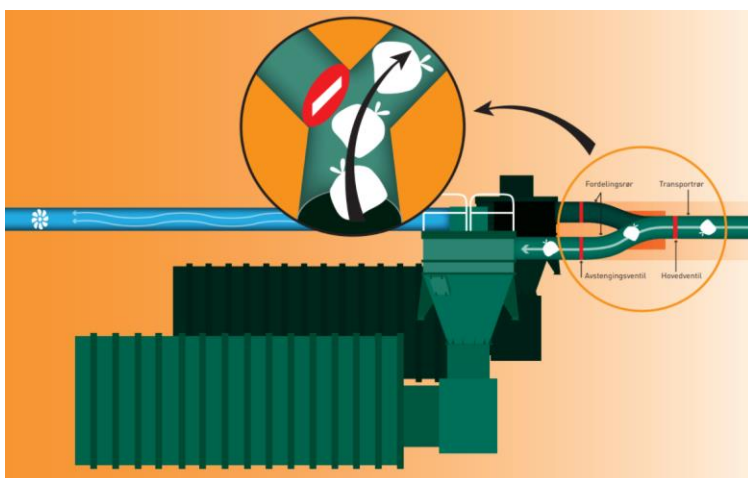
Figur 8: Oversikt over viftene (BIR, 2018b, s. 2)

3.3.2 Terminalene

Jekteviken består av to avskilte terminaler som dekker ulike områder av byen hver for seg. De to terminalene er koblet til ulike bossnett og kan operere samtidig. Terminal 1 dekker østlige sentrumskjeerne, mens terminal 2 dekker Møhlenpris og vestlige sentrumskjeerne.

3.3.3 Rørveksler

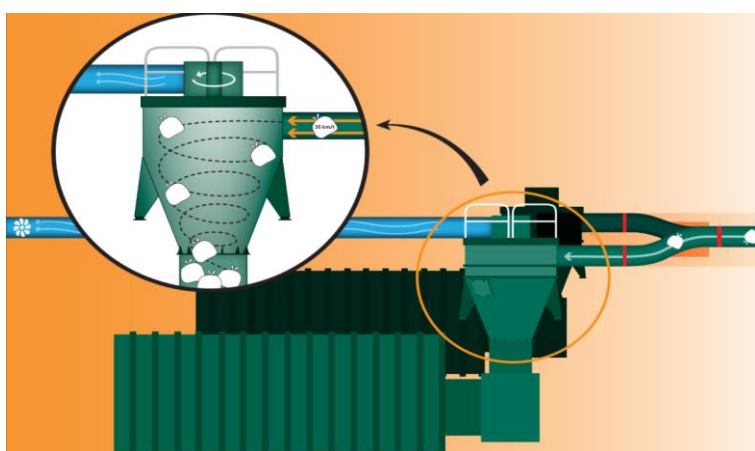
Hver terminal har en rørveksler som sørger for at avfall fra en kategori havner i riktig syklon og deretter container for riktig avfall. De to avfallstypene ankommer sentralen i samme rør som gjør at det bare er en type avfall i røret om gangen. Rørveksleren bytter til container som skal fylles før nedkastene blir tømt. Når bossnettet ikke er i drift er ventilene stengt for å unngå at lukt siger ut av container og røret.



Figur 9: Funksjonen til rørveksler (BIR, 2018b, s. 1)

3.3.4 Syklonen

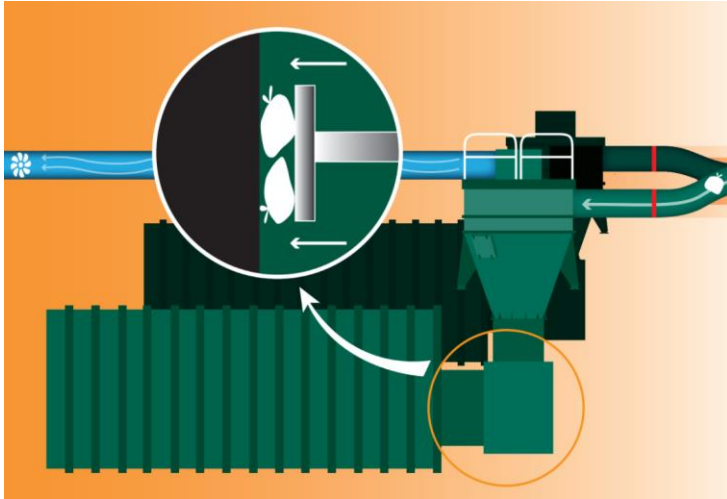
Syklonen er en innretning som skiller avfallet fra luften fra hverandre. For å skille avfallet fra luftstrømmen må luftstrømmen bremses. Syklonen gjør dette ved å være utformet som en trakt, som fører til at luftstrømmen bremses når den går fra mindre volum til større volum. Når lufthastigheten reduseres slår tyngdekraften inn og avfallet blir ledet ned i bunnen av syklonen. Luften blir samtidig ledet ut i toppen av syklonen i eksterne rør, der den blir renset for avfallspartikler. Det kan passere 3m^3 avfall per minutt gjennom syklonen.



Figur 10: Syklonen sin funksjon (BIR, 2018b, s. 3)

3.3.5 Containere og komprimator

Hver terminal har fire containere der to er i bruk og de resterende står klare til de operative blir fulle. Containere som er i bruk er tilkoblet syklonen, som også har en innebygd komprimator. Komprimatoren presser sammen avfallet i containeren for å kunne fylle hver enkelt med et størst mulig volum. En sensor i komprimatoren gir beskjed når motstanden når en terskel som tilsier at containeren er full. Containerne som er fulle flyttes ved hjelp av en containervogn til en henteplass for lastebil. Denne vognen er automatisert og flytter de tomme containerne og kobler de til/fra syklonen.

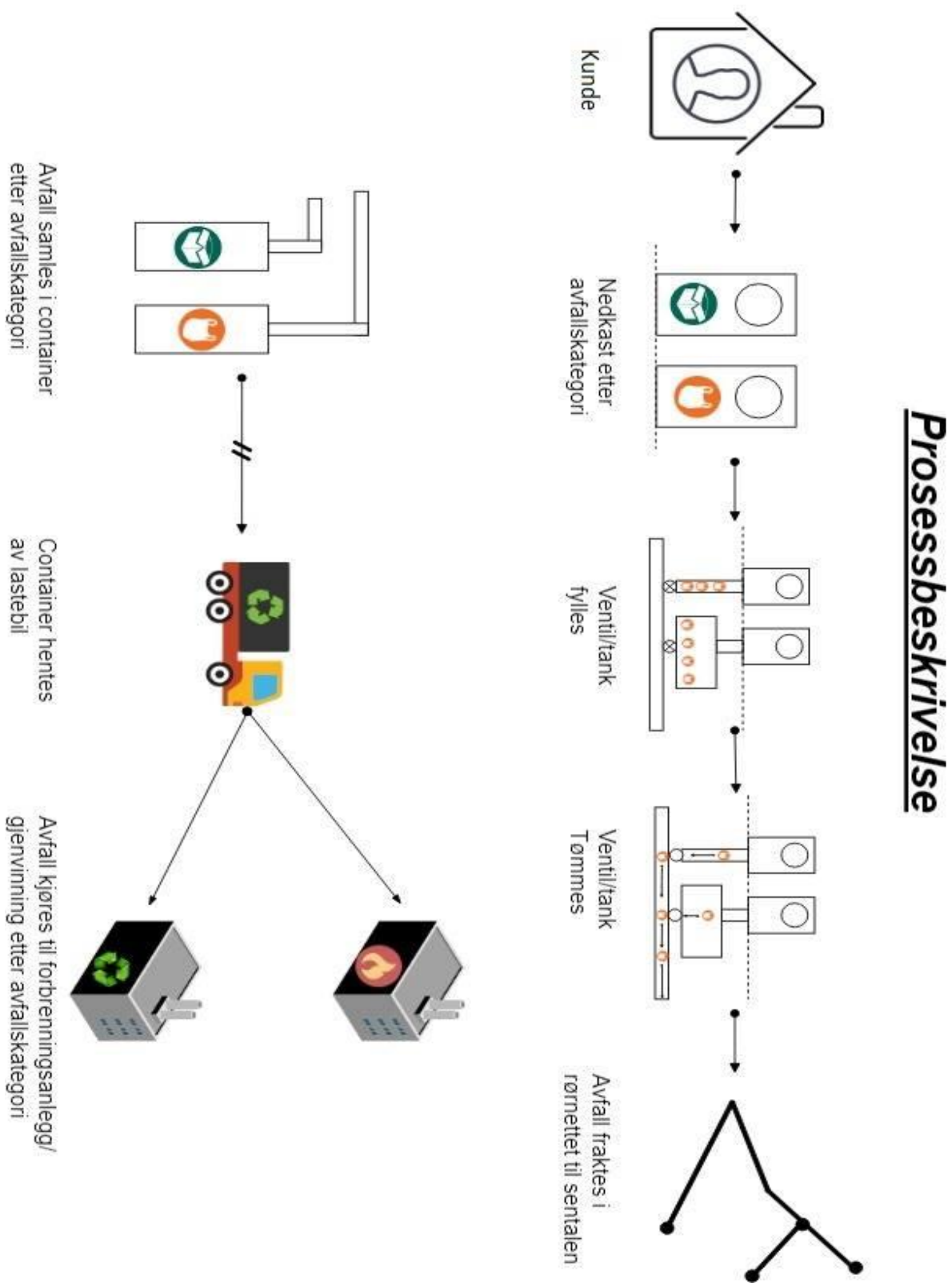


Figur 11: Komprimator sin funksjon og container (BIR, 2018b, s. 4)

3.4 Prosessbeskrivelse

I denne delen av oppgaven skal vi beskrive prosessen for bossnettet i detalj, fra kunden kaster avfallet til det ligger i container. Figur 12 viser en skisse som gir oversikt for hele prosessen fra kunde til avfallet fraktes videre til brenning/gjenvinning. Bossnettet opererer med tre søppelkategorier som har egne nedkastpunkt: restavfall, papp og papir/plast. Når det gjelder tømning blir papp og papir/plast tømt samtidig og samlet i samme container i Jekteviken. Avfallskategorier som elektrisk, glass, metall og kjemikalier ser vi bort fra ettersom bossnettet ikke er tilpasset dette. Disse avfallskategoriene skal leveres på gjenvinningsstasjoner.

3.4.1 Prosesskisse



Figur 12: Prosesskart bossnett

3.4.2 Kunde kaster søppel

I Bergen kan husholdningene sortere sitt avfall i restavfall, papp, papir og plast ved kasting i bossnettet. Slik ordningen er i dag betaler kundene en fast grunnpris og en variabel pris basert på antall ganger du åpner restavfallsluken. For plast/papp/papir påløper det ingen ekstra gebyr på kasting, som betyr av husholdningene kan kaste så mye de vil av denne typen avfall uten ekstra kostnad. Forbrukeren får åtte lukeåpninger til restavfallskast per måned, der hver lukeåpning maksimalt er på 35 liter. Bruk av lukeåpningen over åtte ganger i måneden medfører en ekstrakostnad på 8,31 kroner per åpning ifølge BIRs brosjyre om bossnettet (BIR, 2017, s.3). Denne ordningen gir husholdningene insentiver til å sortere sitt avfall for å redusere antallet lukeåpninger for restavfall.

Kundene har tilgang til bossnettet ved å bruk en nøkkelbrikke som åpner nedkastet. Nøkkelbrikkene blir utdelt til huseier, hvor hver boenhet blir tildelt to brikker med samme ID. Hver gang brikken benyttes blir det registrert slik at BIR får en oversikt over avfallstype som kastes, hvor det kastes, hvilken kundetype, hvilken kunde og når på døgnet. Dette danner grunnlaget for beregning av avgiften som hver husstand må betale. Nøkkelbrikkene finnes i to ulike typer, en for husholdningskunder og en for bedriftskunder. Forskjellen mellom kundene er at bedriftskunder har tilgang til en større næringslivsluke.

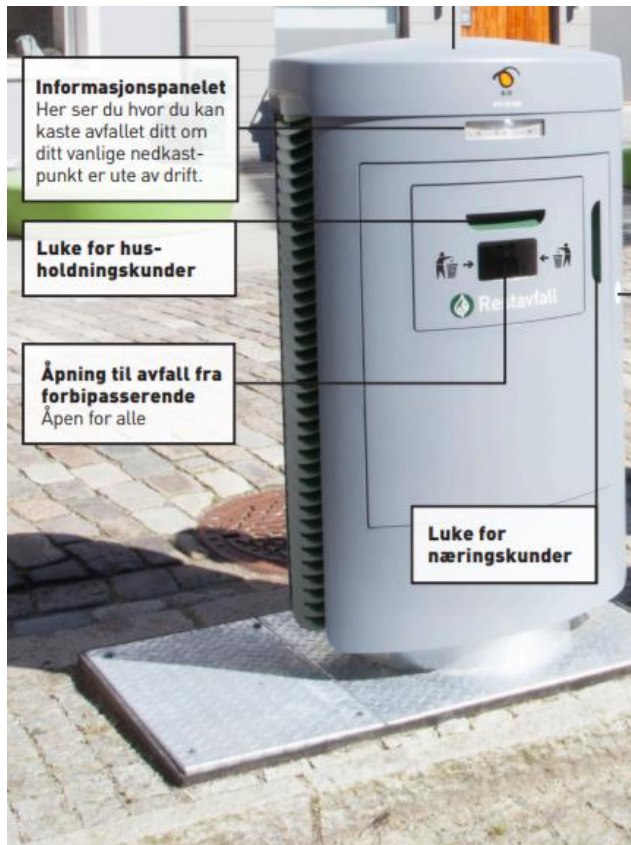
3.4.3 Nedkastene

Kundene kaster sitt avfall etter kategori der de bruker sitt primærnedkast som er spesifisert fra BIR. Nøkkelbrikken gjør at kundene kun kan bruke sitt primære nedkastpunkt. Dette for å hindre at enkelte nedkast skal bli benyttet av for mange mennesker. Dersom primærnedkastet er fullt eller har blokkering, blir kunden sendt videre til et av de sekundære nedkastene basert på hvor det er ledig kapasitet. Informasjonen blir gitt på displayet på primærpunktet for å gjøre det enkelt for kunden.



Figur 13: Eksempel på et nedkastpunkt i Bergen sentrum (Markussen, 2015)

Dagens situasjon er at BIR har 77 nedkastpunkt i Bergen sentrum, der tre av nedkastpunktene er komplette med nedkast for papp, restavfall og papir/plast. Pappnedkastene er dimensjonert for større pappemballasje og har en kvern installert under for å gjøre det lettere å frakte avfallet og hindre blokkeringer i vakuumsrørene. Nedkastene for papp er åpne for alle som har tilgang til bossettet. Papir/plast har en luke for husholdningskunder og en større luke for bedriftskunder. Dette gjelder også for restavfall, som i tillegg har en liten luke som er åpen for alle forbipasserende. Figur 14 viser en oversikt over luker i et restavfallsnedkast. Utenom de 77 nedkastpunktene er det også publikumsnedkast rundt om i byen for kunder som ikke tilhører nedkastpunktene. Publikumsnedkastene som har blitt installert i sentrumskjernen er ventilsjakter og registrerer kun data for tømming.



Figur 14: Oversikt over luker for nedkast (BIR, 2017b)

3.4.4 Ventilsjakter og skrutanker

Avfallet går fra lukeåpningen på nedkastet og ned i en skrutank eller en ventilsjakt. Det som avgjør hvilken løsning som blir valgt er basert på antall brukere tilknyttet det gitte nedkastpunktet. I områder der det er mange kunder er det installert en skrutank som har en kapasitet på opptil 5880 liter. Det er totalt ni nedkastpunkt med skrutank på terminal 1 og fire nedkastpunkt med skrutank på terminal 2. Ventilsjaktene er dimensjonert for områder med et mindre antall brukere og rommer 350 liter før de er fulle og må tømmes.

Avfallsmengden i lagringsenhet blir målt av en laser som gir beskjed når den er full. Når avfallet har nådd maksimalnivået vil det ikke lenger være mulig for kunden å åpne luken på dette nedkastet. Figur 15 og figur 16 viser de to lagringsenhetene.



Figur 15: Nedkastpunkt med ventilsjakt (Valle, 2015)



Figur 16: Skrutank (foto privat)

3.4.5 Ventilsjaktene tømmes

Bossnettet tømmes i etapper for å spare strøm og redusere slitasje på systemet. Rørnettet er bygget som et tre, der stammen er hovedrørledningen til sentralen. Fra hovedledningen går det ulike forgreninger som må tømmes enkeltvis for at systemet skal klare å skape vakuum. Begrensningen gjør at det bare er nedkastpunktene som er på samme forgrening som kan tømmes på samme tid. Dette gjøres gjennom sluser som sperrer av enkelte forgreninger i systemet som gjør det mulig å tømme de nedkastpunktene man ønsker.

Tømming av nedkastpunkt skjer på to forskjellige måter etter hvilken løsning som er installert. Ved tømming av ventilsjakt er det en luke som åpnes i bunnen og avfallet suges direkte ut i rørsystemet. Tankene tømmes ved en skrue som mater avfallet inn i vakuumsrøret, noe som tar lenger tid enn tømming av ventilsjaktene. Estimert tid for skrutank er ett til to

minutter og for ventilsjakt tar det omtrent ti sekunder ifølge Björn Deh, Rådgiver BIR Nett (12.02.2018)

Grunnet lite pågang om natten tømmes ikke bossnettet mellom (23:00-06:59), men det kan tømmes om det skulle være nødvendig ved høyere kapasitetsutnyttelse i framtiden. BIR tømmer derfor enkelte nedkast som det er mulighet for kan bli fulle i løpet av natten, før bossnettet stenger 23:00.

3.4.6 Avfallet fraktes i rørnettet

Bossnettet består av flere individuelle rørnett som er koblet sammen og gravd ned i Bergen sentrum. Rørnettet består av stålrør med en indre diameter på 500 millimeter og den ytre tykkelsen vil variere ut ifra belastningen og miljø (Björn Deh, 2018). Avfallet fraktes gjennom rørsystemet til sentralen i Jekteviken. I det blå nettet er det to terminaler som driver hver sin del av området. Terminal 1 dekker området på Nordnes og har det lengste rørnettet av de to terminalene. Fra sentralen til det ytterste punktet på Nordnes er det 2,5 kilometer med stålrør, som er den lengste avstanden i hele rørnettet. Tiden det tar å frakte avfallet fra nedkast til sentralen vil avhenge av avstanden til sentral og mengden avfall.

3.4.7 Fraktes inne i sentral

På sentralen i Jekteviken er det to separate anlegg med egne vifter som driver hvert sitt nett. Avfallet kommer først inn gjennom et rør inn på sentralen. I hver terminal er det en rørveksler som gjør det mulig å skifte mellom containere for restavfall og papir/papp/plast. Etter at avfallet har passert rørveksleren går avfallet inn i syklonen som skiller luften og avfallet fra hverandre. Avfallet går ut av syklonen og ned i containeren som er lokalisert under. Før luften kan slippes ut av sentralen må den gjennom et filter for å filtrere ut søppelrester som ikke ble skikkelig rensset. Deretter må luften videre gjennom et støyreducerende rom for å dempe støyen luften vil skape for omgivelsene rundt sentralen.

3.4.8 Avfallet fylles i container

På de to terminalene er det to containere av hver avfallstype til enhver tid, der en av dem er tom og i back-up. Containerne er spesialtilpasset anlegget, og har en innebygd komprimator som presser avfallet i containerne sammen. Terminalene har et innebygd båndsystem som gjør det enkelt for lastebilene å dra ut containerne som er fulle. Lastebilene har med seg en tom container som blir satt i inn som back up, og tar med seg de fulle videre til gjenvinning/brenning.



Figur 17: Container og komprimator (foto privat)

Vi har valgt å avslutte prosessen når de ulike avfallskategoriene havner i sine containere. Grunnen til dette er at lastebilene som henter ikke tilhører BIR Nett som er ansvarlig for prosessen med bossnett. Lastebilene kommer fra to andre selskap i BIR systemet og selger innholdet i containerne videre til aktører som har spesialisert seg på resirkulering. Avfallet er dermed ikke lenger en del av prosessen til bossnett og selskapet BIR Nett. Effekten av å se vekk i fra dette er minimal grunnet at det er alltid en tom container som er klar til å ta over. Systemet er automatisert slik at byttet fra full til tom container gjennomføres av seg selv ved hjelp av en automatisk containervogn som flytter containerne inne på sentralen. Av- og tilkobling til syklonen gjennomføres også automatisk. I tillegg tar det i gjennomsnitt fire dager å fylle en container, noe som gjør at det ikke er noe effektiviseringspotensialet i denne delen av prosessen.

4. Teori

Vi vil i dette kapittelet gi en presentasjon av teorien rundt ulike operasjonelle måltall som er knyttet til servicesystemer. Fokus i oppgaven vil være optimere prosessen uten at det skader kunden. Operasjonelle måltall kan for eksempel være variabilitet i ankomstrate, prosesseringstid eller gjennomløpstiden som vil ha en påvirkning på ytelsen til servicesystemet. Sammenhenger mellom variabilitet og operasjonelle måltall og hvilke konsekvenser som kan oppstå grunnet en endring av variabiliteten i servicesystemet vil bli forklart i denne delen.

4.1 Operasjonelle måltall i servicesystemer

Bossnettet er et servicesystem hvor kapasiteten er gitt. Systemet må derfor kunne operere med en kapasitet som er hensiktsmessig for å dekke etterspørselen til enhver tid. Etterspørselen vil være mengden rest-, papp-, papir- og plastavfall forbruker vil kaste, som i teorien om operasjonelle måltall gitt ved kundeordrer. Behovet oppstår når forbruker ankommer prosessen og det er derfor ikke mulig å forutse etterspørselen til enhver tid. Dette kommer av forskjeller i forbruksmønster og avfall kunder genererer. Det er også et ulikt antall kunder og kapasitet per punkt. Effekten av disse faktorene tilsammen gjør at nedkastene vil fylles til ulike tider.

Prosessen starter ved lukeåpning og avsluttes når avfallet ankommer container. Tidspunktet kunden ønsker kasting er gitt ved ankomsttid. Hvert nedkastpunkt har ulik kundeetterspørsel, noe som fører til at det kan oppstå kø hvis flere kunder knyttet til et punkt ønsker å kaste samtidig. I oppgaven vil vi gjennomføre en analyse av rørsystemet med avfall som flytenhet med hensyn på ressursene som er gitt i tabellen under.

System	Kunde(flytenheten)	Server(e)
Bossnettet	Avfall	Nedkast og lagringsenhet

Tabell 1: Flytenhetenes ressurser i systemet

I starten av oppgaven sees det på data for lukeåpninger, ankomsttid og tømning av punkt for å følge flytenheten gjennom prosessen. Det vil i oppgaven bli brukt operasjonelle måltall som gjennomstrømningstid og gjennomløpstid for å kunne måle ytelsen til bossnettet. Ytelsen vil påvirkes av antall ressurser og ressursenes kapasitet. Kommer også til å se på antallet kundeordrer basert på fyllingsgrad av lagringsenhet og prosesseringstid sett i forhold til systemets kapasitet.

4.1.1 Gjennomløpstid (T)

Gjennomløpstid (T) er gitt ved den samlede tiden som det en kunde (flytenhet) i gjennomsnitt vil bruke for å komme seg gjennom hele prosess. Tidsbruken vil variere fra kunde til kunde, avhengig av tiden flytenheten bruker og hvor i rekkefølgen flytenheten er grunnet kø (slakk) i systemet. Tidsbruken vil bestå av måltallene gjennomsnittlig aktivitetstid (prosesseringstid) (T_p) og av gjennomsnittlig ventetid (buffer) (T_i) (Anupindi, R., Chopra, S., Deshmukh, S.D., Van Mieghem, J.A., & Zemel, E, 2012, s. 193). Gjennomløpstid T per kunde vil derfor være gitt ved formelen $T = T_p + T_i$.

Når flytenhet er avfall, vil prosesseringstiden (T_{p1}) være tiden fra forbruker legger nøkkelbrikken på nedkastet til luken lukkes. Prosesseringstiden (T_{p2}) vil være tiden fra vakuumsystemet starter til avfallet suges ut av lagringsenhet. (T_{p3}) vil være prosesseringstiden fra avfallet kommer inn i rørsystemet og ankommer container i Jekteviken. Prosesseringstid (T_{p2}) og (T_{p3}) vil i modellen være slått sammen for å forenkle tømmetid. Ventetiden (T_{i1}) vil være tiden kunden må stå i kø for å kaste avfall. Ventetid (T_{i2}) vil være gitt ved tiden avfallet er i lagringsenheten til vakuumsystemet settes i gang. Gjennomløpstid T for avfallet vil dermed være tiden fra avfallet blir kastet i nedkastene av forbruker, til avfallet ligger i container ved Jekteviken. Avfallet må vente på at vakuumsystemet settes i gang, dermed vil prosesseringstiden være avhengig av hvor mange som kaster annet avfall og tid før lagringsenhet blir fylt.

4.1.2 Gjennomstrømningsrate (\mathbf{R})

Gjennomstrømningsraten (prosesseringsraten) er det gjennomsnittlige antall enheter som passere gjennom prosessen per tidsenhet. Tidsenhet kan da være gitt som per år, måned, uke, time, minutt, etc. De viktigste parameterne for å beregne gjennomstrømningsraten i en serviceprosess vil være den gitte ankomstraten og systemets kapasitet (Anupindi et al., 2012, s. 192-193).

- Ankomstrate (\mathbf{R}_i) er gitt ved den gjennomsnittlige flyten av kunder som er del av en prosess, per tidsenhet. Ankomstrate vil kunne måles ved at man enten finner tidspunktene som kundene ankommer prosessen eller at man tar gjennomsnittet av det totale antall kunder som vil ankomme systemet innen en viss tidsperiode. I modellen brukes antall kunder som kommer over en satt tidsperiode som ankomst.
- Kapasiteten, gitt ved (\mathbf{R}_p) vil representere en ressursenhet når den er ved sin maksimale bærekraftige gjennomstrømningsrate. Det er mulig å ha flere identiske ressursenheter (som utfører lignende oppgaver) inn i et mer fleksibelt ressursnettverk gitt ved symbolet \mathbf{c} . Kapasiteten vil i dette ressursnettverket være den totale summen av de enkelte ressursenhetene (Anupindi et al., 2012, s. 105-106).

Kapasitetsutnyttelse gitt ved u vil være den gjennomsnittlige andelen av et ressursnettverks kapasitet som i løpet av prosessen er opptatt med å betjene kunder, dette gitt ved $u = \frac{R}{R_p}$.

Gjennomstrømningsraten \mathbf{R} vil i en serviceprosess være den minste av ankomstrate og prosessens kapasitet, slik at $\mathbf{R} = \min(\mathbf{R}_i, \mathbf{R}_p)$. I tilfelle hvor prosessens kapasitet (\mathbf{R}_p) er større enn ankomstrate (\mathbf{R}_i), vil det bety at det er ledig kapasitet i servicesystemet. Derimot i tilfeller hvor ankomstrate (\mathbf{R}_i) er større enn prosessens kapasitet (\mathbf{R}_p), vil det kunne oppstå køer og ventetid i systemet, også kalt slakk (Anupindi et al., 2012, s. 192-193).

Når flytenhet er gitt som avfall fra et nedkastpunkt, vil ankomstraten være det gjennomsnittlige antall avfall fra ulike nedkastpunkter over en gitt tidsperiode. Kapasitet vil da være gitt ved evnen en ressurs i systemet har til å håndtere avfallet over den gitte tidsperiode. Dette tilsier at avfallets gjennomstrømningsrate vil være lik den laveste verdi for kapasiteten til ressursen og ankomstrate til ressursen.

4.1.3 Lager (I)

Lager er en viktig del av enhver bedrift for håndtering varer og tjenester. I en serviceprosess blir lager definert som det gjennomsnittlige antall kunder som er en del av prosessen. For å få en bedre forståelse av hvor ventetiden oppstår deles det opp i kunder som blir prosessert og kunder som venter i kø for å bli prosessert gjennom systemet. Kølengde er gitt ved (I_i), som er det gjennomsnittlige antall kunder som står i kø for å komme gjennom systemet. (I_p) er det gjennomsnittlige antall kunder som blir prosessert i en gitt tidsperiode (Anupindi et al., 2012, s. 193). Det gjennomsnittlige totale antall av kunder i prosessen vil da bli gitt på formel ved $I = I_i + I_p$.

Kølengde (I_i) vil kunne være det gjennomsnittlige antallet flytenheter som venter på å kjøre gjennom systemet og bli håndtert. Avfall som er i prosessen (I_p) vil være det gjennomsnittlige antallet som befinner seg i rørsystemet og kommer seg gjennom systemet i en gitt tidsperiode. Dette gjør at I vil være det gjennomsnittlige totale antallet avfall som er i bossnettet. Lager vil i oppgaven være avfall som venter i lagringsenhet eller container for å bli prosessert.

4.2 Variabilitet

Variabilitet skaper svingninger i systemet som følge av at kunder ankommer systemet til forskjellige tider. I en serviceprosess beskriver Anupindi et al. (2012, s. 190-201) dette som:

- (1) variabilitet i ankomstraten og i prosesseringstid
- (2) bruken av en sikkerhetskapasitet for å sikre at man kan håndtere variabiliteten

I systemet kan det også oppstå stokastisk variabilitet, dette er tilfeldig og ikke-planlagt variabilitet. Selv i prosesser som er stabile og hvor gjennomstrømningsraten er større enn ankomstraten kan det forekomme kø. Ved tilfeller hvor variabilitet i prosesseringstiden er uavhengig av variabiliteten i ankomsttid, vil det kunne føre til en opphopning av kunder på grunn av flaskehals. Opphopning av kunder kan også skje i en prosess selv om gjennomstrømningsraten av kunder i prosessen er større enn ankomstraten av nye kunder. For å oppnå prosessforbedring vil synkronisering av de ulike faktorene kunne føre til at

køene reduseres. Et eksempel på en situasjon hvor synkronisering kan brukes er i tilfeller med korte prosesseringstider i systemet, men flytenhetene ankommer ofte og tilfeldig. I disse tilfellene burde ankomsttid synkroniseres med flytenhet, slik at flytenheten ankommer prosessen i bestemte tidsintervall. Variabiliteten må kvantifisere for å kunne analysere den på en effektiv måte. For å kvantifisere variabiliteten i ankomstrate og prosesseringstid brukes varians σ^2 , som er et mål på den absolutte variabilitet og standardavvik. Disse måltallene vil ikke bli helt presise, og vil derfor benytte variasjonskoeffisienter.

4.2.1 Variabilitet i ankomstrate

Den relative variansen beregnes ut fra variasjonskoeffisient (**CV**) ved å finne standardavviket $\sqrt{\sigma^2} = \sigma$ og dividere det på gjennomsnittet (**t**) (Hopp & Spearman, 2001, s. 251-252).

$$C_i = \frac{\sigma a}{t a}, \text{ hvor } a \text{ indikerer ankomst.}$$

Formelen brukes til å beregne om det er en lav, moderat eller høy tilfeldig variabilitet i ankomstraten (Hopp & Spearman, 2001, s. 251-252).

Variabilitetsklasser	Lav	Moderat	Høy
Variasjonskoeffisient	CV<0.75	0.75< CV >1.33	CV>1.33

Tabell 2: Klassifisering av variabilitet i ankomstrate

En lav koeffisient betyr en jevn ankomstrate, og en høy koeffisient tilsier at ankomstraten er ujevn (Hopp & Spearman, 2001, s. 261-262). Avfallet vil normalt ha variasjon i ankomstrate grunnet at kundene kommer helt tilfeldig og kaster søppelet. På grunn av at avfallet blir samlet i lagringsenheter, vil det være mer interessant å analysere variabilitet i oppfyllingstid for hvert punkt.

4.2.2 Variabilitet i prosesseringstider

Variabilitet i prosesseringstid kan også beregnes ved bruk av variasjonskoeffisienten. Benytter da følgende beregning:

$$C_p = \frac{\sigma}{t}$$

Variabilitetsklasser	Lav	Moderat	Høy
Variasjonskoeffisient	CV<0.75	0.75< CV >1.33	CV>1.33

Tabell 3: Klassifisering av variabilitet i prosesseringstid

Formelen gir oss informasjon om den tilfeldige variabiliteten til prosesseringstiden (Hopp & Spearman, 2001, s. 251-252). Prosesseringstiden påvirkes av mengden avfall i hver pose, antall poser kastet og kundetype. Tiden det tar å kaste varierer fra kunde til kunde, men forskjellen er minimal så variabiliteten i prosesseringstiden er lav.

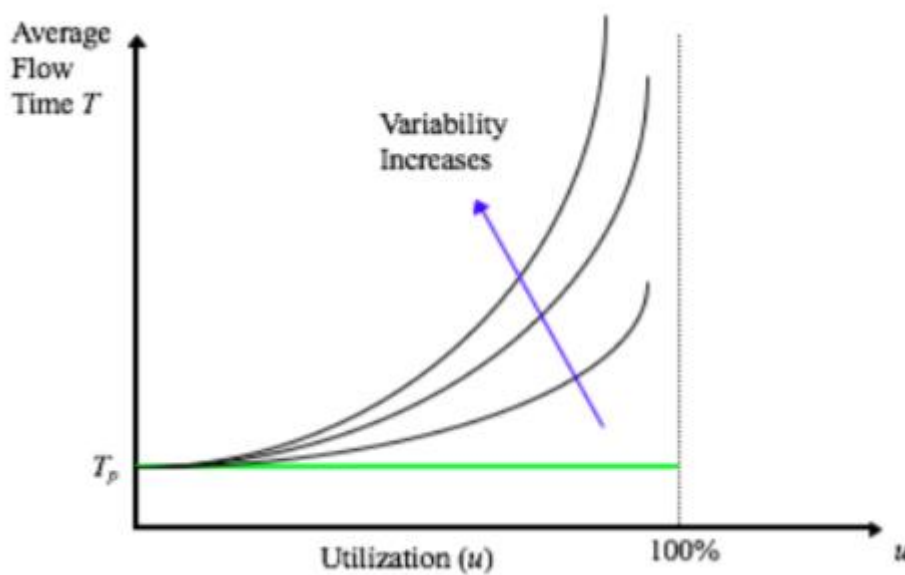
4.2.3 Kølengde-formelen

Formel for kølengde er gitt ved (Anupindi et al., 2012, s. 200):

$$I_i = \frac{u^{\sqrt{2*(c+1)}}}{1-u} * \frac{C_i^2 + C_p^2}{2}$$

Kø er et viktig operasjonelt måltall i servicesystemet fordi det er her mulighetene for effektivisering ligger. Kølengde-formelen beregner det gjennomsnittlige antall kunder i kø (I_i) og viser forholdet mellom den gjennomsnittlige kølengden og kapasitetsutnyttelsen u . Antall ressurser/servere i systemet er gitt ved c og variabilitet i ankomstrate (C_i) og prosesseringstid (C_p) (Anupindi et al., 2012, s. 200). Formelen er delt i to faktorer:

der den første faktoren $\frac{u\sqrt{2*(c+1)}}{1-u}$, viser at kølengden vil øke hvis kapasitetsutnyttelsen går mot 100%. Den andre faktoren $\frac{c_i^2 + c_p^2}{2}$ viser at kølengden vil avta dersom variabilitet i ankomstraten og prosesseringsraten reduseres. Uttrykket viser at dersom det er variabilitet i ankomstraten og i gjennomstrømningsraten samtidig, vil det kunne oppstå kø en eller flere steder i systemet. Dette gjør seg gjeldende selv om det er ledig kapasitet i prosessen. Figur 18 viser hvordan endring i variabilitet vil påvirke gjennomløpstid T og kapasitetsutnyttelse u .



Figur 18: Throughput delay curve (Anupindi et al., 2012, s.201)

4.3 Tidligere forskningsartikler

Vakuumbaserte bossnett i samme skala som i Bergen er relativt unikt, så det er begrenset med forskningsartikler som omhandler temaet angående en simulering eller matematisk optimalisering av bossnettet. Vi har likevel funnet artikler som omhandler temaet og som videre har lagt føringer for vår datainnsamling og modellbygging.

4.3.1 Introduksjon

I forskningsartikkelen til Gabarell, X., Iriarte, A. & Rieradevall, J. (2009) har de utforsket hvor effektivt bossnett er i forhold til andre renovasjonstjenester. Forskningen viser at bossnettet er mer effektivt, men koster mer i form av energi. Det vil derfor være viktig med fokus på optimering av drift for å opprettholde de økonomiske- og miljømessige effektene. Bossnettet de undersøker i forskningsartikkelen er ikke helt identisk som bossnettet i Bergen. Systemet i Bergen har blant annet flere forgreninger og andre avfallstyper enn bossnettet Gabarell et al. (2009) undersøker. Vi må derfor være noe kritisk til resultatene, men velger å ta hensyn til de overordnede effektene forskningen finner. Bossnett øker resirkuleringsgraden i forhold til andre renovasjonssystemer, bedre hygiene i byene, skaper mindre trafikk og ulykker grunnet færre biler og CO₂-utslipp, ifølge Benardos & Kaliampakos (2008).

Fra et økonomisk perspektiv er den største fordelene med vakuumbasert bossnett reduksjon i de operasjonelle kostnadene for avfallshåndtering. Et vakuumbasert bossnett krever større investeringer, men vil i det lange løp være mer økonomisk (Honkio, 2009). Teerioja, Moliis, Kuvaja, Ollikainen, Punkkinen & Merta undersøkte i (2012, s. 1782-1791) et bymiljø som allerede var utbygget, men som krevde graving for å få plass infrastruktur til bossnettet. Analysen viste at vakuumbasert bossnett er mer effektivt og har betydelig lavere operasjonelle kostnader enn ordinær søppelinnhenting.

Gjennom fire forskningsartikler har Fernandez, Mateu, Sole-Mauri og Manya (2014 & 2015) med hjelp av Bejar og Vidal (2012a & 2012b) utforsket og gjort analyser på et vakuumbasert søppelsystem i Spania. Sammen har de utarbeidet en matematisk modell som gjenskaper systemet ut ifra denne forskningen. Den matematiske modellen er basert på optimering av flytenheter gjennom systemet. Modellen har som mål å optimalisere og planlegge avfallshåndteringen for å minimere energibruken i forhold til per volum avfall som blir fraktet. Dette fordi det koster en del energi å opprettholde lufttrykket for å få flyttet avfall gjennom bossnettet. I Fernandez et al. (2015) finner de at energiforbruk for systemet står for 60% av de operasjonelle kostnadene. En utfordring er at man må fokusere på å optimalisere energibruken i forhold til volum søppel som skal fraktes, men samtidig kjøre vakuumsystemet ofte nok. Hvis systemet kjøres for sjeldent vil dette kunne resultere i at

avfallet hoper seg opp ved nedkastene og området rundt. De har i modellen skilt mellom de ulike typene avfall det er mulig å samle inn, som restavfall, papir og organisk.

Luftrykket er også en viktig del ved drift av bossnettet. I forskningsartiklene har de som antakelse at luftrykket er konstant uavhengig av mengde, som har påvirkning på hvor fort avfallet blir fraktet gjennom bossnettet ved tømning og hindrer blokkering i rørsystemet (Bejar et al., 2012b). Antakelse om at luftrykket opererer på konstant hastighet uavhengig av tømt volum benyttes også i oppgaven.

4.3.2 Hoveddel av forskningen

Opgaven sitt hovedmål er rettet opp mot operasjonelle aktiviteter i bossnettet, og det vil derfor være grunnleggende å ta inn momenter av betydning fra de ulike forskningsartiklene inn i modellen. Derfor vil det også være hensiktsmessig å forklare eventuelle forskjeller mellom rørsystemet de benytter i forskningsartikkelen i forhold til bossnettet i Bergen.

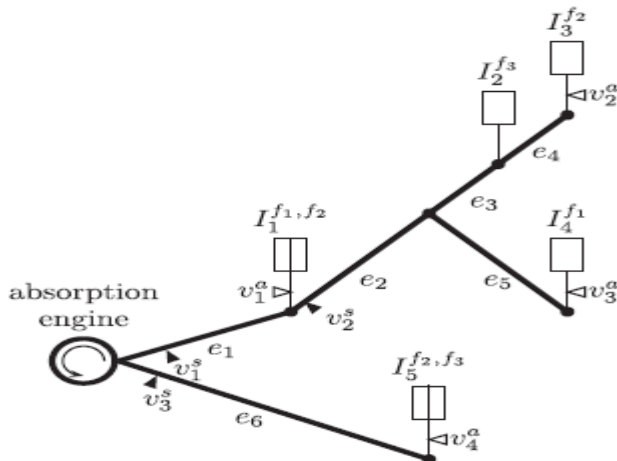
I oppgaven velger vi å fokusere på restavfall. Bossnettet som Fernandez et al. (2015) har undersøkt har nedkast for papir og organisk i tillegg til restavfall. I Bergen er ikke organisk avfall en del av bossnettet, men havner i restavfallet og vil derfor ikke være en egen kategori i vår oppgave. Når det gjelder papir blir dette utelatt på grunn av at det er vanskelig å anslå volumet som kommer inn ved hver enkelt lukeåpning. Noen bossnett har mulighet for å ta inn glass og metall, dette er noe systemet i Bergen ikke er dimensjonert for grunnet økt risiko for skade på rørnettet.

Bajar et al. (2012a og 2012b) har fokusert på optimalisering av den operasjonelle driften av et bossnett for å optimalisere energibruken i forhold til volum avfall som fraktes. Fernandez et al. (2014 og 2015) har bygget videre på denne forskningen ved å implementere dynamisk programmering av rørsystemet med fokus på mest mulig effektivt energiforbruk i forhold til volum avfall tømt.

I Fernandez et al. (2015) sin forskning benytter de seg av Markov decision process og bruker approximate dynamisk programmeringsteknikker for å optimere bossnettet.

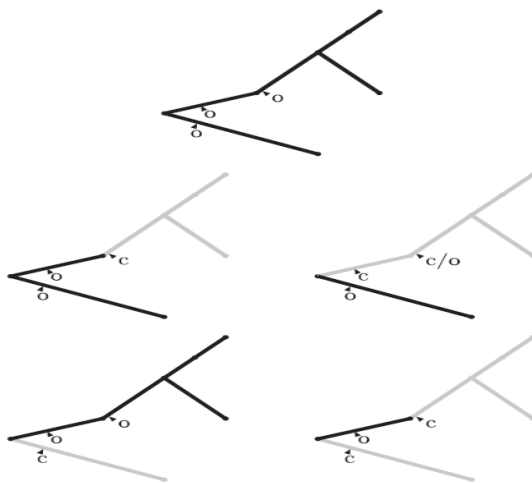
Simuleringsverktøyet som vil bli benyttet i våre undersøkelser er aGPSS. Begrunnelse for

denne avgjørelsen er at aGPSS gir mulighet for å lage et oppsett som reflekterer det virkelige systemet og ha begrensninger i ulike blokker. Undersøkelsen følger prosedyrene til Fernandez et al. (2015) for å se om driften effektiviseres i forhold til dagens situasjon. Datasettet som forskningsartikkelen benytter er fra bossnettet i Spania og gir data for to måneders drift. Simuleringene de kjører varer en dag, og resultatene sammenlignes med dataene fra driftsperioden på to måneder.



Figur 19: Rørsystem med flere forgreninger (Fernandez et al. ,2015)

Figur 19 viser en skisse over de ulike forgreningene og hvordan nedkastpunkt kan være geografisk lokalisert. Fernandez et al. (2015) har i sin forskning sett på mulighetene for tømning av bossnett i forgreninger. Figur 20 viser hvordan ulike forgreninger sammen danner bossnettet og hvilke forgreninger som kan enkeltvis tømmes.



Figur 20: Ulike forgreninger som kan tømmes enkeltvis (Fernandez et al. ,2015)

Den matematiske modellen til forskerne tar for seg et helhetlig bilde av to prosesser som er: ankomst avfall fra kunder til nedkast og tømning av nedkast til bossnettet. Bossnettet knytter altså prosessen sammen ved transporten av avfallet fra nedkastene til sentralen. Nedkastprosessen gir verdier for ankomst av avfallet og et bilde av mønsteret for de kundene som er tilknyttet dette nedkastet. Tømmeprosessen er basert på den totale kapasiteten ved lagringsenhet og påvirkes av nedkastprosessen etter når den bør tømmes. Ankomst av avfall til nedkastene kommer i ujevn strøm over hele døgnet, så det er derfor hensiktsmessig å legge opp systemet etter dette for å fylle lagringsenhet så fullt som mulig. Dette vil føre til færre tømminger av enkle nedkast og redusere energiforbruk i forhold til volum avfall.

4.3.2.1 Ankomst av avfall

Bossnettet i Bergen er for det meste brukt av husholdningskunder med noen bedriftskunder ved de ulike nedkastene. Husholdningskunder vil ha første prioritet siden BIR er lovpålagt av forskrift om kommunale renovasjon til å dekke deres behov. Det kommer ikke frem om det er lignende reguleringer for bossnettene i forskningsartikkelen. I datasettet til forskerne er det informasjon om fyllingsgraden ved hvert punkt fra sensorer i nedkastene. Datasettet inneholder ikke informasjon om variabelen fyllingsgrad for nedkastene, men det skal være mulig å måle.

4.3.2.2 Tømning av bossnettet

I Bergen stenges bossnettet om natten, som gjør at det ikke foregår tømingsaktivitet i løpet av åtte timer i en 24 timers periode. Dette er en begrensning som ikke eksisterer for bossnettene Fernandez et al. (2015) undersøker. Videre baserer de sine tømminger på avfallskategori, fyllingsgrad og tid det tar å tømme med tanke på andre nedkast kan måtte tømme i samme tidsperiode. Metoden er også brukt i systemet til BIR i forbindelse med tømning.

Fernandez et al (2014) fokuserer på lavest mulig energibruk i forhold til tømt volum, oppgaven vår følger samme tankegang ved å frakte et størst mulig volum avfall per tømning. Vi har ikke kjennskap til energiforbruket ved anlegget til BIR slik det opererer i dag. Ettersom fokus i oppgaven vil være å endre tømme-mønsteret, vet derfor ikke hvordan dette vil påvirke energiforbruket.

4.3.2.3 Fylling av container

Fernandez et al. (2015) fokuserer lite på sentralen sin betydning i forskningen sin, som gir mening siden de simulerer for et døgn og vil dermed ikke få fylt en container. I vår modell vil fylling av container være en del av prosessen, men vi ser bort fra håndtering av fulle containere fordi det er andre selskaper som er ansvarlig for dette. BIR har nok containere tilgjengelig til å dekke mengden avfall som kommer gjennom rørsystemet og det vil derfor ikke påvirke systemet.

5. Metode

I metodedelen introduseres fremgangsmåten for oppgaven og hvordan den skal løses. Først diskuteres oppsett av forskningsdesign for den empiriske delen av avhandlingen. Hensikten i forskningsdesignet er å vise hvordan vi har jobbet med oppgaven og fått innsikt i prosessene rundt bossnettet. Vi vil deretter presenterer fremgangsmåten for datainnsamling og hvordan dataene har blitt behandlet. Metodene vi har valgt vil bli diskutert og begrunnet. Kapitlet avsluttes med en diskusjon rundt betydningen av våre vurderinger med tanke på oppgavens validitet og reliabilitet.

5.1 Forskningsdesign

I oppgaven har vi bestemt oss for å svare på problemstillingen ved å dele forskningsprosjektet inn i tre faser: (1) forståelse av systemet og prosessen, (2) innhenting av data til modellering og (3) utvikle modeller.

1. I den første fasen har vi lest oss opp på forskningslitteratur som omhandler vakuumbaserte bossnett. Artiklene gav oss en grunnleggende forståelse av hvordan et vakuumbasert bossnett fungerer og de forskjellige prosessene i systemet. BIR gav oss en omvisning av hele systemet, fra nedkast til terminalene i Jekteviken. Omvisningen gjorde at vi fikk en dypere forståelse av systemet og fikk se hele prosessen med egne øyne. Dette for å kunne hente inn korrekt data til modellen og etterligne systemet best mulig i en modell. Oppgaven er i hovedsak basert på kvantitative metoder.
2. Innhenting av data handler om å få inn informasjon som er representativ for å kunne bygge modeller. Vi har fått tilgang til datasettet fra BossID med observasjoner fra 1. januar 2017 til og med 10. januar 2018. Datasettet inneholder rådata fra bossnettet og viser over 600.000 observasjoner fra forskjellige prosesser i systemet. Størrelsen på antall observasjoner i de ulike leddene av prosessen gjør at vi får en oversikt over bruk og kapasitetsutnyttelse av systemet i perioden. På grunn av størrelsen på datasettet har fokus i denne fasen vært å filtrere ut relevant data som danner

grunnlaget for modellene. Fokuset har da vært å se etter mønster i datasettet og hvordan ulike faktorer påvirker bossnettet. I denne delen har formålet vært å beskrive systemet mest mulig realistisk, og vi valgte derfor en deskriptiv tilnærming som forskningsdesign i form av å basere oss på gjennomsnittsverdier. En deskriptiv tilnærming vil ifølge Stoltenberg (2018) si at en beskriver hvordan situasjonen er og hvordan ulike faktorer påvirker.

3. Siste fasen har som mål å utvikle modeller som danner et realistisk oversiktsbilde av bossnettet. Vi har brukt metodetriangulering for å få en helhetlig forståelse av systemet. Metodetriangulering innebærer at vi bruker ulike metoder for å få forståelse og synspunkt på problemstillingen. Informasjon fra datasettet har blitt kombinert med forståelsen fra første fase for å tolke mønster. Grunnet størrelsen og informasjonsmengden i datasettet har vi bygget modellen på en slik måte at de viser de store linjene og forklarer systemet på en god måte. Dette har vi gjort ved å sette avgrensninger for å forenkle modellen og for å filtrere ut detaljer som ikke vil være utslagsgivende på kapasitetsutnyttelse eller sluttresultatet.

5.2 Innsamling av data

Data utgjør grunnstammen for å analysere en problemstilling og lage modeller som gir et riktig bilde. Valg av metode vil være sentralt når det kommer til hvilke data du ønsker å samle inn. For innsamling av data har vi brukt det Saunders, M., Lewis, P. & Thornhill, A. (2009, s.119) betegner som en pragmatisk tilnærming. Dette vil si en kombinasjon av kvantitativ og kvalitativ metode for innhenting av den informasjonen som trengs fra ulike kilder.

5.2.1 Kvalitativ metode

Kvalitativ metode er ifølge Malt (2015) en forskningsmetode som vektlegger forståelse og analyse av sammenhenger i en prosess hos den enkelte fremfor opptelling av fenomener eller kjennetegn ved en gruppe individer. I oppgaven har vi brukt kvalitativ metode i form av intervju for å få informasjon som ikke er i datasettet.

5.2.1.1 Litteratur angående bossnett

Informasjon er nøkkelen for å få en best mulig forståelse av hvordan bossnettet fungerer. Før prosessen med å samle inn data begynte, valgte vi å lese fagartikler, dokumenter fra BIR og se videoer om anlegget på hjemmesiden deres. Dette gav oss en grunnforståelse av systemet, slik at vi fikk en antydning av hvilken informasjon som trengtes for å gjennomføre oppgaven. For å supplere på dette ble det gjennomført en omvisning av systemet, der vi fikk stille spørsmål underveis.

5.2.1.2 Samtaler og omvisning av bossnettet

Vi har benyttet oss av det Kristen Ringdal (2014, s.242-243) betegner som et samtaleintervju. Et samtaleintervju er et møte mellom intervjuer og respondent med en lav grad av standardisering i spørsmålene. Intervjuet ble kombinert med omvisningen vi hadde med Björn Deh, Rådgiver BIR Nett (12.02.2018). Målet med dette var å utvide forståelsen ved å se systemet med egne øyne og at fagpersonell som kjenner systemet kunne forklare hva som skjer i hvert ledd av prosessen. Omvisningen av bossnettet gjorde oss oppmerksomme på at prosessen var mer komplisert enn ventet. Den kvalitative delen av datainnsamlingen gjorde oss bevisste på at det måtte gjøres avgrensninger i oppgaven for å sikre at antallet variabler ikke ble for stort.

Intervjuet under gjennomgangen er det eneste vi gjennomførte ettersom det gav en god forståelse av prosessene. I tillegg har vi benyttet oss av e-postkorrespondanse for å få svar på spørsmål som har kommet i ettertid. Vi har også hatt møter og telefonsamtaler med ansatte i bedriften for å få opplæring og hjelp til å forstå Microsoft Power BI. Kombinasjonen av forskningsartikler og den kvalitative delen av oppgaven dannet grunnlaget for å bygge modellene.

5.2.2 Kvantitativ metode

Kvantitativ metode skiller seg fra kvalitativ metode i form av at det her er en undersøkelse som analyserer et stort antall enheter, som for eksempel land, personer eller bedrifter. Formålet med kvantitativ analyse er gjerne å teste en hypotese, det vil si finne ut om en antakelse om virkeligheten stemmer overens med de data man har (Dahlum, 2018b).

Hovedkilden for data til oppgaven stammer fra BossID, som lagrer informasjon fra sensorer i bossnettet. Etter samtaler med BIR kom vi frem til at den beste løsningen var å gi oss en konto i Microsoft Power BI, der datasettet ble tilgjengeliggjort. Datasettet inneholder informasjon og observasjoner for perioden 1. januar 2017 til 10. januar 2018. Informasjonen fra programmet er gitt i tabeller som må kobles sammen slik at de viser riktig informasjon.

Vi har valgt å analysere problemstillingen over en tidshorisont som strekker seg fra mandag til søndag i en normalperiode. Dette skyldes at datasettet viser at det er variabilitet i antall lukeåpninger og tømning over en tidshorisont på et år. Ferieperioder som sommer og jul viser en markant nedgang i bruken av bossnettet. En normalperiode vil være en uke der befolkning er i arbeid og på skole. Grunnen til at vi velger en tidshorisont på en uke i analysen er at vi ønsker å få med fordelingen av ankomsten gjennom uken. På denne måten kommer eventuelle svingninger som følge av arbeidsuken eller helgen frem. Et perspektiv på en uke vil skape økt realisme og kredibilitet i modellen.

De kvalitative dataene inneholder tabeller for følgende grupper: kunder, nedkast, nedkastpunkt, terminal og sentral. Hver tabell har informasjon om aktiviteter som blir foretatt (lukeåpning/ankomst, tømning av nedkastpunkt eller bytte container), tidspunkt for aktivitet, ID for hvem som gjennomfører aktivitet og lokasjon. Informasjonen som er i datasettet er sekundærdata som kommer fra databasen BossID. Vi har også innhentet informasjon over e-post som viser kapasiteten til hvert enkelt nedkastpunkt, som går under sekundærdata.

5.2.2.1 Primærdata

Primærdata er data som forskere eller studenter selv samler inn til den aktuelle undersøkelsen (Fangen & Sellerberg, 2011, s.76). I oppgaven har vi samlet inn primærdata ved intervjuet under omvisningen av anlegget. Disse dataene har blitt brukt til å gi oss en

grundig og god forståelse av prosessene som foregår i bossnettet, og kan derfor ikke kvantifiseres. Informasjonen fra primærdataene danner grunnlaget for prosessforståelse, modeller og bevisstgjørelse på avgrensningene som blir gjort i oppgaven.

5.2.2.2 Sekundærdata

Sekundærdata er informasjon som er innsamlet av andre til et annet formål enn for vår aktuelle problemstilling (Hansen, 2015). Oppgaven bygger hovedsakelig på sekundærdata for å besvare problemstillingen. Informasjonen stammer fra databasen til BIR og ansatte i bedriften. Datasettet vi har fått tilgang til inneholder rådata, som betyr at det er registreringer fra automatisert utstyr uten videre bearbeiding. Dataene har derfor blitt prosessert i tabeller for å eksportere ut det vi trenger av informasjon.

5.3 Databehandling

Dataene fra BIR inneholdt 21 tabeller med data som var mulig å koble sammen i Microsoft Power BI. Observasjonene ble satt sammen i tabeller etter de ulike delene av prosessen som vi trengte data for. I neste steg ble tabellene eksportert over i Excel, der de ble behandlet for å finne måleverdier som gjennomsnitt, standardavvik, minsteverdier og maksimalverdier.

5.4 Validitet og reliabilitet

I et forskningsprosjekt er kredibiliteten og kvaliteten et viktig aspekt for at resultater fra forskningen skal kunne ha betydning senere. Validitet og reliabilitet er viktige metoder for å kontrollere og måle at forskningsprosjektet holder kvaliteten og kredibiliteten som kreves.

5.4.1 Validitet

Validitet handler om det å kunne se sammenhengen mellom de resultater vi får og gyldigheten av slutningene som trekkes fra resultatene (Dahlum, 2018a). Utredningen har ikke som formål å kunne fastslå kausalitet mellom ulike variabler. Dette gjør at vi har et fokus på validitet i forhold til om simulering av bossnettet vil kunne gi en god forståelse av det faktiske systemet og bossnettets kapasitet. En diskusjon vil være om modellen

representerer systemet slik at det er mulig å begrunne årsakssammenheng ut ifra simuleringen.

5.4.1.1 Bruk av simulering

Systemer og prosesser blir stadig mer komplekse med kontinuerlig endring i samfunnet. Kompleksitet gjør at det vil være vanskelig å beskrive og gjøre analyser av prosessen på et matematisk nivå. Simuleringsverktøy vil dermed være en enklere og mer praktisk måte for å undersøke og gjøre analyser av systemer. En simulering kan beskrives som en imitering av det virkelige systemets prosesser ifølge Banks (1998, side 3-4). Ved å endre enkelte variabler kan vi vurdere hvordan ytelsen påvirker systemet (Ståhl & Born, 2014, side 338-349).

Kapasitet er en sentral variabel fordi den setter begrensningene for systemet. Ved å endre variabelen kan vi utsette systemet for stress og se hvordan outputen blir påvirket i forhold til ressursutnyttelsen og antall tømminger. Det er viktig å være bevisst på at simuleringsmodellen ikke vil klare å gjenskape det virkelige systemet. Variablene i simuleringen må derfor vise realistiske bilder av systemet, ellers vil informasjonen fra outputdataene ikke ha noe verdi (Law, 2015, s. 71). For å få en realistisk simulering bør avgrensninger utredes for å få en best mulig forståelse av konsekvensene det fører med seg.

Problemstillingen hadde vært mulig å analysere på matematisk nivå, men antall variabler i bossnettet er så høyt at det ville vært en komplisert øvelse å komme frem til et svar. Tid er også en sentral faktor for valget av simulering som metode. I oppgaven ønsker vi å se på forskjellige løsninger som kan forbedre ytelsen, men dette ville vært svært tidkrevende med en matematisk fremgangsmåte. Simuleringsverktøy gjør at vi har muligheten for å gjennomføre ulike eksperimenter på kort tid. På denne måten er det mulig å teste ulike antakelser ved å endre input variabler og analysere effekten det har på outputdataene. Valg av en matematisk tilnærming ville gjort at en måtte gjøre et utvalg av scenarioer på grunn av tidsbegrensningen. Denne fremgangsmåten ville krevd at vi måtte ta avgjørelser om hvilke scenarioer vi ønsket å undersøke, noe som ville svekket validiteten. En matematisk fremgangsmåte ville øke sannsynlighet for forskningsfeil i form av at det blir gjort feil i utregningene underveis i prosessen.

5.4.1.2 Diskre hendelsessimulering

Tilstanden til et system blir definert som en samling av variabler, som vil bli benyttet til å beskrive prosessen i et bestemt angitt tidspunkt i forhold til de ulike objektene man studerer. Tilstanden til prosessen blir delt opp i diskret (discrete) eller kontinuerlige (continuous) systemer. En diskret simulering som også kan kalles discrete event simulation vil ha at tilstandsvariablene kan endres grunnet hendelser som forekommer på avgrensede tidspunkter. Et kontinuerlig system vil være en prosess i stadig endring med hensyn til tid, grunnet aktiviteter som gjør at det forekommer endringer hele tiden. Været er et godt eksempel ved at det forandres til enhver tid avhengig av aktiviteter som skjer i små tidsenheter (Law, 2015, s.3).

En diskret simulering vil gjøre at det foregår konstante skift og endringer i systemet mellom tidspunktene og kan derfor hoppe direkte i tid fra en hendelse til en annen når man kjører simuleringen. Eksempel på et diskret system er ankomst, ved at endring i antall kunder som kaster og mengden volum avhengig av kundetype. Ventilsjaktene under nedkastene er også en diskret simulering grunnet innholdet endres avhengig av hvor mye som blir kastet eller hvor ofte det forekommer tømminger. Hadde man skissert innholdet i et av de to systemene, ville det vært mulig å se at det blir forandret avhengig av hendelser som forekommer i det lange løp. Konsekvensen av dette er at grafen vil være delt opp i flere brudd og hopp istedenfor å være kontinuerlig. For eksempel ved situasjonen at nedkastpunktet er fullt vil det tømmes og starte på null i løpet av en kort tidsperiode.

5.4.1.3 Ekstern validitet

Ekstern validitet handler om de generelle resultatene som kommer frem fra undersøkelsen og det å kunne generalisere for en hel populasjon basert på resultatene. Den eksterne validiteten er svak ved at ulike bosnett kan ha kunder med andre avfallsmønstre, preferanser og antall kunder i området bosnettet er. Eksempelvis kan brukerne være mer miljøbevisste enn andre steder som har bosnett, som igjen kan føre til mindre mengde avfall som kastes i restavfall i forhold til papir, plast og papp. Resultatet av dette er at fordelingen mellom tømming av restavfall og papir vil endres. Oppgaven har ikke som mål å kunne generalisere funn mot lignende bosnett, men det er mulig at resultatene kan benyttes til å sammenligne med andre.

Forskningsartikler nevnt i avsnitt 4.3, øker den eksterne validitet ved at vi ser våre resultater opp i forhold til deres forskning. Bossnettene er ikke helt identiske, men man kan se mønster i deres undersøkelse.

Dataene våre er kvantitativ, som gjør at responsraten vil være høy og det er mulig å se kastmønsteret til kundemassen. På den andre siden er alle kundene forankret i Bergen sentrum, som gjør at de ikke er et representativt utvalg av den norske befolkningen. Basert på at vi ikke kjenner til antallet kunder, avfallstype eller kultur kan vi ikke generalisere funnene våre opp mot andre bossnett. Det er likevel mulig å se mønster ut ifra våre resultater som kan være korrelert med mønster for andre bossnett.

5.4.1.4 Begrepsvaliditet

Begrepsvaliditet handler om å måle det vi har til hensikt å undersøke. For å oppnå bedre begrepsvaliditet kobles teori og empiri sammen for å operasjonalisere dataene. Sensorer i bossnettet rapporterer inn dataene og er nøyaktige, men det forekommer dobbeltregistrering for kast og tømminger av og til. Dette har påvirkning på analysen ved volum generert søppel og sammenligningsgrunnlag mellom modell og datasett. Antallet feilregistreringer er så lavt at det ikke vil påvirke resultatene annet enn en minimal økning i standardavvik. For å øke validiteten har vi vært i kontakt med de BIR ansatte som har lagd og satt opp systemet for rapportering fra sensorene. Dette for å være sikre på at dataene tolkes riktig, tar ut korrekt data og får en forklaring av innholdet i datasettet.

5.4.2 Reliabilitet

Reliabilitet handler om replikering og konsistens av undersøkelsen og dataene. Eksempelvis vil man kunne si at forskningen er reliabel, hvis en eller flere forskere kan gjenskape forskningsdesignet og får samme resultater som den tidligere forskningen (Saunders et al., 2009, side 156-158). Det er fire biaser som danner grunnlaget for at forskningen ikke oppnår reliabilitet: deltakerbias, deltakerfeil, forskerbias og forskerfeil. Metoden for datainnsamlingen vil ha påvirkning på effekten av biasene.

5.4.2.1 Deltakerfeil

Deltakerfeil kommer av at kunden bruker tjenesten feil. Brukerfeil fører til feilinformasjon i datasettet, som har påvirkning på analysene. Nye kunder tenderer til å åpne lukene mange ganger hver gang de kaster i begynnelsen etter de har begynt å bruke nedkastpunktene. Grunnen til dette er at de tror kastet ikke blir registrert før man lukker luken helt igjen. Noen kunder har derfor trodd at de omgår registreringssystemet til BIR ved å ikke lukke helt igjen mellom hver pose de kaster. En lukeåpning registreres i det øyeblikk luken er nesten igjen og avfallet sklir ned i nedkastet. I tilfeller hvor BIR ser at en kunde har hatt svært mange lukeåpninger i et kort tidsrom sletter de lukeåpninger slik at kunden ikke skal bli belastet økonomisk for brukerfeilen. Dette er med på å redusere antall deltakerfeil som er i vårt datasett. Kunder kan også ha insentiver til å kaste sitt restavfall i papir/plast/papp nedkastene på grunn at restavfall koster penger. BIR har ikke observert slike tilfeller, deltakerfeilen er derfor minimal.

5.4.2.2 Deltakerbias

Deltakerne kan tolke og anta hva forskningspersonell ønsker at de skal gjøre eller ha insentiver til å gjøre annet enn hva som er tenkt at de skal gjøre, som fører til at de gjør dette istedenfor sin naturlige atferd. Med tanke på at vi skriver en kvantitativ oppgave vil ikke deltakerbias ha stor påvirkning.

5.4.2.3 Forskerfeil

Forskerfeil kommer av at data tolkes på feil måte, noe som fører til at resultatet måler noe annet enn det vi ønsker. Dataene er kvantitative, men datasettet er så omfattende at det kan føre til feiltolkning ved å utelukke viktige variabler eller at variabler tolkes feil. Oppgaven skrives av to stykker, kan dermed kontrollere hverandre og diskutere avgjørelser.

Størrelsen på datasettet gjør at det er vanskelig for oss å filtrere ut feil i datasettet. Problemet med størrelsen oppstår også ved at vi må dele opp datasettet i eksporteringsfasen siden det maksimalt kan tas ut 30 000 observasjoner om gangen. Det er mulighet for å filtrere ut data som ikke har de riktig variablene eller tomme celler, men det er ikke alltid helt klart om tabellene viser det vi tror.

5.4.2.4 *Forskerbias*

Biasen kan også kalles publikasjonsbias og komme av at forskerne har hatt insentiv til å bare lansere forskning som er positivt for selskapet eller forskningsinstitusjonen. Oppgaven skrives i samarbeid med BIR, noe som kan ha påvirkning for at vi dreier resultatene i deres favør. BIR er også et kommunalt selskap som gjør at alt utenom datasettet skal være offentlig og oppgaven vil ikke ha noen direkte negativ konsekvens for dem.

5.4.3 **Etiske utfordringer ved oppgaven**

I gjennomføring av forskningsprosjektet er det viktig å tenke over etiske prinsipper og utfordringer som kan oppstå grunnet resultater fra forskningen. Det vil kunne være flere grunner til at vi må vurdere disse etiske hensynene. Prosjektet vårt er innenfor et tema som er relativt lite forsket på i verden og som gjør at det kan bli aktuelt å sitere til vår forskning senere. Det er veldig viktig at forskningen ikke fører til noe negativt for ulike direkte eller indirekte involverte til prosjektet og at etiske dilemmaer står i fokus gjennom alle prosessene av forskningsprosjektet. For å ivareta det etiske vil vi i oppgaven også sitere alle brukte kilder fra teori og litteratur som ikke er vårt eget.

I oppgaven er det data som viser kastmønster for boenheter i Bergen sentrum. Ut i fra norsk lov må denne dataen anonymiseres slik at det ikke er mulig å spore enkelte boenheter. Norge har ingen lov om sortering av restavfall, men mennesker i en boenhet kan føle seg fremstilt dårlig hvis det kommer frem at de ikke sorterer. Det kunne også vært aktuelt og anonymisert adressen til de ulike nedkastpunktene, men ankomsten vi benytter i modellen er basert på antall lukeåpninger, og ikke spesifikke kunder. Vi har signert konfidensialitetsavtale med BIR om å ikke gi bort dataene og destruere de når oppgaven er ferdig.

En optimeringsoppgave kan skape etiske utfordringer i forbindelse med at resultatene kan ha negativ betydning for kunden. Grunnen til dette er at det som er samfunnsmessig optimalt ikke nødvendigvis er bedriftsøkonomisk optimalt. Dette er ikke et problem i oppgaven siden BIR er kommunalt eid og styres etter selvkost. En eventuell forbedring av driften vil dermed kunne være en fordel for kundene ved at det blir billigere å benytte seg av renovasjonstjenestene.

6. Forklaring av modellen

I denne delen av oppgaven skal vi presentere og beskrive de ulike prosessene i modellen. Målet med modellen er å etterligne systemet best mulig slik at vi kan bruke inputdataene til å undersøke problemstillingen videre.

6.1 GPSS

I oppgaven vil vi benytte simuleringsverktøyet aGPSS. Programmet er basert på GPSS (General Purpose Simulation System), der aGPSS er en versjon utviklet for økonomistudenter. aGPSS er laget ved Stockholm School of Economics av Ingolf Ståhl og er et diskret-event system for simulering. Programmet har over tid blitt tillagt et grensesnitt som gjør det mulig å bygge opp systemet grafisk med dynamiske blokker, hvor man kan legge inn statiske verdier (Ståhl, 2018).

6.2 Generelt om simuleringen

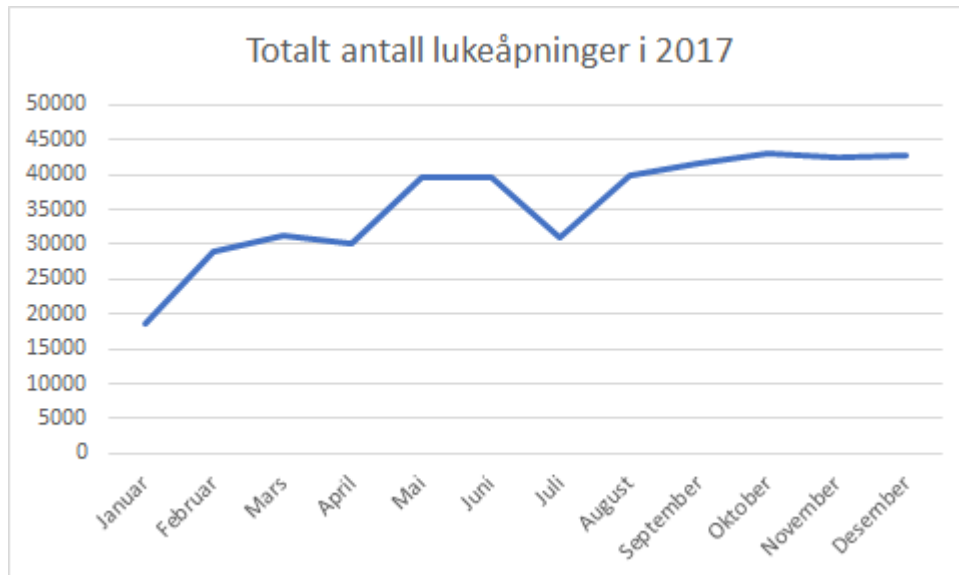
Modellen vil være en simulering for seks dager og 16 timer (9600 minutter) i tidsrommet 08:00 mandag til 23:59 søndag. Vi har valgt denne perioden på grunn av stenging av systemet om natten fra (23:00-06:59). Første intervallet på mandag fra (00:00-07:59) forsvinner da fra simuleringen. Intervallet for stopp segmentet i modellen var vanskelig å kombinere med første intervall for ankomst, noe som førte til at vi valgte å se bort fra det første intervallet i ankomstraten for mandagen. Effekten av å droppe det første intervallet er at generert volum blir noe lavere over uken, men ankomsten i dette intervallet er den laveste av alle intervallene gjennom uken. Antallet tømminger kan blir påvirket av valget ved at antallet kan reduseres, men utslaget ville vært minimalt.

På grunn av begrensning i simuleringsverktøyet er simuleringen delt i seks deler for å håndtere informasjonen og holde oss innenfor begrensningene. Dette har gjort at vi har måtte forskyve enkelte tidsintervaller for tømminger som har foregått på samme tidspunkt i de ulike delsimuleringene. Forskyvningen og oppdelingen av modellen vil ikke ha påvirkning på resultat av simuleringen fordi at fokus ikke er tidspunkt for tømming, men antall

tømminger. Forskningen til Fernandez et al. (2014) tilsier at det tar omtrent fem minutter å tømme hvert nedkast, vi vil i modellen benytte samme standardtid for alle nedkastpunkt. De andre modellene i analysen må også deles opp i flere delsimuleringer grunnet begrensning i programvaren.

6.3 Om datasettet

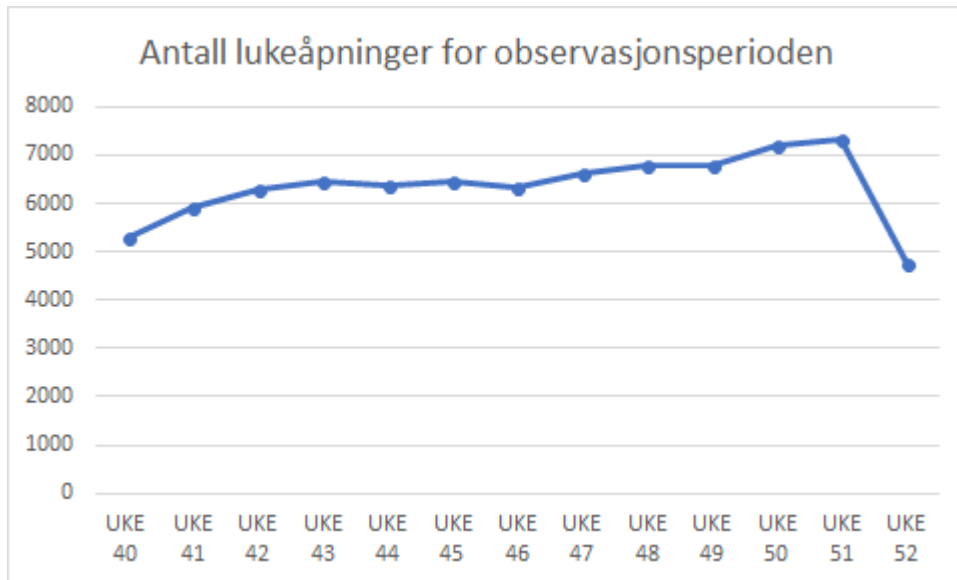
Vi har valgt perioden 2. oktober til 30. desember fra datasettet som grunnlag for å bygge modellen, som utgjør 13 uker. Dette skyldes at vi ser svingninger gjennom året og åpning av nye nedkastpunkter i tidsrommet før oktober. Åpning av nye nedkastpunkter fører til en markant økning av nye kunder til bossettet, som øker avfallsmengden gjennom systemet. I perioden april til mai ble det åpnet nye nedkastpunkter, noe vi ser effekten av i antall lukeåpninger i figur 21. Totalt var det en tilkomst av 608 nye kunder i april, som tilsvarer 49,2% av nye kunder i 2017. Et eksempel på svingninger i løpet av året er perioden juni -juli hvor det forekommer endring i kastmønsteret, en mulig grunn til endringen kan være at husholdningene er på ferie i denne perioden.



Figur 21: Antall lukeåpninger for restavfall i 2017 fordelt på måneder

For å beregne ankomsten til nedkastpunktene har vi brukt perioden oktober til desember 2017 på grunn av antallet lukeåpninger er stabilt. Figur 22 viser en gradvis økning i antall lukeåpninger fra uke 46 til 51, noe som kan skyldes perioden frem mot jul. Denne perioden

skiller seg fra uke 42 til 46 i form av et stabilt mønster for antall lukeåpninger. For å hindre at perioden fra uke 46 til 51 drar opp gjennomsnittet har vi valgt å ta med observasjonene for dagene fra uke 52. Resultatet er at vi får et gjennomsnitt som er nærmere gjennomsnittsverdiene for uke 42 til 46, men fører også med seg en markant økning i standardavviket for alle måltall hentet fra datasettet.

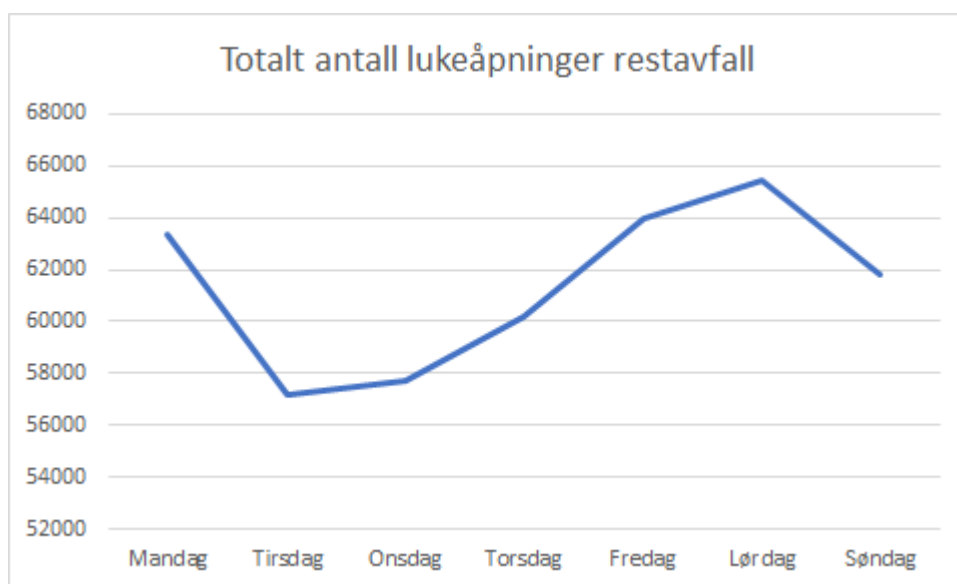


Figur 22: Antall lukeåpninger for observasjonsperioden

Generert volum fra datasettet er estimert ut ifra standardverdiene til BIR for kastvolum per lukeåpning for kundegruppene. Ankomsten er multiplisert med antall lukeåpninger i datasettet for å ha et sammenligningsgrunnlag mot modellen.

6.4 Ankomst av kunder

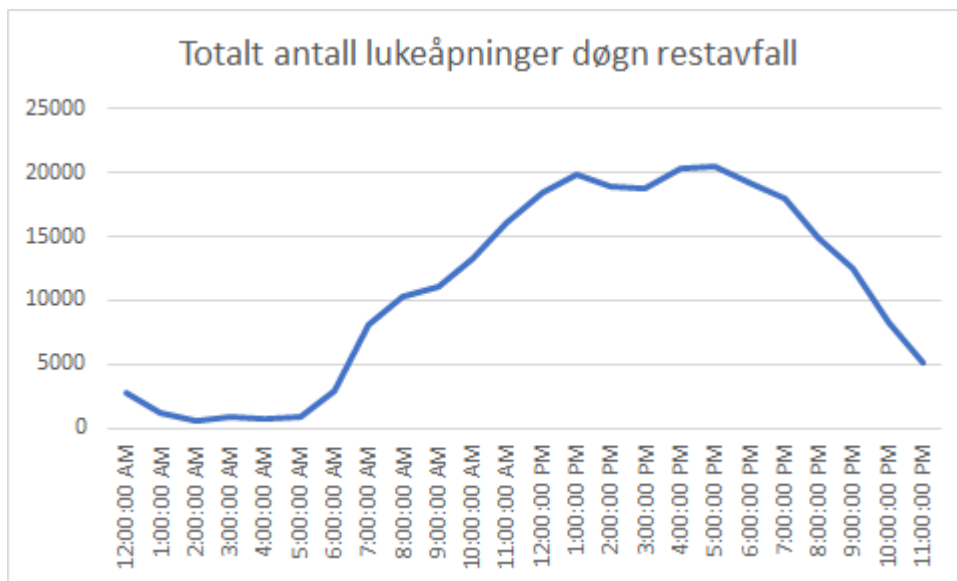
Ankomstraten til kundene i 2017 er ulik avhengig av dag i uken og er gitt ved antall lukeåpninger ved nedkastpunkt. Figur 23 viser at generering av restavfall når toppen på lørdag og har et bunnpunkt på tirsdag. Det er en trend i figuren der antall lukeåpninger øker fra tirsdag til lørdag og reduseres i tidsrommet lørdag til tirsdag. Grafen viser den totale ankomstraten for kunder. Majoriteten av ankomstene kommer fra husholdningskunder, hvor ankomst av bedriftskunder står for 5,28% av lukeåpningene.



Figur 23: Fordeling av antall lukeåpninger i 2017 på ukedag

6.4.1 Ankomst til nedkastpunkt

Ankomstraten (R_i) til hvert enkelt nedkastpunkt er beregnet i åtte timers intervall for hver dag basert på den satte observasjonsperioden. Ved å trekke ut data for hver dag i tre åtte-timers intervaller med 13 observasjoner for den enkelte intervall har vi laget en gjennomsnittlig ankomstrate per dag. Intervallene strekker seg fra (00:00-07:59), (08:00-15:59) og (16:00-23:59) for å gjenspeile at ankomstraten endrer seg i løpet av døgnet og uken. Vi har valgt tre intervaller for å kunne vise forskjeller i ankomstrate og for å gi et oversiktsbilde av hvordan kastmønsteret til kundene er. Figur 24 viser gjennomsnittlig kastmønsteret over et døgn basert på hele 2017. Perioden fire til seks på ettermiddagen er toppunktet hvor det er størst pågang fra kundene, mens tidsrommet mellom 01:00 og 05:00 har minst pågang.



Figur 24: Fordeling av antall lukeåpninger i 2017 på døgnbasis

Funksjonen for ankomstraten er en diskre funksjon som fører til at programvaren genererer tiden mellom ankomst av kunder til å være lik i intervallet, mens i virkeligheten kommer kundene tilfeldig over et tidsintervall. Resultatet av denne oppbyggingen er at det ikke kan oppstå kø av kunder ved nedkastpunktene siden ankomstraten (R_i) er mindre enn prosessens kapasitet (R_p). Ankomst gitt med faste intervaller stemmer ikke overens med realiteten, men gir oss likevel informasjon om hvordan ankomsten påvirker systemet og et bilde av forskjellene i ankomstraten over døgn og uke.

For å skape en spredning i ankomstraten til hvert nedkastpunkt over de ulike simuleringene er det lagt inn et standardavvik på ett minutt. Valget av ett minutt skyldes at modellen er sårbar for høye standardavvik på punkt med lav ankomstrate, noe som gjelder nesten alle punkt. Modellen vil maksimalt kunne ha et standardavvik på åtte minutter på grunn av at standardavviket ikke kan være høyere enn ankomstraten. Åtte minutter er den korteste tiden mellom hver kunde i simuleringen, og standardavviket kan da ikke være høyere enn dette uten at programmet stopper. Hovedårsaken til valget av ett minutt er at når et nedkast har en lav ankomstrate i et intervall etterfulgt av et intervall med høy ankomstrate og et standardavvik på åtte minutter skaper det problemer. Dersom intervall med lav ankomst har en kunde per 480 minutter i intervallet kan standardavviket skape en forskyvning som går over i neste intervall. Effekten blir da at det i første intervall kommer en kunde etter de første

472 minuttene, der programvaren begynner å telle nye 480 minutter (+/- standardavvik) til neste kunde. Ender da opp med at det er bare åtte minutter til neste intervall (480-472), som fører til at ankomsten reduseres kraftig. Dette gjør at vi ikke klarer å gjenskape fluktuasjonen i ankomstraten og ender opp med et lavt standardavvik for modellen. Med et standardavvik på ett minutt vil denne problemstillingen også oppstå, men sjeldnere ettersom volatiliteten er lavere. Konsekvensene av dette er at ankomsten ved enkelte punkt kan falle fra en simulering til den neste slik at volum generert vil bli redusert. Variabiliteten i ankomstraten er dermed lav, noe også variasjonskoeffisienten (CV) blir. Variasjonskoeffisienten vil endres fra intervall til intervall, men vil alltid være lav ettersom tiden mellom hver kunde ikke vil ha et standardavvik på mer enn ett minutt. Ankomstraten vil derfor være relativt jevn gjennom simuleringen.

6.4.2 Kunder ved nedkast

I modellen er det beregnet prosentvis andel bedriftskunder av ankomstraten til det enkelte nedkastpunkt fra observasjonsperioden. Valget av denne løsningen skyldes at programvaren har begrensninger når det kommer til blokker som hver simulering kan inneholde. Resultatet av dette er at bedriftskundene stort sett ankommer i intervaller med høy ankomstrate og tilfeldig over simuleringsperioden, noe som ikke stemmer med virkeligheten.

Enkelte nedkastpunkt har flere ventilsjakter tilknyttet nedkastet som gjør det mulig å tømme de enkeltvis. Modellen gjenspeiler dette med presentsatser for fordelingen mellom hvilket nedkast kunden velger. Datasettet viser at noen nedkast ved nedkastpunkt er mer benyttet enn andre. Kundene velger ofte det nedkastet som er nærmeste sin husstand, noe som fører til at nedkastet nærmest en boligblokk fylles raskere enn et lenger borte. Løsningen med prosentvis fordeling stemmer bra med datasettet i form av at vi ser at noen nedkast benyttes mer enn andre på samme nedkastpunkt.

BIR anslår at det gjennomsnittlige volumet kastet per kunde er 20 liter for husholdningskunder og 100 liter for bedriftskunder. Dette gjør at man kan se hvor fort hvert nedkast blir fullt ved å kjøre simuleringer for ankomsten av husholdnings- og bedriftskunder i forhold til kapasitet på lagringsenheten.

6.4.3 Prosesseringstid og kø

Prosesseringstid (T_{p1}) vil kun skape kø i systemet dersom den er høyere enn ankomsten i et tidsrom. I tabell 4 har vi regnet ut tiden det tar i gjennomsnitt for husholdningskunder og bedriftskunder å kaste avfall. Standardavviket for tiden det tar husholdningskunder å kaste er ti sekunder, mens det for bedriftskunder er 14 sekunder. Datasettet måler kun lukeåpninger, men ikke når det lukker. Prosesseringstiden er derfor estimert ut ifra den gjennomsnittlige tiden en kunder bruker på flere lukeåpninger i løpet av en tidsperiode på to minutter.

	Husholdning	Bedriftskunder
Scanne brikke	3 sekunder	3 sekunder
Kaste avfall	15 sekunder	28 sekunder
Prosesseringstid	18 sekunder	31 sekunder
Gjennomløpstid T	18 sekunder	31 sekunder
Gjennomløpstid T i minutt	0.3 minutter	0.52 minutter

Tabell 4: Gjennomløpstid nedkast (vedlegg 2)

For å forsvare at det ikke forekommer kø eller ventetid (T_{II}) som vil øke gjennomløpstiden T har vi tatt ut informasjon fra datasettet for ankomst kunder som kommer i løpet av simuleringsperioden (9600 minutter).

Prosesseringstiden per ankomst er 18 sekunder (0,30 minutt) for nedkastpunkt med bare husholdningskunder, 18,5 sekunder (0,31 minutter) for nedkastpunkt med husholdnings- og bedriftskunder og 31 sekunder (0,52 minutter) for nedkastpunkt med bare bedriftskunder. Den teoretiske kapasiteten vil bli forskjellig ved de ulike nedkastpunktene grunnet ulik prosesseringstid. Den teoretiske tilstrømming av kunder er da i gjennomsnitt 32000 (kun husholdningskunder), 30968 (husholdnings- og bedriftskunder) eller 18462 (kun bedriftskunder) kunder i løpet av tidsperioden. Gjennomsnittlig ankomst til hvert nedkastpunkt i simuleringsperioden er på 140 kunder, hvor gjennomsnittlige kapasitetsutnyttelsen for hvert av nedkastpunktene er 0,44% med 95%-konfidensintervall mellom 0,11% og 1,37%.

Variabiliteten i prosesseringstiden vil variere avhengig av kundetype ved nedkastet. Standardavviket for nedkast med husholdningskunder er 10 sekunder, nedkast for bedriftskunde har et standardavvik på 14 sekunder, mens nedkast med husholdningskunder og bedriftskunder har elleve sekunder i standardavvik. Tabell 5 viser de ulike variasjonskoeffisientene hvor alle er lav, som betyr at prosesseringstiden er jevn. Prosesseringstiden vil være ulik ved hvert nedkastpunkt, men vil i gjennomsnitt ha tilsvarende verdier.

	Gjennomsnitt	Standardavvik	Variasjonskoeffisient
	\bar{x}	σ	CV
Husholdningskunder	00:00:15	00:00:10	0,66
Bedriftskunder	00:00:28	00:00:14	0,52
Husholdnings- og bedriftskunder	00:00:17	00:00:11	0,67

Tabell 5: Variasjonskoeffisient for prosesseringstid

En situasjon hvor prosesseringstid er høyere enn ankomsttid vil ikke oppstå i løpet av simuleringen. Dette skyldes oppbyggingen av ankomsten i modellen, der den korteste tiden mellom ankomsten av kunder er åtte minutter. Resultatet er da at prosesseringstid ikke vil ha noe påvirkning på modellen og vi ser derfor bort fra dette. Kølengde-formelen (I_i) vil dermed ikke være relevant for oppgaven ettersom kø ikke er et problem.

Setter vi en begrensning om at kundene ikke kan kaste i perioden hvor bossnettet er stengt (2300-06:59) vil tiden det er mulig å kaste være 6660 minutter. Begrunnelsen for denne begrensningen er for å gjenspeile at BIR ikke ønsker at nedkastene skal bli fulle i perioden bossnettet er stengt. Endringen fører til at gjennomsnittlig kapasitetsutnyttelse for hvert av nedkastpunktene øker til 0,64% med 95%-konfidensintervall mellom 0,15% og 1,97%. Selv om det kunne vært aktuelt å benytte 6660 minutter som simuleringsperiode er 9600 minutter mer aktuelt siden kundene også kaster om natten.

Nedkast	Ankomstrate Ri	Proseseringstid per ankomst Tp	Kapasitet Rp	Kapasitets- utnyttelse u	Reell kapasitets- utnyttelse u
Østre Murallmenningen 1	574	0,31	30968	1,85 %	0,93 %
Kalmargaten 2	369	0,31	30968	1,19 %	1,19 %
Klosteret 22	393	0,31	30968	1,27 %	1,27 %
Christian Michelsens gate 2a	258	0,31	30968	0,83 %	0,83 %

Tabell 6: Kapasitetsutnyttelse for ankomst til nedkast (se vedlegg 3 for hel tabell)

Tabell 6 viser de nedkastpunktene med høyest prosent kapasitetsutnyttelse. Av nedkastpunktene i tabell 6 er det bare Østre Murallmenningen 1 som har flere enn ett nedkast. Den reelle kapasitetsutnyttelsen for Østre Murallmenningen 1 er derfor 0,93% basert på gjennomsnittlig ankomstrate i løpet av simuleringsperioden. På grunn av den lave kapasitetsutnyttelsen er det minimal sannsynlighet for at to kunder vil ankomme nedkastpunktet til samme tid og dermed skape kø ved nedkastpunktet.

6.5 Tømminger

Datasettet viser at BIR i hovedsak tømmer ventilsjakter og tanker enkeltvis når de er fulle. Enkelte av tømmingene gjennomføres ved at to eller flere ventilsjakter på samme forgrening tømmes samtidig for å spare driftskostnader. Datasettet inneholder ikke informasjon om fyllingsgrad for de enkelte nedkastpunktene, så det er ingen informasjon om reelt tømt volum.

Tiden avfallet bruker gjennom røret er essensielt i forbindelse med simulering av systemet, fordi det tar kapasitet i røret for tømming av andre lagringsenheter. Forskningen fra Fernandez et al. (2014) har antakelse om at det vil ta omtrent fem minutter med hele tømmeprosessen før neste nedkastpunkt på en annen forgrening kan tømmes. Systemet i Bergen er større enn det i undersøkelsen, men det vil likevel være rimelig å anta at prosesseringstiden for tømming er relativt lik. Standardverdien for prosesseringstid ($T_{p2}+T_{p3}$) er satt for å forenkle og ta hensyn til at rørnettets også tømmer papir/plast/papp og avhengig om avfallet tømmes fra en ventilsjakt eller tank.

6.5.1 Antall tømminger og kapasitet

Antallet tømminger vil påvirkes av ankomstraten til kundene, men også av nedkastpunktets kapasitet. Noen nedkastpunkt har ventilsjakt på 350 liter for oppbevaring av avfall, mens andre har tank av ulik størrelse. Modellen vil fokusere på terminal 1 som utgjør 44 nedkastpunkt med 76 lagringsenheter. Flere ventilsjakter ved et nedkastpunkt gjør at ventilsjaktene kan tømmes hver for seg, og hver sjakt fungerer som en uavhengig enhet med sin egen kapasitet. Ankomstraten kombinert med ulik kapasitet fører til at nedkastpunkt blir fulle til ulike tidspunkt.

Avfallet må oppbevares i nedkastpunktet for midlertidig lagring for å maksimere fyllingsgraden og det vil derfor oppstå ventetid. Ventetiden (T_{12}) er tiden avfallet oppholder seg i lagringsenhet fra ankomst til tømming og vil være veldig volatilt avhengig av når avfallet ankommer nedkastet. Ut i fra optimeringsteori vil det være optimalt å minimere ventetiden for å effektivisere prosessen, men i tilfellet med bossnettet er den store kostnaden i prosessen tømming. Det vil derfor være hensiktsmessig å maksimere fyllingsgrad ved nedkastene og ventetid (T_{12}) er ikke noe som vil få videre fokus i oppgaven.

6.5.2 Effekt av stenging om natten for tømming

Muligheten for å tømme nedkastene er stengt om natten i tidsperioden (23:00-07:00), noe modellen tar hensyn til. Modellen får noen problemer som følge av nedkastpunkt som står i fare for å bli fulle om natten fordi de ikke tømmes før bossnettet stenger. Konsekvensen av dette er at vi risikerer at nedkastpunkt blir fulle i løpet av natten og ikke kan tømmes før bossnettet åpner klokken 07:00. Resultatet blir at kunder må stå i kø om natten på grunn av at nedkastpunktet er fullt. I modellen vil det forekomme at mellom 20 og 30 kunder står i kø om natten i løpet av en simulering, men av en gjennomsnittlig ankomst på 6266 vil ikke dette ha en spesielt stor innvirkning. Ettersom modellen ikke er bygget for å analysere kø, vil ikke kø problematikken om natten ha en innvirkning på resultatene. Kundene som står i kø vil få kaste når nedkastpunktet tømmes og derfor vil generert volum være upåvirket.

Tømming av fulle lagringsenheter om morgenen vil ikke skape forskyvninger som påvirker antall tømminger. Modellen viser et maksimalt antall på seks tømminger på morgenen på en dag over alle simuleringene, som tilsvarer 30 minutters forskyvning. Datasettet viser gjennomsnittlig 88 tømminger samlet for alle avfallskategorier per dag. Total tid brukt på tømming blir da 440 minutter av 960 mulige minutter der bossnettet er åpent per dag. Forskyvningene fra morgenen vil utjevnes i de ledige tidsrommene på 520 minutter og derfor ikke ha noen effekt mot slutten av dagen.

Antallet tømminger ville ha økt på grunn av at terskelverdien for fyllingsgrad ville blitt satt lavere i tidsrommet før stenging for å forhindre at lagringsenheter blir fulle om natten. På den andre siden ville volumet som hadde blitt tømt før stenging ikke blitt med over til neste dag. Effekten av dette er at antall tømminger neste dag ville blitt redusert. Hvordan forholdet mellom disse faktorene vil ha å si på antall tømminger over tid vil være vanskelig å estimere. Vi har valgt å se bort fra tømming før stenging på grunn av kompleksiteten ved å modellere og analysere denne effekten. Resultatet av denne avgrensningen er at validiteten til modellen blir svekket.

6.6 Fylling av containere

Containeren for restavfall i Jekteviken har en effektiv kapasitet på 30 m^3 , som tilsvarer 30000 liter. Under dagens kapasitetsutnyttelse og kundemasse blir containeren for restavfall tømt omtrent to ganger i løpet av uken. Ved sentralen er det installert en komprimator som øker kapasitetsutnyttelsen for containeren på grunn av at volumet av søppel blir komprimert. Effekten av dette er at volumet som blir tømt fra nedkastene blir omgjort til effektive liter når det blir komprimert i containeren. For å komme frem til faktisk kapasitet for containere er det hentet informasjon fra datasettet om hvor mange lukeåpninger må til fra en tom til en full container. Ved å bruke gjennomsnittsverdiene fra BIR for bedrifts- og husholdningskunder og multiplisere dette med lukeåpning for kundegruppene, blir gjennomsnittlig kapasitet per container 82400 liter (se vedlegg 4 for utregning).

6.7 Avgrensninger

Oppgaven vil ha noen avgrensninger av ulik betydning for modellen grunnet mangel av tid og omfanget av systemet som er mulig å dekke som en del av en masteroppgave. Vi vil i denne delen legge frem avgrensninger og begrunne hvorfor de er gjort. Programmet for simulering er av begrenset størrelse, som gjør at enkelte avgrensninger har måtte gjennomføres for å ikke få for mange ulike deler av den helhetlige modellen.

6.7.1 Publikumsnedkast

I enkelte områder av Bergen sentrum er det installert publikumsnedkast med mulighet for å kaste mindre mengder søppel. Nedkastene er åpne for alle og samler bare data for tømmedidspunkt og det er derfor ingen informasjon om ankomstraten. Vi kjenner heller ikke til kapasiteten for publikumsnedkast, men avfallet fra disse nedkastene utgjør en liten mengde av totalt generert volum. Publikumsnedkastene utgjør 13 nedkast, der de i perioden oktober - desember har 672 tømminger. Disse nedkastene er koblet til andre nedkastpunkt og blir tømt sammen.

Publikumsnedkast		
Volum avfall per tømming	Total volum	Økning i totalt volum
50	2680	1,50 %
70	3752	2,09 %
90	4824	2,69 %
110	5896	3,29 %
130	6968	3,89 %
150	8040	4,49 %
170	9113	5,09 %
200	10721	5,98 %

Tabell 7: Publikumsnedkast For hele tabell se (vedlegg 5)

Konsekvensene av å se bort fra publikumsnedkast er at endelig volum i container vil bli noe lavere enn det som er reelt. Volum avfall ved hver tømming er usikker, tabell 7 gir derfor et bilde av prosentvis påvirkning på total mengde.

6.7.2 Nedkast

I oppgaven har vi valgt å se bort ifra at det er flere nedkast på hvert nedkastpunkt med tanker installert. Grunnen til dette er at nedkastene er koblet til tanken under og dermed vil være knyttet til kapasiteten til tanken. Fra diskusjon i avsnitt 6.4.3 kommer det frem at det ikke vil oppstå kø ved noen av punktene grunnet lav ankomstrate ved dagens situasjon. Det vil derfor ikke påvirke resultatene fra modellen.

6.7.3 Papp/papir/plast

Bossnettet i Bergen sentrum tømmer også papp/papir/plast avfall. Dette gjør at rørsystemet som restavfallet tømmes gjennom, vil bli påvirket ved at papp/papir/ plast tar kapasitet når deres respektive nedkast tømmes.

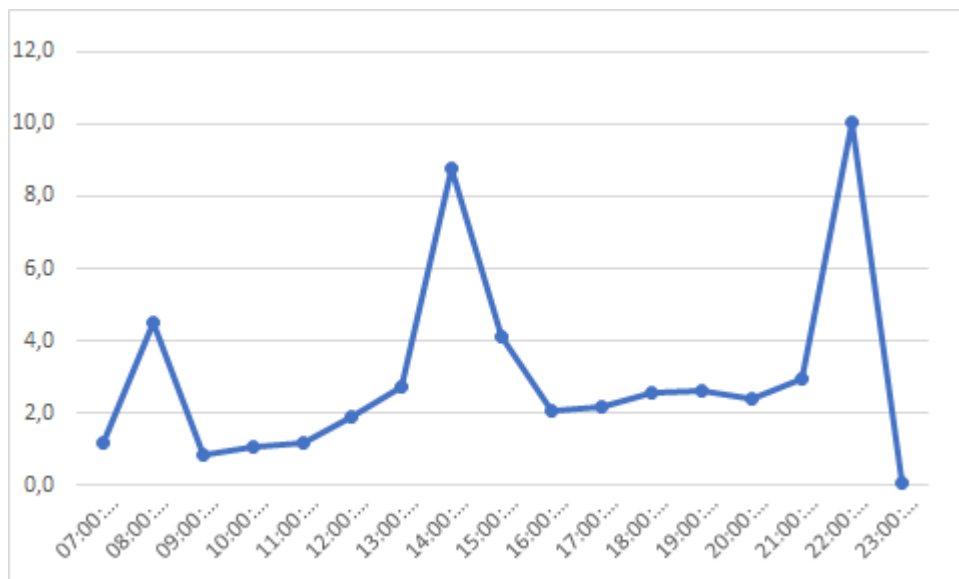
Vi har valgt å avgrense oppgaven til å bare analysere tømning av restavfall for bossnettet grunnet begrensning i programvaren, men også som følge av sensorene ved nedkastpunktene. Sensorene i pappnedkastene er konstruert slik at luken er åpen i ett minutt når kunden registrerer seg. For papir/plast-nedkast kan kunden kaste så mye de vil per lukeåpning. Dette gjør det vanskelig å analysere og ta standpunkter for hvor mye hver kunde kaster.

Det forekommer i gjennomsnitt 309 tømminger per uke for papp/plast/papir-nedkastene i løpet av en uke. Tabell 8 viser hvor stor andel av prosentvis kapasitet papir/plast/papp tømminger vil ta av kapasiteten til rørsystemet ved forskjellige standardverdier for tømmetid.

Antall minutter per tømming	Totalt antall minutter tømming	Kapasitetsutnyttelse
0,5	154,5	1,6 %
1	309	3,2 %
2	618	6,4 %
3	927	9,7 %
4	1236	12,9 %
5	1545	16,1 %
6	1854	19,3 %
7	2163	22,5 %
8	2472	25,8 %

Tabell 8: Papp/papir/plast (Se vedlegg 6)

Vi har satt fem minutter som standardverdi ved alle tømminger i bossnettet ut ifra Fernandez et al. (2014) sin antakelse. Kapasitetsutnyttelsen for tømming av rørsystemet er ut ifra datasettet på omtrent 41,7% samlet for de to avfallskategoriene. Avgrensingen påvirker modellen hvis tømming foregår på samme tidspunkt og fører til en forskyvning av tømminger grunnet kø. Tabell 8 viser hvordan ulik tid per tømming påvirker kapasitetsutnyttelsen til rørsystemet av papir/plast/papp-tømminger.



Figur 25: Tømming av papir/plast/papp gjennomsnitt hver dag

Figur 25 viser når i løpet av dagen det er mest press på tømming av lagringsenheter. Forskyvningene vil utjevnes over ledig tømmekapasitetstid, se diskusjon i avsnitt 6.5.2, og dermed ha ingen påvirkning på antall tømminger.

6.7.4 Sekundære nedkastpunkt

De sekundære nedkastpunktene vil ikke være en del av modellen, av to hovedgrunner. For det første inneholder ikke datasettet informasjon om hvilke sekundære nedkast som kundene har blitt tildelt. For det andre blir aldri nedkastpunktene så fulle at kunden må benytte sitt sekundære nedkastpunkt på grunn av at tiden det tar å tømme er så lav i datasettet.

I modellen vil det være tilfeller hvor sekundærnedkast kunne vært benyttet. Kundene som står i kø om natten når nedkastpunkt har blitt fulle, ville vært mulig å flytte over til andre nedkast i denne tidsperioden. Vi ser likevel bort fra sekundærnedkast for å unngå en situasjon der andre nedkastpunkter blir fylt opp av ankomstraten fra andre punkt om natten. Effekten av ankomst fra andre kunder er økt volum og antall tømminger ved sekundærnedkastene. Outputdataene for tømning ville da blitt påvirket av ankomsten fra andre nedkastpunkt og validiteten ville blitt svekket.

6.8 Vurdering av validitet for modellen

Validering av en modell kan gjøres ved å bruke tester, subjektive og objektive vurdering. Objektive vurderinger vil være matematiske estimater og/eller statistiske tester basert på datasett. Resultatene kan da sammenlignes med outputdata fra modellen (Banks, Carson & Nelson, 1996, s. 406). Subjektive vurderinger blir derimot gjort på bakgrunn av hva mennesker som har jobbet med prosessen og systemet har av erfaring og kunnskap for å gjøre vurderinger.

6.8.1 Ankomsttid til kundene

Ankomsten vil avhenge tid på døgnet og hvilken dag det er. Det at kunden kommer jevnt med samme mellomrom i åtte timersintervall er en svakhet ved får en ankomstfunksjon som beveger seg stegvis. Kortere intervall, som for eksempel fire timer, ville gitt en jevnere kurve og klare toppunkt i ankomstraten for hver dag. Ideelt sett skulle ankomstfunksjonen gjenspeilet fluktusjon i ankomstraten for å se effekten på tømning.

Et annet moment for å gjøre ankomsten mer realistisk sett i forhold til datasettet ville være å lage egne funksjoner for bedriftskunder. På denne måten er det mulig å kontrollere tidsrommet bedriftskundene ankommer nedkast. Bedriftskunder kaster større volum og har derfor større effekt på generert volum. Totalt generert volum ville uansett vært det samme i gjennomsnitt grunnet likt antall ankomster.

6.8.2 Fyllingsgrad til nedkastpunkt

Estimatene for gjennomsnittlig volum per lukeåpning for kundegruppene er en svakhet i modellen. Det vil blant annet være urealistisk å anta at alle bedriftskundene kaster 100 liter per lukeåpning uavhengig av bransje. For husholdningskundene vil det samme problemet oppstå ettersom hver lukeåpning rommer 35 liter, men gjennomsnittlig verdi er på 20 liter per kast.

Sensorene som måler fyllingsgraden i nedkastpunktene skaper også problemer ettersom disse ikke gir informasjon om volum eller vekt. I realiteten kan poser med avfall som kastes i et nedkastpunkt bygge seg opp i midten slik at systemet regner det som fullt når det er plass til flere poser på sidene av tanken. Dette kan føre til at BIR risikerer å tømme nedkast som ikke er helt fulle. I modellen tømmes nedkastene når de når den satte terskelverdien på det gitte punktet, og denne faktoren vil da ikke spille inn.

6.8.3 Kapasitetsutnyttelsen ved nedkastene

For å unngå at modellen skal bryte sammen har kapasiteten per punkt blitt satt lavere ved hjelp av IF-setninger. Dette skyldes at modellen vil stoppe opp dersom ledig kapasitet ved nedkastet er lavere enn volumet kunde kommer for å kaste. Et eksempel er nedkast med kapasitet på 350 liter med bedriftskunder tilknyttet. Nedkastene må da tømmes når volumet overstiger 251 liter slik at det er plass til en bedriftskunde med en 100 liters lukeåpning. Et annet nedkast med samme kapasitet, som kun har husholdningskunder vil ha en terskelverdi på 331 liter før det tømmes. Problemet oppstår når det for eksempel kommer to bedriftskunder og tre husholdningskunder til et nedkast, der modellen ender opp med å tømme nedkastet med et innhold på 260 liter ($100 \times 2 + 20 \times 3$). Den samme

problemstillingen oppstår på nedkastpunkt med tank installert, der man må ha bufferkapasitet for å holde modellen gående. If-setningen gjør at nedkastpunktene med ventilsjakter maksimalt kan oppnå et volum på 340 liter og ventilsjakter med bedriftskunder kan risikere å tømmes med et innhold på 260 liter.

BIR møter også problemet, men hvor denne terskelverdien er satt er vanskelig å si fra punkt til punkt. Resultatet av if-setningene er at modellen risikerer å ende opp med for mange tømminger sett i forhold til det virkelige systemet, noe som skaper usikkerhet knyttet til antall tømminger.

6.8.4 Kapasitetsutnyttelse ved bossnettet

I modellen er tidsintervallet for tømming forenklet til samme tømmetid uavhengig ventilsjakt eller skrutank. Det er derfor urealistisk å anta at alle nedkastpunkt har samme tømmetid uavhengig av lagringsenhet og avstand til sentralen. Standardverdien fungerer som en gjennomsnittsverdi ettersom tiden det tar vil være forskjellig fra tømming til tømming. Ved å velge en standardverdi blir ikke tidsforskjellene hensyntatt og vi får ikke et klart bilde av hvordan de ulike lagringsenhetene og deres lokasjon påvirker kapasitetsutnyttelsen til systemet.

Tiden det tar å tømme nedkastpunktene har betydning for kapasitetsutnyttelsen. I tabell 9 kan man se hvordan endring i tid påvirker modellen. Endring i tid har største påvirkning på tømme mønsteret ved at det blir kortere eller lengre differanse mellom hver tømming og endring i kapasitetsutnyttelsen av rørsystemet. Ankomsten er helt likt uavhengig tømmetid, som gjør det ikke er noen endring i antall tømminger eller volum.

Antall minutter per tømming	Modell 1	
	Totalt antall minutter per tømming	Kapasitetsutnyttelse
0,5	176	2,6 %
1	352	5,3 %
2	704	10,6 %
3	1056	15,9 %
4	1408	21,1 %
5	1760	26,4 %
6	2112	31,7 %
7	2464	37,0 %

Tabell 9: Endring av tid det tar å tømme

Konsekvens av endret tømme tid er at tidsintervallet for tømming vil bli noe forskjøvet i forhold til det reelle datasettet. I tabell 9 kommer det frem at tømme tid har ingen påvirkning på antall tømminger. Endring i tømme tid har riktignok påvirkning på kapasitetsutnyttelsen av bossnettet, men kapasitetsutnyttelsen er i utgangspunktet lav.

6.8.5 Containere fylles

Estimatet på faktisk kapasitet på containeren vil avvike fra virkeligheten av flere grunner. Vi har fått opplyst fra BIR at containerne har en kapasitet på 30 m³ og en komprimator presser avfallet sammen. Hvor mye avfallet lar seg komprimere er vanskelig å si, og vil avhenge av avfallskategori. Resultatet av dette er at vi ikke vet hvor mye avfall som er plass til før containeren blir full. Kapasiteten for containeren er gitt som effektivt komprimert volum, noe standardverdi for kastvolum ikke er. Tallene for kapasitet i liter er volatile og basert på gjennomsnittsverdier for volum kastet av kunder. Dette svekker validiteten til modellen ettersom det er knyttet usikkerhet til gjennomsnittlig kastverdi fra kunder og antall lukeåpninger per container i datasettet.

På grunn av oppdelingen av modellen er tidspunkt for tømming av container beregnet manuelt i Excel. For å finne ut når containeren er full er resultatet fra modellen for tømminger sortert på tid og samlet volum. Når volumet kommer opp mot maksimal kapasitet tømmes containeren. Effekten av dette er at terskelverdien for når container er full vil endres fra simulering til simulering. Validiteten til modellen svekkes ettersom det er knyttet stor

usikkerhet til kapasiteten. Estimatet for kapasiteten er det beste vi har, og vil vise effekten tømminger har på fyllingsgrad og fyllingstid for container på en tilfredsstillende måte.

6.8.6 Annet

Publikumsnedkastene er i de fleste tilfeller registrert som “litterbins” i datasettet, mens noen er registrert på adresse. Vi har hatt en misforståelse ved et publikumsnedkast, der Magnus Barfots kino har blitt registrert som et nedkastpunkt i modellen. Svakheten er at generert volum blir i gjennomsnitt 40 liter mer i løpet av simuleringen. Misforståelsen blir også med videre i modell 2 og modell 3. Ankomstraten er to kunder i uken, som gjør at det ikke vil påvirke tømminger i noen av modellene. Grunnen til at dette ikke har blitt utbedret er fordi ble oppdaget sent i analysen og ville vært en tidkrevende prosess uten å gi noe stort utslag for endelig resultat.

6.8.7 Oppsummering for validering av modellen

Refleksjoner rundt valideringsprosessen og verifisering av variabler i modellen mot det virkelige systemet gir oss bevis på at modellen gir et reelt bilde. Det vil likevel være viktig å presisere at hele modellen er et forenklet bilde av det reelle systemet. Resultatene i undersøkelsen må derfor tolkes forsiktig og stilles kritisk spørsmål til.

Modellen blir kjørt for en uke (9600 minutter) for å få et bilde av operasjonen over lengre tid og se hvordan systemet eventuelt blir belastet over et tidsrom. Viktigheten av å kjøre systemet over en lengre tidsperiode kommer også frem for å få en bedre forståelse og resultater med tanke på kapasitetsutnyttelse i bossettet. For å styrke validiteten er simuleringen kjørt ti ganger for å få et bilde av flere uker over tid.

7. Analyse

Analysen er delt opp i fire separate deler, hvor det først fokuseres på base case sett i forhold til hvordan systemet opererer i dag. Videre forandres tømmemønsteret i modell 2 for å gi en forståelse av endring fra å tømme ventiler enkeltvis til hele nedkastpunkt. For modell 3 endres oppsettet til å tømme forgreninger enkeltvis og analyserer resultatene fra outputdataene. I den siste delen vil det gjennomføres noen eksperimenter ved å endre ulike variabler i modell 3 for å se påvirkning på output. Prosessen kommer til å bli analysert fra lukeåpning til bytte av container og ha fokus på operasjonelle måltall fra systemet. I analysen vil den gjennomsnittlige ventetiden bli gitt ved å bruke gjennomløpstiden T . Ventetiden (T_{i1}) tilsvarende (I_{i1}) for avfall som står i kø til nedkastene og (T_{i2}) tilsvarende lager (I_{i2}) i situasjonen for avfall som står i kø i lagerenhet. Vi vil derfor ikke benytte det operasjonelle måltallet for lager. Gjennomløpstid og gjennomstrømningsrate vil kunne definere bossnettet godt fordi fokuset i oppgaven er på flytenheten (avfall) og ikke kundene som ankommer systemet for å kaste.

7.1 Base case (Modell 1)

Base case sitt formål er å gjenskape output fra datasettet på best mulig måte slik at vi kan bruke inputdataene fra base case til å sette inn i modell 2 og 3. Modellen vil aldri klare å gjenskape resultatet fra datasettet eksakt, men målet er å få tilnærmede resultat slik at det er mulig å se de store linjene fra datasettet og undersøke ulike problemstillinger.

Modell 1 vil ha ventilsjakter og tanker som tømmes enkeltvis. Ventilsjaktene har en kapasitet på 350 liter, mens tankene har en effektiv størrelse på 2940-5880 liter avhengig av hvilket nedkastpunkt. Kundene er i modellen gitt en standardverdi på 20 for husholdningskunder og 100 for bedriftskunder, som gjør at ventilene kan fylles opp til bare 340 i modellen. Effekten er at nedkastpunktene med ventiler kan ha maksimalt en fyllingsgrad på 97,1% i modell 1.

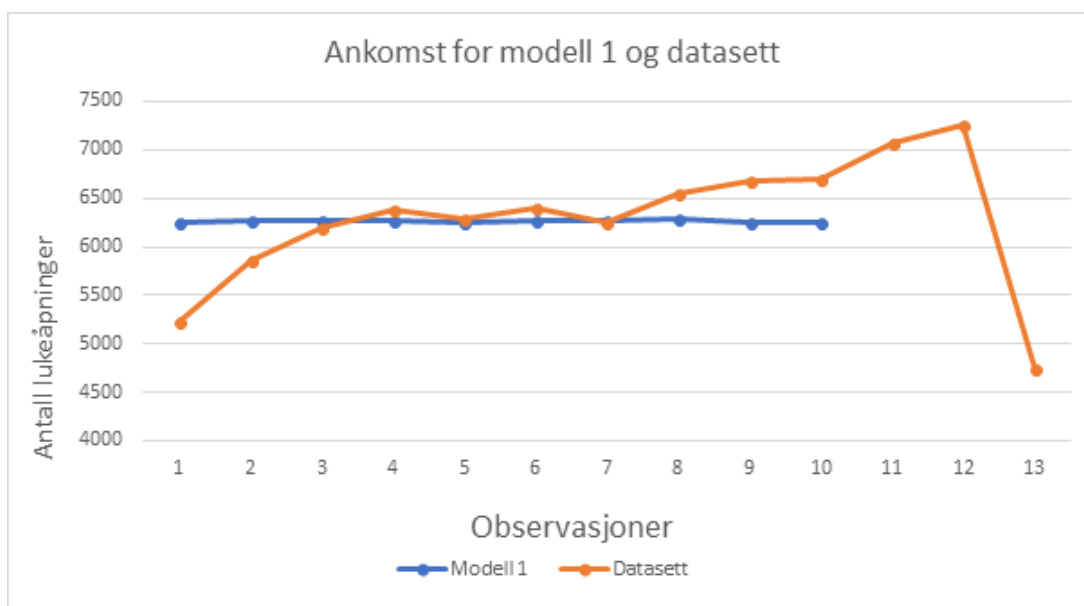
Simuleringene vil vare i 9600 minutter, mandag til søndag og er kjørt ti ganger.

Nøkkeltallene som henvises til i denne delen av oppgaven vil være basert på gjennomsnittsverdier og utvalgte verdier fra simuleringene. I realiteten vil det alltid være søppel i bossnettet, men i vårt tilfelle starter simuleringen med tomme nedkast. Effekten av

dette vil være at de første tømmingene vil komme ved et senere tidspunkt enn realiteten og antallet tømminger kan reduseres noe.

7.1.1 Nøkkeltall for ankomst til systemet

Figur 26 viser forskjellen mellom datasettet og modell 1 når det gjelder antall lukeåpninger totalt for alle simuleringer og observasjoner. Vi kan se at Modell 1 er stabil over simuleringene, og dette kommer tydelig frem ved at den har et standardavvik på 10,05 (Se vedlegg 7 og 8) Datasettet har et standardavvik på 686,5, noe som er markant høyere enn modellen. Dette kommer av observasjon en og tretten for datasettet, som er ekstremverdier og skiller seg fra de resterende observasjonene. Observasjon tretten i datasettet er perioden 25 desember til 31 desember, altså en ferieperiode. Butikker er stengt og vil derfor få en reduksjon i antallet bedriftskunder, noe datasettet viser med en minsteverdi på 411 lukeåpninger i observasjonsperioden på tretten uker. Den lave ankomsten i den første observasjonen skyldes mest sannsynligvis at det har åpnet nye nedkastpunkt i slutten av perioden og det kommer nye kunder til systemet som trenger å stabilisere seg. Maksverdien for ankomststraten kommer i perioden rett før jul, noe som vil være naturlig. Høy aktivitet i julehandelen vil påvirke raten bedriftskundene genererer avfall.



Figur 26: Ankomst for modell 1 og datasett

Sammenligner vi antall lukeåpninger over ukesperioden har 6266 modellen og datasettet 6275. Ser vi på tallene for hver enkelt kundegruppe ser vi samme mønster som for totalen, med stor forskjell i standardavvik og et lavt avvik for gjennomsnittet. Bedriftskunder står i modellen for 669 av lukeåpningene og de resterende 5597 står husholdningene for. Standardavviket for bedriftskundene ligger på 18,1, mens det for husholdningskundene er 22,2. I datasettet får vi et gjennomsnitt på 679 bedriftskunder med et standardavvik på 140,3 og et gjennomsnitt og standardavvik på henholdsvis 5595 og 557,1 for husholdningskunder. Tallene viser at modellen klarer å gjenskape det gjennomsnittlige antallet av hver kundegruppe på en god måte, men klarer ikke gjenskape volatiliteten i ankomsten.

Bedriftskunder kaster gjennomsnittlig 7,5 ganger i uka, mens husholdningskunde kaster gjennomsnittlig 1,9 ganger i uken. Omregnet til volum vil det si at den gjennomsnittlige bedriftskunde kaster 750 liter i løpet av uka, basert på standardverdien 100. Tilsvarende kaster den gjennomsnittlige husholdningskunde 38 liter.

7.1.1.1 Gjennomstrømningsrate R for ankomst

Gjennomstrømningsraten R for ankomst til nedkastpunktene vil være tilnærmet lik som forklart i 6.4.3 avsnitt tre. Dette skyldes at ankomstraten til modellen vil være lik som gjennomsnittet for datasettet. Prosentandel for hvilke nedkast kunden går til vil ha minimal påvirkning for resultatene, siden kapasitetsutnyttelsen er lav for alle nedkastene. Kapasitetsutnyttelsen er gitt ved den totale antall lukeåpninger delt på den teoretiske kapasiteten. For at vi skal få en endring i kapasitetsutnyttelsen for nedkastene må antall lukeåpninger øke drastisk. En slik situasjon oppstår ikke i noen av simuleringene og det vil derfor være en marginal forskjell mellom modell 1 og datasettet. Modellen vil gi noen avvik over de ti simuleringene, men ettersom den totale ankomsten over en uke er på 6266 lukeåpninger vil ikke avviket påvirke kapasitetsutnyttelsen. Det er derfor ikke interessant å oppgi informasjon om gjennomstrømningsraten R for ankomst, når endringen er marginal.

7.1.1.2 Gjennomstrømningstid T for ankomst

Prosesseringstid gitt ved (T_{p1}) er den gitte standardverdien tilsvarende prosesseringstid for ankomst gitt i avsnitt 6.4.3 for ankomst. Dette skyldes at kundene kommer med såpass stort mellomrom som gjør at det ikke kan oppstå kø ved noe punkt i modellen. (T_i) for ventetid vil

være null grunnet den lave ankomstraten til nedkast, som gjør at den ikke er med i beregning av gjennomstrømningsrate T for ankomst.

7.1.2 Avfallsvolum for base case

For å kunne estimere avfallsmengden som håndteres av bossnettet hver uke ifølge datasettet har vi valgt bruke antall lukeåpninger per kundegruppe multiplisert med gjennomsnittsverdiene til BIR. Tabell 10 og 11 viser den totale avfallsmengden som blir generert over en uke for datasettet og modellen.

MODELL 1	DEL 1	DEL 2	DEL 3	DEL 4	DEL 5	DEL 6
Gj.snitt	33616	14712	30062	32852	27122	40492
std.avvik	514.66	61.25	594.15	1052.54	961.78	596.97
Max	34320	14800	31580	34040	28940	41420
Min	32900	14620	29460	30900	26080	39440

Tabell 10: Statistikk totalt generert avfallsvolum fra modell 1

DATASETT	DEL 1	DEL2	DEL 3	DEL 4	DEL 5	DEL 6
Gj.snitt	33471	14751	30003	33418	27329	40857
std.avvik	5232.34	1548.45	5625.56	5310.67	3276.03	4878.86
Max	39960	16040	37160	42640	31220	47880
Min	21900	10180	19580	21800	20000	30200

Tabell 11: Statistikk totalt generert avfallsvolum fra datasett

Tabellene viser det samme mønster som for antall lukeåpninger med store standardavvik for datasettet. Dette henger sammen med at det totalt genererte volumet avhenger av ankomstraten til de to kundegruppene. Tabell 10 for modell 1 viser også at det er stor forskjell i standardavviket mellom de ulike delene av simuleringen. Disse resultatene kommer av at det antallet bedriftskunder endrer seg over simuleringene. En bedriftskunde tilsvarer fem husholdningskunder (100 liter avfall), noe som betyr at bedriftskunder har en større påvirkning på systemet enn husholdningskunder ved endring i antall. Del 2 har det laveste standardavviket av de ulike delene, og dette skyldes at denne delen av simuleringen ikke har bedriftskunder. Effekten av endringer i bedriftskunder viser også igjen i datasettet, der de delene med flest bedriftskunder er de mest volatile.

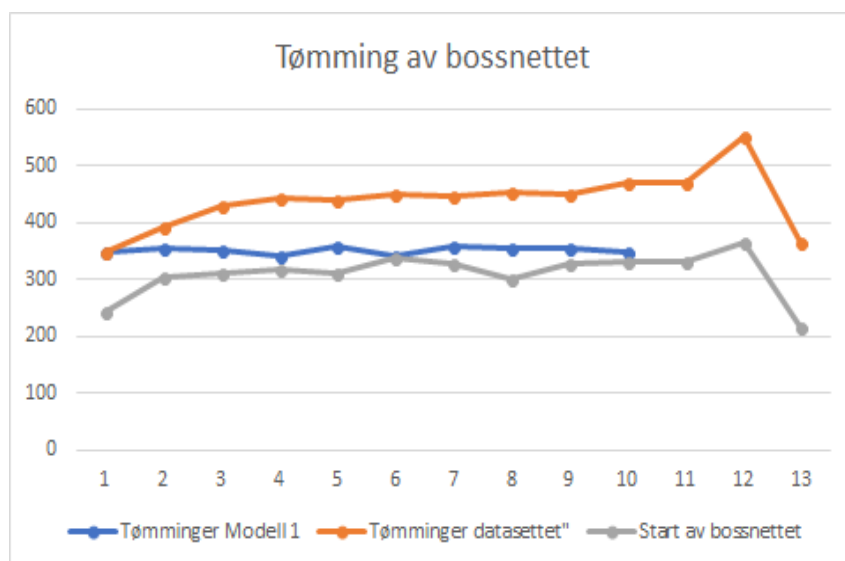
Sammenligner vi gjennomsnittlig volum for hver del for modellen og datasettet er forskjellen mellom de to er liten. Minimumsverdiene for datasettet er lavere enn for modellen, som skyldes uke 52, der ankomsten er markant lavere enn de andre ukene i året. For datasettet ser

vi en økning i bedriftskunder frem til uke 51, mens det for modell 1 er relativt stabilt gjennom perioden. Dette gjør at vi får en stor forskjell om vi sammenligner maksimalverdiene. Gjennomsnittet for totalt volum generert gir 178836 liter for modellen mot 179829 for datasettet. Avviket blir da 993 liter, noe som tilsvarer et avvik på 0,06% mellom de to. Dette avviket er innenfor tilfredsstillende margin og gjenspeiler systemet på en god måte, men vi får likevel ikke med volatiliteten i ankomstraten i modellen.

7.1.3 Nøkkeltall for tømminger base case

Datasettet viser at BIR noen ganger tømmer flere nedkast ved en tømming når de er lokalisert på samme forgrening, noe som betyr at antallet ganger de starter vakuuemet ikke tilsvarer antall nedkast tømt. Vi har valgt å tømme enkelt nedkast når de er fulle på grunn av vi ikke kjenner terskelverdien som avgjør når de tømmer flere nedkast på en gang.

I modell 1 vil antallet tømminger tilsvare antall ganger vakuuemet blir startet, men det er ikke tilfellet i datasettet. Figur 27 viser en sammenligning av antall start av vakuuemet for modellen med antall tømte nedkast og start av vakuuemet fra datasettet (se vedlegg 9 for tabell). Vi kan også se fra figuren at perioden rundt jul påvirker bruken av bossnettet markant i perioden 18-31 desember (observasjon 12 og 13). Modell 1 ligger mellom observasjonene fra datasettet, noe som vil være rimelig med tanke på oppbygging av modellen.

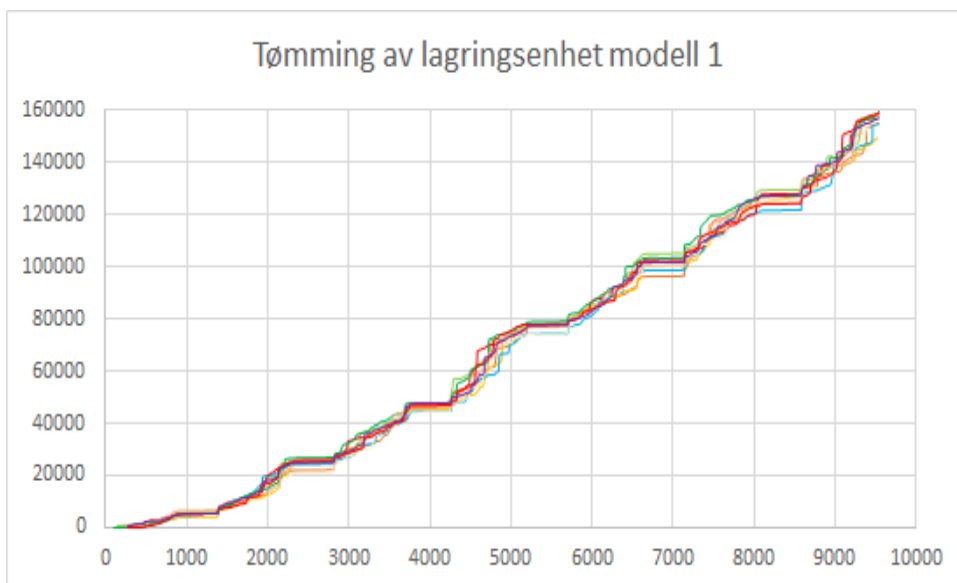


Figur 27: Antall tømminger/start av bossnettet for modell 1 og datasett

Tallene fra modellen gir oss et gjennomsnittlig antall tømminger på 352 i uken med et standardavvik på 6,18. Datasettet gir et gjennomsnitt på 439 tømminger med et standardavvik på 51,1 og antall start av vakuumpunkt for bossnettet er 310 tømminger med standardavvik på 39,6. Av de 439 tømmingene i datasettet er i gjennomsnitt 129 tømminger med to eller flere nedkastpunkt på samme tid i løpet av en uke, med et standardavvik på 24,45. Informasjonen kan tyde på at antallet tømminger i modellen er noe lavt sett i forhold til de reelle forholdene. Et moment er at ved starten av simuleringen er alle nedkastpunkt i bossnettet tomme, noe som betyr at det vil ta lengre tid å fylle opp nedkastpunktene. I datasettet vil noen av nedkastene ha avfall i seg ved starten av uken, som gjør at det trengs et mindre volum før de blir fulle.

For at modellen skulle være nærmere datasettet burde antall tømminger vært høyere, ettersom det vil være urealistisk å anta at BIR i dag tømmer nedkast som nesten ikke har innhold flere ganger i uken. Hva avviket kommer av er vanskelig å si på grunn av at det er mange faktorer som spiller inn. En faktor kan være at noen av nedkastene ikke er fulle eller at avfallet har stablet seg i høyden sånn at sensoren registrer det som fullt. De mest sannsynlige grunnene til dette er at kapasiteten på punktene er satt for høyt i forhold realiteten, eller at den gjennomsnittlige kastmengden til kundegruppen har et stort standardavvik. Modellen klarer likevel å gjenskape det gjennomsnittlige mønsteret fra datasettet på en tilfredsstillende måte slik at input dataene kan brukes til å bygge modell 2 og 3.

For modell 1 har vi skissert ut de kumulative tømmingene til lagringsenhet for hver av de ti simuleringene. Ut ifra figur 28 ser vi at tømme-mønsteret er helt flatt om kvelden fra 900-1380 minutter når bossnettet er stengt for tømning. Tilsvarende blir det en kraftig økning når bossnettet åpner, grunnet noen nedkastpunkt har blitt fulle i løpet av natten. Mønsteret gjentar seg gjennom hele uken. Figuren viser at svingningene i generert volum gjennom døgnet blir økende utover uken.

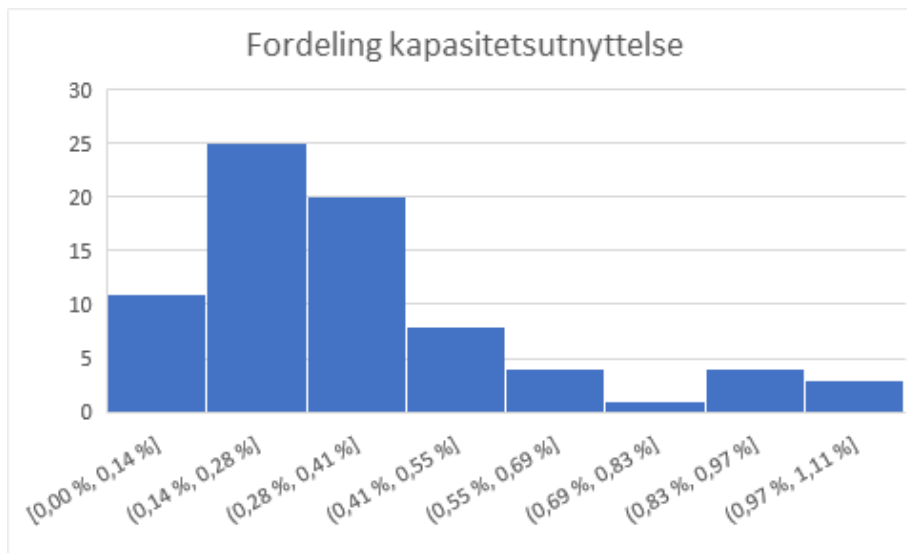


Figur 28: Kumulativ tømming lagringsenhet modell 1

7.1.3.1 Gjennomstrømningsrate R for tømminger

Gjennomstrømningsraten for tømminger vil være basert på simuleringsperioden 9600 minutter, men grunnet at systemet er stengt for tømming i løpet av natten vil den reelle simulerings tiden for tømming være 6660 minutter. Målet med gjennomstrømningsraten for tømming er antall avfall som går gjennom systemet gitt ved antall tømminger, som flyter gjennom tømmedelen av prosessen.

Modell 1 viser at restavfallet i gjennomsnitt benytter 26,4 % av kapasiteten til bossnettet. Ifølge Fernandez et al. (2014) er det ikke vanlig at vakuumsystemet har en kapasitetsutnyttelse på over 50%. Bossnettet vil ut ifra estimat for kapasitetsutnyttelse for papir/plast/papp fra avsnitt 6.7.3 og modell 1 ha en total kapasitetsutnyttelse på 41,7%. Den gjennomsnittlige kapasitetsutnyttelsen ved hver ventilsjakt eller tank er 0,34%. Den laveste kapasitetsutnyttelsen er 0,07%, men den høyeste er 1,1%. Medianen er 0,29%, som gir et bilde av at fordelingen av kapasitetsutnyttelse blant nedkastene er samlet og har lav skjevfordeling, grunnet lav forskjell mellom median og gjennomsnitt. Figur 29 viser fordelinger av kapasitetsutnyttelse i intervall og antall punkt som ligger innenfor hvert intervall. Majoriteten av lagringsenhetene har en relativt lav kapasitetsutnyttelse og er skjevfordelt mot venstre.



Figur 29: Fordeling kapasitetsutnyttelse

Ventil	Tømmingsrate Ri	Prosesserings- tid Tp	Kapasitet Rp	Kapasitets- utnyttelse u
Engen 6	14	5	1356	1,03 %
Neumannsgate 5 Nedkast 3	15	5	1356	1,11 %
Strangehagen 20 Nedkast 1	8	5	1356	0,59 %
Strangehagen 20 Nedkast 2	2	5	1356	0,15 %

Tabell 12: Kapasitetsutnyttelse tømming av nedkast modell 1 nedkast

Tabell 12 viser fire utvalgte nedkast og deres kapasitet (se vedlegg 10 for hel tabell). Engen 6 og Neumanns gate 5 nedkast 3 er de to nedkastene med høyest kapasitetsutnyttelse. Strangehagen 20 nedkast 1 og 2 viser hvordan kapasitetsutnyttelsen påvirkes av at kundene kaster ved ulike nedkast på nedkastpunktet.

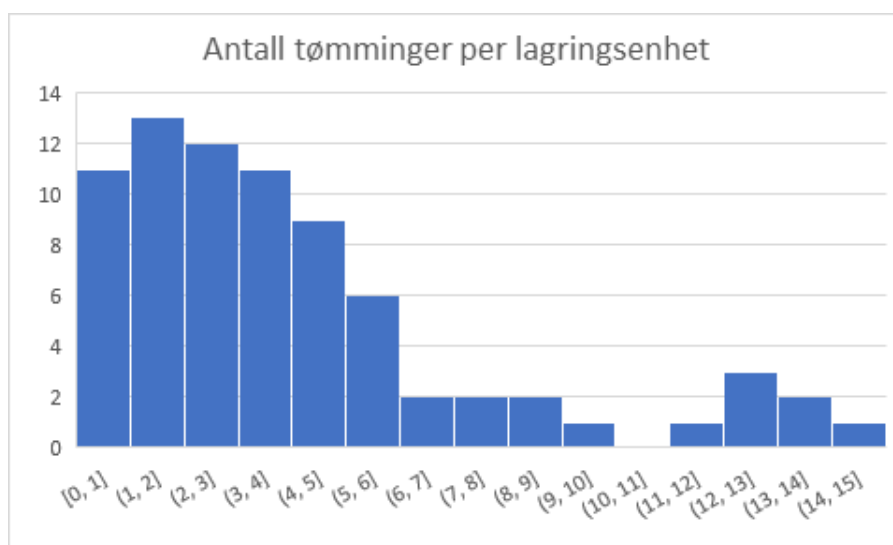
7.1.3.2 Gjennomløpstid T for tømminger

Gjennomløpstiden for tømminger vil være prosesseringstid ($T_{p2}+T_{p3}$) som er den gitte standardverdien fem minutter for prosesseringstid for tømming referert til avsnitt 6.5 for å

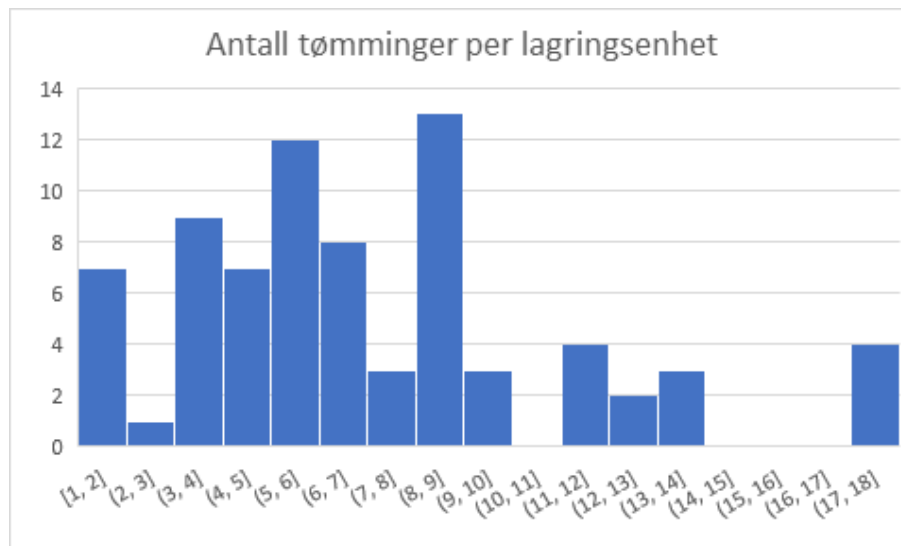
forenkle tid for tømning. Prosesseringstiden er fra nedkastpunktet tømmer ventilen eller tanken, avfallet suges ned i rørsystemet, fraktes til sentral i Jekteviken og går gjennom prosessen inne på sentralen før det ender opp i restavfallscontainer. Prosesseringstiden innebærer også tid for å skifte mellom tilgang til restavfallscontainer og papir, plast og papp container og mellom de ulike forgreningene. Den totale gjennomløpstiden er 1760 minutter med estimert tømme tid på fem minutter for hver av de 352 tømningene.

7.1.3.3 Antall tømninger i løpet av simuleringsperioden

Det er 44 nedkastpunkter med 76 tilhørende lagringsenheter i modellen. 36 av lagringsenhetene tømmes sjeldnere enn hver andre dag og utgjør 47%. X-aksen i figur 30 viser hvor mange ganger hver enkelt lagringsenhet tømmes over simuleringsperioden i modellen. Vi har brukt gjennomsnittverdier som gjør at verdiene er mellom to heltall. Y-aksen gir oss informasjon om hvor mange lagringsenheter som er innenfor hvert intervall.



Figur 30: Modell 1 Tømning av lagringsenhet



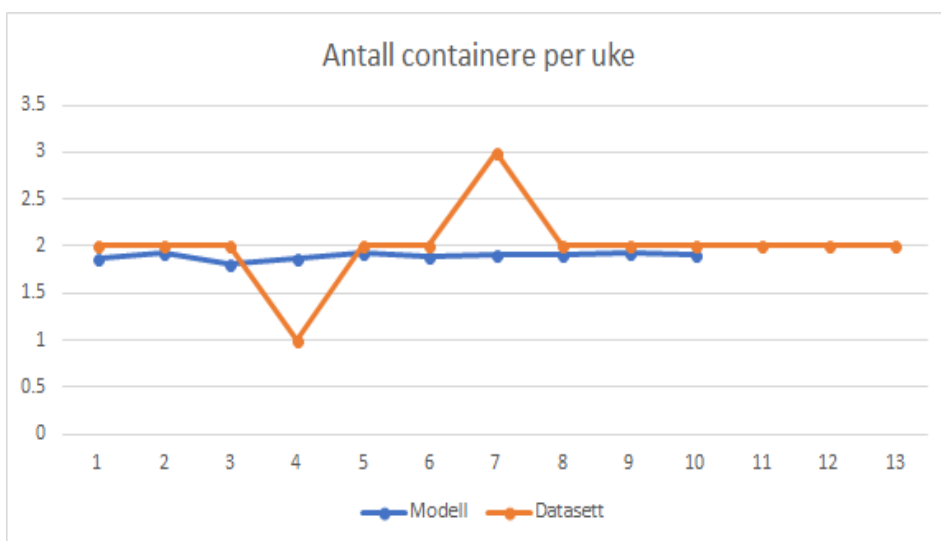
Figur 31: Tømming av lagringsenhet i datasett

Figur 30 og figur 31 viser at det er tilsvarende representasjon av tømminger for datasettet som for modellen. Datasettet viser at 17 av 76 lagringsenheter tømmer mer sjeldent enn hver andre dag, som er 22,4% av lagringsenhetene. Datasettet har en ekstremverdi ved Engen 6, som skyldes høy ankomstrate sett i forhold til kapasiteten (350 liter) og at det tømmes sammen andre punkt på samme forgrening. Sammenligning av toppunktene viser at datasettet har flest punkt som tømmes åtte ganger i uken mot to tømminger i uken for modellen. Modellen har en fordeling der 73,7% av nedkastene tømmes færre enn seks ganger i uken, en fordeling vi ikke ser i datasettet. Forskjellen i fordelingen kan komme av at BIR tømmer nedkast før bossnettet stenger som ikke er helt fulle for å unngå at de blir fulle om natten. En annen grunn som også kan spille inn er at BIR tømmer enkelte nedkast sammen hvis de er på samme forgrening, som gjør at enkelte nedkast vil få et høyere antall tømminger.

7.1.4 Nøkkeltall for container base case

Figur 32 viser at antall containere som blir fylt over uken for modellen er tilnærmet lik datasettet. Modellen fyller i gjennomsnitt 1,9 containere i uken, noe som tilsvarer et avvik på 0,1 fra gjennomsnittet for datasettet. Det er likevel vanskelig å tolke denne informasjonen før man går i dybden på observasjonene fra datasettet og informasjon fra modellen. Modellen tømmer i gjennomsnitt hver fjerde dag (4,09 i gjennomsnitt) over alle simuleringene, noe

som tilsvarer fredag. Alle simuleringene gir tømning på fredag, noe som vil være naturlig med et lavt standardavvik for ankomst og at hver simulering starter med en tom container. Datasettet viser at containeren tømmes hver 3,56 i gjennomsnitt med en fordeling over alle dager i uken på grunn av at containeren som ble byttet uken før vil ha med seg volum inn i den nye uken. Frekvensen for bytte av container øker i takt med antall lukeåpninger, noe som er naturlig når søppelmengden øker. I perioden fra uke 40 til uke 45 ser vi et mønster med tømning hver fjerde dag, før det endres til rundt hver tredje dag fra uke 45 og utover. Dette stemmer overens med økningen vi ser i antall lukeåpninger fra uke 45 og utover.



Figur 32: Antall containere per uke

Tabell 13 gir et innblikk i forholdet mellom containere fylt basert på tømt volum og totalt generert volum. Grunnen til at disse skiller seg fra hverandre er at det vil være avfall igjen i noen av nedkastpunktene ved simuleringsslutt som ikke blir tømt. Ved simulering start er container og alle nedkast tomme, noe som gjør at vi vil få færre tømminger per uke enn det som er realiteten i datasettet. Hadde modellen blitt kjørt over en periode på to uker ville vi hatt med en container som i gjennomsnitt hadde en fyllingsgrad på 90,1% inn i periode 2. Antallet tømminger ville også ha økt ettersom det ville være et gjennomsnittlig volum på 22204 inn i uke 2. Effekten av disse faktorene over tid er at den gjennomsnittlige tiden det tar å fylle en container vil reduseres fra 4,09 dager og kommer nærmere gjennomsnittet på 3,49 fra datasettet.

Modell 1	Sim 1	Sim 2	Sim 3	Sim 4	Sim 5	Sim 6	Sim 7	Sim 8	Sim 9	Sim 10
Antall containere av totalt volum	2.159	2.193	2.155	2.146	2.175	2.158	2.200	2.164	2.181	2.172
Antall containere av tømt volum	1.879	1.932	1.816	1.879	1.930	1.892	1.920	1.918	1.936	1.907
Volum igjen i systemet	23140	21480	27920	22000	20220	21860	23060	20320	20220	21820

Tabell 13: Generert og totalt volum containere

7.2 Nedkast (Modell 2)

Omtrent 60% av kostnadene tilknyttet operasjonell drift av bossnettet kommer av energiforbruk i forbindelse med tømning av nedkastpunktene ifølge Fernandez et al. (2015). En reduksjon i antall tømninger vil altså føre til redusert energiforbruk og øke volum per tømning. I stedet for å tømme hver lagringsenhet enkeltvis når de er fulle, vil det være mulig å redusere energiforbruk ved å heller fylle alle nedkastene ved nedkastpunktet før de tømmes. Vi har derfor endret modellen fra base case til å tømme når nedkastpunktet er fullt istedenfor for hver enkelt ventilsjakt for å se resultatene fra outputdataene forbedres.

7.2.1 Generelt om modell 2

I modell 2 har vi slått sammen kapasiteten for nedkastpunkt med flere ventilsjakter til en samlet kapasitet. Et punkt som hadde to nedkast med en kapasitet på 350 hver i modell 1, vil i modell 2 ha et nedkast med en kapasitet på 700. Effekten av dette blir at punktene med ventilsjakter i modell 1 kan nå en fyllingsgrad på 100% i modell 2. Nedkastpunktene i modell 2 kan da fylles med ti liter mer enn i modell 1, men effekten på outputdataene blir minimal når simuleringen kjøres over 9600 minutter. Løsningen er valgt for å gjøre modellen mer håndterbar. Dersom vi hadde valgt å beholde ventilsjaktene i modell 2 hadde konsekvensen vært at simuleringen måtte deles opp i flere deler enn i modell 1. Endringene fører til at modell 2 blir fordelt på fem delsimuleringer mot seks i base case.

7.2.2 Nøkkeltall for ankomst til systemet

Funksjonene for ankomstraten vil være lik som i modell 1, men det vil likevel være forskjeller i ankomsten på grunn av standardavviket og bedriftsprosenten.

Simuleringsverktøyet vil endre disse faktorene for hver simulering og derfor vil ikke generert volum og ankomst være lik for modellene.

7.2.2.1 Gjennomstrømningsrate R for ankomst

Gjennomstrømningsraten for ankomst vil være identisk med base case. Grunnen til dette er at prosesseringstid ved alle nedkast er den samme som i modell 1. Kapasitetsutnyttelsen vil endre seg mellom modell 1 og 2, men er i realiteten det samme. Endringen kommer av at ventilene er slått sammen.

7.2.2.2 Gjennomløpstid T for ankomst

Gjennomløpstid T vil være tilsvarende som i base case for ankomst. Tid for ankomst vil være avhengig av kunder som benytter nedkastet og andel bedriftskunder i forhold til husholdningskunder. Det vil ikke være noen endring i ankomst eller kapasitet og det vil derfor ikke oppstå kø ved nedkastene.

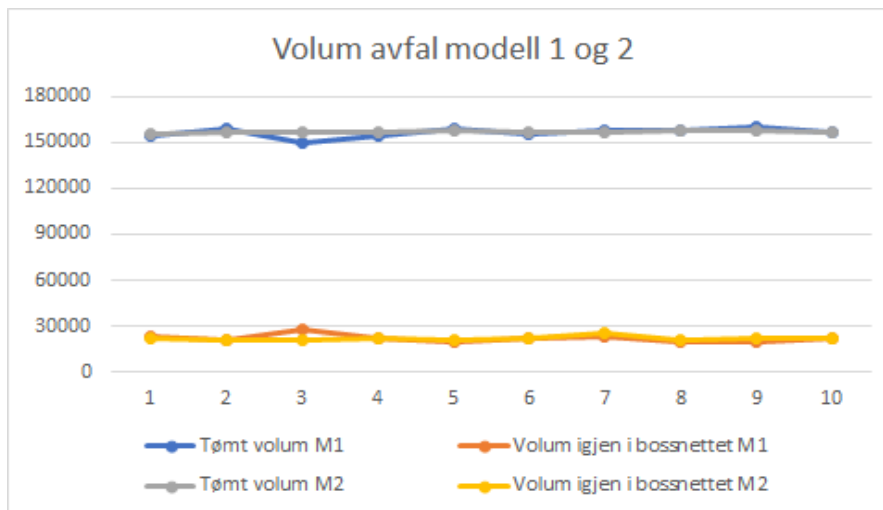
7.2.3 Avfallsvolum modell 2

Det er noen endringer fra modell 1 til modell 2 med hensyn til totalt volum generert.

Avfallsvolum er i gjennomsnitt over simuleringene tilnærmet likt med en forskjell på 34 liter (0,02%). Modell 1 har i gjennomsnitt 0.95% mer volum igjen i systemet enn modell 2. Dette kommer av ekstremalverdier i to punkter grunnet ankomstraten. Tar man ut disse ekstremalverdiene vil modell 1 ha lavere andel avfall igjen i systemet ved simuleringsslutt.

På grunn av et økt antall tømminger får modell 1 et høyere standardavvik enn modell 2.

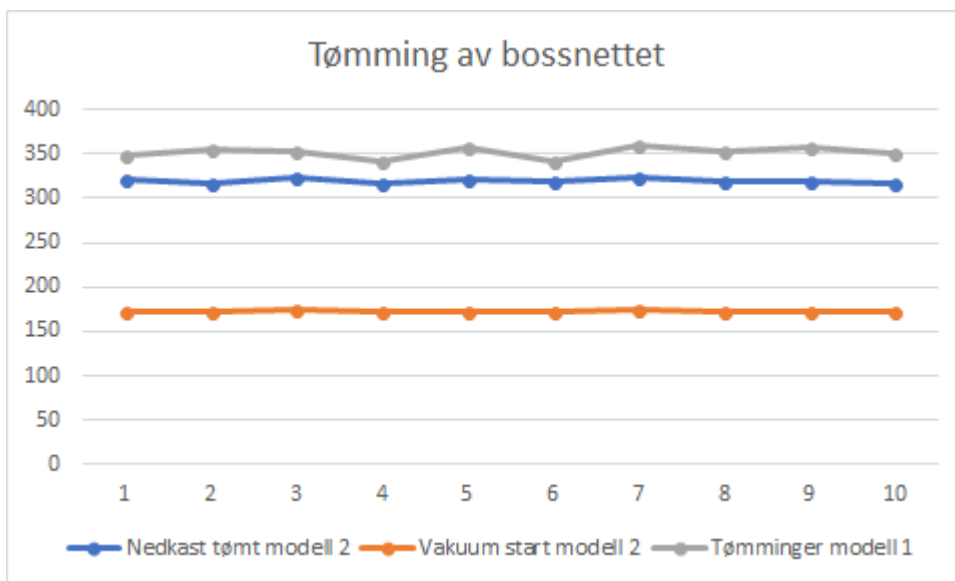
Avfallsgenereringen vil i løpet av simuleringen for modell 1 være i intervallet (149 640, 159 520) mens det er (155 800, 158 080) i modell 2. Differansen i generert volum kommer frem i figur 33.



Figur 33: Sammenligning volum avfall modell 1 og 2

7.2.4 Nøkkeltall for tømning modell 2

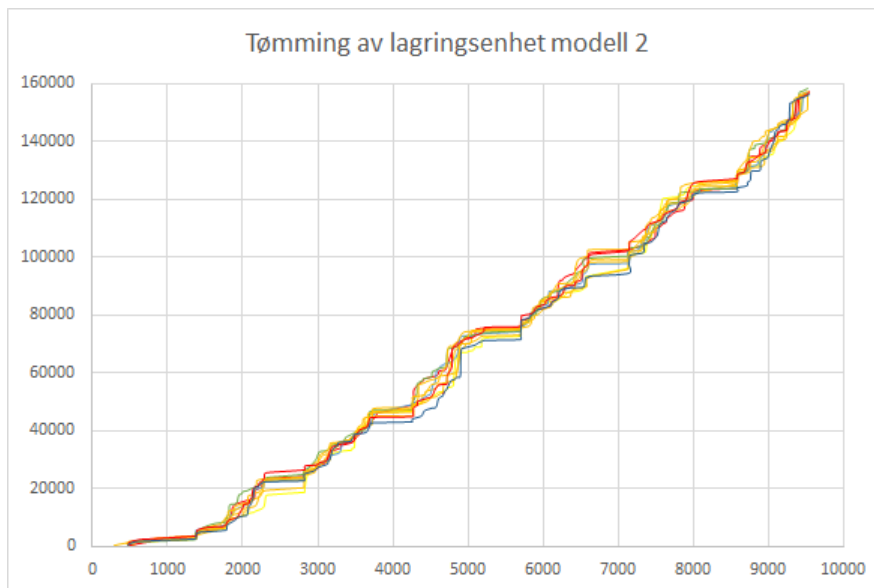
Ved å endre mønsteret for tømning i modell 2 vil ikke antallet nedkast tømt tilsvare antall ganger vakuemet blir startet. Figur 34 viser utviklingen for modell 1 og 2 over de ti simuleringene. Gjennomsnittlig antall tømte nedkast for modell 2 er 319 mot 352 for modell 1. Når simuleringene er slutt i modell 2 vil det være flere nedkastpunkter som har to eller tre ventilsjakter som inneholder et volum som tilsvarer at et eller to av ventilsjaktene er fulle. I modell 1 vil disse ventilsjaktene blitt tømt på grunn av at de er regnet som separate enheter. Den andre grunnen er at vi i modell 1 risikerer at ventilsjaktene med bedriftskunder tilknyttet tømmes med et innhold på 260 liter flere ganger i løpet av simuleringen. Resultatet er da at ventilsjaktene mangler 80 liter (340-260) fra maksimal kapasitet, noe som kan akkumulere til flere tømminger over en simulering. For modell 2 er kapasiteten lagt sammen slik at nedkastpunkt med tre ventilsjakter blir tømt ved et minste volum på 960. I modell 1 risikerer vi at nedkastpunkt med tre ventilsjakter tømmes med et volum på 260 liter per nedkast, noe som gjør at det totalt er 240 (80 x 4) liter fra maksimal kapasitet.



Figur 34: Antall tømminger av bossnettet for modell 1 og modell 2

Den grafiske fremstillingen i figur 34 viser at antall start av vakuum i modell 2 er i gjennomsnitt 173 ganger mot 352 i modell 1, som tilsvarer en reduksjon på 49,1%. Volum fraktet i bossnettet per start gjenspeiler dette med 907 liter for modell 2 og 444 liter for base case. Verdien for volum fraktet per tømming er sentral og sier oss noe om effektivitetsforbedringen av å endre tømmemønsteret. Differansen mellom modellene tilsier at modell 2 halverer antall tømminger sett i forhold til modell 1, noe også antall start av vakuum bekrefter.

De kumulative funksjonene i figur 35 opplever tilsvarende tømmemønster som figur 28 for modell 1. Svingningene er lavere i modell 2 enn modell 1 ved at de ulike simuleringene er mer like og det er få «outliers» som skiller seg fra de andre simuleringene.



Figur 35: Kumulativ tømming av lagringsenhet modell 2

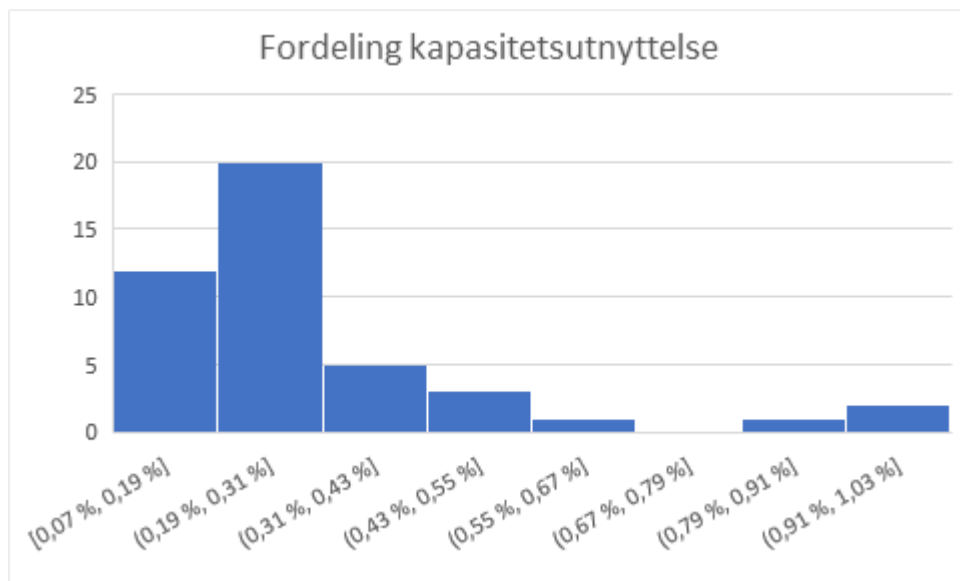
Innføringen av tømming av hele nedkastpunkt fører til at vi ser konturene av tømmemønsteret fra datasettet. BIR har i gjennomsnitt 129 tilfeller i uken der de tømmer et eller flere punkt for hver start av vakuum. Modell 2 har en høyere antall felles tømminger, som tyder på at mønsteret vil effektivisere driften sett i forhold til dagens situasjon. Vi skal være forsiktede med å dra konklusjonen helt sikkert ettersom det er flere faktorer som spiller inn.

7.2.4.1 Gjennomstrømningsrate R for restavfall tømminger

Gjennomsnittlig fyllingsgrad i nedkast for modell 2 er 43,96% av makskapasitet. Dette vil si den gjennomsnittlige andel avfall som oppholder seg i nedkastpunktet til enhver tid over simuleringsperioden. Tilsvarende for modell 1 er den gjennomsnittlige fyllingsgraden for nedkastpunkt 37,3%. Økningen kommer av at avfallet ligger lenger i nedkastet og tømmes ved større mengde.

Det er 173 tømminger i løpet av modell 2, som gjør at kapasitetsutnyttelsen av rørsystemet vil være på 12,98% ved at total tid er 6660 minutter siden bossnettet er stengt i perioden 23:00 til 07:00 om morgenen. Tiden brukt på tømminger vil være 865 minutter. Tilsvarende er det 352 tømminger i modell 1 og kapasitetsutnyttelse av rørsystemet er 22,4%. Den

gjennomsnittlige kapasitetsutnyttelsen for hvert nedkastpunkt er 0,29% i modell 2. Figur 36 viser fordelingen av kapasitetsutnyttelsen for de ulike punktene.



Figur 36: Fordeling kapasitetsutnyttelse Modell 2

Nedkastpunkt	Tømmingsrate Ri	Prosesseringstid Tp	Teoretisk kapasitet Rp	Kapasitetsutnyttelse u
Engen 6	14	5	1356	1,03 %
Neumannsgate 5	7	5	1356	0,52 %
Strangehagen 20	5	5	1356	0,37 %
Østre Murallmenningen 1	2	5	1356	0,15 %

Tabell 14: Kapasitetsutnyttelse tømning modell 2 for utvalgte nedkastpunkter

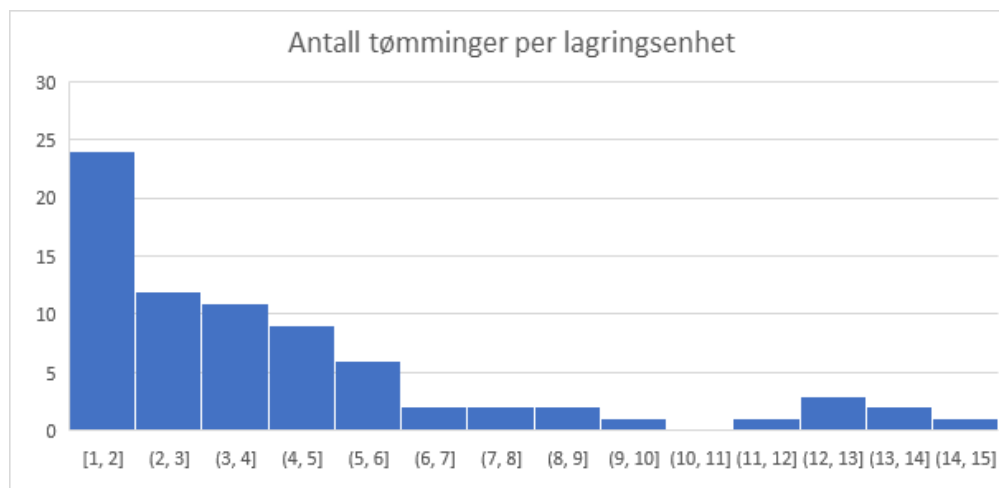
I tabell 14 er det tatt ut utvalgte nedkastpunkt for å vise kapasitetsutnyttelse (se vedlegg 11 for hele tabellen). Strangehagen 20 har en total kapasitetsutnyttelse på 0,37%. Den gjennomsnittlige kapasitetsutnyttelsen ved Strangehagen 20 for nedkastene samlet i modell 1 er 0,37%. Nedkastpunktene får ikke en høyere kapasitetsutnyttelse, men bosnettet blir mer kostnadseffektivt driftet ved at antall vakuumbstarter reduseres. Kapasitetsutnyttelsen gir ikke et helt reelt bilde grunnet Østre Murallmenningen 1 har en høyere kapasitet siden er tank, mens Strangehagen 20 har to 350 liters ventilsjakter som er slått sammen.

7.2.4.2 Gjennomløpstid T for restavfall tømminger

Gjennomløpstiden T vil være lik som i base case på grunn av standardverdien er den samme. Antallet tømminger reduseres i modell 2 sett i forhold til modell 1. Resultatet av dette er at den totale tiden som brukes på tømming reduseres til 865 minutter med et nedkastbasert tømmemønster.

7.2.4.3 Antall tømminger

Tømming basert på hele nedkastpunkt har sine fordeler ved reduksjon av antall tømminger i løpet av simulering. På den andre siden ikke bare positivt å basere seg på tømming av nedkastpunkt. I løpet av simuleringen er det fem punkter som ikke blir tømt siden de ikke har blitt fulle. Figur 37 viser at totalt tømmes 25 av 44 nedkast sjeldnere enn hvert 4320 minutt (3 og en halv dag), som tilsvarer 56% av nedkastpunktene.



Figur 37: Antall tømminger i modell 2

7.2.5 Nøkkeltall for container modell 2

Gjennomsnittlig tid for bytte av container blir tolv minutter senere fra 5900 til 5912 i modell 2. Reduksjonen i antall tømminger fører også til at standardavviket blir lavere og mønsteret for når det blir byttet container blir mer sentrert fra intervallet (5715,6012) til (5833, 6008). Standardavviket modell 2 blir lavere enn standardavviket i modell 1 med en reduksjon fra 84

til 68. Reduksjonen kommer av mindre variasjon i volum tømt grunnet en større mengde som tømmes jevnlig.

7.3 Forgreninger (Modell 3)

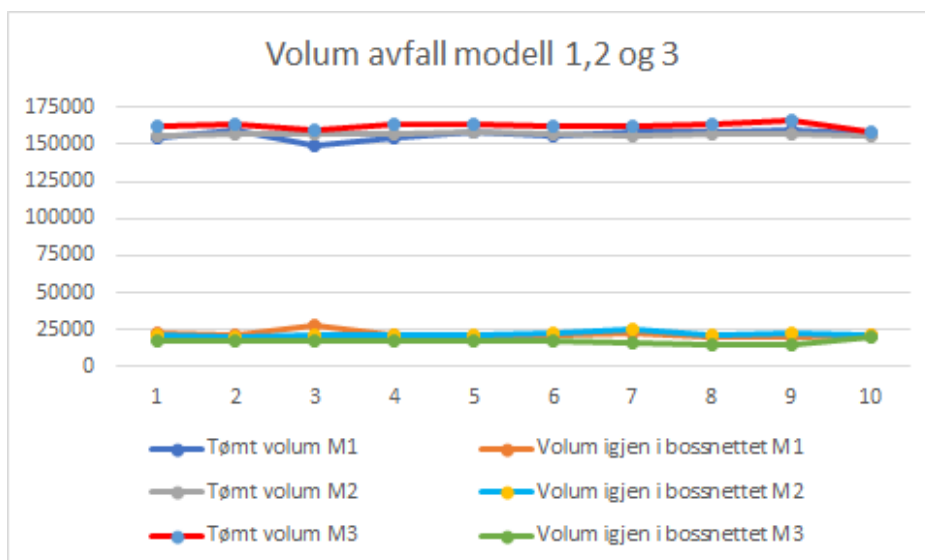
I modell 3 vil vi endre tømme-segmentet fra modell 2 til at tømmer hele forgreninger om gangen etter oppsettet i Fernandez et al. sine undersøkelser i 2015. Målet med dette er å undersøke hvordan mønsteret for tømning endrer seg over ukeperioden med de nye forutsetningene. Resultatet kommer til å bli målt fra outputdataene som modellen gir og sammenlignet med de foregående modellene. Modellen tar for seg at de ulike forgreningene tømmes hver for seg når et nedkastpunkt blir fullt. Vedlegg 12 viser fordeling av nedkastpunkter på de 16 forgreningene.

7.3.1 Generelt om modell 3

Grunnet begrensninger i programvaren og systemets størrelse kunne vi ikke kjøre hele modellen i en simulering, men måtte dele den i to og legge sammen resultatene. Resultatet av dette er at noen tidspunkter for tømninger må forskyves når nedkastpunkt tømmes på samme tidspunkt i simuleringen. Modell 3 vil ha tilsvarende ankomstrate som de foregående modellene. Kapasiteten ved de ulike nedkastpunktene er tilsvarende som i modell 2. Vi vil derfor ikke diskutere resultatene for gjennomstrømningsrate **T** og **R** i analysen av modell 3 for ankomst. De ulike forgreningene består av ulikt antall nedkastpunkt, som resulterer i at tømt volum varierer ut ifra hvilken forgrening som tømmes. Eksempelvis har forgrening 11 fire nedkastpunkt med en samlet kapasitet på 7630 liter og forgrening 3 har et nedkastpunkt med kapasitet på 350 liter. Forgrening 11 vil aldri nå sin maksimale kapasitet ettersom et punkt vil nå maksimal fyllingsgrad som gjør at hele forgreningen tømmes. Volumet som tømmes fra forgrening 11 vil ligge mellom 3800 og 6000 liter over simuleringene. Det vil derfor være rimelig å anta at systemet vil klare å håndtere dette volumet når Østre Murallmenningen har en kapasitet på 5880 liter alene.

7.3.2 Avfallsvolum

Modell 3 har 162 786 liter i tømt volum og 17 150 liter avfall i systemet. Ved å tømme forgreninger får vi en økning i tømt volum på 3,9% sett i forhold til base case og 3,8% for modell 2. Sammenligner vi standardavviket mellom modellene ligger modell 3 lavere enn base case og høyere enn modell 2. Forskjellen mellom forgreningsbaser tømme mønster og ventilbasert skyldes at antall tømminger forgreningsbasert er mye lavere enn i base case. Avviket til modell 2 skyldes at modell 3 volatiliteten i volum per tømming der det er stor forskjell mellom de ulike forgreningen. Figur 38 viser volum tømt og volum igjen i systemet ved endt simulering for alle modellene.

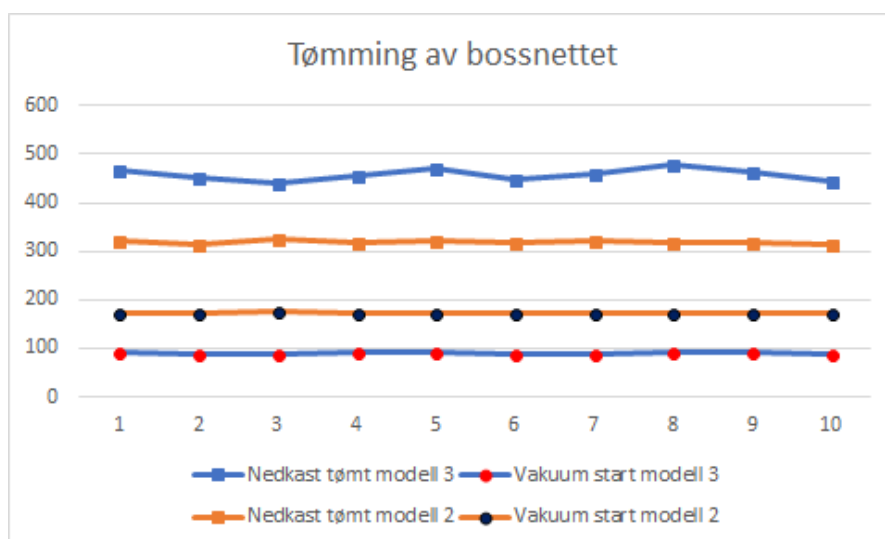


Figur 38: Volum avfall modell 1,2,3

Den grafiske fremstillingen viser at en forgreningsbasert løsning gir det laveste volumet igjen i bosnettet ved endt simulering. Grunnen til dette er at det tømmes i gjennomsnitt flere nedkastpunkt for hvert vakuum start gjennomført med en forgreningsløsning. Modellen er bygget opp slik at det første nedkastpunktet som blir fullt, trigger til å tømme hele forgreningen om det er flere nedkastpunkt. I de andre modellene tømmes ikke nedkastpunkt/nedkast før de er fulle, mens med en forgreningsbasert løsning kan punkt som ikke er fulle tømmes. I base case og modell 2 blir det dermed liggende mer avfall igjen ved endt simulering enn for modell 3.

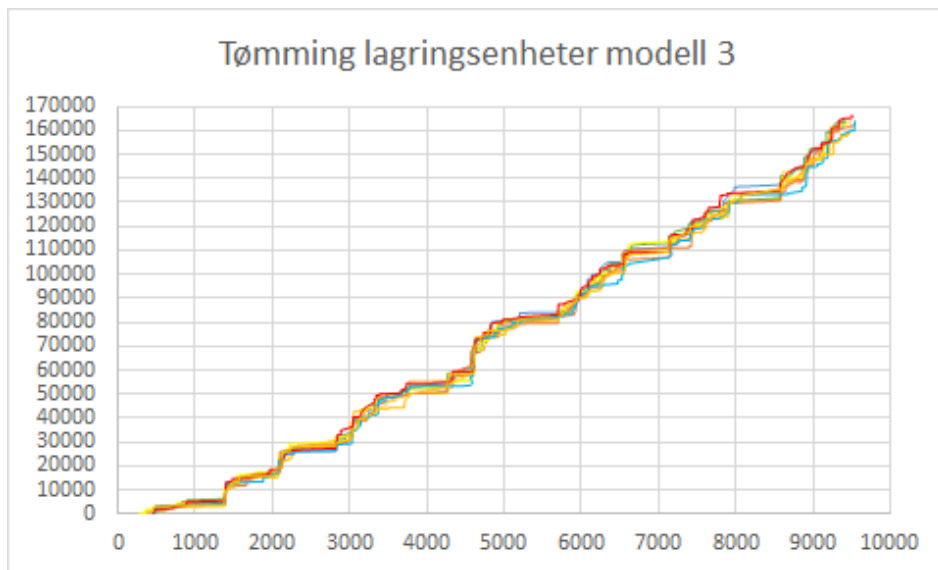
7.3.3 Nøkkeltall for tømning

I figur 39 har vi laget en grafisk fremstilling som viser antall start av vakuu og antall nedkast tømt for modell 2 og 3. Modell 3 har et gjennomsnittlig antall nedkast tømt på 458 over simuleringene, som er betydelig høyere enn modell 2 som har et gjennomsnitt på 319. Resultatet fra modell 3 er misvisende i form av at det ikke sier noe om hvor fulle hver enkelt ventilsjakt har vært ved tømning. Når nedkastpunktene blir regnet som en samlet kapasitetsenhet vet vi ikke volumet i hver enkelt ventilsjakt når de tømmes. Noen ventilsjakter kan da være tomme når forgreningen tømmes, noe som ikke vil være effektivt. Tallene for antall nedkast tømt vil da ikke kunne være med å si noe om en eventuell effektivitetsforbedring med en forgrening basert løsning.



Figur 39: Antall tømminger modell 3 og modell 2

Ser vi på tallene for vakuu startet viser de at modell 3 kjøres 90 ganger i gjennomsnitt mot 173 i modell 2. Reduksjonen er markant, noe som også viser igjen når vi ser på antall liter per start av vakuu, der modell 3 tømmer i gjennomsnitt 1807 liter og modell 2 tømmer 907 liter. Modell tømmer da i gjennomsnitt 900 liter mer hver gang vakuuet startet. Dette tilsvarer en økning på 99% per tømning og er en klar indikator for at et forgreningbasert tømme-mønster vil forbedre systemet sett i forhold til modell 2.



Figur 40: Kumulativ tømming lagringsenhet modell 3

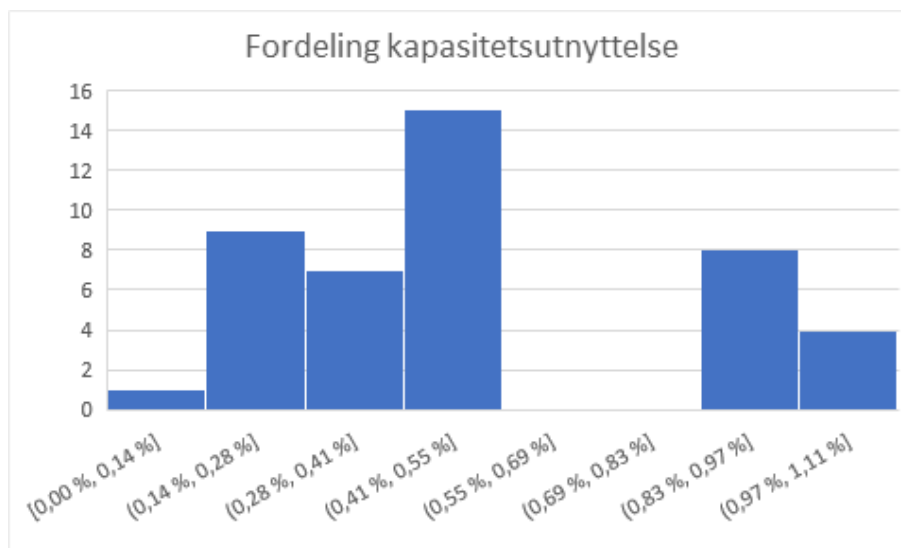
Figur 40 har samme tømmemønster som modell 1 og 2 og har et standardavvik som befinner seg mellom de foregående modellene. Standardavviket til modell 3 gjør at vi får færre «outliers» og en tydeligere samling av de kumulative funksjonene. Den grafiske fremstillingen viser et brattere skift mellom hvert døgn og økning for hver tømming på grunn av større volum per tømming.

7.3.3.1 Gjennomstrømningsrate R for restavfall tømminger

Den gjennomsnittlige fyllingsgraden i nedkast til enhver tid for modell 3 er 34,2%. For modell 2 er den 43,96%, mens for modell 1 er den samme fyllingsgraden 37,3%. Endringen kommer av enkelte nedkast tømmes når de ikke er fulle og derfor blir mengden oss de redusert og gjennomsnittlig avfall i nedkastpunkt blir dermed lavere.

Gjennom simuleringen er det 90 tømminger for modell 3 som fører til at kapasitetsutnyttelsen av selve rørsystemet vil være på å 6,7% og utgjør tømminger i 450 minutter av simuleringsperioden. Dette er betydelig lavere enn utnyttelsen i base case på 22,9% og modell 2 på 12,98%. Vil riktignok være en diskusjon om fem minutter er en reell tømmeid ved tømming av en hel forgrening og at den ikke skulle vært noe høyere. Den gjennomsnittlige kapasitetsutnyttelsen for hvert nedkastpunkt er 0,50%, som er en økning fra modell 2(0,29%) og base case (0,34%). Medianen for modell 3 er 0,44% som tilsier at det er

en lavere skjevfordeling kapasitetsutnyttelsen enn i base case og modell 2. Høyeste kapasitetsutnyttelsen er 1,11%, mens den laveste kapasitetsutnyttelsen er 0,15%. Histogrammet i figur 41 viser fordelingen av punkt basert på kapasitetsutnyttelsen. Kapasitetsutnyttelsen er derfor i gjennomsnitt relativt lik uavhengig hvilket oppsett som benyttes i modellen.



Figur 41: Fordeling kapasitetsutnyttelse modell 3

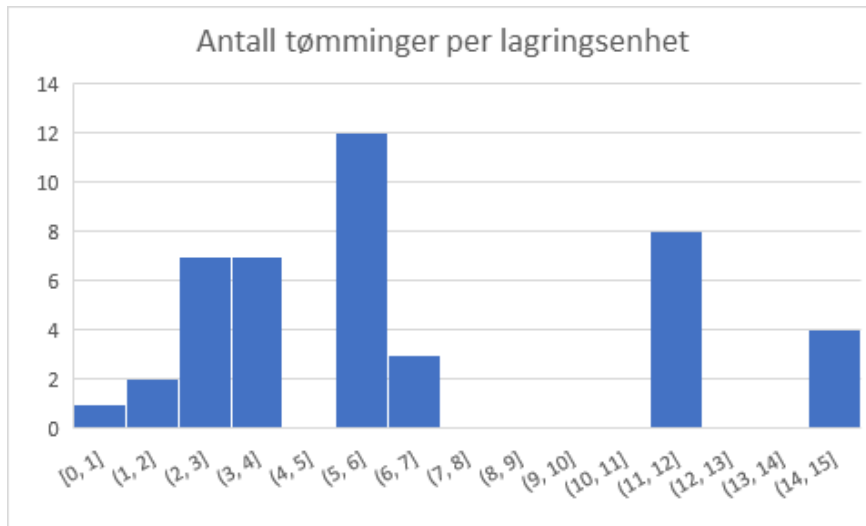
7.3.3.2 Gjennomløpstid T for restavfall tømminger

Standardverdien vil være fem minutter som prosesseringstid (T_{p2}) og (T_{p3}) samlet for hele prosessen å tømme avfall. Grunnet et lavere antall tømminger utgjør dette 450 minutter i løpet av simulering. Ventetiden (T_i) vil være hvor lenge avfallet ligger i de ulike nedkastpunktene, men på grunn av kostnaden knyttet til tømming vil det ikke være noe poeng å redusere denne. Skulle ventetiden (T_i) blitt redusert måtte antall tømminger øke og det ville ført til ekstra kostnader. Vi velger derfor å utelukke ventetiden (T_i), men den vil være lavere i gjennomsnitt enn for modell 1 og 2 siden nedkastpunktene tømmes oftere.

7.3.3.3 Antall tømminger

Antall tømminger blir redusert med et forgreningsbasert oppsett og volum per tømming øker. Det blir også en reduksjon i antall nedkastpunkt som ikke tømmes i løpet av simuleringsperioden. Eneste nedkastet som ikke blir tømt i løpet av simuleringsperioden er

C. Sundts gate 36, men dette nedkastet blir ikke tømt i noen av modellene. Den gjennomsnittlige kapasiteten for forgreningene er 2209, hvor minste kapasiteten er 350 og den maksimale kapasiteten er 7630. Av nedkastene tømmes 10 av 44 sjeldnere enn hvert 4320 minutt (tre og en halv dag) og utgjør 22,7% av nedkastpunktene.



Figur 42: Antall tømminger per lagringsenhet modell 3

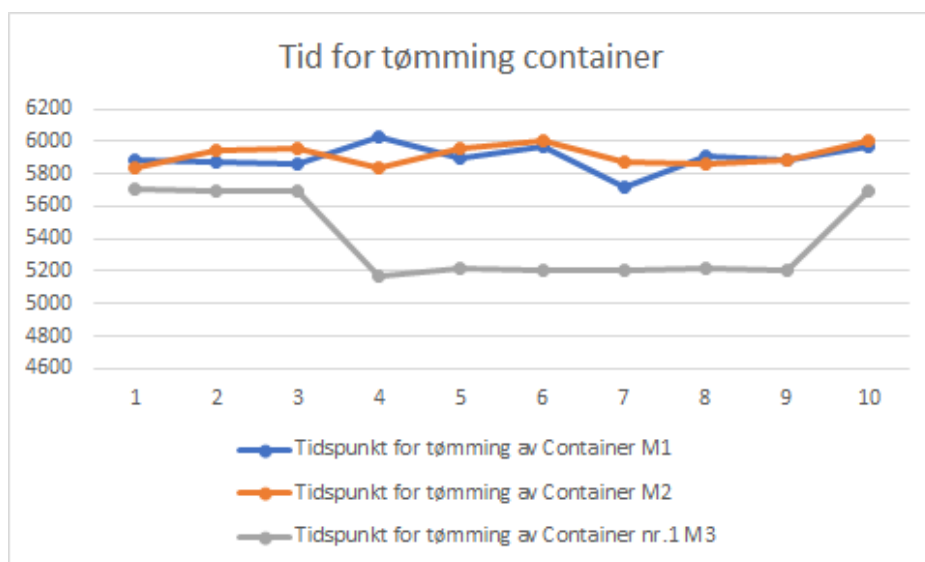
Modell 3 har i figur 42 en fordeling som ligner mer på datasettet (se figur 31) enn hva base case og modell 2 har. Grunnen til at det er færre observasjoner er fordi ventilsjakter på samme nedkastpunkt har blitt slått sammen til en lagringsenhet i modell 3, mens de i datasettet fungerer som individuelle enheter. Base case og modell 2 har en fordeling av tømminger som er samlet på venstre side av figuren. Den grafiske fremstillingen viser at nedkastpunktene tømmes oftere i modell 3 enn i de foregående modellene. Dette skyldes at nedkast tømmes før de er fulle når et punkt på den samme forgreningen er fullt. Resultatet av dette oppsettet blir at nedkastene på samme forgrening tømmes like mange ganger uavhengig av fyllingsgrad.

7.3.4 Nøkkeltall for container

Oppsett med tømning basert på hvilken forgrening nedkastpunktene tilhører gjør at gjennomsnittlig mengde ved hver tømning øker og antall tømminger som trengs for å fylle containeren reduseres til 46,8 for første container som byttes og 43,5 for den andre containeren som blir tømt.

I base case og modell 2 blir container byttet en gang gjennom simuleringen, mens i modell 3 får enkelte simuleringer at container blir bytte to ganger i løpet av perioden. Tilfellene hvor det tømmes to containere i modell 3 er ikke vist i den grafiske fremstillingen i figur 43.

Første bytte av container med en forgreningsbasert løsning skjer tidligere enn for de foregående modellene. Grunnen til dette er det økte volumet per tømning og at containeren må tømmes med et lavere volum for å ha kapasitet til å ta imot tømning av neste forgrening før den blir full. Et eksempel på dette er når forgrening 11 tømmes med tilnærmet full kapasitet. Forgrening 11 har en samlet kapasitet på 7630 liter, og containeren må da ha en ledig kapasitet til å ta imot denne tømningen. Denne forgreningen vil aldri nå maks kapasitet, men vi risikerer at den fylles til opp mot 6000 liter, der container må tømmes på 78000 liter fremfor 82400 som er maksimal kapasitet.



Figur 43: Tid for tømning container

Figur 43 viser tidspunktet for container bytte i de tre ulike modellene. Base case og modell 2 bytter container i omtrent samme tidsperiode, hvor base case har et større standardavvik i tid

for tømning. I modell 3 har større gjennomsnittlig volum per tømning og vil derfor måtte bytte container tidligere. Figuren viser at over de ti simuleringene tømmes container tidligere. Base case har et gjennomsnittlig bytte av container hver 4,09 dag, mens modell 3 har et gjennomsnittlig bytte av container hver 3,8 dag basert på første bytte.

Tar vi for oss de simuleringene der det byttes container to ganger kan vi se at tiden det tar å fylle den andre containeren er lavere enn for den første. Container nummer to bruker i gjennomsnitt 2,82 dager på å fylles som skyldes at det er allerede avfall i bossnettet etter den første containeren skiftes. Det tar da kortere tid å fylle forgreningene og den første tømningen etter container bytte skjer tidligere. Modell 3 kommer da nærmere frekvensen til datasettet når det kommer til tiden det tar å fylle en container. Gjennomsnittstiden blir da 3,3 dager per container mot 3,6 dager i datasettet. Resultatet bekrefter teorien at ved å ha avfall i bossnettet vil tiden det tar å fylle en container nærme seg dataene fra datasettet.

7.4 Eksperiment

Modellene vi har laget blir ikke bare påvirket av tømme mønsteret, men også andre faktorer som for eksempel ankomst, kastvolum og kapasitet. I denne delen av analysen fokuseres det på hvordan endringer i disse faktorene påvirker outputdataene. Vi ønsker å se nærmere på hvordan endringer i standardverdiene for kastet mengde for kundegruppene påvirker modellen. I tillegg ser vi på mulighetene for å tilføre nye kunder til ulike nedkastpunkt for å øke fyllingsgraden i modell 3.

7.4.1 Endring i standardverdi for bedrift og husholdningskunde

Standardverdiene for gjennomsnittlig volum per kast for bedriftskunder og husholdningskunder er basert på BIR sitt gjennomsnittlige estimat. Det er derfor en viss usikkerhet knyttet til disse estimatene og hvordan de påvirker antall tømninger. Standardverdi brukt i modellen er 20 for husholdningskunder og 100 for bedriftskunder. I eksperimentet kjøres simuleringen fem ganger for å se hvordan endringer påvirker outputdata.

7.4.1.1 Endring i standardverdi for husholdningskunder

I tabell 15 har vi undersøkt hvordan outputdataene påvirkes når kastvolumet for husholdningskunder endres til 10,15 og 25 liter sammenlignet med standardverdien. Endring i kastvolumet til husholdningskunder fører til at terskelverdien endres på punkt med kun husholdningskunder. Grunnen til dette er at nedkast må ha ledig kapasitet som er større eller lik volumet som kastes ved neste lukeåpning. Eksperimentet vil gjennomføres i modell 3 og de resterende variablene i modellen endres ikke.

Gjennomsnittsverdier	Hus10	Hus15	Hus20	Hus25
Totalt Volum	107488	136226	162786	191340
Volum igjen i systemet	16706	15730	17150	17395
Generert volum	124194	151956	179936	208735
Tømminger Container	1,33	1,69	1,98	2,37
Antall Tømminger:	61	76,8	90,1	102,4
Volum Per tømming	1763	1775	1807	1869
Tidspunkt for tømming av Container	7724	6105	5498	4747

Tabell 15: Endring i standardverdi for husholdningskunder

Tabell 15 viser at effekten på generert volum av å øke kastvolum er avtagende fra 10 opp til 25. Grunnen til det er at den prosentvise økningen i kastvolumet avtar for hvert trinn vi øker med. For en kastverdi på 15 liter får vi det laveste volumet igjen i bossnettet ved endt simulering. Hva dette skyldes er vanskelig å si, men det er mest sannsynligvis en kombinasjon av tilfeldigheter og innvirkningen av å endre terskelverdien for tømming. Cellen for antall bytte av container tyder på at en standardverdi på mellom 15 og 20 er korrekt sammenlignet med antall containere byttet i datasettet. I datasettet ser vi at det i gjennomsnitt byttes container to ganger i løpet av uken. En standardverdi på 10 vil gi et for lavt generert volum som påvirker container, for standardverdi 25 ser vi motsatt mønster der generert volum blir for høyt sett i forhold til datasettet.

7.4.1.2 Endring i standardverdi for bedriftskunder

Eksperimentet for bedriftskunder vil bli gjennomført ved å endre standardverdien til 80,90 og 110. Endring i terskelverdi for fulle nedkast vil kun påvirke nedkastpunktene med bedriftskunder tilknyttet. Begrunnelsen er den samme som for eksperimentet for

husholdningskunder og de resterende variablene i modellen vil ikke endres. Tabell 16 viser de gjennomsnittlige resultatene fra eksperimentet.

Gjennomsnittsverdier	Bed80	Bed90	Bed100	Bed110
Totalt Volum	149008	158408	162786	169400
Volum igjen i systemet	17432	15238	17150	16246
Generert volum	166440	173646	179936	185646
Tømminger Container	1,81	1,97	1,98	2,06
Antall Tømminger:	79,4	84	90	97
Volum Per tømming	1877	1887	1807	1755
Tidspunkt for tømming av Container	5900	5815	5498	5011

Tabell 16: Endring i standardverdi for bedriftskunder

Sammenligner vi resultatene med endringer for husholdningskunder kommer det frem at bedriftskunder ikke har en like stor effekt på systemet. Dette skyldes at det er en betydelig større andel husholdningskunder enn bedriftskunder som er knyttet til bossnettet. Et interessant moment fra tabellen er at volum per tømming er lavest for standardverdi på 110. Resultatet skyldes at terskelverdien for fullt nedkast må senkes for å ha kapasitet til å ta imot en kunde med 110 liter. Dermed blir flere av forgreningene tømt tidligere enn de ville ha blitt med de lavere terskelverdiene. Tabell 16 viser at endring i standardverdien for bedriftskunder ikke påvirker systemet i stor grad. Antall container bytte endrer seg lite, det samme kan sies om tidspunktet for bytte av container som ligger innenfor 24 timer for verdiene. Mønsteret går også igjen for de andre måltallene i tabellen.

7.4.1.3 Oppsummering endring i standardverdi

Resultatene fra eksperimentene med standardverdi viser at husholdningskunder har større påvirkning for generert volum enn bedriftskunder. Grunnen til dette er at vi har et mye større antall husholdningskunder enn bedriftskunder. Effekten av å endre kastverdien for bedriftene vil ikke har et stort utslag på resultatene når det kommer til volum, noe som tyder på at det kan være et større standardavvik i denne verdien. For husholdningene vil effekten være mye større, og dette kan derfor tyde på at verdien satt av BIR stemmer bra.

Det er også verdt å merke seg at endringer i standardverdien for bedriftskunder har større effekt på volum per tømming enn husholdningene. Effekten kommer av at bedriftskundene påvirker terskelverdien i større grad enn det husholdningene gjør på grunn av større volum

per lukeåpning. Eksperimentene tyder på at standardverdien som BIR benytter gjenspeiler resultatene fra datasettet på en god måte.

7.4.2 Fyllingsgrad ved de ulike nedkastpunktene

Oppsettet i Modell 3 baserer seg på at når et nedkastpunkt er fullt vil hele forgreningen tømmes. Siden tømmingen av forgreningen starter i det øyeblikket et nedkastpunkt er fullt, vil det være noe ledig kapasitet ved de resterende nedkastpunktene. Dette gjør at det er mulig å øke volum avfall som fylles for å øke kapasitetsutnyttelsen i hver forgrening.

Nedkastpunktene har alle en ulik andel husholdningskunder og bedriftskunder avhengig av lokasjon. Eneste mulighet for glatting vil være å øke antallet bedriftskunder i systemet ettersom antallet husholdninger ikke kan endres. Ifølge organisasjonen Bergen Sentrum AS (2018) er det omtrent 500 selskaper i sentrum. Vi vet ikke hvor i sentrum disse kundene er lokalisert, men bosnettet skal etter hvert dekke hele sentrum og har et potensial for å få selskapene som kunde. En utfordring for økt fyllingsgrad for nedkastpunkt kan være mangel på bedrifter i nærheten. Selskapene har ofte tilhold i sentrumskjernen, så vi vil fokusere på disse nedkastpunktene. Bedriftskunder kaster i annet mønster og større mengder enn husholdningskunder i gjennomsnitt, som gjør at vi ikke trenger så mange bedriftskunder for å øke kapasitetsutnyttelsen.

På grunn av tømme-mønstret har enkelte nedkastpunkt i noen av forgreningene lav fyllingsgrad når de tømmes. Vedlegg 13 viser oversikt over forgreningen med gjennomsnittlig fyllingsgrad for hvert punkt. Det er 14 nedkastpunkt som potensielt kan øke sin fyllingsgrad med bedriftskunder uten at det vil påvirke antall tømminger. Analysen kommer til å fokusere på de nedkastpunktene som har lavest fyllingsgrad og som er lokalisert i sentrumskjernen.

Resultatene fra modell 3 gir et generert volum på 162192 liter fordelt på 90 tømminger, mens det teoretiske volumet på samme antall tømminger er 291100 liter. Det vil ikke være reelt å oppnå en fyllingsgrad på 100% for alle nedkastene på en forgrening. Vi har valgt å sette en fyllingsgrad på 70% punktene som har en lav fyllingsgrad når forgreningene tømmes. Begrunnelsen for 70% er for å ta hensyn til at ankomstraten til hvert nedkastpunkt

er forskjellig fra uke til uke i virkeligheten, noe modellen ikke klarer å gjenskape. En økning til 70% for nedkastpunktene som ikke har optimal fyllingsgrad vil kreve at teoretisk volum øker med 55385 liter, som tilsvarer en økning på 36% av totalt volum. Bedriftskunder kaster i gjennomsnittlig 750 liter i uken, og for å oppnå det satte målet for fyllingsgrad må antallet bedriftskunder økes med 77 stykker fordelt på de 16 forgreningene.

Tabell 17 viser eksempler på nedkastpunkt som ligger sentralt i Bergen sentrum i nærheten av selskaper med ledig kapasitet er Nøstegaten 65 som er på forgrening 12 og C. Sundts gate 33 på forgrening 16. Nøstegaten 65 har en fyllingsgrad på 9% i modellen og kan derfor “glattes” ved å tilføre bedriftskunder. Kapasiteten er 2940, men ved 70% fyllingsgrad vil tilsvare 2058 liter. Forgreningen til Nøstegaten 65 tømmes tolv ganger i løpet av simulering og liter avfall som kreves for en 70% fyllingsgrad vil være 24646. For å oppnå økningen i volum vil det kreve 33 bedriftskunder basert på ukentlig kastvolum for kundegruppen. En økning på 33 bedriftskunder til et nedkastpunkt vil være urimelig, men det viser tankegangen rundt temaet om glatting.

C. Sundts gate 33 er et annet nedkastpunkt mulighet for å øke sin fyllingsgrad fra dagens 17% til omtrent 70%. Nedkastpunktet har flere bedriftskunder i området som kan bli kunder og har en reell kapasitet er på 1050. Nedkastpunktet C. Sundts gate 33 kan øke med to bedriftskunder som vil generere 1686 liter avfall i løpet av simuleringsperioden.

Forgrening	Nedkastpunkt	Tømminger	Volum igjen i system	Gjennomsnittlig volum	Virkelig kapasitet	Fyllingsgrad
F12	Nøstegaten 65	12	120	279	2940	9 %
F16	C. Sundts gate 33	3	174	173	1040	16,6 %
F14	C. Sundts Gate 36	0	2372	2372	2940	80,7 %

Tabell 17: Fyllingsgrad utvalgte nedkast i modell 3 (Se vedlegg 13 for hel tabell)

C. Sundts gate 36 er et nedkastpunkt som ikke tømmes i løpet av simuleringsperioden og det vil derfor vært aktuelt å øke andel bedriftskunder. Dette nedkastet er på en egen forgrening og blir derfor ikke påvirket av andre nedkast. En økning med en bedriftskunde ville gjøre at

nedkastet blir tømt i løpet av simuleringsperioden. Det ville også vært ønskelig at nedkastet tømmer oftere enn en gang i uken, så en ytterligere økning av bedriftskunder er aktuelt.

Generelt er det store muligheter for ytterligere forbedring av fyllingsgrad ved de ulike forgreningene. Utfordringen vil være å finne kunder som kan dekke denne ledige kapasiteten. Et viktig moment er at en økning av nye bedriftskunder ved nedkastpunkter også fører til en økning av volum fra papir/plast/papp. Kapasitetsutnyttelse av rørsystemet ved forgreningsbasert tømmemetode er lav, og det vil derfor ha lite betydning for bosnettet. Økt bedriftsandel ved enkelte nedkastpunkt vil heller ikke ha store påvirkninger for husholdningskunder ved nedkastpunktene grunnet lav ankomst av kunder til nedkastene.

8. Refleksjon rundt resultatene

8.1 Resultatene knyttet opp mot forskningsartiklene

Resultatene samsvarer med funnene i forskningsartiklene i form av at vi får en effektivisering ved å endre til et forgreningsbasert tømme mønster. Vi ser samme tendenser ved et nedkastbasert mønster, men resultatene er ikke like gode som forgreningsbasert. Slutningene er basert på volum fraktet per tømning, og viser en markant forbedring i modell 3. Artiklene baserer sine svar på strømmen som spares ved å endre tømme mønster, mens oppgaven ser på antall start av bossnettet.

Sammenligner vi variablene i modellen vår med variablene i forskningsartiklene kan vi se noen forskjeller. I vår modell er simuleringene kjørt over en periode på en uke for å få frem endringer i ankomstmønster og tømme mønster over tid. Forskningsartiklene tar for seg en simuleringsperiode på en dag og får dermed ikke med seg svingninger i ankomstraten fra dag til dag eller hvordan dette henger sammen med tømminger. Vår analyse tar også hensyn til forskjellige kundegrupper i form av husholdningskunder og bedriftskunder som har forskjellig kastvolum per lukeåpning. Dette er ikke undersøkt i forskningsartiklene, men det kommer ikke frem om det utelukkes eller om deres bossnett ikke er åpent for bedrifter. Undersøkelsene våre tester også ut hvordan det å tømme ventilbasert, nedkastbasert og forgreningsbasert påvirker systemet.

I analysen har vi undersøkt hvordan endringen av verdiene for gjennomsnittlig volum per lukeåpning for de to kundegruppene. Analysen gir informasjon om hvordan endringene påvirker tømning og container. Forskningen tar ikke for seg containeren som del av sin analyse, noe vi gjør. Det er heller ikke sett nærmere på effekten av endringen i kastet volum per lukeåpning i artiklene vi har lest i våre forberedelser.

Modellene forskerne har benyttet i sine undersøkelser er mer avanserte enn det vi har laget til våre analyser. Analysene våre dekker likevel deler av bossnettet som forskerne ikke har analysert. På denne måten kan vårt arbeid være med på å gi en innsikt i hvordan et bossnett opererer og faktorer som har en påvirkning på ytelsen til systemet. Det skal understrekes at

vi ikke er forskere, men oppgaven viser variabler og faktorer som har betydning for ethvert vakuumbasert bossnett som har samme oppbygging som i Bergen.

8.2 Begrensninger og svakheter ved oppgaven

Det er enkelte svakheter i modellen, der noen kommer av begrenset tid til oppgaven, mens andre kommer av kompleksiteten av systemet. Vi har ikke kjennskap til kostnader forbundet med slitasje eller driften av bossnettet, noe som gjør det vanskelig å avgjøre om vår løsning er mer effektiv enn ved dagens drift sett fra et økonomisk standpunkt. Kombinerer vi dette med at vi heller ikke har informasjon om hvor mye som faktisk tømmes ved dagens drift blir resultatene våre enda mer usikre. Konklusjonen i oppgaven blir dermed basert på antall liter per tømming og antall tømminger over en uke. Grunnlaget for å slå fast om endringen av tømme mønster vil effektivisere driften blir dermed tynt sett fra et bedriftsøkonomisk standpunkt.

Modellen er basert på gjennomsnittsverdier fra datasettet og mangler evnen til å gjenskape volatiliteten i ankomstraten. Dermed får vi ikke sett hvordan systemet håndterer en markant høyere eller lavere ankomstrate, bare en normalsituasjon. Et annet sentralt moment er at det ikke er modellert inn tømming før bossnettet stenger for natten. Tømmesekvensen før stenging ville hatt en effekt på antall tømminger før stenging, men dette vil også påvirke antall tømminger på dagen etter. Antallet tømminger hadde økt noe og gjennomsnittlig volum per tømming ville blitt lavere. Dette er et av måltallene vi bruker for effektivisering og validiteten til resultatene blir dermed svekket.

Svakheterne i oppgaven gjør at vi skal være forsiktige med å være bastante i konklusjonene vi drar fra resultatene. Kompleksiteten i systemet gjør at det blir vanskelig å gjenskape virkeligheten uten begrensninger og mangler. Resultatene kan likevel brukes for å se de store linjene og være med å gi oss en antydning om mønster i tømme prosessen.

8.3 Drøfting rundt resultatene

Resultatene fra analysen viser at systemet i sin helhet ikke har noen flaskehalser som hindrer driften. Analysen viser at kapasitetsutnyttelsen er lav for alle prosessene i systemet, hvor tømme segmentet er den prosessen med høyest kapasitetsutnyttelse.

Base case gir 352 start av vakuuemet over ukesperioden som vi simulerte. Når vi endret systemet til en nedkastbasert løsning i modell 2 fikk vi en markant forbedring på outputdata. Volum per tømning økte fra 444 liter i modell 1 til 907 liter i den nye modellen. Ser vi på tallene for antall nedkast tømte gir den nedkastbaserte løsningen 319 nedkast fordelt på 173 vakuuemstarter. Resultatene viser at det vil være svært kostbart og tømme hver lagringsenhet enkeltvis sammenlignet med å tømme hele nedkastpunkt. På den andre siden vil det være ekstra kostnader knyttet til å frakte et større volum per tømning, men det vil likevel være rimelig å anta at reduksjonen i antall vakuuemstarter vil veie opp for dette. Den nedkastbaserte løsningen vil optimere fyllingsgraden sett i forhold til antall tømninger.

Overgangen fra nedkastbasert til forgreningsbasert løsning viser en ytterligere reduksjon i antall vakuuemstarter og økt volum per tømning. Outputdataene fra modell 3 viser at antallet start av vakuuemet reduseres til 90 med totalt 458 nedkast tømte. Volum per tømning øker til 1807 liter, en økning på 900 liter fra modell 2. Denne løsningen fører med seg en forbedring av systemet, men også noen problemer. Økningen i volum per tømning vil kreve mer tid- og et høyere energiforbruk- per tømning. Hvor mye tiden vil øke er vanskelig å estimere siden det vil være avhengig av forgreningen som tømmes. Med en forgreningsbasert løsning vil også slitasjen på systemet for hver tømning øke. Den forgreningsbaserte løsningen gir det laveste antallet start av vakuuemet som vi mener vil veie opp for den økte energikostnaden og slitasjen.

I eksperiment for standardverdi viser resultatene at endring i gjennomsnittlig kastverdi har betydning for outputdata. Sammenlignes resultatene med datasettet kommer det frem at standardverdiene til BIR passer bra. Resultatene viser også at det kan være et standardavvik på rundt 5 liter for husholdningskunder og 10 liter for bedriftskunder uten at det vil påvirke resultatet i nevneverdig grad.

I det andre eksperimentet har vi sett på muligheten for å tilføre nye bedriftskunder for å øke fyllingsgraden per nedkastpunkt i modell 3. Resultatene fra analysen viser at 14 ulike nedkastpunkt kan tilføres nye kunder uten at det påvirker antall tømminger med en forgreningsbasert løsning, gitt at ankomsten ikke øker drastisk. En økning i antall bedriftskunder på disse punktene vil øke fyllingsgraden på forgreningene og øke volum per vakuumbestilling. Effekten er da at BIR får økte inntekter fra disse kundene, men energikostnadene vil gå opp. Inntektene vil overstige kostnadsøkningen slik at BIR kommer positivt ut i en slik situasjon.

8.4 Konklusjon

BIR bruker i dag et tømmebilde som ligger et sted mellom en ventilbasert løsning og en forgreningsbasert løsning. Analysene våre viser at bildet for tømmebilde kan endre for å oppnå en mer effektiv drift av bussnettene enn det som er tilfellet i dag. En løsning vil være å tømme alle ventilgjenger ved samme nedkastpunkt når de er fulle istedenfor å tømme ventiler enkeltvis. Dette vil føre til en reduksjon i antall tømminger og at kostnadene reduseres, som fører til at fyllingsgraden på hvert enkelt nedkastpunkt maksimeres.

I våre analyser kommer vi frem til at den mest kostnadseffektive løsningen vil være forgreningsbasert. Ved å tømme hele forgreninger om gangen vil antallet start av vakuumbestilling reduseres fra 310 som er gjennomsnittlig antall per uke i dag til 90 i uken. Endringen vil føre til et økt energiforbruk og slitasje per vakuumbestilling, men vi mener likevel dette vil spares inn igjen i reduksjonen i antall vakuumbestillinger. En slik løsning gir også muligheten til å øke antall bedriftskunder på 14 ulike nedkastpunkt uten at det øker antallet tømminger.

Vi skal være litt forsiktige med å dra denne konklusjonen helt ut ettersom det kan være faktorer vi har oversett. BIR har flere faktorer de må ta hensyn til i form av å passe på at nedkastene ikke blir fulle om natten, samt at det kan være variabler knyttet til slitasje når hele forgreninger tømmes i ett. Vår anbefaling er at den forgreningsbaserte løsningen bør ses nærmere på av BIR, og om denne ikke er mulig å gjennomføre i praksis bør en nedkastbasert løsning vurderes sterkt.

8.5 Videre forskning

For eventuell videre forskning angående bossnettet eller sentralen i Jekteviken, om det skal være på operasjonelt nivå eller basert på insentiver anbefaler vi at man setter seg inn i case og denne oppgaven. Systemet er omfattende som gjør at det er en krevende prosess å få forståelse for. Aktuelle oppgaver kan være:

Oppgaven vi har skrevet er utarbeidet når det blå nettet var 54,3 % utbygd. Det vil derfor være aktuelt med simulasjon av bossnettet når hele det blå nettet er ferdig utbygget og i bruk. Vil også være mulig å simulere det blå nettet og det grønne nettet for å se de opp mot hverandre for å se om det er noen forskningsmessige forskjeller mellom kundene.

Samfunnet sitt syn på miljø er i endring og miljøbevissthet har økt de siste årene. Det kommer tydeligere tegn på at mennesker bryr seg mer og mer om miljøet, med for eksempel “plastbølgen” etter hvalen på Sotra. Dette kan gjøre at restavfall kastmønsteret kan over tid stagnerer og holder seg på et nivå. Hvordan vil dette kunne ha påvirkning på bossnettet sitt tømmemønster og insentiver for å redusere restavfall kastet.

Kan være aktuelt for fremtiden å forske mer på hvordan ulike typer selskaper genererer søppel i gjennomsnitt og hvordan dette påvirker i forhold til husholdningskunder. Mulighet for å undersøke nye inntektsmuligheter for å skape verdi for renovasjonsbransjen.

Kundene har i dag insentiv for å kaste i papir/plast/papp-nedkastene restavfallet sitt siden det er gratis, mens restavfall koster å bruke. BIR har også ikke lov å kreve betaling fra den enkelte kunde, men må ta betalt for hele boenheten. Undersøkelser angående betaling for kast av avfall i bossnett for hver enkelt kunde og hvordan bruke atferdsøkonomi til å endre kundenes kastmønster vil derfor kunne være aktuelt.

9. Litteraturliste

Anupindi, R., Chopra, S., Deshmukh, S.D., Van Mieghem, J.A., & Zemel, E. (2012). *Managing Business Process Flows: Principles of operations management* (Third edition). Essex: Pearson Education Limited.

Avfall Norge. (2017). *Bransjeanalyse: Avfalls- og gjenvinningsbransjen 2017* (Internett), Oslo: Avfall Norge. Tilgjengelig fra: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/avfall-norge-no/dokumenter/Bransjeanalysen-2017.pdf> (Lest 04.02.2018).

Bhada-Tata & Hoornweg. March 2012. The World Bank: "WHAT A WASTE A Global Review of Solid Waste Management". *Urban development series; knowledge papers no. 15*. [Internett], 116. Tilgjengelig fra: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388> (Lest 14.01.2018).

Banks, J., Carson, J. S., & Nelson, B. N. (1996). *Discrete-event System Simulation*. (Second Edition). Harlow: Prentice Hall.

Banks, J. (1998). *Handbook of simulation: principles, methodology, advances, applications, and practice*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Bejar. R, Fernandez. C, Mateu .C, Manyà .F, Sole-Mauri .F, Vidal .D. (2012a) The Automated Vacuum Waste Collection Optimization Problem. *Proceedings of the Twenty-Sixth AAAI Conference on Artificial Intelligence*.(internett), 2012, s. 3, Tilgjengelig fra: <https://pdfs.semanticscholar.org/f581/d78675d0c8a82da9312c8d1f1b91a87ae29d.pdf> [Lest 16.01.2018].

Béjar .R, Fernàndez .C, Manyà .F, Mateu .C, Sole-Mauri .F. (2012b) *Optimizing Energy Consumption in Automated Vacuum Waste Collection Systems*. 2012 IEEE 24th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (Internett). DOI:10.1109/ICTAI.2012.47

Bergen Sentrum AS (2018) Fakta om Bergen Sentrum As (internett). Bergen: Bergen Sentrum AS. Tilgjengelig fra: <https://www.bergensentrum.no/om-bergen-sentrum> (Lest 08.05.2018)

Benardos, A. & Kaliampakos, D. (2008). Underground space development: setting modern strategies. *Underground spaces* 8 -10 (4), 1-10. Tilgjengelig fra: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/102/19487> (Lest 20.01.2018)

BIR (2018a). Bossnett i Bergen. Bergen: BIR Nett AS

BIR (2018b). Plakater i sentral. Bergen: BIR

BIR (Bergens interkommunale renovasjonselskap). (2018c) Om konsernet (Internett), Tilgjengelig fra: <https://BIR.no/om-BIR/om-konsernet/> [Lest 19.01.2018].

BIR (Bergens interkommunale renovasjonselskap). (2017a) *BIR Årsrapport 2016 (internett)*, Bergen: BIR AS Tilgjengelig fra: https://bir.no/media/1191/aarsrapporten_2016_-1.pdf (Lest 15.01.2018)

BIR (Bergens interkommunale renovasjonselskap). (2017b) *Det du trenger å vite om bossnettet(internett)*, Tilgjengelig fra: https://BIR.no/media/1378/f-BIR-informasjon-diverse-trykksaker-bossnett-bossnettaapning-brosjyre-2017-bossnettet_2017_til_net.pdf (Lest 08.02.2018).

BIR Nett (Bergens interkommunale renovasjonselskap). (2017) Oversikt bossnettet i Bergen (internett), *Tilgjengelig fra:* https://www.bergen.kommune.no/bk/multimedia/archive/00315/BIR_NETT_AS_315537a.pdf (Lest 23.03.2018).

Dahlum, S. (20. februar 2018) Validitet (internett). Oslo: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/validitet> (Lest 26.02.2018).

Dahlum, S. (13. juni 2018) Kvantitativ analyse (internett). Oslo: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/kvantitativ_analyse(Lest 13.03.2018).

Fangen. K & Sellerberg. A (2011) Mange ulike metoder. Oslo: Gyldendal Norske Forlag AS

Fernández .C, Manyà. F, Mateu .C , Sole-Mauri .F (2014) Modeling energy consumption in automated vacuum waste collection systems(Internett) Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815213003058> [Lest 18.01.2018].

Fernandez .C, Manyà. F, Mateu .C, Sole-Mauri. F(2015) Approximate dynamic programming for automated vacuum waste collection systems*(Internett) Tilgjengelig fra: <https://pdfs.semanticscholar.org/4e9c/196da5d503cc4b30e43bf821b5dc1fa46e6c.pdf> [Lest 19.01.2018].

Gabarrell .X, Iriarte. A, Rieradevall. J (2009) LCA of selective waste collection systems in dense urban areas(Internett) Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X08001645> [Lest 20.01.2018].

Hansen, T. (2015) Sekundærdata(internett). Oslo: Ipsos. Tilgjengelig fra: <http://www.analysen.no/latest-news/item/sekundaerdata> (Lest 16.03.2018)

Honkio, k., (2009). The future of waste collection? Underground automated waste conveying systems. Waste manag. 10(4) Tilgjengelig fra: <https://waste-management-world.com/a/the-future-of-waste-collection-underground-automated-waste-conveying-systems> (Lest 17.01.2018).

Hopp, W.J & Spearman, M.L. (2001). Factory physics: foundations of manufacturing management (second edition). Boston: Irwin McGraw-Hill.

Law, A.M. (2015). Simulation Modeling and Analysis (fifth edition). New York: McGraw-Hill education.

Malt, U. (4. september 2015) Kvalitativ metode (internett). Oslo: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/kvalitativ> (Lest 13.03.2018).

Markussen, A., C. (2015). Jippii bossnett. Bymag. (internett), 19. november 2015.

Tilgjengelig fra: <http://bymag.no/2015/11/jippii-bossnett> (14.02.2018).

Ringdal, K. (2014). Enhet og mangfold (3.utg 2 opplag). Oslo: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS

Saunders, M. N. K., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). Research methods for business students, fifth edition. Harlow: Financial Times/Prentice Hall

Skjerpen, C. og Vinju, E. (2016) Avfallsregnskapet 2014 (internett). Oslo: Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/avfregno/aar/2016-05-25> (Lest 07.03 2018).

Skjerpen, C. og Vinju, E. (2017) Avfallsregnskapet 2015 (internett). Oslo: Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/avfregno/aar> (Lest 07.03.2018).

Stoltenberg, C. (20. februar 2018) Deskriptiv (internett). Oslo: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/deskriptiv> (Lest 30.05.2018).

Strand, P. (2014) Vi kjøper mer av det meste (Internett). Oslo: Statistisk sentralbyrå.

Tilgjengelig fra: https://www.ssb.no/inntekt-og-forbruk/artikler-og-publikasjoner/_attachment/210383?_ts=14aca03c78 (Lest 08.03.2018)

Ståhl, I., & Born, R. (2011 og 2014). Modelling Business Processes With A General Purpose Simulation System part 1 & part 2 Extensions. Stockholm: Stockholm School of Economics (SSE)

Ståhl, I. (2018). aGPSS: historien om simuleringsverktøyet (internett). Tilgjengelig fra: <http://agpss.com/history.html> (Lest 07.05.2018).

Teerioja, N., Moliis, K., Kuvaja, E., Ollikainen, M., Punkkinen, H., Merta, E., 2012. Pneumatic vs. door-to-door waste collection systems in existing urban areas: a comparison of economic performance. *Waste manag.* 32 (10), s 1782-1791.

Torstenson, I. (1997). *Fra nattmann til renholdsverk: avfall og renovasjon i Oslo gjennom tusen år.* Oslo: ProArk.

Torstenson, I. (2006). *Ute av øye, ute av sinn? En historie om avfall og gjenvinning.* Oslo: Avfall Norge.

Valle, M. (2015). Snart skal anlegget suge bort søppelet til 10.000 norske hjem. *Tekniske Ukebladet (internett)*, 15. august 2015. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/snart-skal-anlegget-suge-bort-soppelet-til-10-000-norske-hjem/196840> (Lest 14. februar .2018)