

Bacheloroppgave

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon

Aksel Gustavsen Bøhn
Elias Bergquist-Langlo
Fabian Warendorph

Regnearkmodellering som investeringsverktøy for automatisert vogntransport i sykehus

*Spreadsheet modeling as a measure for
investment in automated internal
hospital transport*

Bacheloroppgave i Logistikingeniør
Veileder: Tore Lennart Lauritzen

Aksel Gustavsen Bøhn
Elias Bergquist-Langlo
Fabian Warendorph

Regnearkmodellering som investeringsverktøy for automatisert vogntransport i sykehus

*Spreadsheet modeling as a measure for
investment in automated internal hospital*

Bacheloroppgave i Logistikingeniør
Veileder: Tore Lennart Lauritzen
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for maskinteknikk og produksjon

Bacheloroppgave TLOG3001

Oppgavens tittel: <i>Regnearkmodellering som investeringsverktøy for automatisert vogntransport i sykehus</i>	Prosjektnr.: 008-2019
Project title: <i>Spreadsheet modeling as a measure for investment in automated internal hospital transport</i>	
Forfattere: Elias Bergquist-Langlo Aksel Gustavsen Bøhn Fabian Warendorph	Dato: 20.05.2019
	Gradering: Åpen
Studieretning: Logistikkingeniør - Institutt for maskinteknikk og produksjon – NTNU	
Veileder internt: Tore Lennart Lauritzen +47 932 36 460 tore.l.lauritzen@ntnu.no	
Oppdragsgiver: Sykehusbygg HF	
Oppdragsgivers kontaktperson: Bjørn Bakken +47 909 80 315 bjorn.bakken@sykehusbygg.no	

Sammendrag: Denne bacheloroppgaven er skrevet i samarbeid med Sykehusbygg HF som både har rådgivende og prosjektledende roller i nasjonale sykehusprosjekter. Logistikk i sykehus er et viktig aspekt ved sykehusplanlegging, og i den anledning dukker det opp spørsmål om man skal investere i et automatisert transportsystem eller ikke. Denne bacheloroppgaven har hatt som hovedfokus å utvikle en regnearkmodell som kan bidra til lettere å vurdere hvorvidt en investering i AGV er lønnsom.	
Stikkord: AGV, forsyningskjede sykehus, regnearkmodellering, intern logistikk, investeringsanalyse	Keywords: AGV, hospital supply chain, spreadsheet modeling, internal logistics, investment analysis

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet våren 2019 i forbindelse med studieprogrammet Bachelor i Logistikingeniør ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim.

Bacheloroppgaven er skrevet i samarbeid med Sykehusbygg HF og har gått ut på å utvikle en generell regnearkmodell for vurdering av AGV-investering i sykehus. Dette har vært både utfordrende og givende for gruppen.

Vi vil takke veileder Tore Lennart Lauritzen ved NTNU for god oppfølging og rådgiving gjennom hele prosjektfasen. Videre sender vi en stor takk til Bjørn Bakken for et veldig godt samarbeid og for muligheten til å skrive en utfordrende og spennende bacheloroppgave for Sykehusbygg HF. Vi har satt stor pris på din raske responstid og faglige innspill til oppgaven vår.

Sammendrag

Norges helsevesen står overfor en periode der pasientpågangen ventes å øke som følge av kortere opphold per sykehusbesøk og stigende forventet levealder. Dette medfører utfordringer for vareforsyningen i sykehusene, som kan forvente at behovet for internt transport vil øke i takt med pasientpågangen.

Denne bacheloroppgaven er skrevet i samarbeid med Sykehusbygg HF som både har rådgivende og prosjektledende roller i nasjonale sykehusprosjekter. Logistikk i sykehus er et viktig aspekt ved sykehusplanlegging, og i den anledning dukker det opp spørsmål om man skal investere i et automatisert transportsystem eller ikke. Denne bacheloroppgaven har hatt som hovedfokus å utvikle en regnearkmodell som kan bidra til lettere å vurdere hvorvidt en investering i AGV er lønnsom.

Det er mange faktorer som skal ligge til grunn for å kunne avgjøre hvorvidt det er lønnsomt å investere i en automatisert transportløsning i et sykehus. Forskjellige sykehus har forskjellige bygningskropper som påvirker transportavstander, etasjer og heisstruktur. Videre vil det også være ulikt varebehov ut fra størrelsen på sykehuset og pasientpågangen.

For å besvare oppgavens problemstilling, samt illustrere hvordan regnearkmodellen fungerer i praksis, er det blitt utarbeidet to casestudier: ett med grunnlag i det nye sykehuset på Nordmøre og Romsdal (SNR) og ett med grunnlag i nye Hammerfest sykehus (NHS). Gjennom casestudiene er det blitt undersøkt hvordan man kan vurdere en eventuell investering i automatisert transportløsning ved å se på hovedsakelig transportbehov og avstander internt i sykehuset.

Resultatene fra regnearkmodellen som er presentert i denne oppgaven indikerer samme vurdering som er tatt i det reelle prosjektet for casestudie 1, mens beregningsmodellen for casestudie 2 indikerer en annen vurdering enn den som er tatt i realiteten. Det er blitt påpekt og diskutert mulige årsaker til dette, hvor mangel på en bestemt kostnadsparameter anses som den viktigste årsaken til avvikende resultat. Videre er det blitt påpekt andre usikkerheter og svakheter ved modellen som må tas i betraktning.

Det er også blitt gjennomført en sensitivitetsanalyse for å studere sammenhenger mellom parametre, og hvordan disse påvirker det totale kostnadsbildet. I denne sammenheng er det gjort interessante funn angående hvor stor påvirkning en endring i transportbehovet har, i forhold til hvor liten påvirkning en endring transportstrekninger har på det totale kostnadsbildet.

Regnearkmodellen som er utviklet i denne bacheloroppgaven gir mulighet for Sykehusbygg HF å gjennomføre en grov vurdering, tidlig i sykehusprosjekter, om det vil lønne seg å investere i en automatisert transportløsning for intern varetransport i sykehus. For at regnearkmodellen skal gi troverdige resultater, er det en forutsetning at aktuelle inndata og parametre som brukes er korrekte og dagsaktuelle.

Abstract

The Norwegian healthcare sector faces an increase in patient volumes with shorter average stay time, combined with an expected increase in life expectancy. These are amongst factors that arise new challenges for the supply of goods in hospitals, which is expected to increase in accordance with the future demand in patient volumes.

This bachelor's thesis is written in collaboration with Sykehusbygg HF, who are responsible for consulting and project management in various national hospital projects. Internal logistics within hospitals are an important aspect of hospital planning, and in this context questions arise as to whether to invest in an automated transport system or not. The main objective of this thesis has been developing a spreadsheet model, designed to simplify the assessment regarding profitability of AGV investment.

There are a multitude of underlying factors, determining whether an investment in autonomous transport solution is profitable. Different hospitals have distinctive building masses, affecting transporting distances, number of floors and elevator structure. There will also be a difference in demanded goods, depending on the sheer size of the hospital and patient volumes.

To help answering the thesis research question, two cases have been selected to shed light on the question at hand. Firstly, the forthcoming hospital Sykehuset Nordmøre og Romsdal(SNR), and secondly the new Hammerfest sykehus(NHS). Through the case studies an examination has been conducted as to evaluate a possible investment in automated transport solution, by mainly focusing on the demanded transport and distances within the hospitals, while illustrating how the spreadsheet model works in practice.

The results deriving from the spreadsheet model presented in this thesis, form the basis for the same assessments made in the real-life case 1, however regarding case 2 the results indicate another assessment than in the real-life project. Various possible causes have been discussed in this particular case, revealing the lack of a particular cost parameter as the most important cause of the deviating result. Furthermore, other uncertainties and weaknesses that have been pointed out in the model that must be taken into consideration.

A sensitivity analysis has also been carried out to study relationships between parameters, and how these affect the overall cost picture. In this context, interesting discoveries have been revealed, such as how much influence a change in demanded transport has, compared to how little impact a change of transport distances has on the total cost picture.

The spreadsheet model developed in this bachelor thesis provides the opportunity for Sykehusbygg HF to conduct a rough assessment, early in hospital projects, on whether it will be profitable to invest in an automated transport solution for internal goods transport in hospitals. For the spreadsheet model to provide credible results, it is a prerequisite that input and parameters used are correct and updated to remain relevant.

Forkortelser og begreper

<i>AGV</i>	Automatic guided veichle
<i>AGVS</i>	Automatic guided veichle systems
<i>HF</i>	Helseforetak
<i>LCC</i>	Life Cycle Cost
<i>NHS</i>	Nye Hammerfest sykehus
<i>RFH</i>	Regionalt helseforetak
<i>SNR</i>	Sykehuset Nordmøre og Romsdal
<i>STOH</i>	St. Olavs hospital
<i>VBA</i>	Visual Basic for Applications
<i>WLAN</i>	Wireless local area network

Innhold

1	Introduksjon	1
1.1	Problemstilling	2
1.2	Norges helsevesen og Sykehusbygg HF	2
1.3	Mål	3
1.4	Oppgavens oppbygging	4
2	Teorigrunnlag	5
2.1	Automated Guided Vehicle (AGV)	5
2.2	Ledelse av forsyningskjeder	8
2.3	Forsyningskjede og logistikk i sykehus	8
2.4	Tidligfaseplanlegging i sykehusprosjekter	12
2.5	Investeringsteori	15
2.6	Vedlikehold og driftssikkerhet	19
2.7	Regnearkmodellering	21
3	Metode	24
3.1	Kvalitativ og kvantitativ metode	24
3.2	Casestudie	25
3.3	Litteratursøk	25
3.4	Møter og samtaler	26
3.5	Excel som modelleringsverktøy	26
3.6	Datainnsamling	26
3.7	Kvalitetssikring	27
3.8	Sensitivitetsanalyse	27
4	Hoveddel - Case og analyse	28
4.1	Kartlegging av dagens situasjon	28
4.2	Beskrivelse av regnearkmodellen	29
4.3	Case 1: Sykehuset Nordmøre og Romsdal	33
4.4	Case 2: Nytt sykehus på Hammerfest	40
5	Resultater	46
5.1	Caseresultat: Sykehuset Nordmøre og Romsdal	46
5.2	Caseresultat: Nye Hammerfest sykehus	48
5.3	Resultater: Sensitivitetsanalyse	50
6	Diskusjon	52
6.1	Risiko for feil ved regnearkmodellering	52
6.2	Usikkerheter ved regnearkmodellen	53
6.3	Gjennomførelse av case-eksempler	55
6.4	Diskusjon av caseresultater	55
6.5	Gjennomførelse av sensitivitetsanalyse	56
6.6	Utfordringer ved den teknologiske utviklingen	58
6.7	Videre arbeid	59
7	Konklusjon	61

Referanser	63
Vedlegg	68
A1 Møteoversikt	68
A2 Regneark «Inndata»	69
A3 Regneark «AGV»	70
A4 Regneark «Automatisert»	71
A5 Regneark «Manuell»	72
A6 Regneark «Differanse»	73
A7 Regneark «Parametre»	74
A8 Regneark «Kost/nytte»	76
A9 Avstandsmåling av AGV-ruter, SNR	77
A10 Avstandsmåling av manuelle ruter, SNR	80
A11 Avstandsberegninger i SNR	81
A12 Avstandsmåling av AGV-ruter, NHS	82
A13 Avstandsmåling av manuelle ruter, NHS	83
A14 Avstandsberegninger i NHS	93
A15 Populærvitenskapelig artikkel	96

Figurer

1.1	Organisering av spesialisthelsetjenesten	2
2.1	Illustrasjonsbilde av AGV (Swisslog, 2019)	5
2.2	Ulike navigasjonssystemer for AGV (Ulrich, 2015)	7
2.3	Inndeling av sykehuslogistikk (Kriegel et al., 2013)	9
2.4	Shuttle Mode (Özkil et al., 2007)	11
2.5	Bus Mode (Özkil et al., 2007)	11
2.6	Taxi Mode (Özkil et al., 2007)	11
2.7	Tidligfasen i et sykehusprosjekt (Sykehusbygg, 2017)	12
2.8	Vurdering av alternativer i konseptfasen (Sykehusbygg, 2017)	14
2.9	Totale livssyklus-kostnader (Bye, 2009)	20
2.10	Sammenhengen mellom inndata, beslutningsvariabel og utdata	21
2.11	7-steps prosess for regnearkmodellering (Winston og Albright, 2015)	21
4.1	Illustrasjonsbilde av sykehuset på Hjelset (Helse-MN, 2017)	33
4.2	Bygningskropp, SNR Hjelset (Måløy og Hemsén, 2017)	33
4.3	Vareterminal, SNR Hjelset (Bakken, 2017a)	34
4.4	Vareterminalens plassering i sykehuset (Måløy og Hemsén, 2017)	34
4.5	Forsyningsmodell for forbruksvarer, SNR Hjelset (Bakken, 2017a).	35
4.6	Forsyningsmodell for legemidler, SNR Hjelset (Bakken, 2017a).	36
4.7	Forsyningsmodell for mat, SNR Hjelset (Bakken, 2017a).	36
4.8	Forsyningsmodell for tøy, SNR Hjelset (Bakken, 2017a).	37
4.9	Returmodell for avfall, SNR Hjelset (Bakken, 2017a).	38
4.10	AGV-strekninger fra vareterminal, bygg 3, etasje 1	39
4.11	Manuelle strekninger i SNR Hjelset, bygg 2, etasje 6	39
4.12	Nye Hammerfest Sykehus, (Finnmarkssykehuset, 2019)	40
4.13	Områdeinndeling av NHS	40
4.14	Vareterminal, NHS	41
4.15	Utklipp av AGV-rutene i U1	44
4.16	Utklipp av manuelle strekninger i E2	45
5.1	Sensitivitetsanalyse SNR	50
5.2	Sensitivitetsanalyse NHS	51

Tabeller

2.1	Portørens arbeidsoppgaver (Utdanningsdirektoratet, 2019)	10
2.2	Eksempel - Nåverdimetoden	17
2.3	Eksempel - Internrentemetoden	18
2.4	Fasene i « <i>Spreadsheet Engineering</i> » (Powell og Baker, 2009)	22
4.1	Struktur på regnearkmodellen	29
4.2	Forsyningskjedene i SNR-prosjektet	34
4.3	Samlet AGV-transportbehov i SNR-prosjektet	38
4.4	Samlet AGV-transportbehov i NHS-prosjektet	44
5.1	Transportetapper SNR - maksimaldag	46
5.2	Avstander SNR	46
5.3	Differanse i personalkostnad SNR	47
5.4	Resultater SNR	47
5.5	Antall transportetapper NHS - maksimaldag	48
5.6	Avstander NHS	48
5.7	Differanse i personalkostnad NHS	48
5.8	Resultater NHS	49

1 Introduksjon

Antall pasienter som behandles på norske sykehus øker stadig (SSB, 2019). Det samme gjelder en økende trend for kortere opphold per sykehusbesøk og økte antall behandlinger og operasjoner på klinikker (OECD, 2014). I tillegg blir den forventede levealderen i Norge stadig høyere i følge befolkningsframskrivingene til SSB (2018a). Alle disse faktorene skaper nye utfordringer for forsyningen av varer i sykehus, og av sykehuskostnadene er mer enn 30% bundet til logistikkaktiviteter (Nachtmann og Pohl, 2009). Dette gjør logistikkostnader til den nest største kostnadskategorien etter personellkostnader i et sykehus (Ross og Jayaraman, 2009).

Historisk sett har ikke håndtering av materiell og logistikk hatt størst prioritering innen helsetjenesten sammenliknet med andre industrier. En mulig grunn for dette er at disse aktivitetene er støttefunksjoner for kjernevirksomheten, som i et sykehus er pasientbehandling (Granlund og Wiktorsson, 2014). I løpet av de siste 20 årene har derimot logistikkstyring blitt identifisert som en nøkkelfaktor for å håndtere kostnader (De Vries, 2011). Dette forklarer det økte fokuset på å automatisere sykehusene, og dets rolle i forbedring av prosesser (Ullrich, 2015). Avgjørelser angående automatiserte løsninger blir derfor stadig viktigere og mer komplekse. Elementære avgjørelser for benyttelse av ulike løsninger i tidlige prosjektfaser har stor innflytelse på aspekter ved økonomi og faktisk drift i et sykehus.

Denne bacheloroppgaven skal undersøke når det lønner seg å investere i automatisert internt transport av varer ved hjelp av AGV i sykehus. Oppgaven skrives i samarbeid med Sykehusbygg HF, som både har rådgivende og prosjektledende roller i nasjonale sykehusprosjekter. En del av dette innebærer å sette opp en plan for løsninger i tidligfasen av sykehusprosjekter. Valg angående flyt av gods, avfallshåndtering og tekniske systemer m.m. blir gjennomført på overordnet plan og avhenger blant annet av sykehusets størrelse og fasong. Viktigheten av disse vurderingene er store, som følge av at de ofte er fundamentet for det resterende prosjektforløpet.

I dag foregår vurderingsprosessen av investering i AGV-er slik at Sykehusbygg HF for hvert enkelt prosjekt må utvikle en regnearkmodell som skal bidra til å vurdere lønnsomheten ved en eventuell investering. Å utvikle velfungerende regnearkmodeller er tidkrevende, og tidligere beregninger Sykehusbygg HF har gjennomført viser at AGV-investering ofte lønner seg i større sykehus. Utfordringen i dag er derimot å avgjøre hvorvidt investeringen er lønnsom ved nye mindre sykehus eller ved utbyggelse av eksisterende sykehus. En regnearkmodell som ikke er knyttet til ett bestemt prosjekt kan i konseptfasen eliminere både tid- og ressursbruk i forbindelse med sykehusprosjekter. Dette betyr at en slik regnearkmodell må være fleksibel og enkel å modifisere for allsidig bruk i flere prosjekter.

1.1 Problemstilling

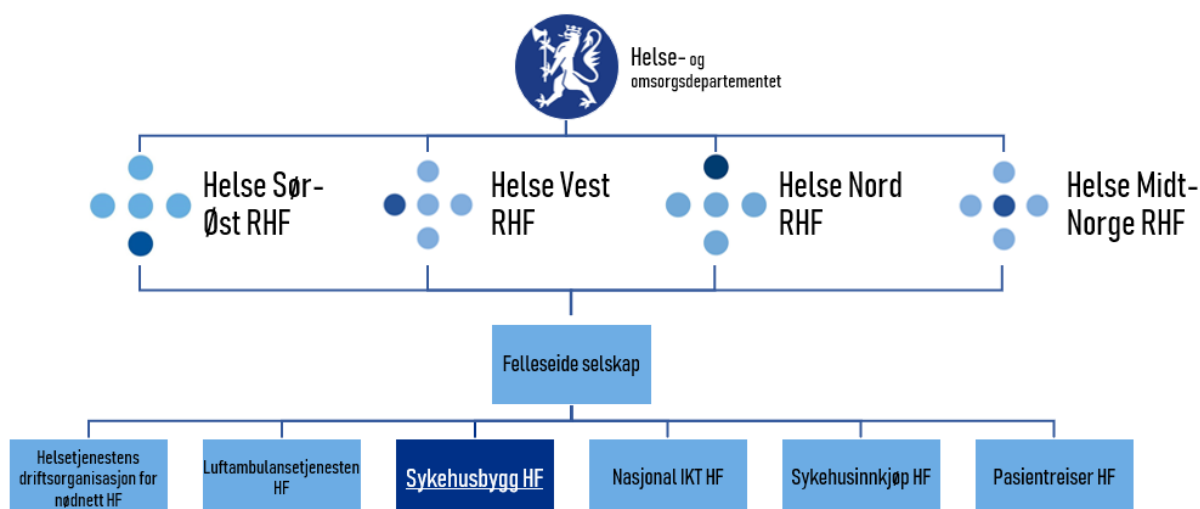
Problemstillingen for denne bacheloroppgaven er som følger:

«Hvor mye intern varetransport, og hvor lange transportstrekninger må det være i et sykehus før det er økonomisk lønnsomt å investere i automatisert vogntransport (AGV)?»

Et sykehus har en omfattende verdikjede i likhet med industrielle bedrifter. En mengde ulike varer kommer inn til sykehuset og skal distribueres innad i sykehuset. Dette prosjektet skal fokusere på hva som lønner seg når det kommer til intern varetransport i et sykehus, som enten kan utføres manuelt av personer, eller automatisert gjennom bruk av AGV-maskiner. Med intern varetransport menes transport av rene klær, skittentøy, mat og medisiner mellom ulike avdelinger i et sykehus. Med andre ord skal bacheloroppgaven undersøke hvor stor mengde av klær, mat og medisiner må transporteres i et sykehus, og hvor store avstander må det være, før det lønner seg å investere i et AGV-system.

1.2 Norges helsevesen og Sykehusbygg HF

Norges helsevesen er delt inn i to tjenester: primærhelsetjenesten og spesialisthelsetjenesten. Primærhelsetjenesten er den delen av helsevesenet som organiseres av kommunene. Dette vil typisk være funksjoner som blant annet fastlege og hjemmesykepleie. Spesialisthelsetjenesten er den delen av helsevesenet som har ansvar for somatiske og psykiatriske sykehus, og er delt inn i fire regionale helseforetak (RHF). De fire regionale helseforetakene i Norge er: Helse Sør-Øst RHF, Helse Vest RHF, Helse Midt-Norge RHF og Helse Nord RHF. Den norske stat eier helseforetakene, hvor helse- og omsorgsdepartementet har ansvar for styring av foretakene. Videre eier de fire regionale helseforetakene ulike støtteselskap og -foretak. I figur 1.1 er det illustrert hvordan helseforetakene er organisert med tilhørende felleseide selskap.



Figur 1.1: Organisering av spesialisthelsetjenesten

Sykehusbygg HF ble stiftet i 2014 og eies av de fire helseregionene i Norge. Hovedformålet med foretaket er at det skal sikre et nasjonalt kompetansemiljø for sykehusplanlegging og -bygging på høyt internasjonalt nivå. Videre er det bestemt at Sykehusbygg HF skal benyttes ved alle større byggprosjekter (over 500 millioner kroner) i sykehus-Norge (Sykehusbygg, 2019). Sykehusbygg HF har ansvar for analyse, systematisering og formidling av kompetanse og erfaringer, samt å tilby rådgivning og byggherrefunksjoner ved gjennomføring av sykehusprosjekter. Dette skal sikre større grad av standardisering av nye sykehus i Norge (Helsedepartementet, 2015). Sykehusbygg HF er del av en rekke prosjekter som enten er under planlegging, under bygging eller som allerede er ferdigstilt. I disse prosjektene har som oftest Sykehusbygg HF hatt en prosjektledende rolle.

1.3 Mål

For å hjelpe prosjektgruppen med å jobbe strukturert og målrettet med bacheloroppgaven, har gruppen utarbeidet ulike resultat- og effektmål for prosjektet som presenteres i dette underkapittelet.

1.3.1 Resultatmål

For å klargjøre hva prosjektet skal oppnå, og for at gruppen skal kunne jobbe effektivt og strukturert, er det satt følgende resultatmål:

- Utvikle en beregningsmodell som kan brukes i flere prosjekter for å vurdere investering av automatisert internvaretransport mot manuell internvaretransport.
- Kartlegge relevante inputparametere og prosesser til beregningsmodellen.

1.3.2 Effektmål

De satte effektmålene skal gi et godt bilde på hvilke virkninger som ønskes oppnådd ved gjennomført prosjekt. Effekten Sykehusbygg HF skal oppnå ved endt prosjekt har blitt konkretisert i følgende punkter:

- Forenkle vurderingsprosessen for Sykehusbygg HF knyttet til internt transport i konseptfasen av et sykehusprosjekt.
- Redusere tidsbruken i konseptfasen knyttet opp mot beslutningsprosessen ved valg av internt transport.
- Verdiskaping for brukeren ved tidligfaseplanlegging.

1.4 Oppgavens oppbygging

Kapittel 1
Introduksjon Dette kapitlet presenterer bakgrunn og hensikt for oppgaven, samt tilhørende problemstilling og mål.

Kapittel 2
Teorigrunnlag Dette kapitlet presenterer et teorigrunnlag som er relevant for problemstillingen og oppgaven. Kapitlet inneholder teori om AGV, sykehuslogistikk, tidligfaseplanlegging i sykehusprosjekter, investeringsteori og regnearkmodellering.

Kapittel 3
Metode Dette kapitlet tar for seg tilnærmingen og ulike metodikker som er tatt i bruk for å underbygge problemstillingen, samt verktøy for kvalitetssikring og dataprosessering.

Kapittel 4
Case og Analyse Dette kapitlet presenterer to ulike caser i form av sykehus. Her benyttes regnearkmodellen for å gjengi resultater for estimert antall AGV, personellkostnader og økonomisk lønnsomhet.

Kapittel 5
Resultater Dette kapitlet presenterer resultatene av de to aktuelle casene, samt tilhørende sensitivitetsanalyser.

Kapittel 6
Diskusjon Dette kapitlet drøfter og diskuterer resultatene fra analysekapitlet, regnearkmodellen, generelle utfordringer ved implementering av AGV og regnearkmodellering. Svakheter og mulige årsaker til feil blir også identifisert.

Kapittel 7
Konklusjon Dette kapitlet sammenfatter besvarelsen av problemstillingen og målsetninger, samt analyseverktøyet som ble produsert.

2 Teorigrunnlag

I dette kapitlet presenteres det et relevant teorigrunnlag for oppgaven og problemstillingen. Kapitlet innledes med en innføring i AGV i 2.1, med tilhørende hovedelementer og kjennetegn ved et AGV-system i 2.1.1, navigasjonssystemer som kan benyttes i et AGV-system i 2.1.2 samt utfordringer ved estimering av antall AGV-er i 2.1.3. Videre i 2.2 blir det forklart hva en forsyningskjede er og hva ledelse av forsyningskjeder innebærer, før det i 2.3 presenteres om forsyningskjeden og logistikk i sykehus, med redegjørelse av hvordan manuell (2.3.1) og automatisert (2.3.2) internttransport av varer i et sykehus foregår. En gjennomgang av «Veileder for tidligfasen i sykehusbyggprosjekter» er gitt i 2.4. Veilederen inneholder en detaljert og strukturert plan for gjennomføring av de tidlige fasene i et sykehusprosjekt. Teorikapitlet avsluttes med investeringsteori i 2.5 og en redegjørelse for begreper og kostnadsfaktorer knyttet til vedlikehold og driftsikkerhet i 2.6, og samt to prinsipper for regnearkmodellering i 2.7.

2.1 Automated Guided Vehicle (AGV)



Figur 2.1: Illustrasjonsbilde av AGV (Swisslog, 2019)

Automated Guided Vehicle (AGV) er et førerløst transportsystem designet for intern og ekstern frakt av gods (Vis, 2006), og ble introdusert så tidlig som i 1955 (Muller, 1983). Det finnes mange forskjellige typer AGV-er i ulike størrelser og modeller ut i fra hva slags oppgave maskinen skal brukes til. Eksempelvis finnes det førerløse gaffeltrucker som har muligheten til å gjøre løft opp til 1,5 tonn (Jungheinrich, 2019), AGV-er som kan taue flere vogner etter seg (JBT, 2019) og AGV-er som kan frakte én og én vogn (Swisslog, 2019). Bruk av AGV-systemer er utbredt, og benyttes i en rekke ulike industrier som for eksempel sykehus, bilindustri og ved produksjon av elektronikk. Blant annet bruker både St. Olavs hospital i Trondheim (Ullrich, 2015), og Europas største havneområde i Rotterdam (Schroër et al., 2014), AGV-systemer i sin daglige drift. De nyeste AGV-ene på markedet er datastyrt kjøretøy som leveres med innebygd programvare og mikroprosessorer. Programvaren muliggjør full styring av alt fra plukk, sporing av produkter, til kartlegging av optimale plukkruiter (LIS, 2019). AGV-ene navigerer ved hjelp av ulike sensorer,

både lasere og magnetiske, mens lokale trådløse datanettverk(WLAN) overfører viktige data mellom AGV-ene og systemet de er tilknyttet (Ullrich, 2015).

2.1.1 Hovedelementer og kjennetegn ved et AGV-system

Vis (2006) beskriver hovedelementene i et AGV-system som selve kjøretøyene, kontrollsystemet, hentepunktene og transportnettverket. Kjøretøyene transporterer gods, kontrollsystemet kontrollerer transporten og er nødvendig for effektive ruter, planer og fordeling av ressurser. Hentestasjonene er fysiske lokasjoner som sammenfatter produksjon og lager med transport, mens transportnettverket er de rutene som kjøretøyene opererer imellom hentestasjoner ved hjelp av kontrollsystemet (Vis, 2006).

Ullrich (2015) identifiserer følgende kjennetegn for drift av AGV-systemer (AGVS):

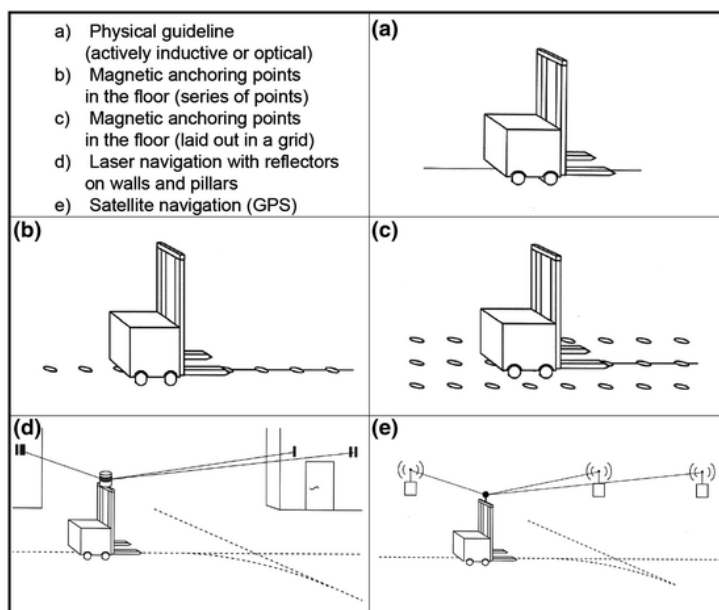
- Automatiserte kjøretøy orienterer sine egne omgivelser, uten direkte kontroll av en operatør.
- Automatiserte kjøretøy garanterer trygghet og sikkerhet, med tanke på personell og omgivelser under transport.
- Automatiserte systemer er selvorganiserte i optimering av transportoppgaver.
- Automatiserte systemer integrerer seg med eksisterende omgivelser og evner å kommunisere med andre systemer ved behov.

2.1.2 Navigasjonssystem

Det finnes flere ulike navigasjonssystemer for AGV-er. Ettersom det kan påvirke investeringskostnadene vil det i dette underkapittelet presenteres grunnleggende teori om ulike navigasjonssystemer for AGV-er. Grovt sett kan systemene deles inn i navigering ved hjelp av fysiske spor, navigering ved hjelp av forankringspunkter i gulvet, lasernavigasjon og GPS-navigering (Ullrich, 2015).

Ved navigering ved hjelp av fysiske spor benytter AGV-en seg enten av elektrisk induksjon, magnetisk induksjon eller optiske kameraer for å navigere. Elektrisk induksjon innebærer at strømbærende ledere bygges inn i gulvet slik at fastmonterte spoler på AGV-en kan utnytte induksjonen. For å navigere ved hjelp av magnetisk induksjon må det monteres en metallstripe langs gulvet. Fastmonterte magnetiske sensorer på AGV-en vil dermed oppdage selve metallstripen og vil kunne følge sporet til metallstripen. Ved bruk av optisk kamera fastmontert på AGV-en, vil AGV-en kunne navigere etter fargelagte striper i gulvet (Ullrich, 2015).

Forankringspunkter i gulvet innebærer også magnetisk teknologi, hvor magnetiske sensorer som drilles ned i gulvet (enten punktvis eller i et nettverk) fungerer som kontrollpunkter for ruten som ligger i datamaskinen til AGV-en. Videre kan en AGV navigere med laser ved hjelp av reflektorer som plasseres på veggene. Slik kan laseren dermed skanne omgivelsene og måle posisjonen til de utplasserte reflektorene. AGV-en vil da sammenligne posisjonen med koordinatene fra den installerte programvaren, og kan deretter kartlegge landemerker som ligger langs ruten. GPS-navigering er stort sett aktuelt for AGV-er som benyttes utendørs (Ullrich, 2015).



Figur 2.2: Ulike navigasjonssystemer for AGV (Ullrich, 2015)

Mulighetene for ulike navigasjonssystemer er mange, og det er både fordeler og ulemper med alternativene. Valg av navigasjonssystem vil ha påvirkning på investeringskostnader, hvordan bygningskroppen utformes, samt vedlikehold- og servicekostnader for AGV-systemet.

2.1.3 utfordringer ved estimering av antall AGV-er

Ved planlegging av et AGV-system forekommer det en rekke ulike utfordringer som må overveies. Le-Anh og De Koster (2006) peker på hovedutfordringene som design av layout, estimering av antall kjøretøy, fordeling av kjøretøy, posisjonering av kjøretøy på taktisk nivå, og ruteplanlegging og hindring av stopp på operasjonelt nivå. Med utgangspunkt i disse utfordringene er det estimering av antall AGV-er som er i fokus i denne oppgaven.

Vis (2006) sier at det minimale antallet AGV-er som er nødvendig i et system må bestemmes i designfasen av systemet. Det er avgjørende med tilstrekkelige kjøretøy for å dekke transportarbeidet og -behovet helhetlig, men av økonomiske hensyn er det også svært viktig at behovet for antall kjøretøy ikke overvurderes. Vis (2006) identifiserer en rekke faktorer som må hensyntas for å avgjøre optimalt antall AGV-er i et AGV-system:

- Antall enheter som skal transporteres
- Ulike tidspunkter enheter er tilgjengelig eller trenger å transporteres
- Kjøretøyets kapasitet
- Kjøretøyets hastighet
- Systemkostnader
- Systemlayout
- Trafikkopphopelse
- Antall hentepunkter

Azevedo (2014) presenterer, gjennom en casebedrift som bidrar med autonome transportløsninger, ulike beregningsmetoder for å bestemme nødvendig antall AGV-er. Slik som Vis (2006) poengterer, er det en rekke faktorer som er avgjørende for beregningen. Azevedo (2014) diskuterer ulike verktøy som brukes i bedriften for å avgjøre antall AGV-er, og konkluderer med at det verktøyet som baserer seg på likning 2.1 er bedre egnet enn de

andre. Formelen for å beregne antall AGV-er som er nødvendig i et AGV-system er som følger:

$$N = \frac{\left(\frac{D_f}{v_f} + \frac{D_b}{v_b} + \frac{h_p+h_d}{v_l} + 30 + t_c\right) * f}{3600} \quad (2.1)$$

hvor:

- N = Antall AGV
- D_f = Avstand fremover retning
- D_b = Avstand bakover retning
- v_f = Hastighet fremover
- v_b = Hastighet bakover
- v_l = Løfthastighet
- h_p = Høyde hentestasjon
- h_d = Høyde avleveringsstasjon
- t_c = Kontrolltid
- f = frekvens

2.2 Ledelse av forsyningskjeder

Det finnes mange forskjellige definisjoner på hva en forsyningskjede er, eller hva ledelse av forsyningskjede innebærer i litteraturen. Christopher (2005) definerer en forsyningskjede som et nettverk av organisasjoner, tilknyttet ved oppstrøms og nedstrømsaktiviteter, gjennom ulike prosesser og aktiviteter hvor verdi produseres i form av varer eller tjenester til en sluttkunde. På den andre siden sier Chopra og Meindl (2016) at en forsyningskjede består av alle involverte stadier, direkte eller indirekte, i å oppfylle en kundeforespørsel. Forsyningskjeden omfatter ikke bare produsenten og leverandørene, men også transportører, varehus, forhandlere og kundene selv.

Videre definerer Stadtler (2015) det bredere ved at en forsyningskjede består av to eller flere separate organisasjoner, tilknyttet gjennom materiell, informasjon og finansiell flyt. Hvor det overordnede fokuset på samtlige ledd i forsyningskjeden blir sett på til å gi økt konkurransevne, som følge av kompleks konkurranse i markedet. Hva gjelder ledelse av forsyningskjeder sier Hugos (2018) at ledelse av forsyningskjeder er koordineringen av produksjon, lager, plassering og transport blant deltakerne i forsyningskjeden for å oppnå den beste blandingen av reaksjonsevne og effektivitet for markedet som eksisterer.

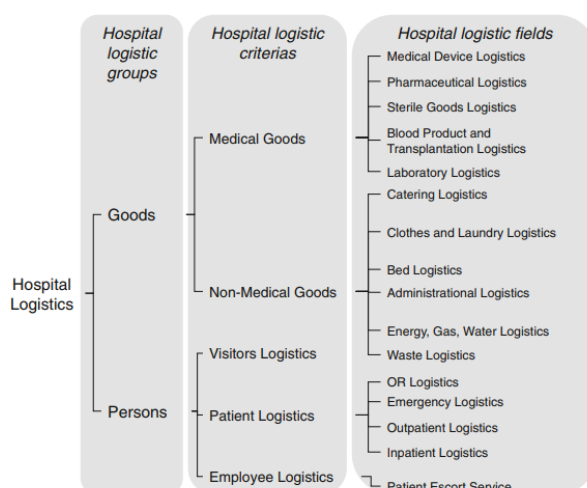
Med grunnlag i sitatene over kan man si at det er forskjellige måter å definere forsyningskjeder på, og spesielt med tanke på hva slags industri det er snakk om, og fra hvilket ståsted man ser det fra. Produksjonsorienterte forsyningskjeder vil ofte bestå av andre prosesser og ledd i forsyningskjeden enn en tjenesteorientert forsyningskjede, som for eksempel en bank, et flyselskap eller et sykehus hvor selve tjenesten er «produktet».

2.3 Forsyningskjede og logistikk i sykehus

Polater et al. (2014) definerer forsyningskjeden i et sykehus som et komplekst system med behov for flyt av varer og tjenester for å tilfredsstille behovene til de som behandler pasientene.

Forsyningskjeden i helsesektoren karakteriseres av sin kompleksitet, med mangfoldige varer som benyttes på ulike institusjoner og som flyter gjennom en rekke ulike distribusjonskanaler. Som konsekvens av dette er en karakteristisk faktor ved et sykehus sin forsyningskjede at det eksisterer to kjeder: en intern og en ekstern. Den interne eksisterer mellom aktørene og vareflyten innad de fysiske begrensningene til sykehuset, mens den eksterne eksisterer mellom sykehuset og et mylder av ulike leverandører (Rivard-Royer et al., 2002).

Landry og Philippe (2004) sier at integrasjonen av den eksterne forsyningskjeden opptar mesteparten av oppmerksomheten, mens den interne forsyningskjeden i et sykehus er et svakt punkt i forsyningsledelsen. Granlund og Wiktorsson (2014) argumenterer for viktigheten av internlogistikk i en bedrift, dets påvirkningskraft på overordnet ytelse og betydningen av kontinuerlig forbedring av internlogistikken for å opprettholde konkurranseevnen. Logistikk-systemer for transport og materialhåndtering beskrives som omfattende og av stor viktighet, til tross for at det er langt fra kjernevirksomheten i organisasjonen (Granlund og Wiktorsson, 2014).



Figur 2.3: Inndeling av sykehuslogistikk (Kriegel et al., 2013)

Kriegel et al. (2013) deler den interne sykehuslogistikken i inn to hovedkomponenter, nemlig gods og personer illustrert i figur 2.3. Her fordeles elementer av ulike karakteristiske kriterier inn i ulike logistikkområder. Gods deles inn i medisinsk og ikke-medisinsk. Medisinsk gods deles opp i ulike logistikkområder som omhandler medisinsk utstyr, legemidler, sterile varer, blodprodukter, transplantasjon og laboratorium. Ikke-medisinsk gods dekker logistikken som omhandler klær, senger, administrasjon, energi, gass og vann, samt avfallshåndtering (Kriegel et al., 2013).

2.3.1 Manuell interntransport av varer i sykehus

I sykehus hvor den interne varetransporten utføres manuelt, er det portørene på sykehuset som utfører denne jobben. Portøren har i tillegg til dette mange andre arbeidsoppgaver (Utdanningsdirektoratet, 2019) som er presentert i tabell 2.1. Arbeidsoppgavene tilknyttet intern varetransport er adskilt.

Fra et logistikkperspektiv kan hovedoppgavene til en portør grovt sett deles inn i pasienttransport og varetransport. For en portør vil pasienttransport ha høyere prioritet enn varetransport fordi

Vanlige arbeidsoppgaver for en portør	
Transportere pasienter på en sikker og omsorgsfull måte	Hjelpe til med å gipse beinbrudd
Ansvar for å frakte døde personer til institusjonens kapell	Bringe pasienter til og fra behandling inne på institusjonen
Hjelpe til ved utagerende og urolige pasienter	Ta imot legehelikopter og transportere pasientene fra landingsplass til akuttmottak
Hjelpe operasjonssykepleiere ved større operasjoner	Hjelpe til med å løfte pasienter som trenger dette
Utføre førstehjelp, betjene hjertestarter og følge rutiner for varsling	Gjøre kontorarbeid og gi oppdrag til andre portører
Behandle medikamenter og medisinteknisk utstyr	Være en del av traumeteamet på akuttmottak

Arbeidsoppgaver for en portør tilknyttet intern transport	
Transportere matvogner, inventar, medisiner, prøver, journaler og annen intern post mellom avdelingen	
Transportere varer fra sykehus til andre klinikker	Transportere prøver og blodprodukter

Tabell 2.1: Portørens arbeidsoppgaver (Utdanningsdirektoratet, 2019)

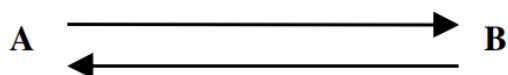
oppdragene deles inn i ulike alvorsgrader: normal-, haste- eller akuttoppdrag (Ascom, 2010; Hesjevoll, 2017). Derfor vil det ved dager med stor pågang og aktivitet på sykehuset kunne resultere i at portøren ikke får utført internt transport av varer i like stor grad.

For å transportere varer manuelt kan portørene enten dytte vogner enkeltvis, eller det kan benyttes et trallesystem hvor det for eksempel kan trekkes tre og tre vogner etter hverandre ved behov. Noen sykehus benytter seg også av jekketraller og elektriske kjøretøy som skal hjelpe til med transportarbeidet (Ullrich, 2015).

2.3.2 Automatisert internt transport av varer i sykehus

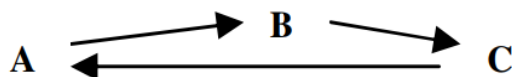
Etter tusenårsskiftet har automatiske transport- og lagerløsninger for varer, og helautomatisk plukk, lagring og transport av medisiner blitt mer og mer populært i helsesektoren (Haaland, 2002). De robotiserte trallene er implementert i forsyningskjedene for å automatisere og effektivisere forsyningslinjene i sykehusene. Et automatisk transportsystem vil gi muligheter for sykehusansatte til å få et økt fokus på sine egentlige arbeidsoppgaver. Et fokusskifte som sikrer at ansatte får muligheten til å fullføre sine planlagte arbeidsoppgaver gjennom dagen, noe som gir en tryggere hverdag både for ansatte og pasienter.

Özkil et al. (2007) sier at systemet for transport av gods innad i et sykehuset kan oppdeles i tre ulike scenarier:



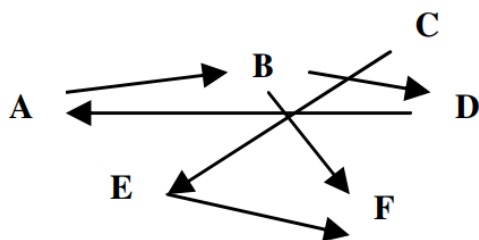
Figur 2.4: Shuttle Mode (Özkil et al., 2007)

Shuttle mode, det mest grunnleggende scenariet som er transport av gods mellom to stasjoner.



Figur 2.5: Bus Mode (Özkil et al., 2007)

Bus mode, en forlengelse av Shuttle-mode som gjør det mulig å dekke flere stasjoner i en definert rute.



Figur 2.6: Taxi Mode (Özkil et al., 2007)

Taxi mode, hvor gods transporteres basert på forespørsler og flere ulike scenarier kan eksistere samtidig.

Videre i forskningsartikkelen beskriver Özkil et al. (2007) at basert på de ulike scenariene kan hele transportsystemet brytes opp i tre komponenter:

1. *Stasjoner*, hvor varene hentes og leveres
2. *Robottraller*, som transporterer varer mellom stasjoner
3. *Containere*, lagringsstasjoner for gods som skal transporteres

Rossetti et al. (1998) utviklet i 1998 en regnearkmodell som skulle underbygge kostnadseffektiviteten ved implementering av et AGV-system i mellomstore sykehus. Etter en grundig analysering kom de frem til at ved å implementere 6 roboter i et laboratorium ved universitetet i Virginia, ble de årlige kostnadene redusert med ca. 56%, og omstillingstiden ble forbedret med 33%.

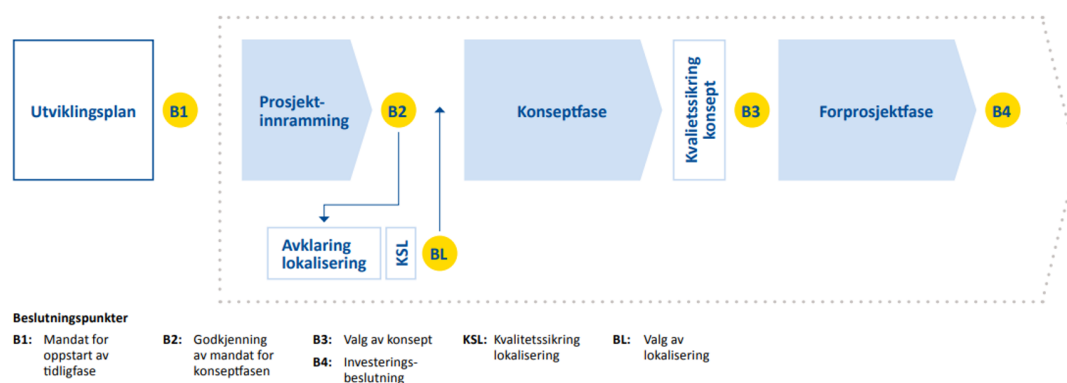
Ved St. Olavs hospital finnes det over 20 AGV-er som har vært i drift i over 10 år, og som frakter i overkant av 1000 traller med varer internt i sykehuset gjennom en uke. Jenssen og Roche-Cerasi (2014) ved SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling Sikkerhet og mobilitet, fremmer i et litteraturstudium at det kun er registrert én ulykke som følge av AGV-maskinene på 13 år hos St. Olavs hospital.

Niechwiadowicz og Khan (2008) utførte undersøkelser hos sykehus som har valgt å implementere et AGV-system i forsyningskjeden sin, og trekker frem seks viktige fordeler:

- Det er kostnadseffektivt
- Roboter blir aldri syke, trenger ikke ferie, og arbeider også i helgene
- Roboter er forutsigbare og gjør ikke menneskelige feil
- Et autonomt system kan fungere 24/7
- Sykehuspersonell kan fokusere på pasienter
- Transportoppgaver kan planlegges og utføres under nattskift

2.4 Tidligfaseplanlegging i sykehusprosjekter

I 2006 utarbeidet helsedirektoratet en veiledning for tidligfaseplanlegging i sykehusprosjekter, som i 2011 ble revidert første gang. Videre ble det våren 2016 vedtatt at den skulle revideres nok en gang, og i løpet av høsten 2017 publiserte Sykehusbygg HF «*Veileder for tidligfasen i sykehusbyggprosjekter*». Veiledningen inneholder en detaljert og strukturert plan for de tidlige fasene i et sykehusprosjekt. Tidligfasen er en fellesbetegnelse på de fasene som et behov (definert i en utviklingsplan) må gjennom for å bli utviklet til et byggeprosjekt. Veiledningen tar også for seg anbefalinger rundt planprosessen for investeringsprosjekter i helseforetakene (Sykehusbygg, 2017). Formålet er å bidra til at det riktige prosjektet velges i tråd med helseforetakets strategi, i tillegg til å danne et godt fundament for detaljprosjektering og bygging i oppstartsfasen. Overordnet mål er å ende opp med god og fremtidsrettet pasientbehandling. Veilederen har også som formål "å ha positiv effekt på tidsbruk, kvalitet og kostnader i tidligfasen for hvert enkelt prosjekt".



Figur 2.7: Tidligfasen i et sykehusprosjekt (Sykehusbygg, 2017)

Rolstadås et al. (2014) definerer en prosjektfase som en tidsavgrenset periode av et prosjekt, hvor prosjektet kan deles opp i flere ulike prosjektaktiviteter. Sykehusbygg (2017) har utarbeidet figur 2.7 som illustrerer faser og beslutningspunkter fra nasjonale og regionale føringer til investeringsbeslutning. Tidligfasen er markert innenfor stiplede linje, mens beslutningspunktene er markert som gule sirkler. Videre i dette underkapittelet (2.4) vil det presenteres hovedelementer fra «*Veileder for tidligfasen i sykehusbyggprosjekter*» ettersom det er i dette stadiet en AGV-investering bestemmes. En investering i et AGV-system henger således sammen med andre bygningsmessige løsninger som også må bestemmes i denne fasen.

2.4.1 Prosjektinnramming

Som beskrevet i innledningen til 2.4 illustrerer figur 2.7 ulike beslutningspunkter som skal besluttes i løpet av tidligfaseplanleggingen. Beslutningspunkt B1 omhandler godkjenning av oppstarten til tidligfasen, en godkjenning rundt kvalitetssikring og styregodkjenning av utviklingsplanen. Når beslutningspunkt B1 er besluttet kan man gå videre til arbeidet med å ramme inn prosjektet.

Prosjektinnrammingens formål er å utarbeide prosjektets styringsdokument, samt bestemme mandatet for konseptfasen. Styringsdokumentet skal på overordnet nivå beskrive hvordan tidligfasen skal gjennomføres, og skal bare omfatte tiltak forankret i utviklingsplanen. Dette

betyr at de skal være relevante, gjennomførbare og levedyktige. Videre er avklaring av en rekke spørsmål en sentral del av prosjektinnrammingen:

- *Er prosjektet en del av et prosjektprogram, slik at avhengigheter til andre prosjekter må tas hensyn til?*
- *Hvilke økonomiske rammebetingelser foreligger?*
- *Er tiltaket innarbeidet i investeringsplaner med rammer og foreligger måltall for bærekraftanalyser?*
- *Innebærer tiltaket valg av lokalisering og/eller tomt for sykehusbygg, og er dette ivaretatt i planprosess, medvirkningsprosess og beslutningsprosess?*

Et annet viktig aspekt ved prosjektinnrammingen er utarbeidelse av evalueringskriterier for vurderingene av alternativer i konseptfasen. Eksempler på evalueringskriterier (Sykehusbygg, 2017):

- *Måloppnåelse*
- *Økonomisk bæreevne og finansielt handlingsrom.*
- *Effektiv drift, driftsøkonomiske gevinster.*
- *Bærekraft i form av ytre miljø, energibehov, CO₂-utslipp*
- *Pasientsikkerhet og arbeidsmiljø*

For å kunne gå videre til neste fase, konseptfasen, må beslutningspunktet B2 besluttes. Her skal prosjekteier, i tråd med det regionale helseforetakets fullmaktsstruktur, godkjenne den gjennomførte prosjektinnrammingen (Sykehusbygg, 2017):

- *Mandatet for oppstart av konseptfase*
- *Prosjektstrategi i form av et styringsdokument*
- *Kriterier for alternativvurdering*

Beslutningen, og hvilke grunnlag den ble tatt på, skal dokumenteres i styringsdokumentet. Om prosjektet fremlegger definerte beslutningsgrunnlag for hvert beslutningspunkt vil det gi prosjekteier et godt grunnlag til å ta en god og riktig beslutning.

2.4.2 Konseptfasen

Ferdigstilling og godkjenning av prosjektinnrammingen baner vei for konseptfasen. Denne fasen bygger på den utarbeidede utviklingsplanen, mandatet for konseptfasen og styringsdokumentet for tidligfasen. Hovedmålet med fasen er å utarbeide et beslutningsgrunnlag som sikrer at man velger det alternativet som best oppfyller kravene. Figur 2.8 illustrerer hvordan alternativer likebehandles i steg 1 før anbefalt alternativ utdypes og konseptet etterhvert velges.

Som beskrevet i 2.4.1 vil prosjektinnrammingen utarbeide evalueringskriteriene som skal ligge til grunn for vurderingene av alternativene i konseptfasen. I konseptfasen utredes det videre for ulike alternativer, og disse dokumenteres gjennomgående for sammenligning seg imellom. Etter endt vurdering og rangering av alternativene skal det mest optimale alternativet gjenstå.



Figur 2.8: Vurdering av alternativer i konseptfasen (Sykehusbygg, 2017)

Etter at beslutningsprosessen er gjennomført, beslutningspunkt B3 er godkjent og det endelige alternativet er valgt, avsluttes fasen med utarbeidelse av en konseptrapport. Konseptrapporten består av en beskrivelse av løsningsalternativene, evaluering av alternativene og valg av anbefalt alternativ.

2.4.3 Forprosjektfasen

Forprosjektet starter når konseptfasen er ferdig, og fasen bygger på godkjent mandat for forprosjektfasen, samt konseptrapporten. Formålet med forprosjektfasen er å bearbeide og detaljere konseptet til et nivå slik at endelig beslutning om iverksettelse kan tas på et riktig grunnlag. Dette innebærer at hovedprogram, løsninger, kostnads- og usikkerhetskalkyler detaljeres og kvalitetssikres.

Forprosjekt bidrar med en rekke leveranser som sammenfattes i en endelig forprosjektrapport som skal inneholde:

- *Romfunksjonsprogram (RFP)*
 - Detaljert programdokument som beskriver hvilke funksjoner som utføres i det enkelte rommet, og hvilke krav dette stiller til rommet, inklusiv teknisk infrastruktur.
- *Brutto utstyringsprogram (BUP)*
 - Det samlede utstyringsbehovet i prosjektet definert på grunnlag av funksjoner og kapasitet/aktivitetsnivå.
- *Netto utstyringsprogram (NUP)*
 - Det (bruker)utstyret som prioriteres for nyanskaffelse når verdien av utstyr som kan gjenbrukes er trukket fra. NUP gir grunnlag for utstyringsbudsjettet.
- *Overordnet IKT-program*

- *Mandat for neste fase*
- *Kostnadskalkyle med tilhørende usikkerhetsanalyser*
- *Plan for gjennomføring fram til ferdigstilling, overlevering og idriftsetting av bygget*

Som siste fase i veilederen for tidligplanlegging danner forprosjektrapporten, sammen med konseptrapporten, grunnlag for beslutninger og gjennomføring av investering i investeringsprosjektet. Beslutning B4 er i tillegg normalt det siste tidspunktet prosjektet kan avlyses.

2.5 Investeringsteori

I dette kapitlet presenteres det ulike investeringsmetoder som kan benyttes til vurdering av lønnsomhet i et prosjekt. Begreper som investeringsutgift og kontantstrøm redegjøres for, samt nåverdimetoden, internrentemetoden og tilbakebetalingsmetoden.

2.5.1 Investeringsutgift

Investeringsutgiften er den nødvendige utgiften man må ut med for å kunne gjennomføre en investering. Et viktig aspekt er at investeringsutgiften ikke bare er prisen på selve investeringsobjektet, men at utgiften kan bestå av mange ledd. Eksempelvis monteringskostnader, opplæringskostnader, igangsettingskostnader og innkjøringskostnader (Banken og Nyhuus, 2007).

2.5.2 Vurdering av investeringskalkyle

Banken og Nyhuus (2007) beskriver at i en investeringskalkyle må det tas hensyn til inn- og utbetalinger som forekommer i følge av en investering. Banken og Nyhuus (2007) fremmer følgende faktorer som vil bli gjenstand for vurdering av en investeringskalkyle:

- *Investeringsutgiften*
- *Levetid*
- *Utrangeringsverdi*
- *Investering i omløpsmidler*
- *Årlige innbetalingsoverskudd*
- *Kalkulasjonsrenten*

Banken og Nyhuus (2007) sier at det er viktig at det ikke tas hensyn til avskrivninger og andre kalkulatoriske poster ved denne type investeringskalkyler, dette grunnet at slike poster ikke er gjenstand for utbetalinger eller innbetalinger. Hele poenget med en investeringskalkyle er å kunne vise lønnsomheten av en investering (Banken og Nyhuus, 2007).

2.5.3 Kontantstrøm

Bredesen (2015) beskriver kontantstrømmen som en oversikt over de inn- og utbetalinger som finner sted i løpet av investeringsens levetid. Årlige innbetalinger er de innbetalingene som er et resultat av selve investeringen som er gjennomført. Eksempelvis hvis en bedrift investerer i en maskin som gjør at de sparer utbetalinger til lønninger, må den reduserte lønnsutbetalingen vurderes som innbetaling (Banken og Nyhuus, 2007). Banken og Nyhuus (2007) forklarer årlige utbetalinger som alle utbetalinger som direkte eller indirekte skyldes investeringen. Dette kan eksempelvis være utgifter knyttet til drift og vedlikehold. Som en faktor i en investeringskalkyle, kalles forskjellen mellom innbetalinger og utbetalinger for *årlig innbetalingsoverskudd* (Banken og Nyhuus, 2007).

Ved utarbeidelse av en oversiktlig fremstilling av kontantstrømmene er det vanlig å starte i år 0 som en markering av første investeringsår, en markering med benevnelse *investeringstidspunktet* (Banken og Nyhuus, 2007). Videre i fremstillingen er det vanlig å forutsette at alle innbetalinger og utbetalinger som forekommer i løpet av et år summeres ved slutten av året (Banken og Nyhuus, 2007).

2.5.4 Nåverdimetoden

Nåverdimetoden er en type lønnsomhetsanalyse som brukes til å beregne om investeringen er lønnsom eller ikke. Som vist i ligning 2.2, deles summen av kontantstrømmene på diskonteringsrenten, og deretter trekkes investeringsbeløpet fra i år null. Diskonteringsrenten kalles også et risikojustert avkastningskrav, som er den laveste aksepterbare avkastningen for at investeringen skal lønne seg (Banken og Nyhuus, 2007).

$$NV = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{(1+r)^i} - C_0 \quad (2.2)$$

hvor:

- C_i = Innbetalingsoverskuddet i år i
- C_0 = Investeringskostnad
- r = Diskonteringsrente
- NV = Nåverdi
- n = Levetid

Ut ifra beregnet nåverdi blir det fremstilt om investeringen lønner seg eller ikke. En positiv nåverdi gir en indikasjon på at gjennomføring av prosjektet er lønnsomt, og ved en negativ nåverdi bør ikke prosjektet gjennomføres (Banken og Nyhuus, 2007).

$$\begin{aligned} \text{Netto nåverdi} > 0 &= \text{Lønnsom} \\ \text{Netto nåverdi} < 0 &= \text{Ulønnsom} \end{aligned}$$

Eksempel:

Et selskap vurderer å investere 100.000 kroner i et prosjekt, med gitt levetid på tre år. Man ser for seg et utbytte fra prosjektet på 40.000, 55.000 og 80.000, for henholdsvis år 1,2 og 3. Diskonteringsrenten er satt til 10 prosent. Lønner investeringen seg for selskapet?

Avkastningskrav	10%	
År	Investering	Nåverdi
0	- kr 100 000	- kr 100 000
1	kr 40 000	kr 36 364
2	kr 55 000	kr 45 454
3	kr 80 000	kr 60 105
Netto nåverdi	Kr 41 923	

Tabell 2.2: Eksempel - Nåverdimetoden

I tabell 2.2 er det utført en lønnsomhetsanalyse. Analysen resulterer i en positiv netto nåverdi, som indikerer at investeringen er lønnsom. Netto nåverdi er nesten det samme som nåverdi, men ved netto nåverdi trekkes i tillegg investeringsutgiften C_0 fra, vist i ligning 2.2.

2.5.5 Internrentemetoden

Som beskrevet i 2.5.4 uttrykker den satte renten hva man krever i avkastning for at investeringen skal anses som lønnsom (Banken og Nyhuus, 2007). Internrenten er altså den diskonteringsrenten som gir prosjektet null i nåverdi (Banken og Nyhuus, 2007). Selve internrenten kan brukes som et supplement til en kost/nytte-analyse, da for å kunne beregne hvor mye det er å *gå på*, hvor stor sikkerhetsmargin det er, i forhold til den satte kalkulasjonsrenten (Banken og Nyhuus, 2007). Det kan sies at prosjektet er lønnsomt dersom internrenten er større enn avkastningskravet (Bøhren og Gjørnum, 2015).

Formel:

$$CF_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + irr)^t} \quad (2.3)$$

hvor:

- CF_0 = Investeringsutgiften i år 0
- CF_t = Prosjektets kontantstrøm på tidspunkt t
- irr = Internrenten
- n = Totalt antall perioder
- i = Avkastningskravet

Banken og Nyhuus (2007) sier at en nøyaktig beregning av internrenten er ganske komplisert, da beregningen ikke kan løses direkte ved en formel. Det må prøves frem gjennom interpolering, men med dagens muligheter for regnearkmodellering med Excel, ERP-systemer osv., er prosessen betraktelig enklere.

Eksempel på internrentemetoden:

Prosjektet har en investeringsutgift på 200 kr, og årlig kontantstrøm på 120 kr i 2 år. Hvilken rente gir investeringen en nåverdi = 0?

År	0	1	2
Kontantstrøm	kr -200	kr 120	kr 120

Avkastningskrav	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%
Nåverdi (kr)	20.01	13.99	8.26	2.81	-2.40	-7.37	-12.12	-16.67

Tabell 2.3: Eksempel - Internrentemetoden

Ut fra beregninger i tabell 2.3 illustreres det at nåverdien går fra positiv til negativ mellom 12% og 14%. Internrenten er da ca. 13%.

2.5.6 Tilbakebetalingsmetoden (Pay-back-metoden)

Banken og Nyhuus (2007) beskriver tilbakebetalingsmetoden som en meget enkel investeringsmetode. Hovedformålet med tilbakebetalingsmetoden er å kunne muliggjøre beregning for tiden det tar før investeringsbeløpet er inntjent. Ved bruk av denne metoden kreves det at bedriften setter en maksimal tilbakebetalingstid, et anslag basert på den økonomiske levetiden for investeringen (Banken og Nyhuus, 2007). En indikasjon på om investeringen er lønnsom eller ikke, anslås ut fra følgende kriterier:

Tilbakebetalingstid < Økonomisk levetid → Investeringen er lønnsom

Tilbakebetalingstid > Økonomisk levetid → Investeringen er ikke lønnsom

Fordelen med «Pay-back-metoden» er at det stilles et enkelt spørsmål: «Hvor lang tid tar det før jeg har fått tilbake investeringsutgiften min?», og at det kreves minimalt med utregning i forhold til andre type investeringsmetoder. Banken og Nyhuus (2007) fremmer at metoden brukes mye i praksis, dette grunnet at den er enkel å ta i bruk ved investeringsprosjekter, men gjør også brukeren oppmerksom på at det finnes flere svakheter med metoden:

- *Metoden tar ikke hensyn til renten.*
- *Metoden sier intet om hva som skjer etter at vi er ferdig med tilbakebetalingstiden.*

Formel:

$$Tilbakebetalingstid = \frac{Investeringsbeløp}{Kontantstrøm} \quad (2.4)$$

Investeringsbeløpet deles på forventet årlig kontantstrøm, der kontantstrømmen er forskjellen mellom inn- og utbetalinger for bedriften over en gitt regnskapsperiode (Bredesen, 2015).

2.6 Vedlikehold og driftssikkerhet

SINTEF (2019) definerer *vedlikehold* som aktiviteter som gjennomføres for å kunne opprettholde eller gjenvinne et systems funksjonsegenskaper. For å opprettholde tilgjengelighet og pålitelighet kreves det en strukturert vedlikeholdsstrategi. *Vedlikeholdskostnader* er utgifter knyttet opp mot aktiviteter som sikrer pålitelighet og tilgjengelighet. Økt pålitelighet reduserer sannsynligheten for at systemet/utstyret feiler, mens med tilgjengelighet er det snakk om hvor lang oppetid systemet har (Pålitelighet.no, 2019). Ved innføring av et AGV-system vil det påløpe vedlikeholdskostnader for å opprettholde maskinens funksjoner, og det vil derfor være en faktor som må hensyntas ved beregning av lønnsomheten ved en eventuell implementering av et AGV-system.

2.6.1 Teknisk levetid

Levetiden til en komponent defineres ut fra den tiden det tar før komponenten ikke lenger tilfredsstiller minimumskravene (Multiconsult, 2009). Bye (2009) sier at levetiden for en komponent først og fremst avhenger av den «innebygde» påliteligheten. Videre beskriver Bye (2009) at like enheter vil kunne bli utsatt for påkjenninger mer eller mindre forutsigbare under bruk, og mener derfor at levetiden til en komponent avhenger av «tilfeldighetens spill». Levetiden kan heller ikke defineres basert på kalendertid, men heller som en funksjon av bruken (Bye, 2009):

- *Starter for en startmotor i en bil*
- *Kjørte kilometer for en bil*
- *Rotasjoner for et lager*
- *Arbeidssykluser for en periodisk arbeidende enhet*

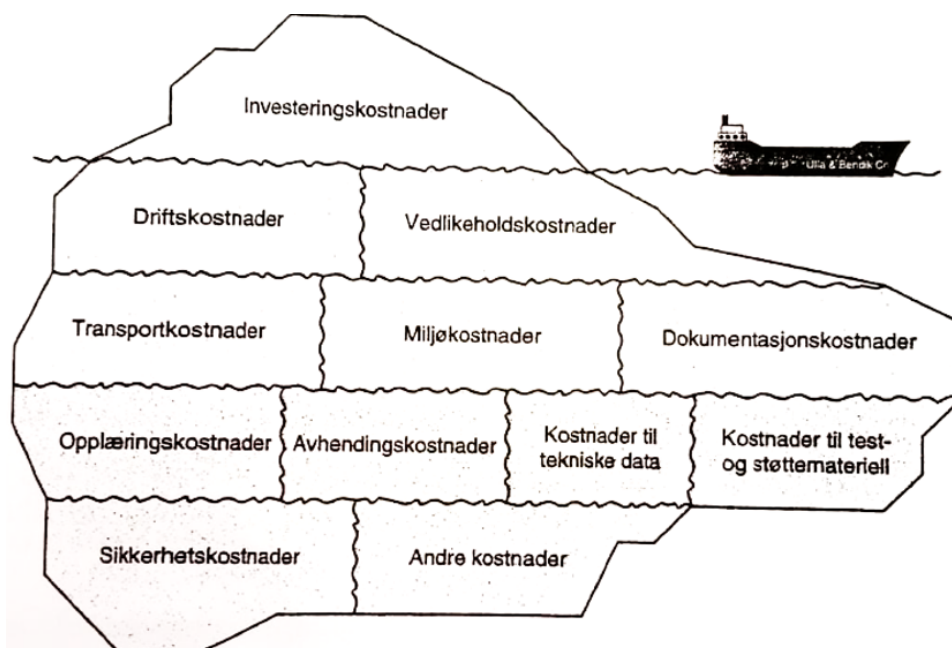
2.6.2 Økonomisk levetid

SSB (2014) beskriver den økonomiske levetiden som den forventede tiden hvor det er mest lønnsomt for bedriften å bruke maskinen/utstyret man har investert i, før det må skiftes ut. Forskjellen mellom den økonomiske levetiden og den tekniske mulige levetiden (beskrevet i kapittel 2.6.1) er at den økonomiske levetiden ofte vil være betydelig kortere. Dette grunnet hvordan den teknologiske utviklingen påvirker dagens marked, og derfor muligens gjøre det mer økonomisk gunstig å investere i nytt utstyr (SSB, 2014). Et godt eksempel på dette kan være en bil. Man setter gjerne den økonomiske levetiden til en bil til 10 år, uansett om bilen teknisk sett kan fungere lenger (SSB, 2014).

2.6.3 Livssykluskostnader

Bye (2009) beskriver livssykluskostnader (LCC) som et estimat over de totale kostnadene som påløper gjennom et system/produkts definerte levetid. En livsløpsanalyse er en type analyse hvor kjøperen tvinges til å se på kostnadene i hele den planlagte levetiden, og ikke bare investeringskostnadene (Bye, 2009). Videre fremmer Bye (2009) i sitt kompendium at denne

type analyse er utbredt i fly-, forsvars- og offshoreindustri, hvor analysemetoden har ført til betydelig kostnadsreduksjon. Eksempelvis kostnader knyttet opp mot utbygging og vedlikehold.



Figur 2.9: Totale livssyklus kostnader (Bye, 2009)

I følge Bye (2009) utgjør følgende kostnadselementer stor betydning ved evaluering av livssyklus kostnader:

- *Kapitalkostnader* - Investeringskostnader, monteringskostnader, opplæringskostnader
- *Driftskostnader* - Personalkostnader, energikostnader, etc.
- *Vedlikeholdskostnader* - Kostnader i forbindelse med ulike typer vedlikehold, transport, oppgraderinger etc.
- *Stoppkostnader* - Tap grunnet nedetid som skyldes vedlikehold.

Bye (2009) uttrykker LCC basert på kostnadene som påløper i løpet av levetiden slik:

$$LCC = \text{Kapitalkostnader} + \text{Driftskostnader} + \text{Vedlikeholdskostnader} + \text{Stoppkostnader}$$

For at kostnadsevalueringer skal være relevante, sier Bye (2009) at kostnadene må beregnes i nåverditermer, da LCC vurderer kostnadene over tid. Generell formel for nåverdiberegning er vist i kapittel 2.5.4.

Det finnes mange grunner til gjennomføring av en LCC-analyse. Bye (2009) trekker frem motiver som:

- *Kunden får et økonomisk grunnlag som kan utnyttes ved langsiktig planlegging og budsjettering, ettersom utstyrs kostnader for hele levetiden blir vurdert.*
- *Både kunde og leverandør får mulighet til å se helheten og på denne måte kunne oppdage samt forebygge problemer på et tidlig tidspunkt eller gå for alternative løsninger.*
- *De som benytter utstyret blir mer involvert i prosjektarbeidet og dette gir både et bedre beslutningsgrunnlag og en øket motivasjon.*

2.7 Regnearkmodellering

For å svare på problemstillingen til denne bacheloroppgaven skal det utvikles en generell beregningsmodell i Excel som kan brukes i flere ulike prosjekter der det skal vurderes å investere i et AGV-system. I dette underkapittelet presenteres det to prosesser fra litteraturen som skal bidra til å sikre kvalitet i utviklingen av regnearkmodellen.

Hensikten med en *modell* er å gi et forenklet bilde av virkeligheten. Modeller forsøker å fange trekk ved kompliserte situasjoner slik at de kan studeres nøyere. En modell kan fremstilles fysisk, ved hjelp av ord, eller ved hjelp av matematikk. En *matematisk modell* er en modell som benytter matematiske formler og uttrykk for å analysere og/eller forklare et problem. En *regnearkmodell* er en matematisk modell som presenterer kvantitative data i et regneark ved hjelp av rader og kolonner med tekst og numeriske data. Regnearkmodeller fremstilles som oftest ved hjelp av en dataprogramvare som for eksempel Excel, VisiCalc eller SuperCalc.



Figur 2.10: Sammenhengen mellom inndata, beslutningsvariabel og utdata

En regnearkmodell består gjerne av inndata, beslutningsvariabler og utdata. Inndata er faste numeriske verdier, beslutningsvariabler er ukjente verdier som må bestemmes og utdata er resultatverdiene som avgjøres av inndata og beslutningsvariablene (Winston og Albright, 2015)

2.7.1 7-steps prosess for regnearkmodellering

Winston og Albright (2015) presenterer en 7-steps prosess for regnearkmodellering, vist i figur 2.11, som peker på viktige prosesser og faktorer som må tas hensyn til ved utvikling av en regnearkmodell i en organisasjon. Steg 1 er å definere problemet som organisasjonen har, samt hva som er organisasjonens mål. I steg 2 foregår datainnsamlingen, som ofte er det steget i prosessen som tar lengst tid. Dataene legger grunnlaget for parameterverdiene som brukes i modellen, og utfordringen ligger ofte i å samle de nødvendige og riktige dataene, samt det faktum at dataene kan være i et annet format enn det som kan brukes i en regnearkmodell.



Figur 2.11: 7-steps prosess for regnearkmodellering (Winston og Albright, 2015)

I steg 3 utvikles det en modell for problemet. Her er det viktig å definere riktige parametre og ta hensyn til eventuelle begrensninger eller usikkerhet knyttet til situasjonen. En avsluttende utfordring i dette steget er å finne den rette balansen mellom en *for* avansert modell og *for* enkel modell. Steg 4 omhandler modellverifisering, hvor en kan bruke eksisterende reell data

(der utfallet allerede er kjent) for å teste om modellen gir riktig resultat. I steg 5 brukes modellen til å analysere ulike utfall av forskjellige beslutninger før man i steg 6 presenterer modellen til ledelsen. Her er det viktig å presentere modellen slik at utenforstående skjønner hvordan modellen fungerer og hva den gjør. Prosessen avsluttes med steg 7, hvor det eventuelt bestemmes om implementering av modellen i organisasjonen/bedriften skal gjennomføres. For at implementeringen skal bli en suksess er oppfølging avgjørende, i tillegg til gjennomføring av opplæring for brukeren av modellen.

2.7.2 Spreadsheet Engineering

En annen prosess for regnearkmodellering presenteres av Powell og Baker (2009) og defineres som «*Spreadsheet Engineering*» med tre faser (design, konstruksjon og testing). Fasene og prinsippene er utviklet for å skape en feilfri prosess ved utvikling av regnearkmodeller. Hovedprinsippene i de tre fasene er vist i tabell 2.4.

Fase 1 - Design	Fase 2 - Konstruksjon	Fase 3 - Testing
1. Skissér regnearket	1. Følg en plan	1. Kontroller at numeriske resultater er plausible
2. Organiser regnearket i moduler	2. Bygg én modul om gangen	2. Kontroller at formler er korrekte
3. Isoler (input) parametere	3. Forutse utfallet av hver formel	3. Test at hele modellen gir plausible resultater
4. Begynn i det små	4. Klipp og lim formler med omhu	
5. Design med tanke på sluttbrukeren	5. Bruk relative og absolutte adresser for å simplificere kopiering	
6. Hold det enkelt	6. Bruk funksjonsveiviseren for å sikre korrekt syntaks	
7. Design en forståelig modell	7. Bruk «range names» for lettere å lese lange formler	
8. Dokumenter viktige data og formler		

Tabell 2.4: Fasene i «*Spreadsheet Engineering*» (Powell og Baker, 2009)

Fase 1 - Design

Skissering av regnearket kan hjelpe konstruktøren(e) å visualisere regnearkmodellen som skal utvikles. Ved å benytte moduler i regnearkmodellen kan man gruppere og separere ulike elementer i regnearkmodellen. For eksempel ved forskjellige moduler for parametre, beslutningsvariabler, inndata, utdata og beregninger, noe som vil gjøre regnearkmodellen mer oversiktlig. Her er det fordelaktig å separere/isolere parametrene fra de andre modulene, slik at det er enklere å benytte seg av cellereferering i formlene.

I designfasen er det viktig å begynne i det små, og fokusere på én modul om gangen eller én del av regnearkmodellen om gangen. Slik sikrer man at den aktuelle delen er korrekt og feilfri før de videre fasene. Dessuten er det også viktig å holde regnearkmodellen enkel, da dette vil spare tid på sikt med tanke på feilsøking og navigering. Dette henger også sammen med at regnearkmodellen må designes forståelig og med tanke på fremtidige sluttbrukere av modellen. Til slutt kan man dra nytte av å dokumentere viktige data og formler. Dette med tanke på videre utvikling av modellen, feilsøking og/eller utvikling av en tilpasset versjon av regnearkmodellen.

Fase 2 - Konstruksjon

En regnearkmodell med godt design skal være enkel og rask å konstruere. En vanlig feil er å slå sammen designfasen og konstruksjonsfasen, som ofte resulterer i sløsing av tid på redesign av regnearkmodellen. Videre er det i konstruksjonsfasen de fleste feilene oppdages eller innføres i modellen, og det er derfor viktig å følge en strukturert plan i henhold til skissen fra designfasen. Også her er det viktig å ta ett steg om gangen slik at man lettere kan avdekke eventuelle feil underveis. Ved å forutse utfallet av en beregning før man taster inn formelen, kan man raskere avdekke om resultatet er feil eller riktig.

Benytter man seg av «klipp og lim»-funksjonen kan man spare tid, samtidig som man kan unngå feil. Allikevel er det viktig å være oppmerksom ved kopiering og liming av formler slik at definisjonsområdet for formelen blir riktig. En nyttig Excel-funksjon i forbindelse med dette er relative og absolutte referanser, som ved korrekt bruk sørger for at referering til celler blir riktig. Videre kan man, for å unngå feil, benytte seg av funksjonsveiviseren i Excel som forklarer den aktuelle formelen mer i detalj hvis man ikke har kjennskap til hvordan formelen skal brukes. Til slutt kan celle- og områdenavn defineres i Excel som gjør det lettere å lese og forstå lengre formler.

Fase 3 - Testing

I testfasen kontrollerer man at regnearkmodellen gir riktige resultat. Ved hjelp av kalkulator, grove estimater og testing av ekstreme tilfeller kan man kontrollere om de numeriske verdiene er plausible. Videre bør man kontrollere at formlene som benyttes er korrekte og gir riktige verdier. Dette kan gjøres visuelt ved å benytte Excel-funksjoner som viser alle cellereferanser og formler i regnearkmodellen, eller ved å benytte innebygde verktøy i Excel som evaluerer formler og hjelper brukeren med feilsøk.

3 Metode

Kapittelet presenterer hvilke fremgangsmåter og metoder som prosjektgruppen har tatt i bruk for å nå målsetningene i prosjektet. Kvalitativ og kvantitativ metode presenteres i 3.1, før casestudie som metode beskrives i 3.2. Det er blitt gjennomført litteratursøk i prosjektet, som presenteres i 3.3, etterfulgt av møter og samtale i 3.4. Excel har vært en sentral del av oppgaven, og i 3.5 omtales Excel som modelleringsverktøy. Videre presenteres det hvordan gruppen har samlet inn data, samt hvordan gruppen har gått frem for å kvalitetssikre både data, regnearkmodellen og selve oppgaven i henholdsvis 3.6 og 3.7. Kapittelet avsluttes med en innføring i sensitivitetsanalyse i 3.8.

3.1 Kvalitativ og kvantitativ metode

Kvalitativ og kvantitativ metode er to ulike samfunnsvitenskapelige metoder som kan tas i bruk i forskningsprosjekter. Forskjellen defineres primært ut fra karakteren av dataene metoden produserer. Innhenting av tall, målinger og kalkulasjoner som kan telles eller statistisk beregnes er eksempler på kvantitative data (Harboe, 2006). Videre sier Harboe (2006) at hvis metoden ikke umiddelbart produserer kvantitative tall, er det ikke en kvantitativ metode, men en kvalitativ metode. Eksempel på ikke-kvantitative data er intervjuer, litteratur, leserbrev og feltobservasjoner (Johannessen et al., 2011).

Prosjektgruppen benytter seg av en kombinasjon av kvalitativ og kvantitativ metode. Dette er en kombinasjon som kan komplimentere hverandre og mulig gi bedre løsninger, samt redusere begrensninger og ensidighet (Choy, 2014). Dette ved gjennomførelse av feltobservasjoner i form av samtaler og innhenting av kvantitative data fra Sykehusbygg. Eksempelvis kostnadskalkyler og driftsparametre fra tidligere prosjekter.

3.1.1 Kvalitativ metode

Styrken ved en kvalitativ tilnærming er evnen til å identifisere underliggende verdier, tro og antagelser for å oppnå en helhetlig forståelse av f.eks. en organisasjon. En annen styrke ved kvalitativ metodikk er at forespørslene rundt omfang ofte er bredt og åpent, som gir muligheter for identifikasjon av problemer i nye områder. I kontrast med forutbestemte fokusområder (Choy, 2014). Den største svakheten ved en kvalitativ tilnærming er at prosesser ofte blir svært tidkrevende, og at det åpne omfanget gir mulighetsrom for å overse noe av stor viktighet på grunn av tolkninger gjennomført av subjektive individer (Choy, 2014).

3.1.2 Kvantitativ metode

Styrken ved kvantitative metoder er todelt. Den ene fordelen er at arbeidet kan kontrolleres og enkelt evalueres. Den andre fordelen er at numeriske data tilnærmet fra denne metodikken åpner for enklere sammenlikninger og avgrensning av omfang (Yauch og Steudel, 2003). Svakheter ved slike metoder kan være at datasamlingen ikke er gjennomført i stor nok grad, med riktig kunnskap og tilstrekkelige ressurser. En annen svakhet ved metodikken er overgangen fra komplekse meninger, antagelser o.l. til faste numeriske verdier (Choy, 2014).

3.2 Casestudie

Casestudie, også kalt eksempelstudie, er en metode som brukes for å kaste lys over en hel rekke av viktige fenomener ut fra en grundig, helhetlig beskrivelse av det enkelte tilfellet (Johannessen et al., 2011). Caset som studeres kan eksempelvis være en aktivitet, et program eller et sammensatt system, og egnes best til å besvare spørsmål om «hvordan» og «hvorfor» (Sander, 2017).

Johannessen et al. (2011) sier at en casestudie innebærer studier av en eller flere caser over et lenger tidsrom, hvor detaljert og omfattende data innhentes gjennom primær - og sekundærkilder som er tids - og stedsavhengige. Ved gjennomførelse av en casestudie handler det om å kunne innhente så mye data som mulig om et avgrenset fenomen, for å kunne beskrive, forklare, forstå, vurdere og utforske dette ved hjelp av kvalitativ og kvantitativ data (Sander, 2017).

Fordelen med å gjennomføre en casestudie bestående av flere case-eksempler er muligheten til å oppfatte likheter og ulikheter mellom case-eksemplene. Dette vil også forenkle arbeidet med å identifisere relevant litteratur (Gustafsson, 2017). Hensikten med gjennomføringen av casestudie i denne bacheloroppgaven er å tilegne en dypere forståelse av inndata og parameterne i regnearkmodellen, men også å illustrere betydningen som bygningskropp og -størrelse har for resultatene til regnearkmodellen.

3.3 Litteratursøk

En gjennomgang av eksisterende litteratur er et middel for å oppnå overordnet forståelse av egen forskning og dens betydning (Bell et al., 2018). En rekke spørsmål som kan besvares gjennom grundig utredning og forståelse av andres forskningsområder og resultater. Blant annet teori om eksisterende metoder, teorier og resultater. Bell et al. (2018) presenterer også viktigheten av kritisk og systematisk lesning for tilegning av så mye faglig kompetanse som mulig under litteratursøket.

Som følge av at prosjektgruppen ikke innehar tilstrekkelige forkunnskaper innen internlogistikk og bruk av automatiserte kjøretøy i sykehus, har litteratursøk vært en viktig metodikk i dette prosjektet. Fra forprosjektetsstadiet har litteratursøk blitt vektet med høy viktighet og var en tid- og ressurskrevende del av prosjektforløpet. Litteratur og fagkunnskap baseres i stor grad på fagartikler og bøker hentet fra internett, ved hjelp av Google Scholar, men også fagstoff fra bibliotek ved NTNU og prosjektgruppens tidligere pensum.

En utfordring i prosjektet var å begrense litteraturen til det som var relevant for problemstillingen, og finne kilder med høy kredibilitet innen det avgrensede område. Prosjektgruppen har oppfattet at det Bell et al. (2018) skriver sammenfatter med virkeligheten og derfor har et kildekritisk syn vært sentralt gjennom hele prosjektforløpet. Samtlige kilder har blitt sett i lys av ulike andre kilder underveis i søket for å sikre troverdighet og seriøsitet. Konkretisering og velformulering av problemstillingen åpnet for et mer effektivt litteratursøk i søk etter lignende artikler og relevante historiske data. Etterhvert åpnet litteratur opp for nye søkebegreper som videre gjorde det betraktelig enklere å oppsøke relevant informasjon. Først og fremst gjennom å definere klare faglige kriterier i kildesøket, men også under benyttelse av teorien i prosjektet.

3.4 Møter og samtaler

En viktig faktor gjennom hele prosjektførsløpet er et gjensidig ønske om klarhet og forståelse rundt oppgaven. Gjennom introduksjonsmøte med ekstern veileder Bjørn Bakken (fagansvarlig for logistikk i Sykehusbygg) fikk prosjektgruppen en helhetlig oversikt over Sykehusbyggs ansvarsområder. Ved neste møte var i tillegg intern veileder fra NTNU til stede og det ble grundig gjennomgått oppgavens mål og rammer. I tillegg ble samtlige eventuelle spørsmål besvart, og etter møte mottok prosjektgruppen datagrunnlag per e-post som avtalt.

Gjennom mye arbeid med data oppsto det noen uklarheter. Disse ble raskt avklart gjennom kommunikasjon med ekstern veileder via e-post. Intern veileder Tore Lauritzen har blitt oppdatert jevnlig under prosjektførsløpet og bidratt med strukturerte innspill og svar, rundt målformulering, oppgavens omfang m.m.

Ellers har interne og eksterne veiledere bistått ved behov gjennom hele prosjektperioden. En oversikt over hvilke møter som er gjennomført, hvem som har vært til stede og dato ligger som vedlegg i A1.

3.5 Excel som modelleringsverktøy

Gruppen har benyttet prinsipper fra «7-steps prosess for regnearkmodellering» og «*Spreadsheet Engineering*» omtalt i henholdsvis 2.7.1 og 2.7.2. Hensikten med å benytte disse metodene har vært å sikre en strukturert utvikling av regnearkmodellen som samsvarer med prosjektets mål. Problemet som skal løses ved hjelp av Excel er definert gjennom oppgavens problemstilling, og modellen utvikles på bakgrunn av problemstillingen, oppgavens resultatmål og oppgavens effektmål. En beskrivelse av datainnsamlingen er gitt i 3.6 og utledes ikke nærmere her. Verifiseringen av modellen gjennomføres som casestudium beskrevet i kapittel 4 og en redegjørelse av regnearkmodellen er gitt i underkapittel 4.2.

I modellen er det benyttet enkelte makroer ved hjelp av «*Visual Basic for Applications*» (VBA) for å øke brukervennligheten til regnearkmodellen. Makroene er programmert slik at det skal være enklere å navigere og bruke regnearket med muligheter for å kunne legge til, eller fjerne rader og kolonner i matriser ved hjelp av knapper i regnearket og lignende. Makroene er ikke programmert slik at de har direkte tilknytning til beregningene som foretas i regnearket.

3.6 Datainnsamling

På grunn av oppgavens tidsbegrensning har ikke datainnsamling vært hovedfokus for denne oppgaven. Case-eksemplene i kapittel 4 er basert på tidligere prosjekter som Sykehusbygg HF har deltatt i. Derfor er parameterne valgt med utgangspunkt i tidligere investeringsanalyser gjennomført av Sykehusbygg HF, samtaler med ansatte fra St. Olavs drift og telefonmøter med Frank Daltveit, Head of Customer Care EMEA hos Swisslog HealthCare AG. Dette er blitt gjort for å sikre at regnearkmodellen gir plausible og sannsynlige resultater.

3.7 Kvalitetssikring

Som nevnt i underkapittel 3.6 er det Sykehusbygg HF som har bistått med data til bruk i prosjektoppgaven. Prosjektgruppen har derfor hatt godt grunnlag for å anta at dataen har høy grad av troverdighet og pålitelighet. Dog har ikke gruppen stolt blindt på dataen som er mottatt, og det har vært en forståelse for at dataen kunne inneholde feil, mangler eller være utdaterte. Formler og matematisk logiske sammenhenger i regnearkmodellen er sett i lys av tidligere forskning med paralleller mot problemstillingen og tidligere prosjekter gjennomført av Sykehusbygg HF. En sammenstilling av disse danner grunnlag for beregninger med høy grad av kredibilitet. Ved usikkerhet i dataene har ekstern veileder i Sykehusbygg HF vært behjelpelig med bidrag i form av eventuelle kontaktpersoner som kunne oppsøkes, informasjon angående dataenes opphav eller generelle grunner til mulige avvik. Casestudiet i kapittel 4 har også vært en måte å kvalitetssikre regnearkmodellen, gjennom å sammenstille resultater fra næringslivet med teoretiske beregninger.

3.8 Sensitivitetsanalyse

Sensitivitetsanalyse, også kalt følsomhetsanalyse, er en type «hva-hvis»-analyse, hvor det kartlegges hvordan kontantstrømmen eller lønnsomheten ved prosjekter påvirkes som konsekvens av endringer i forutsetningene, altså endringer av variabler og parametere både i positiv og negativ retning (Powell og Baker, 2009). Prosjektgruppen har tatt i bruk sensitivitetsanalyse som en type metodikk til å kartlegge hvor mye totalt transportarbeid og hvor store avstander det må være innad i sykehuset for at det skal anses som lønnsomt å investere i et type AGV-system. Denne type kartleggingsfase er i tråd med prosjektgruppens problemstilling, og samt oppdragsgivers ønske. Prosjektgruppen har også sett på metodikken som en god mulighet til å identifisere andre kritiske variabler, og samt de variablene som utgjør en mindre forskjell i vurderingen av lønnsomheten. Funn og observasjoner gjort gjennom analysene er presentert under kapittelet 5.3.

4 Hoveddel - Case og analyse

I dette kapitlet vil regnearkmodellen som prosjektgruppen har utviklet presenteres gjennom en beskrivelse av regnearkmodellen og tilhørende regneark. Videre er det, for å illustrere og teste regnearkmodellen, blitt utarbeidet to casestudier. Ett med grunnlag i SNR-prosjektet (Sykehuset Nordmøre og Romsdal) med nytt sykehusbygg på Hjelset, og ett med grunnlag i nye Hammerfest Sykehus (NHS). I SNR-prosjektet er det planlagt en AGV-løsning på Hjelset med 6 stk AGV-er. På Hammerfest er det ikke planlagt AGV-løsning, og den interne varetransporten skal foregå manuelt.

4.1 Kartlegging av dagens situasjon

Sykehusbygg HF bruker i dag ca. 4 uker av tidligfaseplanleggingen ved nytt sykehusprosjekt til å danne seg et grundig og korrekt lønnsomhetsbilde av hvilke transportløsninger som lønner seg. Ved hvert enkelt prosjekt utarbeider Sykehusbygg HF, i tråd med innleide konsulenter, en kost/nytte-analyse av investeringen. Dette kan være en veldig krevende, og samtidig kostbar fase av prosjekteringen. Gjennom et telefonmøte med Dag Roar Karlsen, prosjektleder for logistikk ved Sykehusbygg HF avd. Oslo, kunne han beskrive nytten av et slikt modelleringsverktøy som utvikles i denne bacheloroppgaven med tanke på kvalitetssikring av andre eksterne aktørers beregninger.

Det skal også nevnes at de involverte i prosjektene ser tidlig ut fra størrelsen og type sykehus om et AGV-system vil lønne seg. Ved større sykehus vil dette nesten alltid være tilfelle. Likevel er enkelte sykehusprosjekter såpass kompliserte og ulike at det må gjennomføres detaljerte beregninger for å kunne avgjøre hvorvidt et automatisk transportsystem vil lønne seg. Det vil i tillegg alltid være aktuelt å beregne et estimat for antall AGV-er som er nødvendig for å dekke transportbehovet. Karlsen fortalte videre at avgjørelsen tilknyttet valg av transportløsning vanligvis skal skje så tidlig som mulig, og aller helst i konseptfasen. Det Karlsen beskriver samsvarer med hvordan Sykehusbygg HF har valgt å bygge opp sin veileder for tidligfaseplanlegging (2.4), der valg av alternativ skal bestemmes i konseptfasen.

4.2 Beskrivelse av regnearkmodellen

Modellen er utviklet til å være et oversiktlig verktøy for å gjøre en økonomisk vurdering av en eventuell investering i automatisert vogntransport kontra manuell vogntransport i et sykehus. Regnearkmodellen er utformet i Microsoft Excel og baserer seg på avstandskalkulasjoner, tidskalkulasjoner, økonomiske formler og ulike koder programmert i VBA for å gi økt brukervennlighet. I regnearkmodellen er det totalt syv regneark som samler inn data og beregninger knyttet opp mot tidsforbruk, estimert antall AGV-er som er nødvendig for å dekke transportbehovet, antall årsverk for henholdsvis automatisert og manuell transportløsning og avslutningsvis en kost/nytte-analyse over det helhetlige kostnadsbildet.

Regneark	Vedlegg	Beskrivelse
«Inndata»	A2	Registrerer transportetapper og transportavstander. Kalkulerer gjennomsnittlig transportavstand for en AGV-leveranse.
«AGV»	A3	Kalkulerer et estimert antall AGV-er som er nødvendig for å gjennomføre transportarbeidet.
«Automatisert»	A4	Kalkulerer nødvendig antall årsverk som behøves for å utføre resterende transportarbeid ved en automatisert transportløsning.
«Manuell»	A5	Kalkulerer nødvendig antall årsverk som behøves for å utføre alt av transportarbeidet ved en manuell transportløsning.
«Differanse»	A6	Sammenstiller resultatene fra regneark «Automatisert» og «Manuell», og viser differansen i årlig personalkostnader og årsverk.
«Parametre»	A7	Inneholder alle parametre som ligger til grunn for de ulike beregningene.
«Kost-nytte»	A8	En kost/nytte-analyse med grunnlag i resultater fra de resterende regnearkene.

Tabell 4.1: Struktur på regnearkmodellen

I tabell 4.1 er det gitt en kort beskrivelse av de forskjellige regnearkene som inngår i regnearkmodellen, samt en vedleggsoversikt. Videre i dette underkapittelet vil de ulike regnearkene beskrives ytterligere, og det anbefales å lese de videre beskrivelsene i sammenheng med vedleggene.

4.2.1 Inndata

I regnearket «*Inndata*» (se vedlegg A2) defineres det aktuelle transportbehovet og avstander i sykehuset, samt antall etasjer i sykehuset. Brukeren registrerer verdier for henholdsvis antall transportetapper og transportavstander gjennom to matriser, hvor avdelingsnavnene i matrisene må tilpasses hvert enkelt prosjekt. I matrisen for transportetapper skal brukeren registrere det daglige antallet med vogntransporter mellom de ulike avdelingene, mens det i matrisen for transportavstander skal registreres avstander mellom de ulike avdelingene. Regnearkmodellen vil dermed kalkulere en gjennomsnittlig transportavstand for en AGV-leveranse basert på de to matrisene.

4.2.2 AGV

Regnearket «*AGV*» (se vedlegg A3) kalkulerer et estimert antall AGV-er som er nødvendig for å gjennomføre transportarbeidet, basert på data fra regnearket «*Inndata*» og innlagte verdier i regnearket «*Parametre*». Kalkulasjonen baseres på likning 4.1. Resultatet i regneark «*AGV*» gir grunnlag for investeringskostnadene i kost/nytte-analysen i regneark «*Kost-nytte*». Regneark «*AGV*» gir utdata i form av en numerisk verdi med et desimal, mens kostnadene videre er beregnet ut i fra den verdien, rundet opp. Dette for å gi en reell gjenspeiling av økonomisk investeringskostnad. Det er også innlagt en buffer som parameter på 15% økning av antall AGV-er for demme opp for nedetid eller lignende, etter anbefaling av Dag Roar Karlsen i Sykehusbygg HF.

$$N = \frac{f[\frac{\text{antall}}{\text{time}}] + \frac{s[m]}{v[m/s]} + vt[s] + k}{3600[s]} \quad (4.1)$$

hvor:

N = antall AGV
 f = frekvens
 s = strekning
 v = hastighet
 vt = ventetid
 k = konstant

Likning 4.1 baseres på likning 2.1, presentert av Azevedo (2014), men forutsetter følgende:

- Hastighet er lik begge veier
- Avstander er like begge veier
- Hente og avlevering baseres på realtid, ikke høyde/lengde mål, innlagt med andre tider i vt (ventetid)
- Numeriske verdier betegnes som en konstant

4.2.3 Automatisert

Dette regnearket (se vedlegg A4) kalkulerer nødvendig antall årsverk som behøves for å utføre det resterende transportarbeidet internt i etasjene ved en automatisert transportløsning. Nærmere forklart vil en automatisert transportløsning eliminere det største transportarbeidet, men det vil fortsatt være behov for personell til transportarbeidet fra hente/leveringsstasjonene og ut til avdelingslagrene.

Ved å multiplisere «*antall transportetapper*» fra regnearket «*Inndata*» og parameteren «*antall leveringsdager per år gjennomsnitt*» vil modellen gi et estimat på antall vogner per år som behøves for å dekke transportbehovet. Videre kalkuleres tidsforbruket for personell internt i etasjene basert på det estimerte antallet vogner per år, intern avstand fra hentestasjon og manuell ganghastighet til og fra hentestasjon. Ved en automatisert transportløsning vil det kun være tidsforbruk for personell internt i etasjene. Til slutt kalkuleres personalkostnaden basert på tidsforbruket multiplisert med en timekostnad for personell, mens antall årsverk baseres på personalkostnaden og antall arbeidstimer per år.

4.2.4 Manuell

Dette regnearket (se vedlegg A5) kalkulerer det totale transportarbeidet ved en manuell transportløsning. Det vil si transportarbeidet internt i etasjene, under resterende transport og under heisopphold. Transport internt i etasje beregnes på samme måte som i regnearket «*Automatisert*». Tidsforbruk for personell i heis baseres på en rekke ulike tidsverdier fra regnearket «*Parametre*», og består av koblingstid av vogner, venting på heis, tidsforbruk i heis og tidsforbruk inn/ut av heis. Disse verdiene, sett i lys av transportarbeidet og antall etasjer som er registrert i regnearket «*Inndata*», resulterer i et totalt tidsforbruk for personell i heis. Selve tidsforbruket under transport tar det årlige vognbehovet dividert med antall vogner per tralletog og beregner tiden ved hjelp av avstand registrert i regneark «*Inndata*» og hastighet oppgitt i regneark «*Parametre*». Det totale tidsforbruket er summen av de tre tidene og resulterer i et totalt årlig tidsforbruk. Videre beregnes personalkostnader og estimert antall årsverk på samme måte som i regneark «*Automatisert*»

4.2.5 Differanse

I regnearket «*Differanse*» (se vedlegg A6) presenteres det en sammenstilling av regnearkene «*Automatisert*» og «*Manuell*» som fremviser ulikhetene mellom årlig personalkostnad og de estimerte årsverkene. Resultatet, altså differansen, er et sentralt aspekt for videre beregninger angående nåverdi, gjennom besparelsen i manuelle årsverk som oppstår ved valg av automatisert transportløsning. Dette visualiseres også grafisk for å gi brukeren bedre innsikt over resultatene.

4.2.6 Parametre

Dette regnearket (se vedlegg A7) presenterer de ulike parametrene som ligger til grunn for de ulike beregningene. Regnearket fremviser et oversiktlig og kategorisert overblikk over de ulike variablene og konstantene. De fleste innlagte parameterne er kun en generell pekepinn basert på historiske data og det vil i mange tilfeller være nødvendig med justeringer for å oppnå reelle

resultater sett i lys av et nytt prosjekt. Videre vil det også være mulig for brukeren å legge til flere parametre knyttet til investeringskostnader.

En parameter som behøver nærmere forklaring er «*Byggtekniske kostnader (Tilpasninger)*». Dette er kostnader som medfølger ved implementering av et AGV-system, og er tilknyttet endringer i sykehusbygget som må gjennomføres for at man skal kunne innføre et AGV-system. Dette kan f.eks. være at gangene må være bredere, at heisene må være større eller andre tilpasninger i sykehuset for at AGV-maskiner skal kunne operere.

4.2.7 Kost-nytte

Dette regnearket (se vedlegg A8) fremviser en sammenslutning av samtlige beregninger fra tidligere regneark, som illustrerer en eventuell økonomisk gevinst ved investering i en automatisert transportløsning. Investeringskostnaden i nåverdianalysen er basert på estimert antall AGV-er fra regnearket «AGV» og tilhørende investeringskostnader fra regnearket «Parametre». Diskonteringsrenten, samt drift og vedlikeholdskostnadene defineres i regnearket «Parametre», mens «*årlig besparelse personell*» stammer fra regnearket «Differanse». Antall år som analysen skal ta høyde for kan justeres ved hjelp av to knapper i det øvre høyre hjørnet. Nedbetalingstiden baseres på inneliggende formler i Microsoft Excel. Når tidsaspektet er justert etter reelle forespeilinger vil positiv «*total nåverdi*» være en indikasjon på lønnsomhet ved investering i samsvar med nåverdimetoden (Banken og Nyhuus, 2007).

4.3 Case 1: Sykehuset Nordmøre og Romsdal

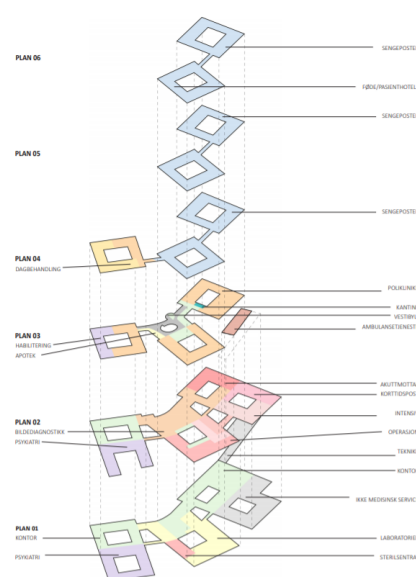


Figur 4.1: Illustrasjonsbilde av sykehuset på Hjelset (Helse-MN, 2017)

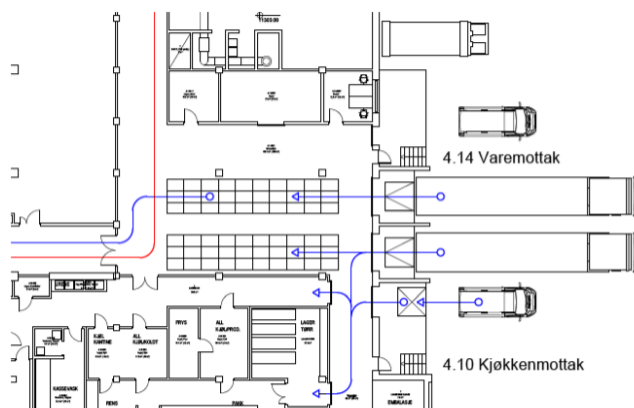
Som en del av SNR-prosjektet (Sykehuset Nordmøre og Romsdal) skal det bygges nytt akuttsykehus på Hjelset. SNR-prosjektet er i gjennomføringsfasen og skal etter planen stå ferdig i 2023. Størrelsen på sykehuset blir ca. 54 500 kvadratmeter stort og seks etasjer høyt. Det er planlagt 139 senger, 70 standard poliklinikkrom og 40 spesialrom med tilhørende støtterom og personalareal. Informasjonen som blir brukt i dette caset er hentet fra forprosjektrapporten (Måløy og Hemsén, 2017) og tilhørende logistikknotat (Bakken, 2017a) utarbeidet av Sykehusbygg HF.

Akuttsykehuset består av tre bygninger utformet i en vifte som er forbundet ved hjelp av broer. Logistikkfunksjonene er plassert i bygg 3, plan 1 (figur 4.4). En felles vareterminal skal behandle alle vareleveranser og vareforsendelser. I denne avdelingen ankommer eksternt forsyning, hvor leveransene blir mottatt, sortert og oppstilt for videre intern varetransport. Det er også her utgående vareforsendelser behandles. Det er totalt fire lasteramper i vareterminalen, hvorav to er forbeholdt lastebiler og to er forbeholdt mindre distribusjonsbiler.

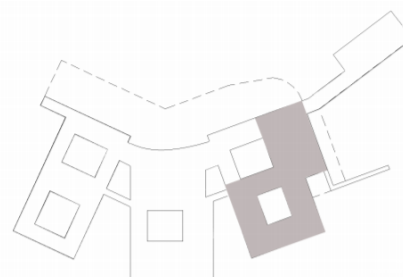
En miljøhall er plassert i tilknytning til vareterminalen, og skal samle opp sykehusets avfall og skittentøy for videre transport til eksternt avfallsstasjon og renseri. Vareterminalen har egne soner for henholdsvis oppstilling av vogner og kort mellomagring før en eventuell oppsamling (crossdocking) av varer for intern transport til de ulike avdelingene. Videre finner man hente- og leveringsstasjoner for AGV-er, samt ladestasjoner og verksted for AGV. Varer distribueres gjennom forsyningskorridoren til heisene for de tre husene.



Figur 4.2: Bygningskropp, SNR Hjelset (Måløy og Hemsén, 2017)



Figur 4.3: Vareterminal, SNR Hjelset (Bakken, 2017a)



Figur 4.4: Vareterminalens plassering i sykehuset (Måløy og Hemsén, 2017)

4.3.1 Transportbehov

I SNR-prosjektet er det definert forskjellige forsyningskjeder som skal beskrive de ulike forsyningsmodellene og vareflyten til disse. De definerte forsyningskjedene i prosjektet er presentert i tabell 4.2 og er delt inn i respektive kolonner for hvilke forsyningskjeder som skal ha AGV-transport, og hvilke forsyningskjeder som skal ha manuell transport. Det er altså forsyningskjedene med AGV-transport (venstre kolonne) som er aktuelle i dette caset. Videre i caset vil det bli definert et daglig transportbehov, basert på simuleringer gjennomført av Sykehusbygg HF, oppgitt i antall vogner for hver av forsyningskjedene. Tilsvarende mengde som oppgis sendes i retur.

Transporteres med AGV	Transporteres manuelt
Forbruksvarer	Utstyr
Legemidler	Teknisk materiell
Mat	Senger og sengevask
Tøy	Sterilt flergangsutstyr
Avfall	

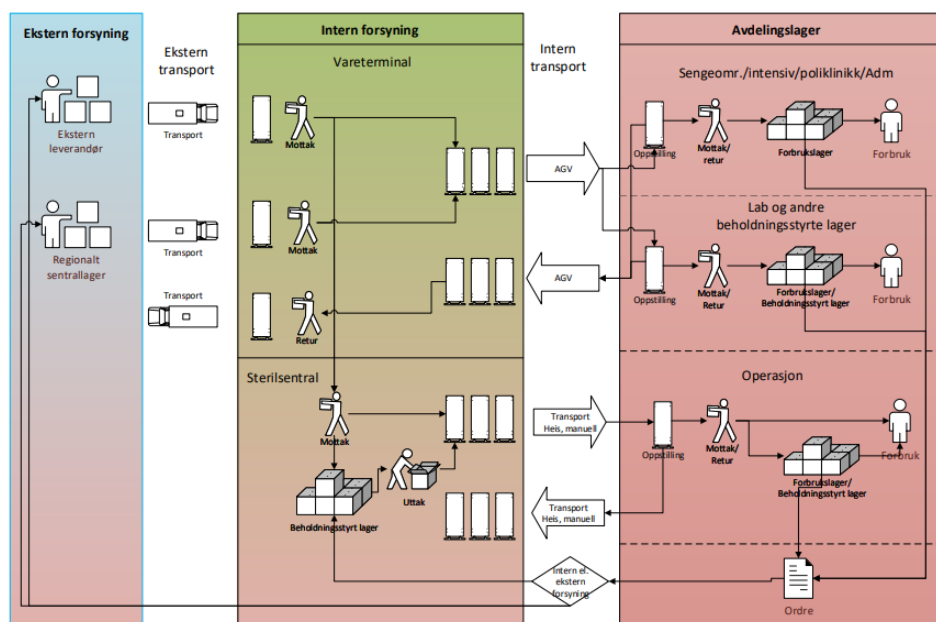
Tabell 4.2: Forsyningskjedene i SNR-prosjektet

Forbruksvarer

Forbruksvarer er beskrevet som alle engangsvarer som forbrukes i pasientbehandling og drift. Forbruksvarer er inndelt i fire ulike hovedgrupper: medisinske forbruksvarer, laboratorierekvisita, renholdsprodukter og kontorrekvisita. I figur 4.5 vises det hvordan forsyningsmodellen for forbruksvarene er utformet. Forbruksvarene har to forsyningsmodeller og tilhørende vareflyt. En fra regionalt sentrallager til vareterminal for videre transport til avdelingslager, og en med leverandørleveranser til vareterminal for videre transport til avdelingslageret:

1. Leveranser fra regionalt sentrallager til vareterminal for videre transport til avdelingslager:
 - Leveranser ferdig pakket i vogn for intern transport med AGV til avdelingslager
 - Varemottakskontroll utføres ved mottak av varene i avdelingene

- Tom vogn returneres til vareterminal for retur til sentrallageret
2. Leveranser fra leverandører til vareterminal for videre transport til avdelingslager:
- Varer omlastes i vareterminal fra pall til inn i vogn for intern transport med AGV til avdelingslager
 - Varemottakskontroll utføres ved mottak av varene i avdelingene
 - Tom vogn returneres til vareterminal



Figur 4.5: Forsyningsmodell for forbruksvarer, SNR Hjelset (Bakken, 2017a).

Transportbehov

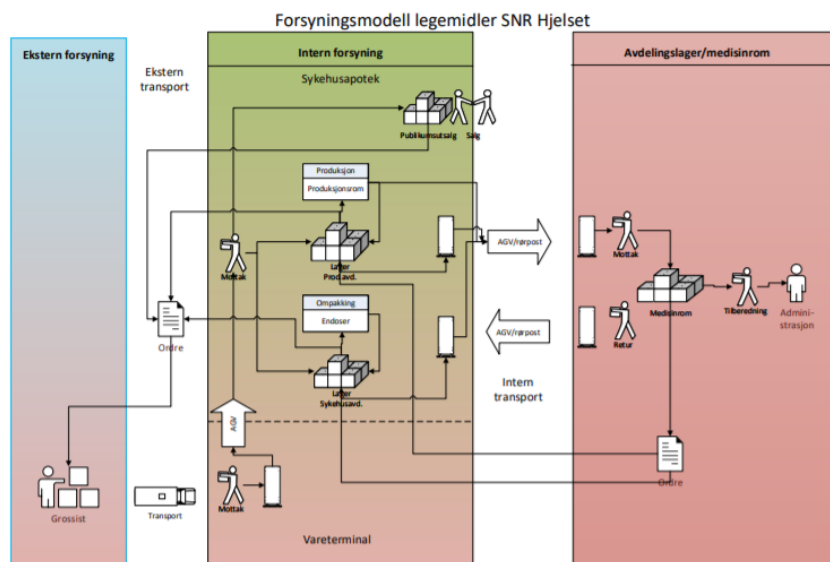
Normaldag: 22 vogner
Maksdag: 25 vogner

Legemidler

Sykehusapoteket har ansvaret for å forsyne sykehuset med legemidler og kan derfor kalles et mellomledd for vareterminalen og de forskjellige avdelingene i sykehuset. Legemidler vil i likhet med forbruksvarer ankomme i vareterminalen. Her vil legemidlene oppbevares i adgangskontrollert rom inntil leveransene omlastes i sikret vogn og transporteres med AGV til sykehusapoteket. Legemidler vil herfra distribueres med AGV ut til avdelingene når det plasseres ordre fra avdelingene. Når legemidlene er blitt varemottatt vil de lagres i avdelingens medisinerom. Deler av legemiddelleveransene fra sykehusapoteket til avdelingene leveres ved hjelp av rørpost, mens resterende leveranser distribueres enten med AGV eller manuelt (i tilfeller hvor legemidlene er skjøre og ikke kan leveres med rørpost).

Transportbehov

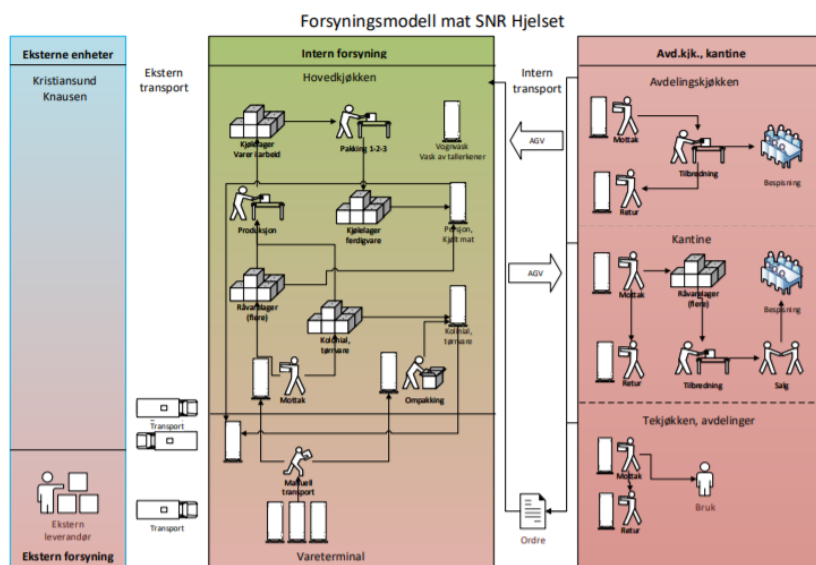
Normaldag: 5 vogner
Maksdag: 7 vogner



Figur 4.6: Forsyningsmodell for legemidler, SNR Hjelset (Bakken, 2017a).

Mat

I sykehuset vil det i forbindelse med mat være fire enheter som skal motta matleveranser: hovedkjøkkenet, kjøkken i avdelingene (for pasienter), tekjøkken (for ansatte) og kantinen. Hovedkjøkkenet har eget kjøkkenmottak (vist i figur 4.3) for mottakskontroll og utpakking for å ivareta hygienebestemmelser fra Mattilsynet. På hovedkjøkkenet blir råvarer produsert i form av nedkjølte måltider som distribueres sammen med tørrvarer ut til avdelingskjøkkenene, tekjøkkenene og kantinen.



Figur 4.7: Forsyningsmodell for mat, SNR Hjelset (Bakken, 2017a).

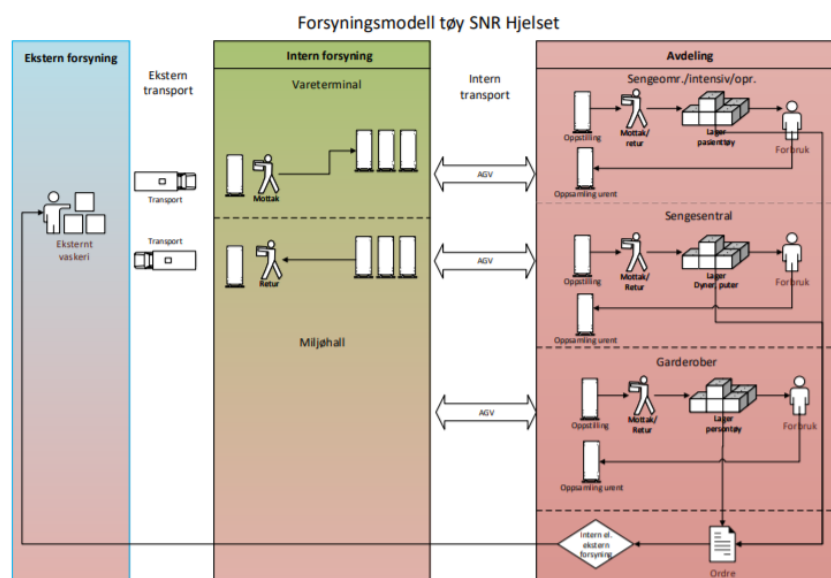
Transportbehov, Mat

Normaldag: 42 vogner

Maksdag: 50 vogner

Tøy

Tøy deles inn i to forsyningskjeder: pasienttøy og personaltøy. Både pasienttøy og personaltøy leveres av vaskeriet i vareterminalen. Pasienttøyet distribueres til avdelingslagrene med AGV. Skittentøy samles i vogn i avdelingenes avfallsrom før de returneres med AGV til miljøhallen hvor vaskeriet henter vognene. Personaltøy distribueres med AGV til tøyautomater i garderobeområdene. Skittentøy samles opp i vogn i returenhet i tilknytning til tøyautomatene.



Figur 4.8: Forsyningsmodell for tøy, SNR Hjelset (Bakken, 2017a).

Det er returnmengden av skittentøy for henholdsvis pasienttøy og personaltøy som er avgjørende for transportbehovet for forsyningskjedene.

Transportbehov, pasienttøy

Normaldag: 22 vogner

Maksdag: 25 vogner

Transportbehov, personaltøy

Normaldag: 8 vogner

Maksdag: 10 vogner

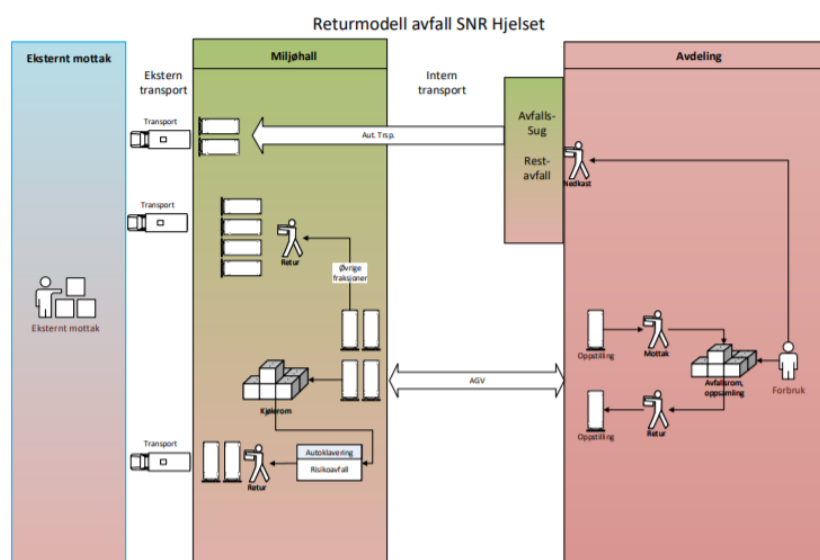
Avfall

I returmodellen for avfall sorteres avfallet inn i ulike fraksjoner (restavfall, matavfall, papp/papiravfall m.m.). Sykehuset skal ha et avfallssug som returnerer restavfall fra avdelingene til miljøhallen. Risikoavfall som produseres i avdelingene sorteres og samles i egne beholdere som mellomlagres i avfallsrom før AGV transporterer det til miljøhallen. I tillegg til risikoavfall kommer transport av matavfall fra avdelingskjøkken og kantinen.

Transportbehov, risikoavfall og matavfall

Normaldag: 26 vogner

Maksdag: 34 vogner



Figur 4.9: Returmodell for avfall, SNR Hjelset (Bakken, 2017a).

Samlet transportbehov AGV

Det samlede interne transportbehovet for SNR Hjelset er presentert i tabell 4.3. Tilsvarende mengde vogner ventes i retur. Utregnet transportbehov kan nå brukes videre som inndata i regnearkmodellen i Excel for å avgjøre hvorvidt det er lønnsomt å investere i AGV. Kost/nytteanalysen og tilhørende resultater for caset presenteres i kapittel 5.1.

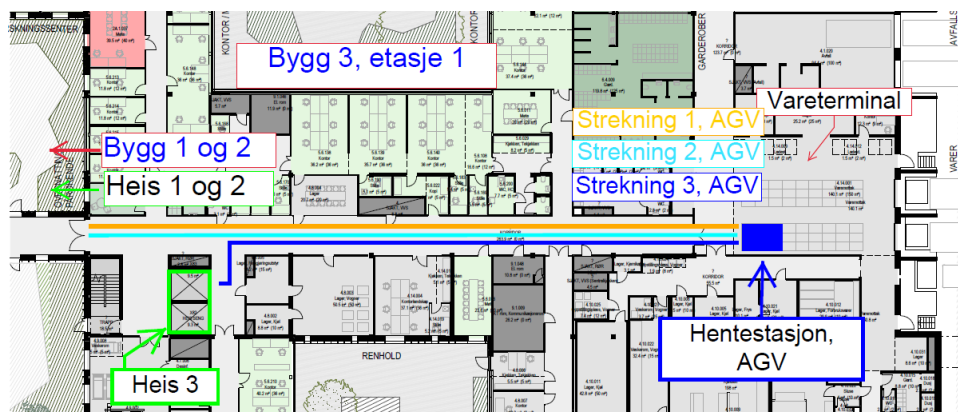
Fra forsyningskjede	Vogner normaldag	Vogner maksdag
Forbruksvarer	22	25
Legemidler	5	7
Mat	42	50
Pasienttøy	22	25
Personaltøy	8	10
Avfall, risikoavfall	26	34
Sum	125	151

Tabell 4.3: Samlet AGV-transportbehov i SNR-prosjektet

4.3.2 Avstandsmåling og beregning

I tillegg til transportbehovet, er også avstander innad i sykehuset en vesentlig faktor for å vurdere en investering i AGV. I dette caset er det blitt gjort grove avstandsmålinger ved hjelp av prosjektets plantegninger (Helse-MR, 2017). Regnearkmodellen tar utgangspunkt i gjennomsnittlig avstand for AGV (fra vareterminal og ut til leveringsstasjonene), samt den gjennomsnittlige gangavstanden fra leveringsstasjonene til de forskjellige avdelingslagrene. Avstandsmålingene ligger som vedlegg i A9 og A10, mens avstandsberegninger ligger som vedlegg i A11. Disse beregningene er kun anslag for å illustrere hvordan modellen fungerer med tanke på avstander innad i et sykehus.

Som nevnt innledningsvis i caset består sykehuset på Hjelset av tre bygninger med totalt seks etasjer. Vareterminalen er plassert i bygg 3, etasje 1 (se figur 4.4) og har som hovedfunksjon å forsyne sykehuset med intern varetransport. I hvert av de tre byggene på sykehuset er det én heissjakt per bygg, og det er til disse heisene AGV-ene skal transportere varer. Hente- og leveringsstasjonene er plassert i tilknytning til heisene i hvert bygg og i hver etasje. Det vil derfor si at AGV-ene i etasje 1 har tre mulige strekninger som vist i figur 4.10. I figuren fortsetter strekning 1 og 2 inn mot bygg 1 og 2.



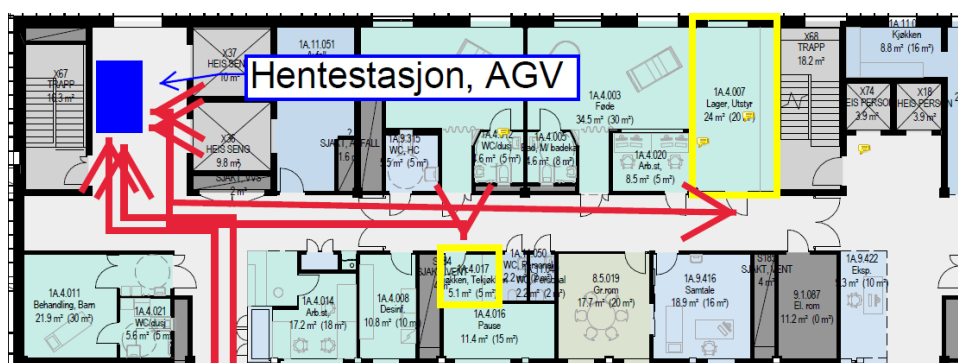
Figur 4.10: AGV-strekninger fra vareterminal, bygg 3, etasje 1

Avstand for strekning 1: 196 meter

Avstand for strekning 2: 130 meter

Avstand for strekning 3: 50 meter

På grunn av plasseringen av hente- og leveringsstasjoner i tilknytning til heis, vil det være avstander internt i etasjene hvor personell må utføre internttransporten. Dette vil være fra hentestasjonene og ut til forskjellige lagre i avdelingene, for eksempel utstyrlager, lager for forbruksvarer, kjøkken, medisinalager eller tøylager. På grunn av tidsbegrensninger i denne bacheloroppgaven er det i dette caset gjennomført en grov gjennomsnittsmåling av de to lengste, og to korteste rutene i bygg 2, etasje 6. De manuelle strekningene går fra hente-/leveringsstasjon til lagerrom i avdelingen. Deretter er gjennomsnittsavstanden for disse fire strekningene regnet ut. Denne gjennomsnittsavstanden brukes som parameter i regnearkmodellen.



Figur 4.11: Manuelle strekninger i SNR Hjelset, bygg 2, etasje 6

I figur 4.11 er det vist eksempler på manuelle transportstrekninger. Gule firkanter illustrerer lagerrom i etasjen og blå firkant illustrerer en hente- og leveringsstasjon.

Gjennomsnittsavstand (manuelle transportstrekninger): 44 meter

4.4 Case 2: Nytt sykehus på Hammerfest



Figur 4.12: Nye Hammerfest Sykehus, (Finnmarkssykehuset, 2019)

Nye Hammerfest sykehus(NHS) er per april 2019 i forprosjektstadiet og skal etter planen stå ferdig i 2024. Sykehusbygget blir fire etasjer høyt og 32.000 kvadratmeter stort og er planlagt med 89 senger, 35 poliklinikk- og spesialrom og 7 rom for røntgen og radiologi. Sykehusbygg HF er prosjektleder for prosjektet. Informasjonen som blir brukt i dette caset er hentet fra konseptfaserapporten (Tyvold og Haugen, 2018) med tilhørende logistikknotat (Bakken, 2017b) utarbeidet av Sykehusbygg HF. Prosjektgruppen har fått tilgang på plantegningene i NHS-prosjektet gjennom Sykehusbygg HF. NHS består av kun én bygning, men de forskjellige områdene av sykehusbygget omtales som hus 1, hus 2 og hus 3, illustrert i figur 4.13.



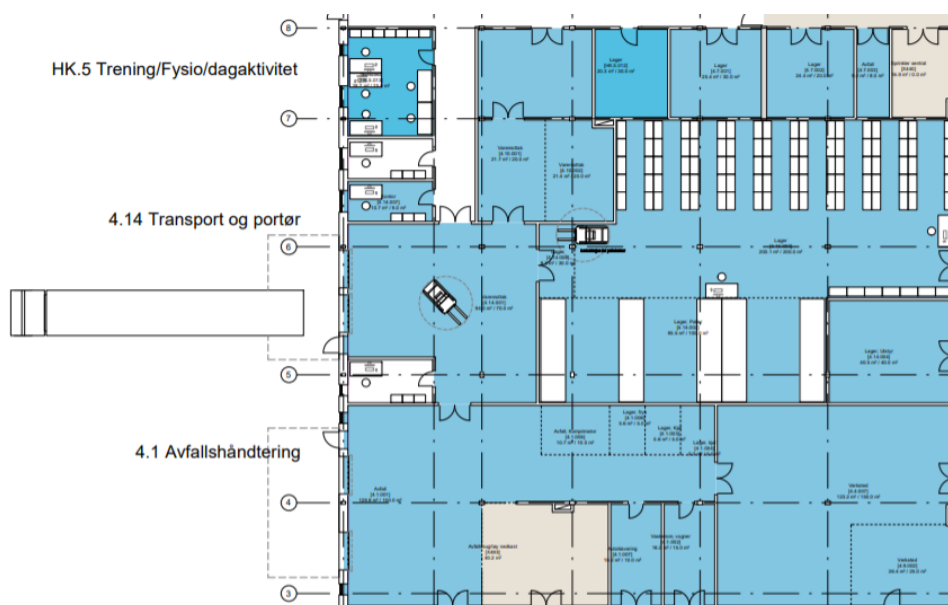
Figur 4.13: Områdeinndeling av NHS

I prosjektet er det blitt vurdert at det ikke vil være økonomisk bærekraftig med innføring av AGV eller lignende løsninger på NHS. Den interne varetransporten skal i all hovedsak foregå manuelt, med støtte fra rørpost og avfallssug. Derfor er forsyningsmodellene fra konseptfaserapporten utarbeidet med dette som grunnlag. Tilhørende figurer og illustrasjoner vil derfor ikke brukes i dette caset da disse er utarbeidet for manuell transport og er således ikke relevante å bruke i dette caset. Videre vil NHS-prosjektet i dette caset justeres slik at forsyningskjedene er tilsvarende som i SNR-prosjektet. Det understrekes at forsyningskjedene fra konseptrapporten i realiteten ser annerledes ut.

4.4.1 Transportbehov i NHS

Transportbehovet som brukes i dette caset er simulert av Sykehusbygg HF og er kun et grovt anslag for hva som kan forventes av daglig transportbehov i et sykehus av denne størrelsen. Transportbehovet vil i likhet med case 1 fra 4.3 bli oppgitt i antall vogner for hver av de respektive forsyningskjedene. Tilsvarende mengde som oppgis sendes i retur.

På NHS er det planlagt en felles vareterminal, plassert i kjelleren (U1), som skal behandle alle vareleveranser og forsyningskjeder. Funksjonene til vareterminalen er varemottak, sortering, oppstilling for internt transport og ekstern vareforsendelse. Helse Nord har ikke et forsyningskonsept basert på regionalt sentrallager og det nye sykehuset på Hammerfest planlegges derfor med et eget hovedlager.



Figur 4.14: Vareterminal, NHS

Forbruksvarer

Varesortimentet som inngår i forsyningskjeden for forbruksvarer deles inn i følgende hovedgrupper: medisinske forbruksvarer, laboratorierekvisita, renholdsprodukter og kontorrekvisita. Sterilt forsyningslager er plassert som en del av sterilsentralen og ikke som en del av hovedlageret. Forsyningsmodellen har tre hovedflyter:

1. Innkjøp til hovedlager og leveranse til rene avdelingslager basert på aktiv forsyning.
2. Innkjøp til sterilt lager på sterilsentral og leveranse til sterile avdelingslagre basert på prosedyrevogner.
3. Innkjøp til avdelingslagre (rene, sterile og temperaturregulerte).

En rekke prinsipper er lagt til grunn for forsyningsmodellen. Blant disse er det bestemt at det skal være maksimalt to lagernivå: forsyningslager (hovedlager og sterilsentral) som leverer til flere avdelinger og avdelingslager (forbrukslager og beholdningsstyrte lager). Hovedlageret plasseres ved vareterminalen.

Transportbehov

Normaldag: 15 vogner

Maksdag: 17 vogner

Legemidler

Leveranser av legemidler kan enten skje fra Sykehusapotekene Nord HF eller fra privat apotek. Det er blitt vurdert i prosjektet at leveranser fra Sykehusapotekene Nord HF egner seg best for å realisere felles strategi og regionale prinsipper for legemiddellogistikk (standardiserte rutiner og prosedyrer, og plan for bruk av elektroniske verktøy og utstyr). Leveranser fra Sykehusapotekene Nord HF ankommer vareterminal for videre transport til avdelingene eller medisinrom. Det skal etableres et eget produksjonsrom for tilberedning av cellegiftkurer, det skal ikke etableres publikumsutsalg og det legges til grunn at legemidler med stort volum (parenterale ernæringsløsninger, skyllevæsker, infusjonsvæsker og desinfeksjonsmidler) leveres fra hovedlageret.

Transportbehov

Normaldag: 4 vogner

Maksdag: 4.8 vogner

Sterilt flergangsutstyr

Sterilt flergangsutstyr brukes i hovedsak på operasjonsavdeling, men også i sengeavdelinger og poliklinikker. Flergangsutstyret må vaskes, kontrolleres, pakkes og steriliseres før bruk, og må behandles som sterilt utstyr inntil det brukes. Vaske- og steriliseringsprosessen utføres i sterilsentralen som er plassert i tilknytning til operasjon for felles utnyttelse av sterilt lager, instrumentvaskemaskiner og autoklaver. Sterilsentralen ligger derfor i 3.etg sammen med operasjonssalen og vil derfor i utgangspunktet ikke være aktuell for AGV-transport.

Transportbehov

Normaldag: 0 vogner (pga. sterilsentralens plassering)

Maksdag: 0 vogner (pga. sterilsentralens plassering)

Mat

I NHS-prosjektet er det blitt bestemt «kok-kjøøl» som matkonsept. Det er ikke avgjort om hovedkjøkkenet skal bygges som en del av det nye sykehuset eller om det etableres eksternt i samarbeid med Hammerfest kommune. I dette caset antas det at hovedkjøkkenet blir en del av sykehuset og at det samlokaliseres med kantinen for felles utnyttelse av lager, produksjonsutstyr og bemanning. Kantinen er felles for både ansatte, besøkende og pårørende. Sluttilberedning av mat til pasienter skjer i avdelingskjøkken. Leveranser av mat fra leverandører skjer til felles vareterminal, og eventuelle leveranser fra hovedkjøkken skjer fra felles vareterminal.

Transportbehov, mat

Normaldag: 14 vogner

Maksdag: 17 vogner

Tøy

Denne forsyningskjeden består av pasienttøy (skjorter, sengetøy, håndklær m.m.), personaltøy og dyner/puter. Det er blitt vurdert at sykehuset skal få leveranser fra et eksternt vaskeri, og ikke bruke areal på et internt vaskeri. Leveransene fra eksternt vaskeri skal være avdelingspakket i vogn til den enkelte avdeling og garderobe.

Transportbehov, pasienttøy

Normaldag: 17 vogner

Maksdag: 20 vogner

Transportbehov, personaltøy

Normaldag: 11 vogner

Maksdag: 13 vogner

Avfall

Avfallet sorteres inn i ulike fraksjoner (forbruksavfall, risikoavfall, EE-avfall, metall, bygningsavfall m.m.). NHS skal ha avfallssug som skal brukes til forbruksavfall (papp, glass, flasker, papir og plast) som representerer det største volumet av avfallsfraksjonene. Det er dermed kun det gjenstående risikoavfallet som er aktuelt for transport med AGV.

Transportbehov, risikoavfall

Normaldag: 9 vogner

Maksdag: 10.8 vogner

Samlet transportbehov

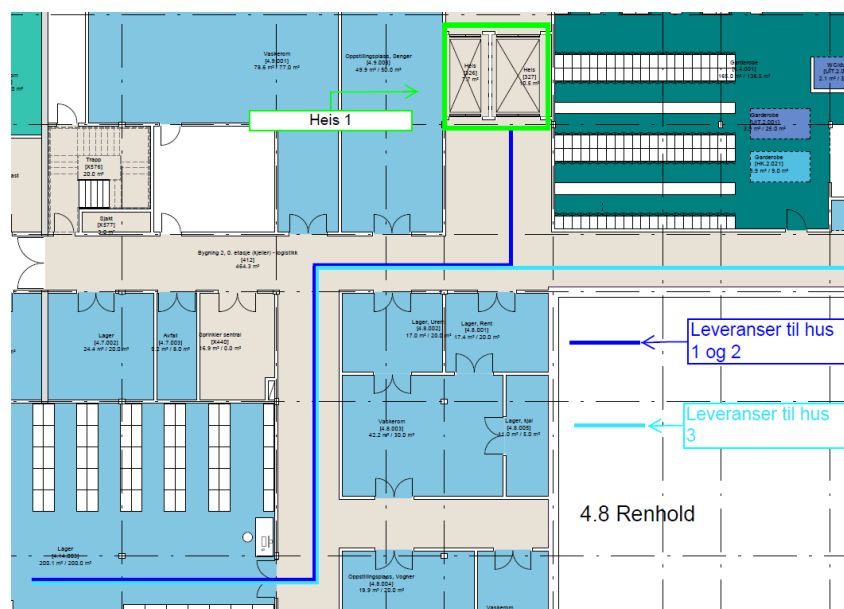
Det samlede interne transportbehovet for NHS er presentert i tabell 4.4. Tilsvarende mengde vogner ventes i retur. Utrechnet transportbehov kan nå brukes som inndata i regnearkmodellen i Excel for å avgjøre hvorvidt det er lønnsomt å investere i AGV. Investeringsanalysen og tilhørende resultater for caset presenteres i kapittel 5.2.

Fra forsyningskjede	Vogner normaldag	Vogner maksdag
Forbruksvarer	15	17
Legemidler	4	5
Sterilt flergangsutstyr	0	0
Mat	14	17
Pasienttøy	17	20
Personaltøy	11	13
Risikoavfall	9	11
Sum	70	83

Tabell 4.4: Samlet AGV-transportbehov i NHS-prosjektet

4.4.2 Transportstrekninger og avstander

I likhet med case 1 (4.3) er det også i dette caset gjennomført grove avstandsmålinger ved hjelp av prosjektets plantegninger, tilsendt fra Sykehusbygg HF. Også her er formålet å kartlegge gjennomsnittlig avstand for AGV fra vareterminal og ut til eventuelle leveringsstasjoner, samt den gjennomsnittlige manuelle avstanden fra leveringsstasjonene til de forskjellige avdelingslagrene. Avstandsmålingene ligger som vedlegg i A12 og A13, mens avstandsberegninger ligger som vedlegg i A14. Disse beregningene er kun anslag for å illustrere hvordan modellen fungerer med tanke på avstander innad i et sykehus. Ettersom det er blitt bestemt manuell løsning i NHS-prosjektet er det ikke bestemt hvor eventuelle hente- og leveringsstasjoner for AGV ville vært plassert. I dette caset er det tatt utgangspunkt i at hente- og leveringsstasjonene ville blitt plassert i tilknytning til de to heissjaktene i hver etasje.



Figur 4.15: Utklipp av AGV-rutene i U1

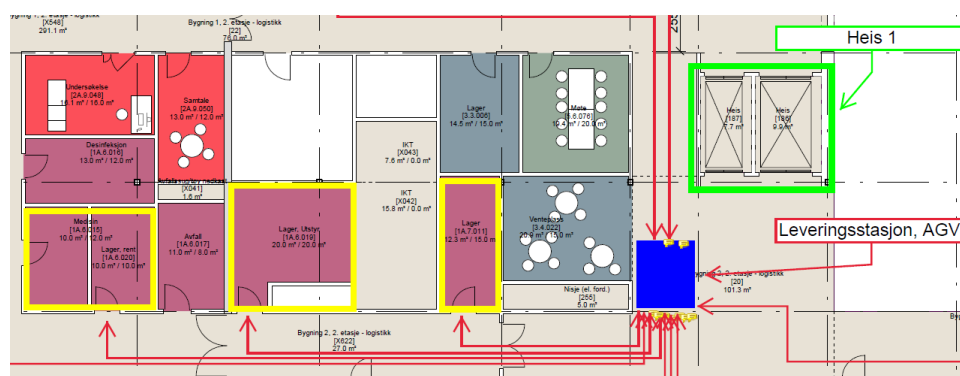
I kjelleretasjen (U1) ville AGV-ene hatt to forskjellige ruter fra vareterminalen ut fra om leveransene skal til hus 1, hus 2 eller hus 3. Ved leveranser til hus 1 og 2 ville det vært hensiktsmessig å benytte heis 1 (som ligger nærmest vareterminalen) og ved leveranser til hus 3

benytte heis 2 (som ligger lengst unna vareterminalen). Figur 4.15 viser ruten fra vareterminal og til heis 1, samt deler av ruten fra vareterminal og til heis 2. Grønn firkant illustrerer heis 1, blåfarget rute viser strekningen for leveranser til hus 1 og hus 2 (strekningen må benytte heis 1), mens turkisfarget rute viser strekningen for leveranser til hus 3 (strekningen må benytte heis 2).

Avstand fra vareterminal til heis 1: 43 meter

Avstand fra vareterminal til heis 2: 82 meter

I likhet med case 1 vil det, på grunn av plasseringen av hente- og leveringsstasjoner i tilknytning til heis, være avstander internt i etasjene hvor personell må utføre interntransporten. Dette vil være fra hentestasjonene og ut til forskjellige lagre i avdelingene, for eksempel utstyrslager, lager for forbruksvarer, kjøkken, medisinalager eller tøylager. I dette caset er hver avstand fra hente-/leveringsstasjon til lagerrom i avdelingene målt, deretter er gjennomsnittsavstanden for alle disse strekningene regnet ut. Denne gjennomsnittsavstanden brukes som parameter i regnearkmodellen.



Figur 4.16: Utklipp av manuelle strekninger i E2

I figur 4.16 er det vist eksempler på manuelle transportstrekninger. Grønn firkant illustrerer heis 1, gule firkanter illustrerer lagerrom i etasjen og blå firkant illustrerer en hente- og leveringsstasjon.

Gjennomsnittsavstand (manuelle transportstrekninger): 38 meter

5 Resultater

I dette kapittelet presenteres resultatene fra casestudiene gjennom bruk av regnearkmodellen og tilhørende sensitivitetsanalyser med grunnlag i forutsetninger og inndata fra kapittel 4.3 og 4.4.

5.1 Caseresultat: Sykehuset Nordmøre og Romsdal

Med utgangspunkt i case 1 (4.3) er følgende transportetapper for en maksimal dag presentert i tabell 5.1. Transportbehovet fra tabell 4.3 er fordelt i transportetapper med tanke på hvor leveransen kommer fra, og hvor den skal leveres. Tøy, mat, forbruksvarer og noe legemidler distribueres fra vareterminal, mens avfall distribueres til miljøhall. Mesteparten av legemidler distribueres fra sykehusapoteket.

Transportetapper	Avd. hus 41	Avd. hus 42	Avd. hus 43
Vareterminal - hus 43	41	45	30
Miljøhall - hus 43	9	16	9
Sykehusapotek - hus 42	1	1	1

Tabell 5.1: Transportetapper SNR - maksimaldag

Avstandsmålingene fra underkapittel 4.3.2 er gjengitt i tabell 5.2. Avstandene tar utgangspunkt i de tre heissjaktene som befinner seg i de tre forskjellige byggene på Hjelset. Totalt transportbehov i SNR Hjelset er estimert til 153 vogntransporter per dag. Med grunnlag i disse dataene, estimerer regnearkmodellen den gjennomsnittlige strekningen for én transportetappe med AGV til ca. 133 meter. Dette tallet er et resultat av produktet av mengden transportetapper og tilhørende avstander som er dividert på det daglige transportbehovet.

Avstander	Avd. hus 41	Avd. hus 42	Avd. hus 43
Vareterminal - hus 43	196 m	130 m	50 m
Miljøhall - hus 43	216 m	150 m	50 m
Sykehusapotek - hus 42	66 m	10 m	80 m

Tabell 5.2: Avstander SNR

Det er også kalkulert en gjennomsnittsavstand for manuell transport internt i etasjene til ca. 44 meter. Denne avstanden brukes i parameteren «*gjennomsnittlig gangavstand heis - hente/leveringssted (t/r) - manuell*». Det er seks etasjer på sykehuset, og det er tatt utgangspunkt i at AGV-ene vil operere i alle etasjene.

Med grunnlag i inndata og parametre kalkulerer modellen et estimat på antall nødvendige AGV-er som trengs for å dekke transportbehovet. I tabell 5.4 er det estimerte antallet AGV-er på 5,5 stk presentert.

Videre viser modellen en sammenligning av antall nødvendige årsverk og tilhørende personalkostnader som påløper ved en automatisert transportløsning kontra en manuell transportløsning. Resultatet av denne sammenligningen er presentert i tabell 5.3. Resultatet til modellen viser at det i dette caset vil påløpe personalkostnader tilsvarende ca. 0,6 årsverk ved en automatisert transportløsning, mens det ved en manuell transportløsning vil påløpe

personalkostnader tilsvarende ca. 7,1 årsverk. Differansen på 2,820,000 kroner viser besparelsen i manuelle årsverk hvis man går for en automatisert løsning. Dette er fordi man allikevel vil ha transportstrekninger som må utføres av personell selv om man innfører et AGV-system. En automatisert løsning vil eliminere det største transportarbeidet, men det vil fortsatt være behov for personell til transportarbeidet fra hente/leveringsstasjonene og ut til avdelingslagrene.

	Årsverk	Personalkostnad
Automatisert	0.6	kr 270 000
Manuell	7.1	kr 3 090 000
Differanse	6.5	kr 2 820 000

Tabell 5.3: Differanse i personalkostnad SNR

Med grunnlag i data, parametre og resultatet fra tabell 5.3 vil modellen kunne utføre en kost/nytte-analyse som vil gi en økonomisk begrunnelse på hvorvidt en investering i automatisert transportløsning er lønnsom. Kost/nytte-analysen gir en total nåverdi på 21,400,000 kroner og en nedbetalingstid på 1,6 år. Tidsperspektivet for kost/nytte-analysen er satt til 15 år.

Resultater	Maksimaldag
Estimert antall AGV	5,5
Nåverdi 15 år	kr 21 400 000
Nedbetalingstid	1,6 år

Tabell 5.4: Resultater SNR

I kapittel 6.4 vil det bli diskutert nærmere rundt troverdigheten og betydningen til resultatet.

5.2 Caseresultat: Nye Hammerfest sykehus

Med utgangspunkt i case 2 (4.4) har prosjektgruppen gjennomført en analyse av lønnsomheten ved implementering av et automatisk transportsystem på det nye sykehuset i Hammerfest. Transportbehovet for forsyningskjedene fra tabell 4.4 er fordelt på transportetapper med utgangspunkt i hvor varetransporten skal leveres og er presentert i tabell 5.5.

Transportetapper	Avdelinger hus 1	Avdelinger hus 2	Avdelinger hus 3
Vareterminal hus 1	26	24	21
Avfallssentral hus 1	4	5	2

Tabell 5.5: Antall transportetapper NHS - maksimaldag

Målte avstander omtalt i underkapittel 4.4.2 er gjengitt i tabell 5.6. Det totale transportarbeidet på en maksimaldag er simulert til 83 vogntransporter per dag. Avstandene strekker seg fra vare- og avfallsterminal til heis 1 og 2, der transportoppgaver til hus 1 og 2 benytter heis 1, mens oppgaver til hus 3 benytter heis 2. Disse avstandene brukes som inndata og utgjør grunnlaget for å estimere den gjennomsnittlige strekningen for én transportetappe med AGV, som er kalkulert til ca. 55 meter.

Avstand	Avdelinger hus 1	Avdelinger hus 2	Avdelinger hus 3
Vareterminal hus 1	43 m	43 m	82 m
Avfallssentral hus 1	53 m	53 m	92 m

Tabell 5.6: Avstander NHS

Videre er det kalkulert en gjennomsnittsavstand for manuell transport internt i etasjene til ca. 38 meter. Denne avstanden brukes i parameteren «*gjennomsnittlig gangavstand heis - hente/leveringssted (t/r) - manuell*». Prosjektgruppen har gjort en antagelse på at det vil være reelt at AGV-ene opererer i alle fire etasjene.

Ut fra inndata og parametre kan modellen kalkulere et estimat på antall nødvendige AGV-er som trengs for å dekke transportbehovet. I tabell 5.8 er det presentert et nødvendig antall på 3 stk som behøves for å dekke det gitte transportbehov.

Videre viser sammenligningen av en automatisert transportløsning kontra en manuell transportløsning, presentert i tabell 5.7, at det i dette caset vil påløpe personalkostnader tilsvarende ca. 0,3 årsverk ved en automatisert transportløsning, mens det ved en manuell transportløsning vil påløpe personalkostnader tilsvarende ca. 3,6 årsverk. Differansen på 1,443,000 kroner viser besparelsen i manuelle årsverk hvis man går for en automatisert løsning. Også i dette caset vil man ha transportstrekninger som må utføres av personell selv om man innfører et AGV-system.

	Årsverk	Personalkostnad
Automatisert	0.3	kr 130 000
Manuell	3.6	kr 1 573 000
Differanse	3.3	kr 1 443 000

Tabell 5.7: Differanse i personalkostnad NHS

Med grunnlag i data, parametre og resultatet fra tabell 5.7 vil modellen kunne utføre en kost/nytte-analyse som vil gi en økonomisk begrunnelse på hvorvidt en investering i automatisert transportløsning er lønnsom. Kost/nytte-analysen gir en total nåverdi på 7,400,000 kroner og en nedbetalingstid på 3,5 år. Tidsperspektivet for kost/nytte-analysen er satt til 15 år.

Estimert antall AGV	3 stk
Nåverdi 15 år	kr 7,400,000
Nedbetalingstid	3,5 år

Tabell 5.8: Resultater NHS

I kapittel 6.4 vil det bli diskutert hvorfor prosjektgruppen, i dette case-eksempelet, anser denne investeringen som ikke-lønnsom, selv om regnearkmodellen tilsier noe annet.

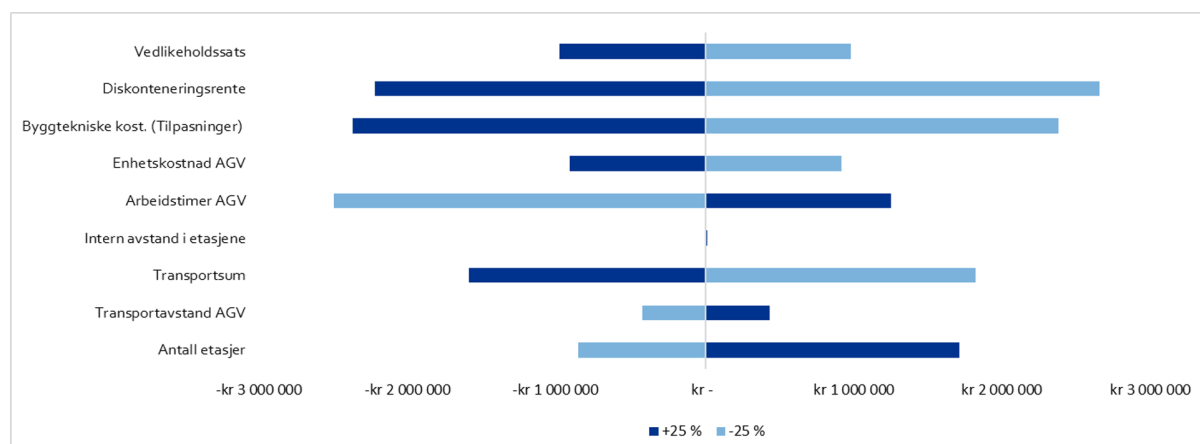
5.3 Resultater: Sensitivitetsanalyse

Mange parametre vil ikke variere nevneverdig avhengig av sykehus. I sensitivitetsanalysen er det målt hvilken påvirkning de ulike inndataene og parametrene har på den avsluttende beslutningsvariabelen nåverdi. Dette for å avgjøre hvilke faktorer som må hensyntas som viktige verdier, og hvor sårbart resultatet er for endring i forutsetningene. Sensitivitetsanalysen er gjennomført ved å både øke og redusere enkelte parametre med +/- 25%. Venstre side av diagrammet illustrerer en reduksjon i total nåverdi, mens høyre side illustrerer en økning i total nåverdi.

Prosjektgruppen har gjennomført to ulike sensitivitetsanalyser med utgangspunkt i resultater fra regnearkmodellen tilknyttet de to case-eksemplene, 4.3 og 4.4. Resultater fra analysen er presentert i form av en figur, 5.1 og 5.2, og vil bli videre drøftet under diskusjonskapittel 6.5.

5.3.1 Sykehuset Nordmøre Romsdal

I SNR-prosjektet er sykehuset fordelt på flere bygg, og strekningene er lange i forhold til kvadratmeterstørrelsen. I figur 5.1 er sensitivitetsanalysen illustrert og presenterer påvirkningen på total nåverdi som følge av endringer på de ulike faktorenes verdier.



Figur 5.1: Sensitivitetsanalyse SNR

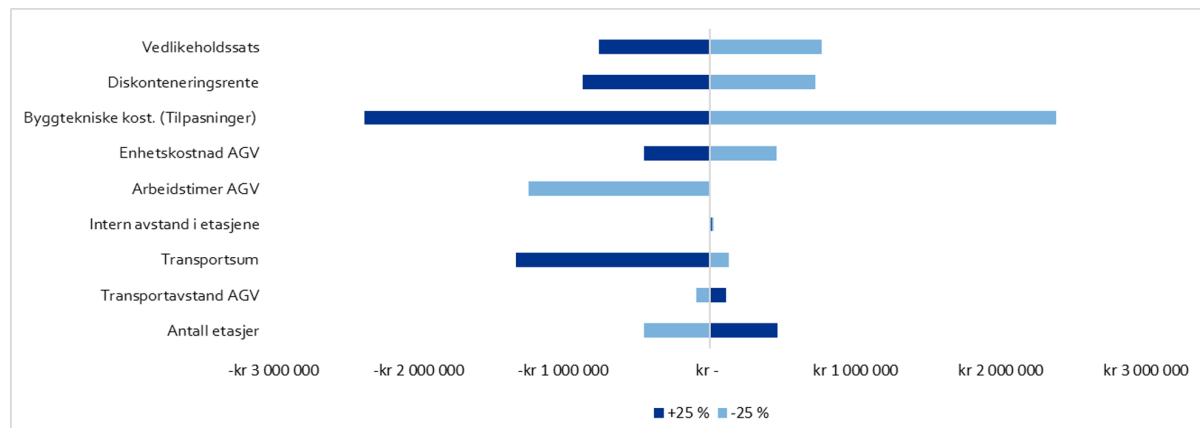
Ut fra analysen ser man at den gjennomsnittlige transportavstanden for AGV-ene («Transportavstand AGV») ikke utgjør en like stor forskjell i det totale kostnadsbildet, kontra hvordan transportsummen påvirker resultatet. Byggetekniske kostnader påvirker kostnadsbildet i en veldig stor grad, mens variabelen knyttet til den gjennomsnittlige avstanden for servicepersonell internt i etasjene utgjør nesten ingenting.

Om man ser på diskonteringsrenten i analysen vil man identifisere at ved en +/- 25% endring i den satte diskonteringsrenten på 6,5% , vil det i dette case-eksempelet utgjøre en av de største forskjellene for endring i total nåverdi.

Analysen viser også at ved å redusere antall etasjer i sykehuset vil nåverdien synke, mens ved å øke antall etasjer vil nåverdien øke. Vedlikeholdssatsen satt i regnearkmodellen påvirker resultatet i nesten like stor grad som enhetskostnaden til én AGV, som begge reduserer total nåverdi ved økning og øker total nåverdi ved reduksjon.

5.3.2 Nye Hammerfest sykehus

I NHS-prosjektet er sykehuset kompakt og avstandene er korte sett i lys av andre sykehus. I figur 5.2 er sensitivitetsanalysen illustrert, og presenterer påvirkningen på total nåverdi som følge av endringer på de ulike faktorenes verdier.



Figur 5.2: Sensitivitetsanalyse NHS

Analysen viser at byggetekniske kostnader utgjør den største forskjellen i det total kostnadsbildet og gir dermed, ved en økning eller reduksjon i variabelen, det største utslaget i nåverdien. Variabler som diskonteringsrenten og vedlikeholdssatsen, med en endring på +/- 25%, utgjør i like stor grad det samme på nåverdien. Kostnader i form av den gjennomsnittlige transportavstanden for AGV-er, og den gjennomsnittlige interne avstanden for servicepersonell i etasjene, utgjør ganske så lite i kostnadsbildet ved dette case-eksempelet fra NHS.

Både arbeidstiden som én AGV har tilgjengelig og transportsummen gir store utslag ved reduksjon i figur 5.2. De gir ikke tilstrekkelige utslag ved økning, som følge av at det estimerte behovet for AGV avrundes opp til nærmeste heltall og endringen ikke endrer den nødvendige investeringen. Dette illustrerer økt lønnsomhet ved investering dersom AGV-ene kunne arbeidet lenger og dersom det hadde vært større transportbehov. Sammenhengen mellom resultatet og case-eksempelet vil bli diskutert under 6.5.

6 Diskusjon

I dette kapittelet vil det bli diskutert rundt risikoen for feil ved regnearkmodellering, usikkerheter ved regnearkmodellen, samt diskusjon rundt de sterke og svake sidene ved gjennomføringen av casestudiene. Videre blir caseresultatene diskutert og tolket, og deretter en diskusjon rundt resultatene fra sensitivitetsanalysene, før det redegjøres for utfordringer ved den teknologiske utviklingen og hvordan dette spiller inn i vurderingen av en AGV-investering. Kapittelet avsluttes med en diskusjon rundt mulighetene for videre arbeid med grunnlag i denne bacheloroppgaven.

6.1 Risiko for feil ved regnearkmodellering

Tidligere forskning viser tydelig at feilaktige regnearkmodeller ikke er noe nytt fenomen. Klassifiseringen (taksonomien) av feiltyper knyttet til regnearkmodeller i forskningen dreier seg, i følge Panko og Aurigemma (2010), i hovedsak om planleggende feil som gjøres før inntasting av formler (feil bruk av formler, feil bruk av logikk m.m.), og utøvende feil som gjøres i det man taster inn formler (tastefeil, datainntastingsfeil m.m.). I en eksperimentell studie, hvor ni erfarne regnearkbrukere utviklet tre regneark hver, viser Brown og Gould (1987) at 44 prosent av de utviklede regnearkene inneholdt brukergenererte programmeringsfeil. Videre viser studien at blant 17 observerte feil var 12 på grunn av feil i formler, tre på grunn av tastefeil og de resterende to på grunn av henholdsvis avrundingsfeil, og en låst celle som forhindret brukeren å taste inn data i cellen. I tillegg til denne studien viser også annen nyere forskning (Janvrin og Morrison, 1996; Panko, 1998; Caulkins et al., 2007; Clermont et al., 2008) at feil i regnearkmodeller er utbredt.

Janvrin og Morrison (1996) viser at ved en strukturert tilnærming til regnearkmodellering minsker feilprosenten i utvikling av regneark. Dette blir også belyst i Kruck (2006) hvor en testgruppe med personer kunne benytte forskjellige hjelpearke ved utvikling av regnearkmodeller. Resultatene viser at deltakerne som fikk utdelt hjelpearke hadde færre feil enn kontrollgruppen som ikke fikk utdelt hjelpearke. Videre viser Panko og Halverson Jr (1994) i en eksperimentell studie (hvor et utvalg studenter ble bedt om å jobbe i enten grupper på én, to eller fire stykker) at antall feil i regnearkmodellering reduseres når arbeidet utføres i samarbeid med andre.

På grunn av dette har det vært vesentlig for dette prosjektet å forstå det faktum at det statistisk sett er risiko for å gjøre feil i regnearkmodellen. Derfor har prosjektgruppen, som nevnt i kapittel 3.5, benyttet metodene «*7-steps prosess for regnearkmodellering*» (kapittel 2.7.1) og «*Spreadsheet Engineering*» (kapittel 2.7.2) både for å redusere sjansen for feil i regnearkmodellen, men også for å sikre en strukturert og effektiv gjennomføring av regnearkmodellen. Begge metodene peker på viktigheten av å teste og verifisere den aktuelle modellen for å avdekke eventuelle feil, samtidig som de gir strukturerte fremgangsmåter på hvordan man skal gå frem for en mer effektiv og feilfri gjennomføring av modelleringen. Prosjektgruppen har også benyttet fordelene av å være flere personer som dermed har kunnet kvalitetssikre og gjennomgå regnearkmodellen for eventuelle feil og ulogiske sammenhenger.

6.2 Usikkerheter ved regnearkmodellen

Inndata

Et viktig aspekt med regnearkmodellen er inndata angående avstand. Denne numeriske verdien må funksjonere representativt for transportarbeidet. Dette oppnås ved at inndata registreres for samtlige avstander der det er transportarbeid. På denne måten kryssrefereres antallet turer med avstandene, og det beregnes en gjennomsnittlig avstand for en gitt transport. Dette kunne også vært gjennomført gjennom en enkelt inndatacelle for et enkelt avstandsparameter. Dette for at modellen skulle være ytterligere effektiv og tidsbesparende å benytte. For å redusere usikkerhet maksimalt, ble denne løsningen valgt bort. For å opprettholde effektivitet og brukervennlighet ble denne tankegangen derimot benyttet i bestemmelse av antall etasjer. Samlet transportarbeid gjennomføres selvsagt ikke verken til eller fra samme etasjenivå hele tiden, men et representativt valg for å identifisere gjennomsnittlig heistid er vesentlig for beregninger.

Beregning av antall AGV

Gjennomføringen av beregning av antall AGV tar i bruk likning 4.1. Utredningen er forklart i 4.1, mens konstantverdien benyttet er et resultat av iterasjon ved testing av konstantverdier opp i mot faktiske antall AGV i nåværende sykehus. Denne konstanten justerer i praksis opp estimert antall AGV, og er nødvendig som følge av at den resterende formelen beregner et absolutt teoretisk minimum for antall AGV-er som ikke gjenspeiler virkeligheten. Svakheter og usikkerhet ved bruk av denne matematiske tilnærmingen er at formelen ikke opprinner i sykehusbransjen og derfor ikke er tiltenkt AGV vogntransport i sykehus, men AGV-gaffeltrucker i et mindre komplekst nettverk. Derfor er formelen justert for å på enklest mulig vis være et resultat av hastighet, avstand og transportfrekvens. Dog er det flere faktorer det kunne blitt tatt hensyn til (2.1.3), men disse er valgt bort fordi modellen er tiltenkt bruk i tidligfasen i et prosjekt og skal derfor være et enkelt og effektivt verktøy.

Parametre

Som presentert i 4.2 baseres de fleste beregninger på allerede innlagte parametre. Disse strekker seg fra enkle konstanter, som sekunder i timen, til langt mer komplekse investeringskostnader. En helhetlig oversikt over parametre er tilgjengelig som vedlegg under A7.

Personalkostnader baseres på historiske data fra STOH og lønnsanslag fra SSB (SSB, 2018b), og sett i lys av norsk helsevesens oppbygging vil disse være like uavhengig av sykehus. Usikkerheten rundt disse kostnadene er at de må justeres med tiden for å reflektere reelt kostnadsbilde.

Parametre tilknyttet «*Tidsforbruk for arbeidsoperasjoner*» er også i stor grad basert på historiske data fra STOH-vurderingen, men en rekke av verdiene vil være faste uavhengig av sykehus, slik som hastigheter og tidsbruk i heis. Svakheten ved disse parametrene er nettopp tilknytningen til tidligere data, men regnearkmodellen er utviklet slik at brukeren har mulighet til å gjennomgå og tilpasse disse slik at parametrene er representative for det gitte prosjekt. Dog uavhengig av endring vil innlagte parametre også operere som en god indikasjon som følge av felles systemer for sykehus i Norge.

Parametre under kategorien «*Generelt*» er svært sentrale i en rekke beregninger. Her kan diskonteringsrente endres, sammen med blant annet årlige leveringsdager. Den satte diskonteringsrente er en overføring fra investeringsanalysen gjennomført på STOH. Det foreligger derfor noe usikkerhet om den burde justeres opp gitt endringer av risikoen i markedet.

Endringsparametre «*heissats*», «*vedlikeholdssats*» og «*forbedringsats*» utgjør de gjenværende generelle parametrene. Heissatsen satt til 10 gir en 10% endring i tidsforbruk mellom etasjenivå. Denne satsen er ikke beregnet, men utprøvd for å oppnå representativt tidsforbruk ved tidligere prosjekter. Dette åpner for avvik, men generaliteten til heistransport tilsier en slik type parameterverdi. En forbedringsats på 1.02 gir 2% bedring i årlig personellbesparelse som følge av innføringstid med nytt utstyr. Vedlikeholdssatsen er satt til 3% av investeringen etter historiske data fra STOH-prosjektet, som videre ble bekreftet av Nedland under samtale.

Parametre tilknyttet «*AGV-investering*» er basert på en kombinasjon av historiske data fra STOH og ulike samtaler med representanter fra Sykehusbygg HF og Swisslog Healthcare. Dette vil si at de benyttede kostnadsverdiene har høy pålitelighet og en reell tilknytning til næringslivet. Disse kostnadene er likevel lagt inn kun som en antydning for å kunne gjøre en grov investeringsvurdering, og disse kostnadene vil sannsynligvis påvirkes av omfanget til investeringen med tanke på det aktuelle sykehusets bygningskropp og størrelse. For å oppnå investeringsgrunnlag av enda høyere validitet må leverandører sammenliknes i anbudsrunder for et gitt prosjekt. Dette overgår modellens hensikt med å være et verktøy for effektiv, enkel og oversiktlig beregning, og vil først være aktuelt å gjennomføre når man har besluttet at sykehuset skal ha et AGV-system eller ikke.

Som tidligere nevnt i oppgaven vil det, ved implementering av et AGV-system, medfølge kostnader knyttet til byggetekniske tilpasninger i sykehuset. Disse kostnadene er representert i regnearket under parameteren «*Byggetekniske kostnader (Tilpasninger)*». Med byggetekniske tilpasninger menes f.eks. endringer sykehusbygget som må gjennomføres for at man skulle kunne innføre et AGV-system. Eksempler på dette er at gangene må være bredere, at heisene må være større, eller andre tilpasninger i sykehuset for at AGV-maskiner skal kunne operere. Prosjektgruppen har mislykkes i å innhente en verdi for slike kostnader i de to aktuelle casestudiene, og mangelen av disse har påvirket kost/nytte-analysen i caseresultatene. Dette vil bli diskutert videre i kapittel 6.4.

Verktøy for beslutningsstøtte

Regnearkmodellen er ikke designet for å avgi et direkte grunnlag for beslutning, men for å gjengi en helhetlig oversikt av et valgt scenario. Den har som oppgave å danne et bredt vurderingsgrunnlag i tidligfase. Kostnadsoversikten er kun en pekepinn for hva en eventuell investering vil medbringe, men modellen danner et godt grunnlag, gitt presise inndata og parameterverdier, for å vurdere investering i AGV. For at modellen skal være et godt verktøy for beslutningsstøtte, er også brukerens evne til å tilpasse parametre essensielt. Det foreligger en svakhet ved at mange parametre kan og bør endres ved ulike prosjekter, noe som åpner for kunstige kostnader.

6.3 Gjennomførelse av case-eksempler

Casestudiene som er gjennomført i denne oppgaven baserer seg på to reelle sykehusprosjekter der Sykehusbygg HF har prosjektledende rolle, hvor både bygningskropp, antall etasjer og transportløsning for intern varetransport allerede er bestemt. SNR-prosjektet er allerede i gjennomføringsfasen og NHS-prosjektet er i forprosjektfasen. I de to casestudiene er det blitt brukt estimater på transportbehovet for sykehusene som stammer fra simuleringer som Sykehusbygg HF har gjennomført. Det vil naturligvis være usikkerhet knyttet til disse simulerte verdiene med tanke på at fremtidig behov kan forandres, eller at pågangen på sykehusene kan øke eller synke med årene. Befolkningsframskrivningene til Statistisk Sentralbyrå (SSB, 2018a) viser at den forventede levealderen i Norge bare vil øke med årene, og at det i 2030 vil være 5.735.000 innbyggere i Norge mot dagens 5.332.000. Dette tallet er spådd til å fortsette å øke, noe som vil si at det er rimelig å anta at pasientpågangen på norske sykehus også vil øke i takt med denne befolkningsøkningen. Dette vil også påvirke sykehuslogistikken og det interne transportbehovet i sykehusene. Allikevel vil det, med opprinnelig planlagt størrelse og kapasitet på sykehusene, være begrensninger på hvor mange vareleveranser og pasienter som sykehusene har kapasitet til å ta i mot. Dette betyr også at det vil være en øvre grense for hvor mange AGV-er som er fornuftig å innføre i sykehusene, med mindre det blir gjort utbygginger i fremtiden.

Videre har prosjektgruppen gjennomført grove avstandsmålinger (Se vedlegg A9, A10, A12 og A13) og tatt utgangspunkt i gjennomsnittlige verdier for avstander knyttet til AGV- og manuelltransport. Dette er blitt gjort for å gi en pekepinn på avstandene internt i sykehusene. Disse verdiene kunne vært enda nøyere utført, da spesielt i case 1 (4.3) hvor færre målinger ble gjennomført på grunn av tidsbegrensninger. Med grunnlag i sensitivitetsanalysen som prosjektgruppen har gjennomført kan det derimot tyde på at mindre utslag på avstander har lite påvirkning på det totale kostnadsbildet, og at det heller er faktorer som transportbehov og investeringskostnader som påvirker kostnadsbildet i større grad.

6.4 Diskusjon av caseresultater

Baktanken ved å bruke SNR- og NHS-prosjektene som eksempler i casestudiene har vært å illustrere hvordan modellen håndterer å bli brukt i ulike prosjekter hvor det er betydelig forskjell på bygningskropp og transportbehov. Gjennom disse casestudiene er det tidligere i oppgaven blitt presentert resultater fra regnearkmodellen (kapittel 5.1 og 5.2), som vil bli diskutert videre i dette underkapittelet.

I SNR-prosjektet (case 1) er det i realiteten blitt bestemt en automatisert transportløsning, hvor det er lagt til grunn at 6 AGV-er skal kunne dekke transportbehovet. I vårt resultat (5.1) har regnearkmodellen gitt tilnærmet likt resultat på antall AGV-er, der AGV-behovet er estimert til 5,5 stk. Med tanke på de faktiske vurderingene som er gjort i SNR-prosjektet, viser dette at estimatet av antall AGV-er i regnearkmodellen gir en god pekepinn på hvor mange AGV-er som er nødvendig for å dekke behovet basert på transportbehov og avstander internt i sykehuset. Videre er det, i NHS-prosjektet (case 2), blitt bestemt en manuell transportløsning og konkludert med at innføring av AGV eller lignende løsninger ikke vil være økonomisk bærekraftig. I resultatet for case 2 (5.2) er det blitt estimert et antall på 3 stk AGV-er. Da det ikke er bestemt en automatisert transportløsning i NHS-prosjektet er det heller ikke estimert et antall AGV-er som ville vært nødvendig for å dekke transportbehovet. Derfor er det ikke mulig å sammenligne det

estimerte antall AGV-er i case 2 med et reelt tall slik som det er blitt gjort i case 1. Allikevel er det, med tanke på størrelses- og avstandsforskjellen på de to sykehusene, grunnlag for å si at estimeringen av antall AGV-er i regnearkmodellen gir en god pekepinn i tidligfasen av et sykehusprosjekt.

På den andre siden er det grunnlag for å si at resultatene fra kost/nytte-analysen gir urealistiske verdier. Kost/nytte-analysen i case 1 gir en positiv total nåverdi på 21,405,002 kroner, og en nedbetalingstid på 1,6 år. Tidsperspektivet for kost/nytte-analysen er satt til 15 år. Med en positiv total nåverdi vil det ut fra kost/nytte-analysen lønne seg å investere i en automatisert transportløsning. I tillegg til dette vil det, i følge tilbakebetalingsmetoden (2.5.6), være lønnsomt å investere dersom tilbakebetalingstiden er mindre enn den økonomiske levetiden. Det er uvisst hva man anser som den økonomiske levetiden til en AGV i næringslivet, men den tekniske levetiden til en AGV er på ca. 15 år. Ved å eksempelvis sette den økonomiske levetiden til ca. 10 år vil tilbakebetalingstiden være betydelig mindre enn den økonomiske levetiden med en nedbetalingstid i case 1 på 1,6 år. De samme tilfellene finner vi i kost/nytte-analysen for case 2, som har en positiv total nåverdi på 7,434,895 kroner, og en nedbetalingstid på 3,5 år. Også her er tilbakebetalingstiden betydelig mindre enn den økonomiske levetiden hvis man bruker anslaget for økonomisk levetid på ca. 10 år.

En sannsynlig årsak til de lave nedbetalingstidene er mangelen på kostnadsparametre knyttet til byggtekniske tilpasninger og justeringer som følger med innføringen av et AGV-system. Kost/nytte-analysene som er gjennomført i denne bacheloroppgaven tar utgangspunkt i kostnadsbesparelser i form av personell, og kostnadsfaktorer knyttet til drift, vedlikehold og investering av et AGV-system (og tilhørende kostnader for montasje, ladestasjoner, prosjektering m.m.). For at kost/nytte-analysen skal gi et mer realistisk bilde er man avhengig av å kjenne til kostnadene knyttet til byggtekniske tilpasninger og justeringer.

Eksempelvis ble det i STOH-vurderingen anslått byggtekniske tilpasningskostnader tilsvarende 7,800,000 kroner. Disse kostnadene ville mest sannsynlig vært lavere i både SNR- og NHS-prosjektet på grunn av forskjellen i bygningsstørrelse, bygningskropp og transportbehov. Allikevel illustrerer dette at byggtekniske tilpasninger medfører vesentlige kostnader som kan påvirke kost/nytte-analysen. Ved bruk av denne kostnaden i kost/nytte-analysen for case 1 og case 2, vil det fortsatt være lønnsomt å investere i automatisert vogntransport i SNR-prosjektet, men nedbetalingstiden vil øke. Det vil derimot ikke lønne seg å investere i NHS-prosjektet da nåverdien blir negativ, noe som gir mening da det samsvarer med vurderingene som er tatt i realiteten i NHS-prosjektet.

Når det er sagt, er regnearkmodellen utviklet slik at det er enkelt for en eventuell sluttbruker å inkludere slike kostnadsfaktorer som prosjektgruppen ikke har hatt tilgang til, og dermed få en mer realistisk kost/nytte-analyse fra regnearkmodellen.

6.5 Gjennomførelse av sensitivitetsanalyse

Som beskrevet i kapittel 3.8 brukes analysemetodikken til å kartlegge de variablene som påvirkes av endringer i forutsetningen, altså endringer av variabler og parametre både i positiv og negativ retning. Gjennom analysen er det blitt identifisert hvilke variabler som gir betydelige utslag på nåverdien, samt de variablene som ikke påvirker nåverdien i like stor grad. Prosjektgruppen har tatt utgangspunkt i de variablene man anser som essensielle ved vurdering av lønnsomhetsbildet av et AGV-system. Variabler i form av enhetskostnader for én AGV, diskonteringsrente, antall

transportoppgaver og den gjennomsnittlige transportavstanden for AGV-ene er alle tatt med i vurderingen. Ut fra resultatene fra sensitivitetsanalysene har prosjektgruppen oppdaget klare sammenhenger mellom disse resultatene, og de resultatene som regnearkmodellen har produsert på bakgrunn av casestudiene fra kapittel 4.3 og 4.4.

I sensitivitetsanalysen fra kapittel 5.3.1 ble det påpekt at en redusering i antall etasjer ville gi en lavere nåverdi, mens en økning i antall etasjer ville gi en økning i nåverdi. Dette er fordi en økning i antall etasjer ville gi økt tidsforbruk for personell i heis, som ville ført til høyere personellkostnader og dermed en høyere besparelse ved en AGV-løsning. Allikevel er det et svakt argument å øke antall etasjer, da dette åpenbart vil medbringe byggemessige kostnader i form av ny etasje og tilhørende heissjakter.

Videre er det, med utgangspunkt i resultatet til sensitivitetsanalysen fra kapittel 5.3.2, identifisert at transportsummen er såpass lav at en økning med 25% ikke vil være tilstrekkelig for å øke AGV-behovet. Transportsummen øker, men økningen er ikke stor nok til at AGV-behovet oppjusteres fra 3 stk AGV-er. Det er derfor økt transportsum ikke gir økt nåverdi i sensitivitetsanalysen. Denne type sammenheng er i samsvar med de vurderingene som er tatt i NHS, hvor det vises at 83 transportoppgaver på en maksimaldag er et for lite antall i forhold til nødvendigheten av et AGV-system i sykehuset.

Om man sammenligner «*Transportsum*» fra NHS med SNR, ser man at en reduksjon av variabelen hos SNR vil i stor grad påvirke det totale kostnadsbildet i positiv forstand, i motsetning til det drastisk mindre utslaget ved NHS. Dette kommer som en konsekvens av bruk av en avrundet verdi på antall AGV, samt det faktum at en lavere transportsum i SNR vil gi et lavere estimat på antall AGV-er og dermed lavere investeringskostnader. Det er samme grunnlag for at utslagene ved økning av «*Transportsum*» gir ulike resultater i casene. Det kan argumenteres for at transportsummens sensitivitetsanalyse burde benyttet større intervaller for å oppnå bredere forståelse av verdien. Diskonteringsrenten er også av mye større betydning i SNR-caset, som følge av at prosjektomfanget er større i SNR sammenlignet med NHS. Dermed vil også risikoen ved investering øke i SNR-prosjektet.

I motsetning til kost/nytte-analysene, er det i sensitivitetsanalysene inkludert den byggetekniske tilpasningskostnaden fra STOH. Som tidligere nevnt ville denne verdien mest sannsynlig vært lavere i SNR- og NHS-prosjektene på grunn av forskjellen i byggstørrelsene. Allikevel er denne verdien brukt i sensitivitetsanalysene for å identifisere sammenhenger, samt analysere påvirkningen kostnaden har på total nåverdi. Det fremstår i begge analysene at den byggetekniske tilpasningskostnaden er en av variablene som utgjør størst forskjell på den totale nåverdien. Prosjektgruppen anser denne variabelen som viktig i sensitivitetsanalysen, dette fordi variabelen gir en illustrasjon på hvilken innvirkningen den har på det totale kostnadsbildet.

Et interessant funn er at «*Transportsum*» har en betydelig større innvirkning på det totale kostnadsbildet enn det «*Gjennomsnittlige transportavstanden for AGV-ene*» har. Dette funnet er i tråd med prosjektgruppens problemstilling, og gir gruppen en indikasjon på at ved vurdering av et mulig AGV-system må antall transportoppgaver anses på som en viktig faktor i vurdering av lønnsomheten.

6.6 utfordringer ved den teknologiske utviklingen

AGV-er har utviklet seg mye siden sin spede begynnelse og gjennomfører langt flere ulike arbeidsoppgaver enn den gang (Ullrich, 2015). Dette samsvarer med teknologiske fremskritt i ulike industrier og samfunnet forøvrig. Batteriteknologien har bedret seg drastisk, og økt konkurranse har gitt både bedre løsninger og lavere priser for batteripakker (Nykvist og Nilsson, 2015). Navigasjonsteknologien er også i utvikling og det produseres stadig ulike løsninger (Ullrich, 2015). Automatisert transport har også blitt lettere tilgjengelig for privatpersoner og ikke bare industri, som åpner for ytterligere teknologiske løsninger og problemstillinger (Fagnant og Kockelman, 2015).

En ny smart automatisk transportløsning som er tilgjengelig på markedet er «Wheel.me». Denne løsningen er bestående av automatiserte hjul inne i en sylinder, som kan monteres på nesten alt. Atle Timenes, en av grunnleggerne av «Wheel.me», beskriver de små robotene som et bedre alternativ enn de AGV-ene som i dag opererer på sykehusene (Ludt, 2018). Fordelen med «Wheel.me» er at det kreves en betydelig mindre investering i infrastrukturen ved sykehusene. Timenes forteller videre i intervjuet hos *Moderne transport* at «Wheel.me» kan monteres både på paller, bur eller andre lastbærere og derfor gjøre AGV-ene og andre type transportløsninger i sykehuset unødvendige (Ludt, 2018).

I møtet med Silje Marie Nedland, Technical System Manager ved St. Olavs hospital, fortalte hun at St. Olavs hospital i dag står ovenfor store utskiftninger tilknyttet AGV-systemene deres. AGV-ene klarer ikke å utføre like mange transportoppgaver som de gjorde før. Dette er et resultat av slitasje, og kapasitetsreduksjon på batterier og andre viktige komponenter. Videre fortalte Nedland at det ble vurdert utskiftning av kun batteripakkene på AGV-ene, men at dette var problematisk grunnet leverandøren til batteripakkene ikke lenger leverer denne type batterier. Denne problemstillingen har resultert i at Nedland og STOH må investere i helt nye AGV-enheter.

Da forekommer det nye beregninger og avgjørelser som må gjennomføres i forhold til valg av type AGV-system, og hvilket antall som er nødvendig for å dekke transportbehovet hos STOH. Et resultat av dagens problemstilling kan være at STOH må investere i ytterligere servicepersonell for å demme opp for de arbeidsoppgavene AGV-ene ikke lenger rekker. En avgjørelse som kan gi en utløsende faktor ved beregninger av fremtidige kontantstrømmer.

Om man skulle se på den satte diskonteringsrenten i kost-nytte analysen og risikoen ved den teknologiske utviklingen, kan man diskutere hvorvidt man burde vurdere å ta den teknologiske utviklingen i betraktning ved bestemmelse av rentesatsen. Som beskrevet i teorikapittelet 2.5.5, justeres renten ut fra usikkerheten ved fremtidig kontantstrøm. Det vil derfor være grunnlag for å påstå at rentesatsen burde økes, som følge av den teknologiske utviklingen.

Ved investeringer av nye AGV-systemer må prosjektledere og kunder være innforstått med at teknologien endrer seg, og at det vil finnes mange smarte alternativer til transportløsninger tilgjengelig på markedet i fremtiden. Som Nedland beskrev i samtalen oppstår det problemer når komponentene til systemene blir utdaterte, der eksempelvis batterier ikke kan utskiftes til nye grunnet leverandører ikke produserer den type batterier lenger.

Som beskrevet i kapittel 2.6.2, spiller ikke bare investeringsobjektets tekniske levetid inn, men også den økonomiske levetiden. Man kan eksempelvis ta utgangspunkt i lønnsomheten ved implementering av et AGV-system i et sykehus, og diskutere hvorvidt fremtidig lønnsomhet påvirkes av endringer i teknologien. Det har vært tidligere beskrevet at den tekniske levetiden

til et AGV-system er på ca. 15 år, men den økonomiske levetiden kan være betydelig kortere (SSB, 2014). Grunnen til at den økonomiske levetiden kan være kortere enn den tekniske, er fordi det kan være økonomisk lønnsomt å investere i et nytt system før den tekniske levetiden på det opprinnelige systemet har utløpt. Dette er fordi det stadig kommer nye konsept- og logistikk-løsninger som implementeres i ulike deler av forsyningskjeden, som videre resulterer i at det settes nye krav og forutsetninger til hvordan et AGV-system skal fungere. Muligens kan det lønne seg å investere i et helt nytt transportsystem etter 10 år.

Man må derfor vurdere avviket mellom den økonomiske - og tekniske levetiden med den teknologiske utviklingen i bakhånd. For da å kunne vurdere den mest lønnsomme perioden, altså den mest økonomiske perioden, man burde operere AGV-systemet i før AGV-systemet må utskiftes. Å utarbeide et riktig evalueringsgrunnlag av den økonomiske levetiden mener prosjektgruppen burde vektlegges høyt. Dette fordi den økonomiske levetiden er en viktig faktor for videre vurdering av lønnsomheten av en eventuell AGV-investering. Som beskrevet i teorigrunnet 2.5.6, sammenligner man den økonomiske levetiden i forhold til beregnet nedbetalingstid fra investeringen, for da å kunne konkludere hvorvidt investeringen er lønnsom eller ikke.

Under samtale med Dag Roar Karlsen vektla han at fokuset på den teknologiske utviklingen vil være sentralt i videre arbeid med AGV-systemer. Denne usikkerheten knyttet til fremtidens løsninger, danner også grunnlag for å påstå at resultater fra økonomiske beregninger må være overveiende. Slik som det har blitt diskutert rundt regnearkmodellen.

6.7 Videre arbeid

Denne bacheloroppgaven har hovedsakelig gått ut på å utvikle et beregningsverktøy som er såpass generelt og brukervennlig, og samtidig ikke altfor komplisert, at det kan tas i bruk som et effektivt modelleringsverktøy i tidligfaseplanleggingen av nye sykehusprosjekter. Altså et effektivt modelleringsverktøy som sikrer tidlig identifisering av mest lønnsomme transportløsninger. På det grunnlaget har prosjektgruppen utviklet modellen på en slik måte at det er enkelt for Sykehusbygg HF, og andre involverte parter, å gjennomføre endringer og forbedringer tilspisset deres prosjekter og problemstillinger.

Prosjektgruppen har studert muligheten for å kunne utvikle modellen på en slik måte at den tar høyde for de tidspunktene på dagen hvor det er høyest pågang. Dette for å identifisere det nødvendige antallet AGV-er som må til for å dekke behovet på gitte tidspunkt. Siden prosjektgruppen utvikler en modell som tas i bruk ved et såpass tidlig tidspunkt i planleggingsfasen, tar man utgangspunkt i at prosjektet på dette tidspunkt ikke har kartlagt de døgn-toppene på dagen hvor det er høyest pågang i vareflyten. Derfor har prosjektgruppen valgt å ta denne type forbedringsmulighet videre som en faktor å studere for videre arbeid. Denne type forbedring kan være til hjelp for å kunne danne seg et enda grundigere lønnsomhetsbilde av selve investeringen, og samtidig kunne utarbeide seg et mer korrekt anslag på antall AGV-er.

Prosjektgruppen har analysert tidligere regneark fra STOH-vurderingen, hvor Sykehusbygg HF har tatt døgn-toppene i betraktning ved utregningene sine. Prosjektgruppen har med tidligere forskning og regneark i bakhånd, konkludert med at modelleringsverktøyet som utvikles i prosjektet er såpass fleksibel at den type endring i teorien vil være mulig, men krever betydelige endringer i regnearkmodellens struktur.

Det kan også diskuteres hvorvidt modelleringsverktøyet burde implementeres som et standardverktøy i veileder for tidligfaseplanleggingen hos Sykehusbygg HF. Prosjektgruppen ser muligheten for at modellen som verktøy kan bidra til verdiskaping i planleggingsfasen, ved at tidsbruken knyttet til identifisering av egnet transportløsning reduseres. Et resultat av dette kan være at Sykehusbygg HF frigjør mer tid til å kunne utarbeide og vurdere flere logistikk-løsninger, samt muligheten til å gjennomføre en dypere vurderingsprosess av mulige alternativer til konsepter i sykehusprosjekter.

7 Konklusjon

I takt med en spådd pågang i norsk helsevesen blir det stadig viktigere å gjøre gode vurderinger angående sykehuslogistikk som sikrer økonomisk bæreevne og effektiv drift. I denne bacheloroppgaven er det blitt utviklet en regnearkmodell som skal forenkle vurderingsprosessen for Sykehusbygg HF knyttet til intertransportløsning i sykehusprosjekter, samt kunne brukes til å svare på oppgavens problemstilling.

For å illustrere og teste modellen i praksis ble det gjennomført to casestudier. Begge casestudiene baserer seg på to reelle sykehusprosjekter i Norge, henholdsvis nytt sykehus på Nordmøre og Romsdal (SNR), og nye Hammerfest sykehus (NHS). I casestudie 1 gir regnearkmodellen et resultat på 5,5 stk AGV-er, og en positiv nåverdi med tilbakebetalingstid på 1,6 år som tilsier at en investering lønner seg. I casestudie 2 gir regnearkmodellen et resultat på 3 stk AGV-er, og en positiv nåverdi med tilbakebetalingstid på 3,5 år, som tilsier at en investering også vil lønne seg i casestudie 2.

Det er blitt diskutert troverdigheten til caseresultatene, både med tanke på utregningen av antall AGV-er, men også resultatene fra kost/nytte-analysen knyttet til casestudiene. For utregningen av antall AGV-er er konklusjonen at regnearkmodellen gir troverdige resultater med grunnlag i den reelle vurderingen for SNR-prosjektet, og med tanke på forskjellen i størrelse, avstander og transportbehovet mellom de to casesykehusene. For kost/nytte-analysen, og regnearkmodellens evne til å være et verktøy i en investeringsvurdering, er konklusjonen at kost/nytte-analysen i de to casestudiene gir usannsynlige verdier (grunnet mangelen på kostnadsparametre knyttet til byggtekniske tilpasninger som medfølger ved innføringen av et AGV-system), men at regnearkmodellen er tilrettelagt for at kost/nytte-analysen skal gi troverdige resultater ved tilgang til disse kostnadsparametrene.

Videre er det blitt påpekt usikkerhet knyttet til andre parametre som er benyttet i modellen, i tillegg til at det er blitt diskutert muligheten for at modellen i større grad burde tatt høyde for døgntopper i vareflyten på sykehusene. I henhold til målene som er satt i denne oppgaven om at regnearkmodellen skal kunne brukes i flere prosjekter i konseptfasen (hvor slike døgntopper er vanskelig å anslå), er det derimot ikke tatt høyde for døgntopper i vareflyten i regnearkmodellen.

Sett bort i fra de usannsynlige resultatene fra kost/nytte-analysene, er det i tillegg viktig å påpeke at caseresultatene i denne oppgaven baserer seg i stor grad på parametre med grunnlag i historisk data, transportbehov med grunnlag i simuleringer, og transportavstander med grunnlag i målinger som prosjektgruppen har gjennomført. Til syvende og sist er det opp til brukeren av modellen å definere både inndata og parametre som er mest mulige korrekte og dagsaktuelle for at regnearkmodellen skal gi et mest mulig troverdig resultat.

Denne regnearkmodellen gir mulighet for Sykehusbygg HF å gjennomføre en grov vurdering, tidlig i sykehusprosjekter, om hvorvidt det vil lønne seg å investere i en automatisert transportløsning for intern varetransport i sykehus. Anslaget for antall AGV-er i modellen er rent teoretisk/hypotetisk, men vil kunne gi en indikasjon og et grunnlag for dypere analyse og vurdering, der man i samarbeid med AGV-leverandører gjør ytterligere simuleringer som tar høyde for døgntopper og frekvens til spesifikke avdelinger. Ut fra dette vil man med større sikkerhet kunne bestemme et korrekt antall AGV-er som behøves for å dekke transportbehovet.

Innledningsvis i denne bacheloroppgaven ble følgende problemstilling presentert:

«Hvor mye intern varetransport, og hvor lange transportstrekninger må det være i et sykehus før det er økonomisk lønnsomt å investere i automatisert vogntransport(AGV)?»

Gjennom casestudiene og regnearkmodellen, er det forsøkt å vise hvordan transportbehov og transportstrekninger påvirker det nødvendige antallet AGV-er som behøves for å dekke transportbehovet. Ut fra sensitivitetsanalysen viser det seg at mengden intern varetransport i større grad påvirker det totale kostnadsbildet enn transportstrekninger. Allikevel vil lengre transportstrekninger naturligvis påvirke behovet for AGV-transport, men en forandring på +/- 25% i sensitivitetsanalysen gir ikke store nok forandringer til at det påvirker lønnsomheten nevneverdig. Videre vil en avgjørende faktor også være hvor store investeringskostnadene for AGV-systemet er, samt kostnadene knyttet til de byggtekniske tilpasningene som må gjennomføres for å kunne implementere et AGV-system.

Regnearkmodellen gir med andre ord ikke et konkret svar på hvor mye intern varetransport, og hvor lange transportstrekninger det må være i et sykehus før det er økonomisk lønnsomt å investere i AGV, men ved å kartlegge disse faktorene vil regnearkmodellen være et nyttig verktøy for å lettere avgjøre om det er økonomisk lønnsomt å investere i AGV-systemer i norske sykehus.

Referanser

- Ascom (2010). Portørene setter nye rekorder på Oslo Universitetssykehus, Ullevål. https://www.ascom.com/content/dam/ascom/ws/ready-for-use/regions/nordic/norway/cases/ulleval_portercom_case2010.pdf. (Hentet 25/03/2019).
- Azevedo, C. (2014). Mathematical model to calculate the right AGV float dimension.
- Bakken, B. (2017a). Logistikknotat SNR, vedlegg til forprosjekt. <https://helse-mr.no/Documents/SNR/Logistikknotat%20SNR.pdf>. (Hentet 20/03/2019).
- Bakken, B. (2017b). Varelogistikk - vedlegg 9 - Konseptfaserapport, Nye Hammerfest sykehus. <https://finnmarkssykehuset.no/Documents/Styrem%C3%B8ter/2018/01%20-%20Februar%202018/Styresak%209-2018%20-%20Vedlegg%205-11%20-%20Konseptfaserapport%20Nye%20Hammerfest%20sykehus.pdf>. (Hentet 25/04/2019).
- Banken, K. og Nyhuus, E. M. (2007). *Innføring i bedriftsøkonomi: oppgaver og løsninger*. Cappelen.
- Bell, E., Bryman, A., og Harley, B. (2018). *Business research methods*. Oxford University Press.
- Bøhren, Ø. og Gjørum, P. I. (2015). *Finans: innføring i investering og finansiering*. Fagbokforlaget.
- Bredesen, I. (2015). *Investering og finansiering 5. utg.* Gyldendal.
- Brown, P. S. og Gould, J. D. (1987). An experimental study of people creating spreadsheets. *ACM Trans. Inf. Syst.*, 5(3):258–272.
- Bye, P. I. (2009). *Vedlikehold og driftssikkerhet*.
- Caulkins, J. P., Morrison, E. L., og Weidemann, T. (2007). Spreadsheet errors and decision making: evidence from field interviews. *Journal of Organizational and End User Computing (JOEUC)*, 19(3):1–23.
- Chopra, S. og Meindl, P. (2016). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation*. Pearson Education.
- Choy, L. T. (2014). The strengths and weaknesses of research methodology: Comparison and complimentary between qualitative and quantitative approaches. *IOSR Journal of Humanities and Social Science*, 19(4):99–104.
- Christopher, M. (2005). Logistics & supply chain management: Creating value-adding networks (financial times series).
- Clermont, M., Hanin, C., og Mittermeir, R. T. (2008). A spreadsheet auditing tool evaluated in an industrial context. *arXiv preprint arXiv:0805.1741*.
- De Vries, J. (2011). The shaping of inventory systems in health services: A stakeholder analysis. *International Journal of Production Economics*, 133(1):60–69.
- Fagnant, D. J. og Kockelman, K. (2015). Preparing a nation for autonomous vehicles: opportunities, barriers and policy recommendations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 77:167–181.

- Finnmarkssykehuset (2019). En sniktitt inn i nye Hammerfest sykehus - Finnmarkssykehuset. <https://finnmarkssykehuset.no/nyheter/en-sniktitt-inn-i-nye-hammerfest-sykehus>. (Hentet 03/05/2019).
- Granlund, A. og Wiktorsson, M. (2014). Automation in internal logistics: strategic and operational challenges. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 18(4):538–558.
- Gustafsson, J. (2017). Single case studies vs. multiple case studies: A comparative study.
- Haaland, L. (2002). Robot på sykehuset. <https://www.tu.no/artikler/robot-pa-sykehuset/220357>. (Hentet 22/02/2019).
- Harboe, T. (2006). Kvalitative og kvantitative metoder. indføring i samfunnsvidenskabelig metode. *Forlaget Samfundslitteratur*, sider 31–39.
- Helse-MN (2017). Sjukehuset nordmøre og romsdal (SNR) | flickr. https://www.flickr.com/photos/helse_midt-norge/sets/72157663242304607. (Accessed on 05/19/2019).
- Helse-MR (2017). Tegninger for forprosjektet til SNR.pdf. <https://helse-mr.no/Documents/SNR/Tegninger%20for%20forprosjektet%20til%20SNR.pdf>. (Accessed on 05/19/2019).
- Helsedepartementet (2015). Nasjonal helse- og sykehusplan (2016–2019). <https://www.regjeringen.no/contentassets/7b6ad7e0ef1a403d97958bcb34478609/no/pdfs/stm201520160011000dddpdfs.pdf>. (Hentet 22/02/2019).
- Hesjevoll, S. (2017). Yrkesintervju portør. https://utdanning.no/tema/yrkesintervju/portor_1. (Hentet 25/03/2019).
- Hugos, M. H. (2018). *Essentials of supply chain management*. John Wiley & Sons.
- Janvrin, D. og Morrison, J. (1996). Factors influencing risks and outcomes in end-user development. I *Proceedings of HICSS-29: 29th Hawaii International Conference on System Sciences*, volume 2, sider 346–355. IEEE.
- JBT (2019). Towing agvs. <https://www.jbtc.com/automated-systems/products-and-applications/products/towing-agvs>. (Hentet 11/03/2019).
- Jenssen, G. og Roche-Cerasi, I. (2014). Bruk av automatiserte kjøretøy som tilbringertjeneste til kollektivtransport. *Trafikkadferd og teknologi*.
- Johannessen, A., Kristoffersen, L., og Tufte, P. A. (2011). *Budsjettering-taktisk økonomistyring 3. utg.* Abstrakt.
- Jungheinrich (2019). Førerløse trucker, AGV. <https://www.jungheinrich.no/vaare-produkter/automatiske-trucker/foererloese-trucker-automated-guided-vehicles-agv/>. (Hentet 25/03/2019).
- Kriegel, J., Jehle, F., Dieck, M., og Mallory, P. (2013). Advanced services in hospital logistics in the german health service sector. *Logistics Research*, 6(2-3):47–56.
- Kruck, S. (2006). Testing spreadsheet accuracy theory. *Information and Software Technology*, 48(3):204–213.
- Landry, S. og Philippe, R. (2004). How logistics can service healthcare. I *Supply Chain Forum: An International Journal*, volume 5, sider 24–30. Taylor & Francis.

- Le-Anh, T. og De Koster, M. (2006). A review of design and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*, 171(1):1–23.
- LIS (2019). AGV. <https://www.lis.no/automasjon/agv>. (Hentet 26/02/2019).
- Ludt, Ø. (2018). Smarte, norske hjul. <https://www.mtlogistikk.no/artikler/smar-te-norske-hjul/441768>. (Hentet 24/04/2019).
- Muller, T. (1983). *Automated guided vehicles*. IFS Ltd.
- Multiconsult (2009). Levetider i praksis. https://dibk.no/globalassets/eksisterende-bygg/publikasjoner/levetider_i_praksis.pdf. (Hentet 10/04/2019).
- Måløy, P. og Hemsén, H. (2017). Forprosjektrapport 2017 sjukehuset Nordmøre og Romsdal. <https://helse-mr.no/Documents/SNR/Forprosjektrapporten%20Sjukehuset%20Nordm%C3%B8re%20og%20Romsdal.pdf>. (Hentet 10/04/2019).
- Nachtmann, H. og Pohl, E. A. (2009). The state of healthcare logistics: Cost and quality improvement opportunities. *Center for Innovation in Healthcare Logistics, University of Arkansas*.
- Niechwiadowicz, K. og Khan, Z. (2008). Robot based logistics system for hospitals-survey. I *IDT Workshop on interesting results in computer science and engineering*. Citeseer.
- Nykviist, B. og Nilsson, M. (2015). Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. *Nature climate change*, 5(4):329.
- OECD (2014). OECD Reviews of Health Care Quality: Norway 2014: Raising Standards. *OECD Reviews of Health Care Quality*.
- Panko, R. R. (1998). What we know about spreadsheet errors. *Journal of Organizational and End User Computing (JOEUC)*, 10(2):15–21.
- Panko, R. R. og Aurigemma, S. (2010). Revising the Panko–Halverson taxonomy of spreadsheet errors. *Decision Support Systems*, 49(2):235–244.
- Panko, R. R. og Halverson Jr, R. P. (1994). Individual and group spreadsheet design: patterns of errors. I *HICSS (4)*, sider 4–10.
- Polater, A., Bektas, C., og Demirdogen, S. (2014). An investigation of government and private hospitals' supply chain management. I *2014 International Conference on Advanced Logistics and Transport (ICALT)*, sider 115–119. IEEE.
- Powell, S. G. og Baker, K. R. (2009). *Management science: The art of modeling with spreadsheets*. Wiley.
- Pålitelighet.no (2019). Definisjoner drift og vedlikehold. <http://xn--plitelighet-x8a.no/begreper-og-definisjoner>. (Hentet 22/02/2019).
- Rivard-Royer, H., Landry, S., og Beaulieu, M. (2002). Hybrid stockless: A case study: Lessons for health-care supply chain integration. *International Journal of Operations & Production Management*, 22(4):412–424.
- Rolstadås, Olsson, Johansen, og Langlo (2014). *Praktisk prosjektledelse*. Fagbokforlaget.
- Ross, A. D. og Jayaraman, V. (2009). Strategic purchases of bundled products in a health care supply chain environment. *Decision Sciences*, 40(2):269–293.

- Rossetti, M. D., Kumar, A., og Felder, R. A. (1998). Mobile robot simulation of clinical laboratory deliveries. I *1998 Winter Simulation Conference. Proceedings (Cat. No. 98CH36274)*, volume 2, sider 1415–1422. IEEE.
- Sander, K. (2017). Casestudie. <https://estudie.no/casestudie/>. (Hentet 26/03/2019).
- Schroër, H. J., Corman, F., Duinkerken, M. B., Negenborn, R. R., og Lodewijks, G. (2014). Evaluation of inter terminal transport configurations at rotterdam maasvlakte using discrete event simulation. I *Proceedings of the Winter Simulation Conference 2014*, sider 1771–1782. IEEE.
- SINTEF (2019). Vedlikehold SINTEF. <https://www.sintef.no/vedlikehold/>. (Hentet 22/02/2019).
- SSB (2014). Økonomisk levetid. <https://www.ssb.no/ajax/ordforklaring?key=185755&sprak=no>. (Hentet 06/05/2019).
- SSB (2018a). Befolkningsframskrivinger - SSB. <https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/folkfram/aar>. (Hentet 08/05/2019).
- SSB (2018b). Månedslønn, etter yrke, sektor, kjønn og arbeidstid 2015 - 2018. <https://www.ssb.no/statbank/table/11418/tableViewLayout1/?loadedQueryId=10016783&timeType=top&timeValue=2>. (Hentet 16/05/2019).
- SSB (2019). Pasienter på sykehus - årlig - SSB. <https://www.ssb.no/helse/statistikker/pasient>. (Hentet 06/03/2019).
- Stadtler, H. (2015). Supply chain management: An overview. I *Supply chain management and advanced planning*, sider 3–28. Springer.
- Swisslog (2019). Transcar® automated guided vehicle. <https://www.swisslog.com/en-us/healthcare/products/material-transport/transcar-automated-guided-vehicle#>. (Hentet 11/03/2019).
- Sykehusbygg (2017). Veileder for tidligfaseplanlegging i sykehusprosjekter. <http://sykehusbygg.no/wp-content/uploads/2016/09/Veileder-for-tidligfasen-i-sykehusbyggprosjekter.pdf>.
- Sykehusbygg (2019). Formål. <http://sykehusbygg.no/om/formal/>. (Hentet 22/02/2019).
- Tyvold, A. og Haugen, L. (2018). Konseptrapport, Nye Hammerfest sykehus. <https://helse-nord.no/Documents/Styret/Styrem%C3%B8ter/Styrem%C3%B8ter%202018/20180228/Styresak%2019-2018-2%20Vedlegg%202%20Konseptrapport%20Nye%20Hammerfest%20sykehus.pdf>. (Hentet 25/04/2019).
- Ullrich, G. (2015). Automated guided vehicle systems. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, 10.
- Utdanningsdirektoratet (2019). Portør | utdanning.no. <https://utdanning.no/yrker/beskrivelse/portor>. (Hentet 26/02/2019).
- Vis, I. F. (2006). Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*, 170(3).
- Winston, W. L. og Albright, S. C. (2015). *Practical management science*. Nelson Education.
- Yauch, C. A. og Steudel, H. J. (2003). Complementary use of qualitative and quantitative cultural assessment methods. *Organizational Research Methods*, 6(4):465–481.

Özkil, A. G., Dawids, S., Fan, Z., og Sorensen, T. (2007). Design of a robotic automation system for transportation of goods in hospitals. I *2007 International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation*, sider 392–397. IEEE.


Vedlegg

A1 Møteoversikt

Dato	Deltakere	Sted
17.01.2019	Bjørn Bakken Elias Bergquist-Langlo Fabian Warendorph Aksel Gustavsen Bøhn	Klæbuveien 118, 7031 Trondheim. Sykehusbygg HF hovedkontor
15.02.2019	Tore Lennart Lauritzen Elias Bergquist-Langlo Fabian Warendorph Aksel Gustavsen Bøhn	Sentralbygg 2, 401, Gløshaugen
21.02.2019	Bjørn Bakken Tore Lennart Lauritzen Elias Bergquist-Langlo Fabian Warendorph Aksel Gustavsen Bøhn	Klæbuveien 118, 7031 Trondheim. Sykehusbygg HF hovedkontor
08.04.2019	Tore Lennart Lauritzen Elias Bergquist-Langlo Fabian Warendorph Aksel Gustavsen Bøhn	Sentralbygg 2, 401, Gløshaugen
11.04.2019	Silje Marie Nedland Elias Bergquist-Langlo Fabian Warendorph Aksel Gustavsen Bøhn	St. Olav Eiendom, Teknobyen Innovasjonssenter, Abels gt.5
29.04.2019	Bjørn Bakken Elias Bergquist-Langlo Fabian Warendorph Aksel Gustavsen Bøhn	Klæbuveien 118, 7031 Trondheim. Sykehusbygg HF hovedkontor
03.05.2019	Dag Roar Karlsen Elias Bergquist-Langlo Fabian Warendorph Aksel Gustavsen Bøhn	Skype-møte
06.05.2019	Dag Roar Karlsen Elias Bergquist-Langlo Fabian Warendorph Aksel Gustavsen Bøhn	Skype-møte
13.05.2019	Frank Daltveit Elias Bergquist-Langlo Fabian Warendorph Aksel Gustavsen Bøhn	Telefonmøte

Vedlegg A1.1: Møteoversikt

A2 Regneark «Inndata»



5

3

Antall etasjer

4

KJERT A VITE
Rullegardin

Avstand (m)

95

En gjennomsnittlig avstand beregnet basert på antall transportetapper og avstander

Fra Avdelinger

Til Avdelinger

2

3

Antall transportetapper

Transportum

600

Ill senter

Fra senter	Vareterminal hus 1	Sterilisentral	Sykehusapotek
Vareterminal hus 1	100	100	100
Sterilisentral	100	100	100

Ill senter

Fra senter	Vareterminal hus 1	Sterilisentral	Sykehusapotek
Vareterminal hus 1	60	90	120
Sterilisentral	70	100	130

Avstand(m)

Inndata

Her ser du hvordan du fyller inn data

- Klikk på celle B11 for å velge antall etasjer for gjennomsnittlig heistransport
- Skriv inn antall transportetapper i første tabell og avstand mellom ulike avdelinger i den neste tabellen
- Endre antall avdelinger ved å klikke på pluss- og minusmerkene
- Inndata i tabellene dannes grunnlag for beregning av Estimeret ordtall AGV på respekt. AGV

Neste side

Nåverdi analyse

Version 1

Dato 15.05.2019

Vedlegg A2.1: Regneark «Inndata»

A3 Regneark «AGV»

Frekvens	36,26 per time
Gjennomsnitt avstand	95,0 m
Hastighet	0,6 m/s
Ventetid	628,8 s
Konstant	1000
Estimert antall AGV	20,7 stk
Faktisk antall	21

Beregning av estimert AGV-behov

Her ser du hvordan beregningen gjennomføres:

- 1 Beregningen baseres på følgende formel
$$N = \frac{f \left[\frac{\text{antall}}{\text{time}} \right] * \left(\frac{s[m]}{v \left[\frac{m}{s} \right]} + vt[s] + k \right)}{3600}$$

N - minimum antall AGV
f - frekvens
s - strekning
v - hastighet
vt - ventetid
k - konstant
- 2 Estimert antall AGV danner grunnlag for beregning av investeringskostnad

Neste side

A4 Regneark «Automatisert»



Version 1
Dato 15.05.2019

Estimert antall vogner per år	192 000 stk
Tidforbruk personell internt i etasjer	4444
Tidforbruk personell i heis	0
Tidforbruk personell under transport	0
Totalt årlig tidforbruk	4444 timer
Årlig personellkost	kr 1 200 828
Antall årsverk	2,8

Manuelle kostnader ved automatisert løsning

Her ser du hvordan verdiene er utregnet:

- 1 Antall vogner baseres på summen av daglige transportetapper multiplisert med parameteren "Antall leveringsdager per år"
- 2 Tider baseres på verdier presentert i ark *Parametre og antall vogner*
- 3 Det totale tidforbruket per år gir en god indikasjon på krevd manuell arbeidsstamme i form av antall årsverk.
- 4 Antall årsverk sammenliknes og visualiseres med tilsvarende ved autonom løsning i ark *Differanse*

Neste side 

A5 Regneark «Manuell»

Estimert antall vogner per år	192 000 stk
Tidforbruk personell internt i etasjer	4444
Tidforbruk personell i heis	38566
Tidforbruk personell under transport	1689
Totalt årlig tidforbruk	44700 timer
Årlig personellkost	kr 12 077 257
Antall årsverk	27,8

Manuell varetransport



Her ser du hvordan verdiene er beregnet:

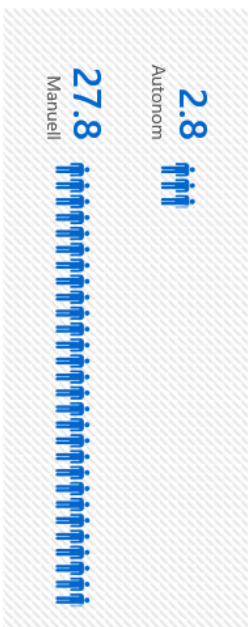
- 1 Antall vogner baseres på summen av daglige transportetapper multiplisert med parameteren "Antall leveringsdager per år"
- 2 Tidforbruk baseres på verdier presentert i regneark. Parameter og både tids- og andel parameter kan justeres opp mot aktuelt prosjekt
- 3 Det totale tidforbruket per år gir en god indikasjon på krevd manuell arbeidsstamme.
- 4 Antall årsverk sammenliknes med resultatene fra automatisert løsning i regneark "Differanse"

[Neste side](#)

A6 Regneark «Differanse»

	Årsverk	Personellkost
Autonom	2.8	kr 1 201 000
Manuell	27.8	kr 12 078 000
Differanse	25.0	kr 10 877 000

Antall årsverk



Sammenligning manuell & automatisert

- 1 Analysen baseres på verdier fra ark "Manuell" og "Automatisert"
- 2 Personellkostnad er avrundet til nærmeste tusen
- 3 Visualiseringen av antall årsverk er avrundet til nærmeste desimal

Velg et alternativ for å få mer informasjon.

Neste side

A7 Regneark «Parametre»

Generelt		
Kalkulasjonsrente	k_rente	6.5 %
Antall leveringsdager pr år gjennomsnitt	levdag1	320
Sekunder i timen	sek_time	3600 sek
Forbedringssats	forbedring	1.02
Heissats	h_sats	10
Vedlikeholdssats	v_sats	0.03
Konstant for AVG beregning	agv_konstant	1000
AGV buffer	b_AGV	1.15
Tidsforbruk for arbeidsoperasjoner		
Til/fra-kobling i kulvert ved Forsyningscenter og ved klinisk senter (t/r)	tid1	5.00 min
Venting på heis (t/r)	tid2	2.00 min
Gjennomsnittlig tidsforbruk i heis (t/r)	tid3	1.20 min
Tidsforbruk ut/inn av heis (t/r)	tid4	1.00 min
Andel manuelle transportere uten retur, kulvert (%)	andel1	50 %
Andel manuelle transportere uten retur, heis (%)	andel2	30 %
Antall vogner pr heistransport	ant_heis	1
Antall vogner per tralletog	pr_tralletog	3
Gjennomsnittlig kjørehastighet tralletog	v_tog	1.0 meter/sek
Gjennomsnittlig gangavstand heis - hente/leveringssted (t/r) - manuell	avst2	50 meter
Gjennomsnittlig gangavstand heis - hente/leveringssted (t/r) - AGV	avst3	50 meter
Gjennomsnittlig ganghastighet med vogn	v_gang	0.6 meter/sek
Gjennomsnittlig transporthastighet AGV	v_AGV	0.6 meter/sek
Arbeidstimer AGV	a_AGV	18 timer
Ladetid		0.36 timer
Daglig lading		4
Tilgjengelig arbeidstid	t_AGV	16.55 timer

Vedlegg A7.1: Regneark «Parametre», del 1

Personellkostnader			
Årslønn inkludert tillegg		kr	300 000.00
Sosiale utgifter (%)			25 %
Sykefravær (%)			10 %
Administrasjon (%)			10 %
Årskostnad personell		kr	435 000.00
Antall arbeidstimer pr uke			35
Antall arbeidker pr år			46
Antall arbeidstimer pr år	a_timer		1610
Timekostnad personell	p_kost_time	kr	270.19
AGV investering			
Total investering	tot_insvt	-kr	29 360 000.00
Investering per AGV	agv_kost	kr	500 000.00
Ladestasjon		kr	80 000.00
Prosjektleveranse(prosjektledelse, prosjektering, test, opplæring, dokumentasjon)		kr	500 000.00
Byggtekniske kostnader (Tilpasninger)		kr	7 800 000.00
Valg av investeringskostnad			
Valg av investeringskostnad			
Valg av investeringskostnad			
Drift	drift_kost	-kr	435 000.00
Vedlikehold	ved_kost	-kr	880 800.00

Vedlegg A7.2: Regneark «Parametre», del 2

A8 Regneark «Kost/nytte»

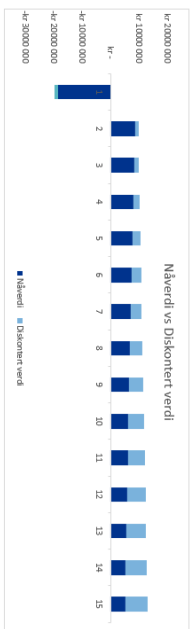


Version 1
Dato 15.05.2019

Fjern år Løgg til år

Diskonteringse		Antall år															
6.5 %		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Investering	-	29 560 000															
Diskonteringsfaktor	0.54	0.58	0.63	0.68	0.73	0.78	0.83	0.89	0.94	0.99	1.04	1.09	1.14	1.19	1.24	1.29	
Vedlikehold kost	-kr	880 800	-kr	880 800	-kr	880 800	-kr	880 800	-kr	880 800	-kr	880 800	-kr	880 800	-kr	880 800	-kr
Drift kost	-kr	435 000	-kr	435 000	-kr	435 000	-kr	435 000	-kr	435 000	-kr	435 000	-kr	435 000	-kr	435 000	-kr
Årlig besparelse personal	kr	10 877 000	kr	11 098 540	kr	11 316 431	kr	11 542 759	kr	11 778 615	kr	12 009 087	kr	12 249 268	kr	12 494 254	kr
Konstansystem	-kr	19 778 800	kr	9 778 740	kr	10 000 631	kr	10 216 959	kr	10 457 815	kr	10 699 287	kr	10 939 468	kr	11 178 454	kr
Nåverdi	-kr	18 590 423	kr	8 621 517	kr	8 279 013	kr	7 949 652	kr	7 632 958	kr	7 328 474	kr	7 035 755	kr	6 754 971	kr
Diskonteringsverdi	-	1 208 377	1 157 223	1 121 618	2 277 208	2 324 856	3 364 813	3 897 714	4 424 083	4 944 434	5 459 955	5 969 066	6 474 514	6 975 477	7 473 010	7 967 362	
Totalt nåverdi	kr	75 281 330															

Nærdelingstid 3.1 år



Nærdelingsanalyse

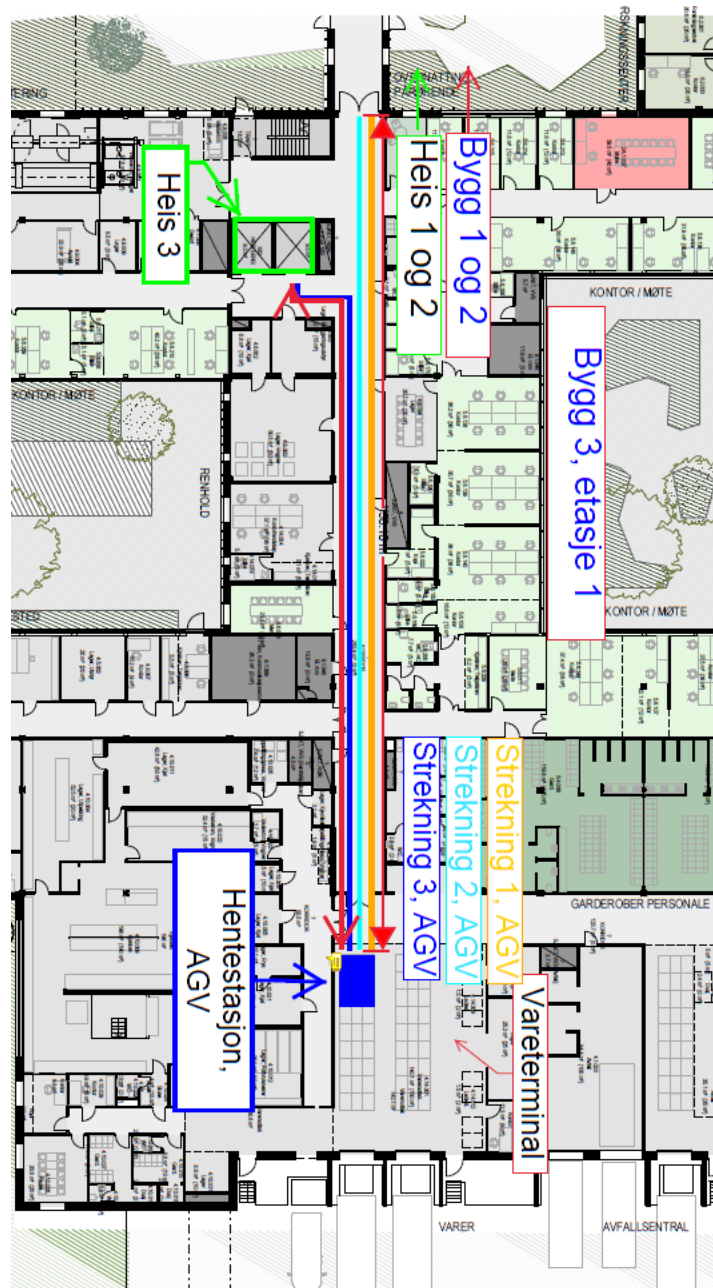
- 1 Analysen baseres på verdier fra ark **Differanse og Diskontering**
- 2 Diskonteringsrate og fødering endres på regneark **Parametre**
- 3 Tidsperspektivet på analysen skapendres ved å legge til år i røye høyre gjenge
- 4 Positiv total nåverdi indikerer lønnsomhet i prosjektet

Endre inndata Juster parametre

SYKEHUSBYGG HF

Vedlegg A8.1: Regneark «Kost/nytte»

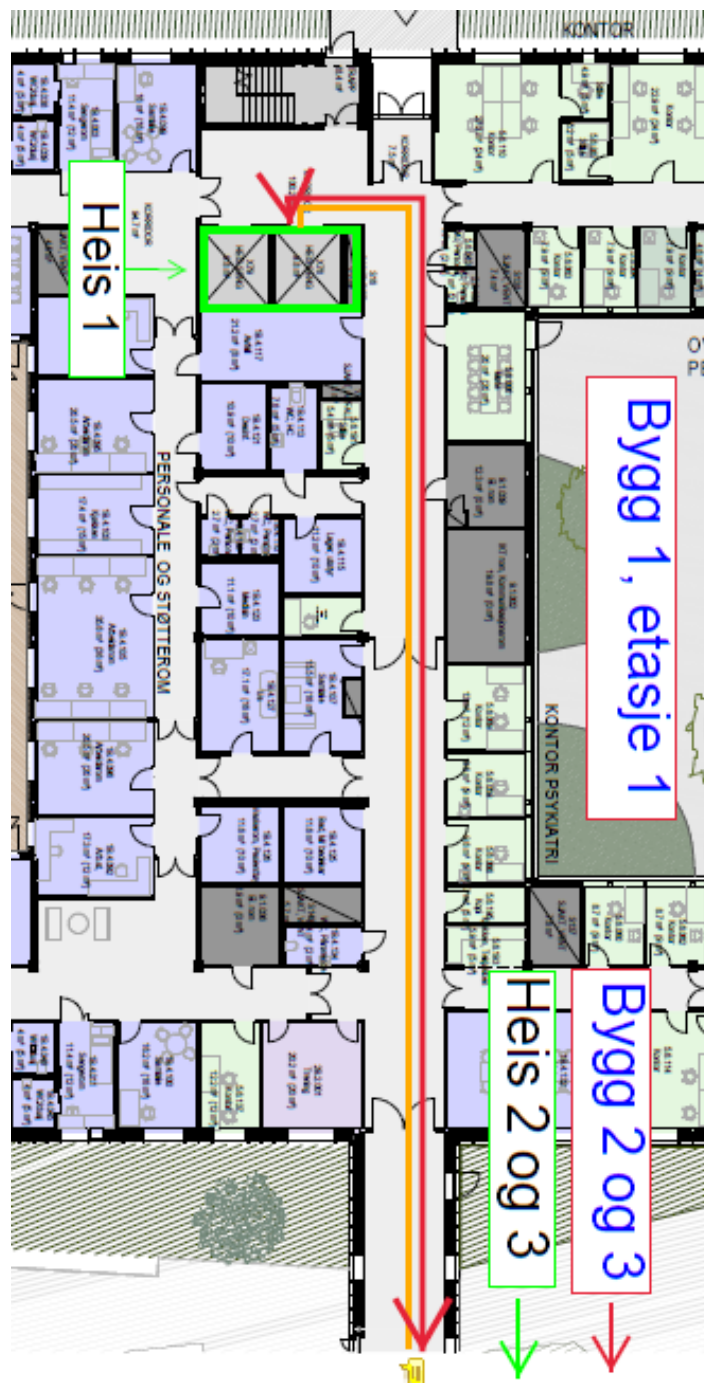
A9 Avstandsmåling av AGV-ruter, SNR



Vedlegg A9.1: Avstandsmåling, bygg 3, etasje 1, SNR



Vedlegg A9.2: Avstandsmåling, bygg 2, etasje 1, SNR



Vedlegg A9.3: Avstandsmåling for AGV, bygg 1, etasje 1, SNR

A11 Avstandsberegninger i SNR

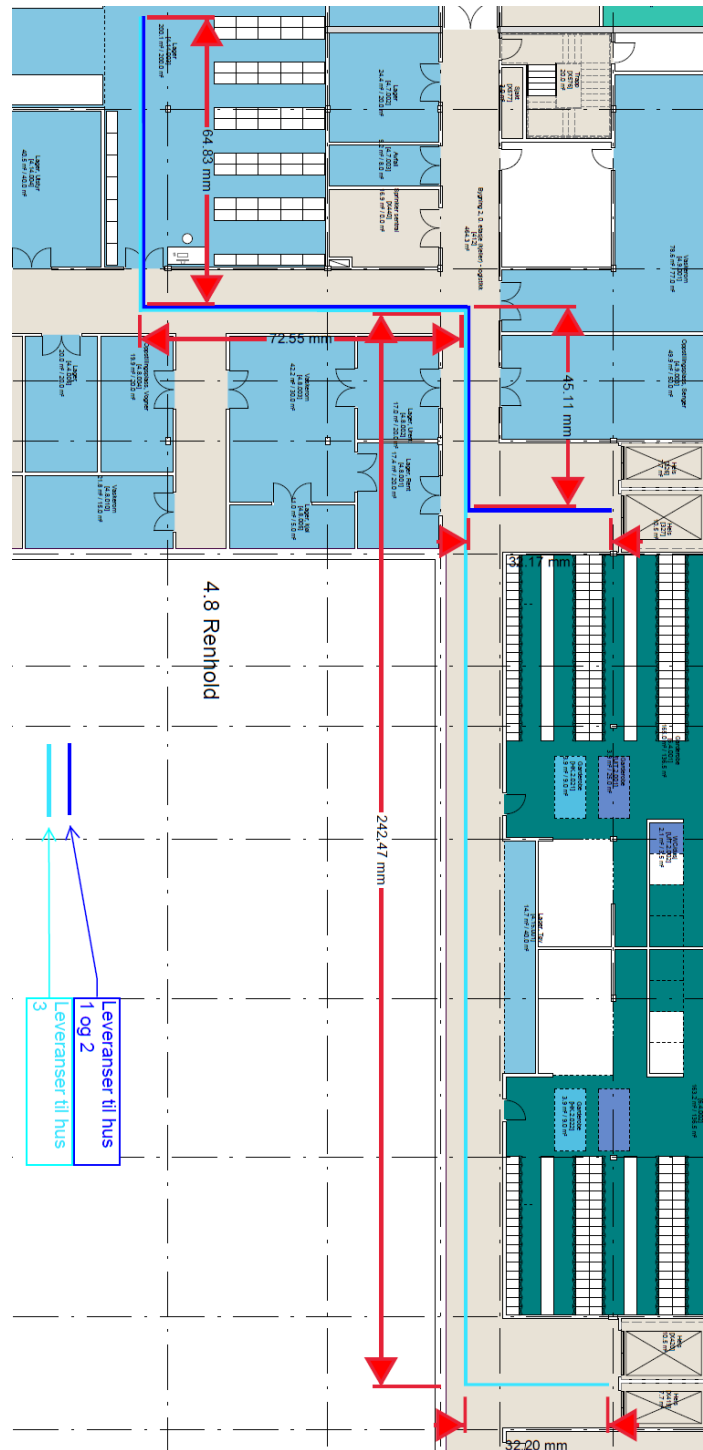
Beregninger, AGV-transport i E1				
	Måling 1 (m)	Måling 2 (m)	Måling 3 (m)	Total strekning (m)
Strekning 3	49.7			49.7
Strekning 2	58.1	71.5		129.6
Strekning 1	58.1	80.8	57.6	196.4

Vedlegg A11.1: Avstandsberegning for AGV, SNR

Beregninger, Manuell transport i hus 42, etg. 6	
	Fra hentestasjon
Rute 1 (m)	62.0
Rute 2 (m)	67.6
Rute 3 (m)	18.3
Rute 4 (m)	29.1
<u>Totalavstand, virkelighet (m)</u>	<u>177.0</u>
Gjennomsnittlig avstand (m)	44.3

Vedlegg A11.2: Gjennomsnittlig avstand for manuell, SNR

A12 Avstandsmåling av AGV-ruter, NHS

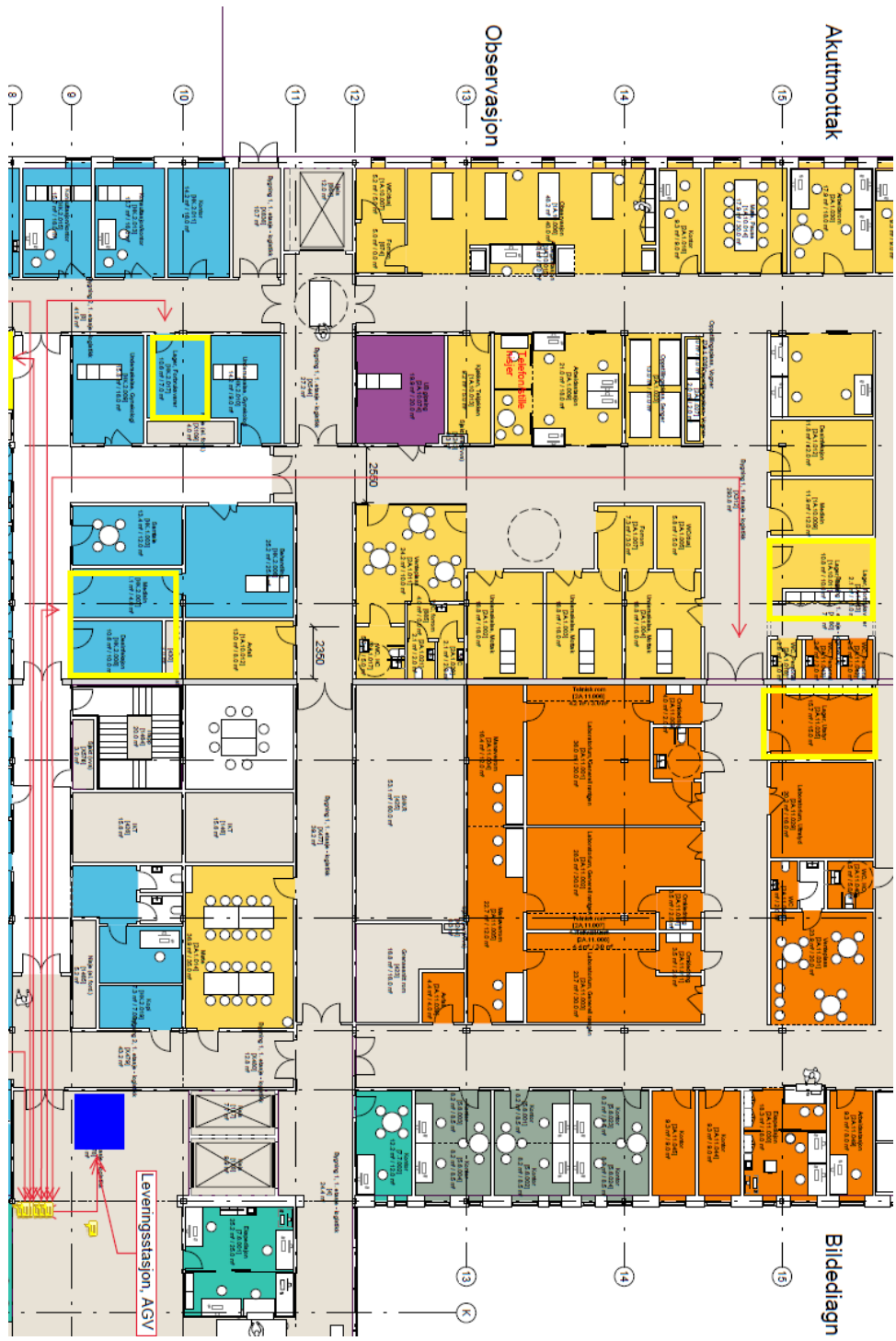


Vedlegg A12.1: Avstandsmåling, U1

A13 Avstandsmåling av manuelle ruter, NHS



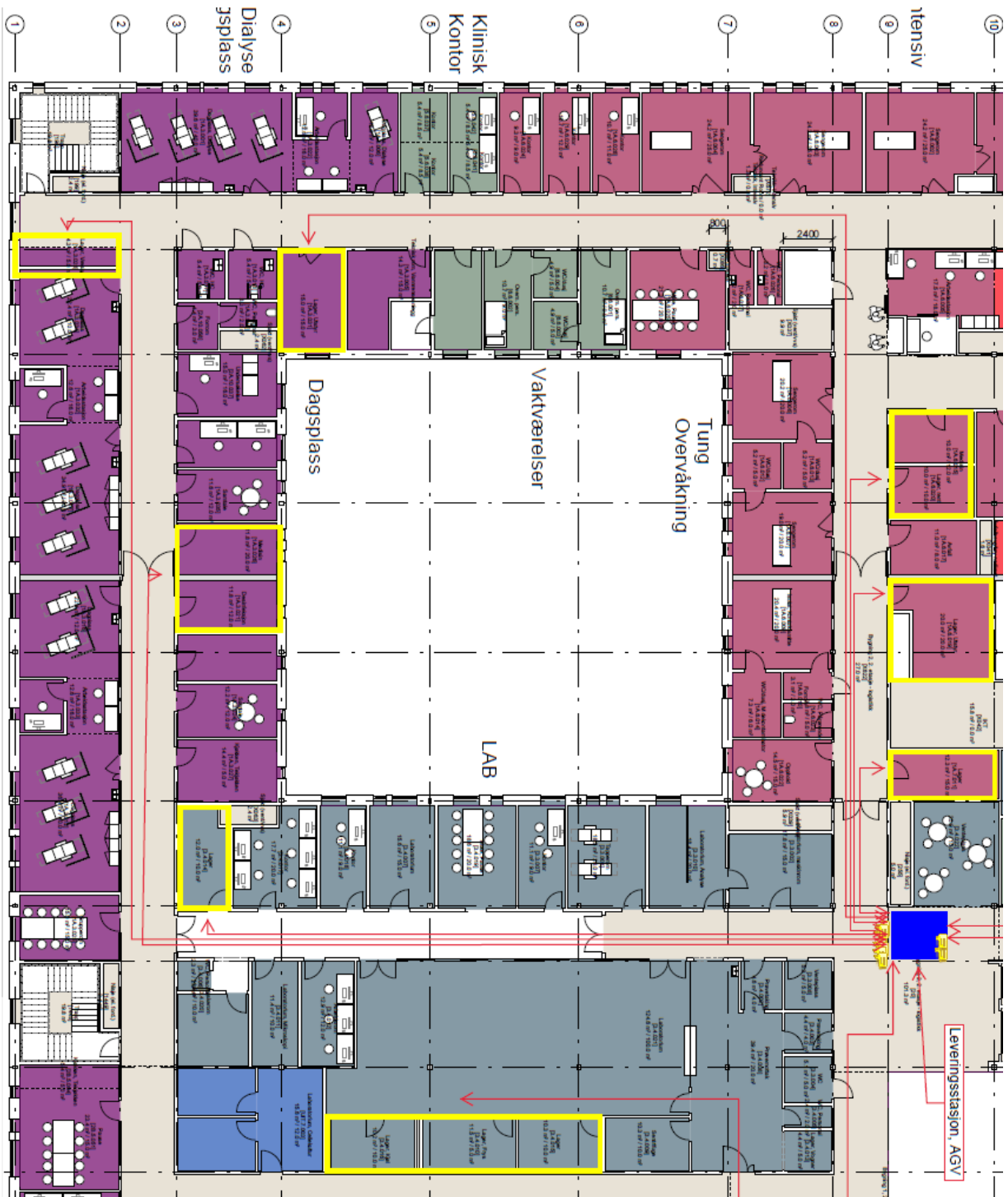
Vedlegg A13.1: E1, hus 1



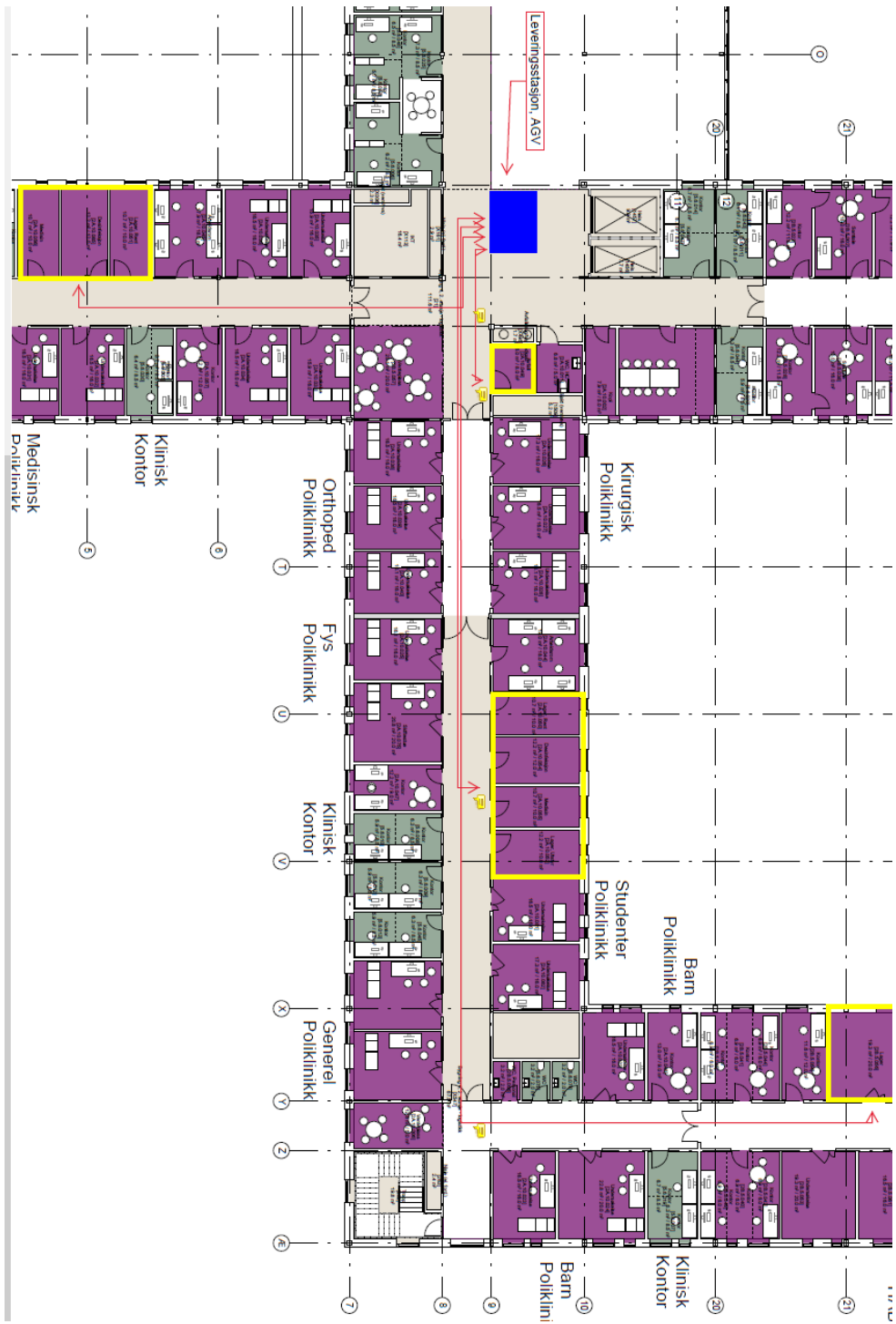
Vedlegg A13.2: E1, hus 2



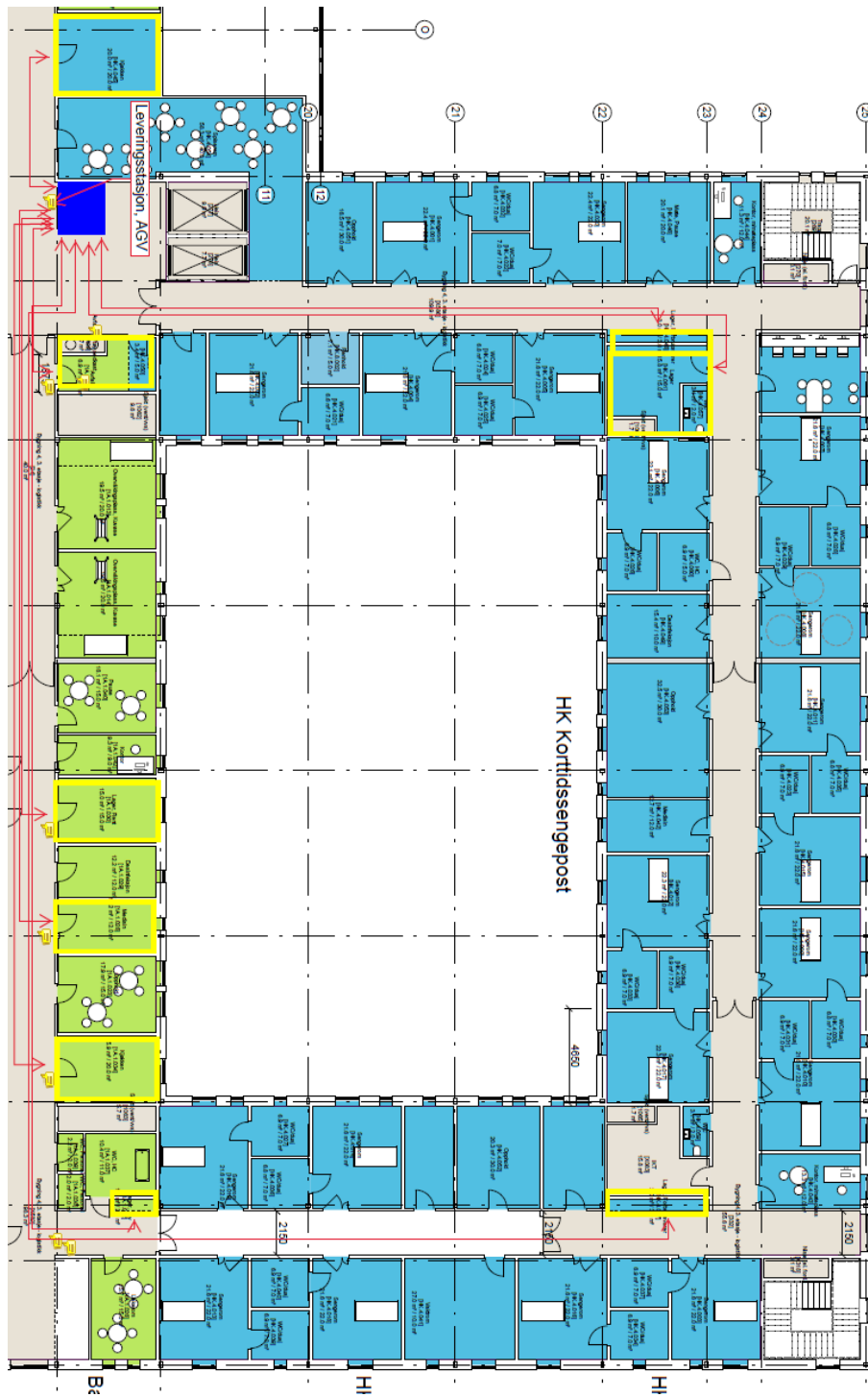
Vedlegg A13.3: E1, hus 3



Vedlegg A13.4: E2, hus 1



Vedlegg A13.6: E2, hus 3



Vedlegg A13.9: E3, hus 3

A14 Avstandsberegninger i NHS

Beregninger, AGV-transport i U1		
	Til heis 1	Til heis 2
Etappe 1. tegning (cm)	6.5	6.5
Etappe 2. tegning (cm)	7.3	7.3
Etappe 3. tegning (cm)	4.5	24.3
Etappe 4. tegning (cm)	3.2	3.2
Totalavstand, tegning (cm)	21.5	41.2
Totalavstand, virkelighet (m)	42.9	82.4

Målestokk 1:200 2

Vedlegg A14.1: Avstandsberegning for AGV, U1, NHS

Beregninger, Manuell transport i E1		
	Fra heis 1	Fra heis 2
Etappe 1. tegning (cm)	2.5	16.6
Etappe 2. tegning (cm)	13.9	23.2
Etappe 3. tegning (cm)	22.2	17.4
Etappe 4. tegning (cm)	19.7	
Etappe 5. tegning (cm)	27.9	
Etappe 6. tegning (cm)	23.6	
Etappe 7. tegning (cm)	35.8	
Totalavstand, tegning (cm)	145.6	57.2
Totalavstand, virkelighet (m)	291.2	114.4
Gjennomsnittlig avstand (m)	41.6	38.1

Målestokk 1:200 2

Vedlegg A14.2: Avstandsberegning for manuell, E1, NHS

Beregninger, Manuell transport i E2		
	Fra heis 1	Fra heis 2
Etappe 1. tegning (cm)	6.5	4.1
Etappe 2. tegning (cm)	11.1	13.7
Etappe 3. tegning (cm)	4.7	16.9
Etappe 4. tegning (cm)	9.4	36.9
Etappe 5. tegning (cm)	12.5	
Etappe 6. tegning (cm)	31.7	
Etappe 7. tegning (cm)	16.8	
Etappe 8. tegning (cm)	37.4	
Etappe 9. tegning (cm)	27.3	
Etappe 10. tegning (cm)	18.8	
Totalavstand. tegning (cm)	176.2	71.6
Totalavstand. virkelighet (m)	352.4	143.2
Gjennomsnittlig avstand (m)	35.2	35.8

Målestokk 1:200 2

Vedlegg A14.3: Avstandsberging for manuell, E2, NHS

Beregninger, Manuell transport i E3		
	Fra heis 1	Fra heis 2
Etappe 1. tegning (cm)	20.1	4.3
Etappe 2. tegning (cm)	25.9	4.5
Etappe 3. tegning (cm)	29.3	15.7
Etappe 4. tegning (cm)	18.0	18.9
Etappe 5. tegning (cm)	15.1	16.0
Etappe 6. tegning (cm)	17.5	18.9
Etappe 7. tegning (cm)	11.8	22.3
Etappe 8. tegning (cm)	14.1	27.7
Etappe 9. tegning (cm)	17.5	41.8
Etappe 10. tegning (cm)	12.4	
Etappe 11. tegning (cm)	14.9	
Etappe 12. tegning (cm)	17.8	
Etappe 13. tegning (cm)	23.4	
Etappe 14. tegning (cm)	21.9	
Totalavstand. tegning (cm)	259.6	170.1
Totalavstand. virkelighet (m)	519.2	340.2
Gjennomsnittlig avstand (m)	37.1	37.8

Målestokk 1:200 2

Vedlegg A14.4: Avstandsberging for manuell, E3, NHS

Beregninger, Manuell transport i E4		
	Fra heis 1	Fra heis 2
Etappe 1. tegning (cm)		16.0
Etappe 2. tegning (cm)		24.6
Totalavstand. tegning (cm)		40.6
Totalavstand. virkelighet (m)		<u>81.2</u>
Gjennomsnittlig avstand (m)		40.6

Målestokk 1:200 2

Vedlegg A14.5: Avstandsberegning for manuell, E4, NHS

Total gjennomsnittsberegning			
	Fra heis 1	Fra heis 2	Gjennomsnitt
Etasje 1		41.6	38.1
Etasje 2		35.2	35.8
Etasje 3		37.1	37.8
Etasje 4		40.6	40.6
Totalt gjennomsnitt. manuell			<u>38.4</u>

Vedlegg A14.6: Gjennomsnittlig avstand for manuell, NHS



Illustrasjonsbilde AGV

Roboter på sykehus

Lønner det seg?

Investeringsanalyse AGV

by Elias Berquist-Langlo, Aksel Gustavsen Bøhn, Fabian Warendorph

Denne artikkelen presenterer en bacheloroppgave skrevet i samarbeid med Sykehusbygg HF og Norges tekniske-naturvitenskaplige universitet.

Visste du at

Mye av det du trenger i løpet av et sykehusopphold fraktes ofte med roboter. Alt fra tøy, mat og forbruksvarer flyttes rundt automatisk av maskiner i etasjene under. De bruker til og med heisen selv, alt for at du som pasient skal få det du trenger.

AGV i sykehus

AGV (automated guided vehicle) er et førerløst transportsystem til bruk for intern og ekstern frakt av varer. I sykehus benyttes AGV-er funksjonen å koble på/fra vogner og forflytte seg mellom hente/leveringstasjoner ofte ved hjelp av heis. Dette skjer ved at komplekse systemer kommuniserer og navigerer robotene til å utføre arbeid mer effektivt, og over en lengre tidsperiode enn manuell arbeidskraft kunne gjort [1].

Utfordringer i helsesektoren

Det er en stadig økende trend i antall pasienter på norske sykehus, samtidig blir også gjennomsnittlig opphold kortere[2]. Dette har ført med seg nye utfordringer i sykehuslogistikken. En rekke ulike varer skal transporteres daglig på ulikt vis og det er viktig at det gjøres best mulig for å gjøre hverdagen best mulig for pasientene.

For å demme opp for dette er det implementert en rekke spennende løsninger på norske sykehus. Rørpost, automatisk plukk av medisin og ikke minst bruk av AGV-er.

Sykehusbygg HF

I 2014 ble Sykehusbygg HF stiftet for å sikre et nasjonalt kompetansemiljø for sykehusplanlegging og -bygging på høyt internasjonalt nivå. Sykehusbygg eies av de fire regionale helseregionene i Norge og ved sykehusprosjekter med omfang på over NOK 500 mil skal Sykehusbygg benyttes[3].



De er i dag aktuelle med en rekke nye sykehusprosjekter over hele landet. Sykehusbygg HF har mange ansvarsområder, deriblant AGV-løsninger, men også overordnet ansvar for analyse, systematisering, samt å tilby rådgivning og byggherrefunksjoner ved gjennomføring av sykehusprosjekter i Norge.



AGV på St. Olavs hospital i Trondheim

I Norge er bruken av disse robotene vel utbredt. St. Olavs Hospital, Østfold sykehus og Akershus universitetssykehus har alle en form for intern transportløsning med AGV.

[1] Ullrich, G. (2015). *Automated guided vehicle systems*. Springer.

[2] OECD (2014). *OECD Reviews of Health Care Quality: Norway 2014: Raising Standards*

[3] Sykehusbygg (2019). *Formål*. <http://sykehusbygg.no/om/formal/>. (Hentet 02/22/2019)



“Det som kan være en aktuell oppgave er å lage en beregningsmodell for vurdering av automatisert vogntransport (AGV),”

- Bjørn Bakken | Fagansvarlig Logistikk Sykehusbygg HF

Prosjektgruppen kom i kontakt med Sykehusbygg HF og fikk godt innsyn i de ulike ansvarsområder hos bedriften. Etter gjensidig faglig diskusjon ble følgende problemstilling etablert.

“Hvor mye intern varetransport, og hvor lange transportstrekninger må det være i et sykehus før det er økonomisk lønnsomt å investere i automatisert vogntransport (AGV)?”

I tillegg til problemstillingen fikk prosjektgruppen i oppdrag å etablere en generell **beregningsmodell** til vurdering av lønnsomheten ved AGV-investering i nye sykehusprosjekter.

Hvordan bestemmes det?

Grunnlaget for valg av implementering av automatisert vogntransport, legges i tidligplanleggingsfasen for sykehusprosjekter. Tidligfasen er en fellesbetegnelse på de fasene som et behov (definerer i en utviklingsplan) må gjennom for å bli utviklet til et byggeprosjekt. Selve avgjørelsen på valg av implementering av AGV-løsning, strekker seg over omtrent fire uker.

Regnearkmodell

Det er mange faktorer som skal ligge til grunn for å kunne avgjøre hvorvidt det er lønnsomt å investere i en automatisert transportløsning i et sykehus. Forskjellige sykehus har ulike bygningskropper som påvirker transportavstander, etasjer og heisstruktur. Videre vil det også være ulikt varebehov ut fra størrelsen på sykehuset, og den pasientpågangen det opplever.

Regnearkmodellen er utviklet for å registrere inndata fra brukeren om antall

transportetapper, avstanden deres og antall etasjer for å benytte i videre beregninger sammen med rekke ulike parametre.

Kostnadene ved både valg av manuell og automatisert transportløsning blir så beregnet, med bakgrunn i hvor mange AGV-er som er nødvendig og hvor mange servicemedarbeidere som trengs for å dekke behovet. Disse baner vei for en slutføring av kostnadsbilde, som viser om en investering er lønnsom.

Sykehus som eksempler

For å kunne validere regnearkmodellen og svare på problemstillingen ble to ulike caser valgt. De to sykehusprosjektene SNR og NHS er begge aktuelle prosjekter Sykehusbygg er tungt involvert i. Her fikk prosjektgruppen god tilgang til data og tegninger for å oppnå helhetlig forståelse av prosjektene, for å knytte modellen mot virkeligheten.

Resultat

Informasjon fra de to casene bidro med resultater knyttet til estimering av antall nødvendige AGV-er, personellkostnader og en kost-nytte analyse til vurdering av kostnadsbilde ved investering.

Disse resultatene identifiserte også i likhet med tidligere vurderinger, lønnsomhet ved investering i AGV løsning på SNR og ikke lønnsomhet ved investering på NHS.

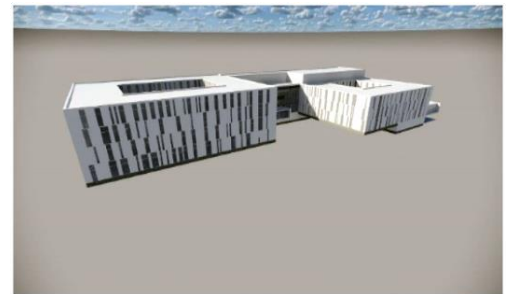
Ved å undersøke faktorene i problemstillingen, er det blitt identifisert at det er utrolig mange ulike faktorer som spiller inn ved bestemmelse av internt transportløsning. En rekke ulike parametre som varierer fra prosjekt til prosjekt kan være utslagsgivende. Det er derfor vanskelig å definere gitte strekninger eller transportbehov som et fast bestemmelsepunkt på hvorvidt en investering er lønnsom.

NYTTIG Å VITE



Sykehuset Nordmøre og Romsdal

Som en del av samlokaliseringen i helsensorge skal det bygges nytt sykehusbygg på Hjelset. SNR-prosjektet er i gjennomføringsfasen og skal etter planen stå ferdig i 2023. Størrelsen på sykehuset blir ca. 54 500 m² og det vil være seks etasjer høyt, fordelt på tre ulike hus. Det har blitt lagt grunnlag for investering i AGV systemer.



Nye Hammerfest sykehus

Nye Hammerfest sykehus(NHS) er per april 2019 i forprosjektstadiet og skal etter planen stå ferdig i 2024. Størrelsen på sykehuset blir ca. 32 000 m² og det vil være 4 etasjer høyt. Det er avgjort at investering i AGV løsning ikke vil være økonomisk bærekraftig i dette prosjektet.



Illustrasjonsbilde

I løpet av prosjektløpet er en regnearkmodell utviklet i Microsoft Excel. Utklipet viser det siste regnearket i modellen hvor alle kostnader blir illustrert i en kost-nytte analyse.



Hvordan kan modellen brukes videre?

Prosjektgruppen hadde som målsetning å redusere tidsbruken til vurderingsprosessen knyttet til internt transport, tidlig i fasene i et sykehusprosjekt.

Denne modellen har skapt muligheter for nettopp det. Modellen skaper en oversiktlig fremvisning over de viktigste faktorene og kostnadene, uten å kreve for kompliserte tallverdier fra bruker.

Målet er derfor at modellen kan bli brukt som et standardverktøy for fremtidige sykehusprosjekter i Norge og at den videreutvikles ved behov.

Teknologisk utvikling

Den teknologiske utviklingen for sykehusløsinger er i full gang i likhet med samfunnet forøvrig. I fremtiden vil sykehusene ha flere og bedre teknologiske løsninger for å gjøre pasientbehandlingen enda mer effektiv.

AGV-ene vil også forandre seg og en dag er kanskje også muligheter de samhandler direkte med pasienter.

Uansett vil det være behov for å beregne lønnsomhet og omfang, ved store økonomiske investeringer. Prosesser som kun vil øke i omfang og kompleksitet.



GAMMELDAGS?: Kanskje AGV-er også transporterer pasienter en dag.

Roboter på
sykehus
Lønner det
seg?

NTNU
Trondheim



