

2022



Informationsteknologi til automatisering af arbejdsprocesser indenfor jordarbejde



Jevgenijs Hiznaks & Nicolaj Hovgaard Wolf

Aalborg Universitet

07-01-2022

Kandidat i Byggeledelse og Bygningsinformatik med specialisering i Bygningsinformatik

Titelblad

Studienævnet for
Byggeri og Anlæg
Thomas Manns Vej 23
DK - 9220 Aalborg Øst
Tlf. 99 40 25 25
build@build.aau.dk
<https://www.build.aau.dk/>



AALBORG UNIVERSITET
STUDENTERRAPPORT

Titel:	Informationsteknologi til automatisering af arbejdsprocesser indenfor jordarbejde
Semester:	4. semester
Semester tema:	Kandidatspeciale
Projektperiode:	01.09.21 – 07.01.22
ECTS:	30
Vejleder:	Kjeld Svidt

Jevgenijs Hiznaks

Nicolaj Wolf

Synopsis:

Denne Rapport omhandler en undersøgelse af potentialet for automatisering af arbejdsprocesser i jordarbejde, til reducere af spildtid og omkostninger. Viden indhentes ud fra litteratur og interviews fra erhvervslivet m.m. Ud fra denne viden findes problematikker i erhvervslivets arbejdsprocesser, som der herefter udarbejdes et løsningsforslag til. Det som rapporten fandt frem til er, at en projektleder får overblik over nøgletal i udførelsen af jordarbejde igennem et dashboard. Herved kan der tages stilling til tomgangstid og omkostninger på maskiner. Dette gør beslutningstagningsprocessen og planlægning lettere, som forbedrer ledelsesgrundlaget.

Oplag:	Digital aflevering
Antal sider:	66,8 normal sider
Tegn:	Ca. 160.400 tegn
Bilag:	10

Ved at underskrive dette dokument bekræfter hvert enkelt gruppemedlem, at alle har deltaget lige i projektarbejdet og at alle således hæfter kollektivt for rapportens indhold.

Abstract

This research is conducted as a part of a Master thesis in Building Informatics. Research stems from existing problems in the construction field, more specifically, earthworks. These problems are *exceeding budget and schedule, idle time, lack of technology use and automation of work processes*. Based on these problems the following research question was formulated: *“What is the potential for using information technology to automate work processes, to minimize wasted time and reduce costs in earthworks?”*

This paper is using various methods to investigate and analyze the field of the research and gather the knowledge on it. The literature search method is used to gather theoretical knowledge about the problem field. To gain practical knowledge a case study is used. Seven stages of an interview inquiry-method and observations are used as a part of case-study. Design Science Research method is used to develop the solution.

Decision Support System (DSS) was developed to solve the previously mentioned problems. A conceptual design of DSS is proposed. Proof of concept is developed in Power BI to demonstrate the potential of the proposed solution.

The proposed solution provides transparency to the production process by automatically processing data from machinery into visualizations on a dashboard, thus providing an opportunity for a project manager to make data-supported decisions. Based on the results of the research and gathered feedback, the potential for utilizing of information technology, automation of the work processes, reduction of idle time and cost is demonstrated by the proposed solution.

Keywords: *Earthworks, BIM, DTM, Automation, DSS, IT, Data processing*

Forord

Denne rapport er udarbejdet af kandidatstuderende indenfor emnet bygningsinformatik og viderebygger derfor viden, som er akkumuleret igennem uddannelsens fire semestre. Af den grund benyttes teori og metoder indenfor emnet bygningsinformatik. Målgruppen for denne rapport er personer indenfor byggeri og interessenter af problemfeltet.

Tak til vores vejleder Kjeld Svidt for input og feedback igennem rapportens projektforsløb.

Igennem projektforsløbet har derudover været et samarbejde med personer fra virkelighedens byggeri, disse personer skal have særligt tak for deres indsats og viden, Lavrans Ellingsgaard, Michael Christiansen og Ole Breiner.

Rapport struktur

Rapporten struktureres ved, at indledningen beskriver problematikker på brancheniveau, hvilket vil føre til specialets problemformulering. Metodeafsnittet forklarer hvilke værktøjer som benyttes. Problemanalyseafsnittet benyttes til at forstå baggrunden for problemformuleringen og analysere den fundne viden. Herefter findes eksisterende løsninger i problembearbejdning i afsnittet state-of-the-art, hvorefter der udarbejdes et forslag til løsnings af problemformuleringens problematikker. Der vendes tilbage til virksomhederne for at få feedback på løsningen. Feedbacken diskuteres i diskussionsafsnittet, og afslutningsvis beskrives den færdige løsning i konklusionen samt i hvilket omfang den løser problemformuleringen. I Perspektivering undersøges muligheder for fremtidigt arbejde.

Forkortelsesliste

Begreb	Definition
AMG	Automated Machine Guidance
BIM	Building Information Modeling
CV	Computer Vision
DAX	Data Analysis Expression
DBML	Database Markup Language
DBMS	Database Management System
DEM	Digital Elevation Model
DSL	Domain-specific Language
DSM	Digital Surface Model
DSR	Design Science Research
DSS	Decision Support System
DTM	Digital Terræn Model
DVR90	Dansk Vertikal Reference 90
ERD	Entity Relationship Diagram
GIS	Geographic Information System
Glonass	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IKT	Informations- og kommunikationsteknologi
IT	Informationsteknologi
LiDAR	Light Detection and Ranging
PPE	Production Process Evaluation
SQL	Structured Query Language
TIN	Triangular Irregular Network
VDC	Virtual Design and Construction

Indhold

1	Indledning	1
1.1	Problemformulering.....	3
1.2	Afgrænsning	3
2	Metode.....	4
2.1	Litteratursøgning.....	4
2.2	Case study	5
2.3	Seven stages of an interview inquiry	5
2.4	Observationer	6
2.5	Design Science Research	6
2.6	Business Process Model & Notation	7
3	Problemanalyse.....	10
3.1	Jordarbejde	10
3.1.1	Dataindsamling	11
3.1.2	Mængdeberegning.....	14
3.1.3	Opgravning, flytning og indbygning af jord.....	15
3.2	Case study	20
3.2.1	Interviews.....	20
3.2.2	Observationer	24
3.2.3	Den nuværende arbejdsproces.....	25
3.2.4	Sammenfatning af case study	37
3.3	Delkonklusion.....	39
4	Problembearbejdning	40
4.1	State-of-the-art	40
4.1.1	Dataanvendelse	42
4.1.2	Computer vision	44
4.1.3	Produktionsoptimering	44
4.2	Løsningsforslag.....	45
4.2.1	Konceptuelt niveau	46
4.2.2	Informationsflow.....	49
4.2.3	Proof of concept.....	56
4.3	Feedback	62
4.4	Resultater	63
5	Diskussion	66
5.1	Valgte metoder	66
5.2	State-of-the-art	66

5.3	Løsningsforslag og feedback	67
6	Konklusion.....	69
7	Perspektivering	71
7.1	Bæredygtighed.....	71
7.2	Automatisering af inputs	71
7.3	Implementering af dashboard	71
8	Bibliografi	72
9	Bilag.....	76

1 Indledning

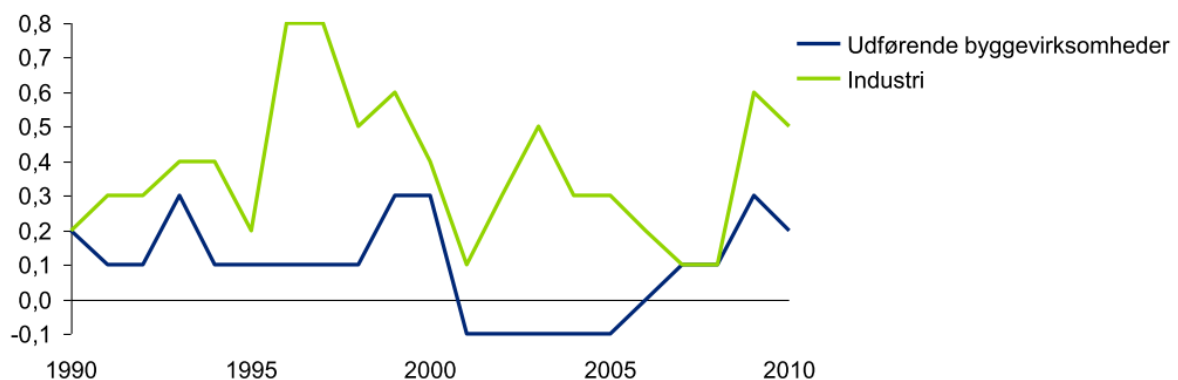
Byggeri- og anlægssektoren har igennem de seneste 20 år haft en flad produktivitetsskive på 1%. (McKinsey Global Institute, 2017). En undersøgelse viser, at den flade produktivitetsskive skyldes systematiske problematikker i byggeriet og generel kommunikation (EUBIM Task Group, 2016, p. 8). De systematiske problematikker har sammenhæng med mangel på investering i teknologi, forskning, udvikling og dårlig projektfølgelse. Denne udvikling resulterer i risici for flere uforudsigelige omkostningsoverskridelser og forsinkelser (EUBIM Task Group, 2016, p. 8).

Især i anlægsbranchens infrastrukturprojekter ses omkostningsoverskridelser. En af de største undersøgelser indenfor infrastruktur viser, at i 9 ud af 10 tilfælde, vil der forekomme en budgetoverskridelse på 28%. Undersøgelsen baseres på 258 projekter i 20 lande i et forløb på 70 år (Flyvbjerg et al., 2003, p. 85). Samtidigt viser en analyse foretaget af Deloitte, 2020, at anlægsentreprenørernes gennemsnitlige indtjening per medarbejder er faldet med 15% i perioden 2018-2019.

Forsinkelserne findes især i anlægsbranchens byggerier, hvor de er traditionelt offentligt organiseret. I disse projekter viser resultater fra NAO rapporten (National Audit Office), at 70% af projekterne overskred datoen for færdiggørelsen (Bech & Papers, 2005, p. 36).

For at undgå disse omkostningsoverskridelser og forsinkelser kan der bl.a. investeres, forskes og udvikles teknologier til løsning af disse problematikker. Dette bekræfter en analyse af det Digitale Vækstpanel, som viser, at der kan opnås en gevinst på 87 mia. kr. i 2025 ved at udnytte den allerede kendte teknologi i bygge- og anlægsbranchen (Digitalt Vækstpanel, 2017, p. 8). Potentialet for teknologianvendelse er derfor stort. Teknologi kan anvendes i byggeriets til at effektivisere arbejdsgange, minimere spildtid og mindske risiko for fejl (Byggeriets Uddannelser, 2019, p. 5).

Ifølge en undersøgelse af Deloitte, 2013, har udførende byggevirksomheder ikke haft en særlig udvikling i årlig vækst i IT-intensitet (angiver indsatsen af software, informations- og kommunikationskapital per arbejdstime), hvilket ses på Figur 1.



Figur 1: Vækstrater i IT-intensitet (Deloitte, 2013, p. 32)

Figuren viser at udviklingen af IT-intensitet fra 1990 til 2010 har varieret over årene, men er endt med ingen udvikling. Sammenlignes udførende byggevirksomheders vækst i IT-intensitet med byggeindustrien, er forskellen mellem dem tydelig. Dette har den indikation, at byggeindustrien har været bedre til at udnytte det produktivitetspotentiale som IT og digitalisering har. Dette betyder at udførende byggevirksomheder, herunder anlægsvirksomheder, bør drage nytte af den allerede anvendte IT i byggeindustrien.

Et af områderne i anlægsbranchen, hvor brug af teknologi er meget aktuelt, er jordarbejde. Jordarbejde er en væsentlig del af anlægsarbejde. Intet kan bygges uden gravearbejde eller flytning af jord enten fra/til en byggeplads eller internt på en byggeplads (Trenter, 2015). Ifølge miljøstyrelsens affaldsdatasystem anmeldes en jordflytning af 6 mio. tons jord hvert år igennem jordflytningsbekendtgørelsen i Danmark. Udover dette transporteres ukendte mængder jord fra landzoner, som ikke kræver anmeldelse. Det vurderes, at der flyttes mellem 10 og 12 mio. tons jord årligt til en anden slutdisponering. Undersøgelser viser også, at størstedelen af overskudsjord bliver genanvendt eller slutplaceres i projekter som landvindings- og havneudvidelsesprojekter (Miljøstyrelsen, 2017, pp. 4–6).

Det fremgår i Miljøstyrelsens undersøgelser, at prisen for at bortskaffe ren eller jord, som ikke er forurenet, er under 100 kr. per tons. Det er prisen for udelukkende at aflevere jord på anlægget. Hvorimod prisen for bortskaffelse af forurenet jord til deponi, kan variere mellem 100 og 500 kr. per ton (Miljøstyrelsen, 2017, p. 36). Disse tal viser, at jordflytning er en stor del af byggeriet. Sammenkobles tallene 6 mio. tons jord pr. år med de 100 kr. pr. ton, kan prisen for bortskaffelse i Danmark estimeres op til 600 mio. kr. pr. år.

Ifølge Miljøstyrelsen, 2017, er data om hvor langt jord flyttes begrænset. Til gengæld transporteres minimum 40-60% af jordmængder mindre end 10 km i København, Odense og Aalborg kommune i perioden 2011-2015. Hvis det antages, at jordmængderne transporteres 10 km i gennemsnit om året, vil det resultere i et behov for 187.500 lastbiler eller dumpere med en kapacitet på 32-ton. Lastbilerne eller dumperne kører derved en distance på 1.875.000 km om året. Dette indikerer hvor komplekst, økonomisk- og miljøbelastende jordarbejde er. Jordarbejde er også en kompleks proces fordi der benyttes forskelligartede maskiner (gravemaskiner, dumpere, lastbiler, dozere, m.m.), og disse har afhængighedsforhold til forskellige opgaver (planering, udgravning, kørsel, komprimering, m.m.). Jordarbejde er kendetegnet ved at være en dynamisk proces på grund af eksekvering af flere produktionsprocesser, der foregår samtidigt i et dynamisk miljø (Correia & Parente, 2018). Kirchbach et al., 2015, udtrykker betydningen af maskiner for jordarbejde, og påpeger et behov for at forøge dets operationel effektivitet. Rapporten karakteriserer jordarbejde som et komplekst område, der især er præget af enorm dynamik og usikkerhed. Jordarbejde kan have store konsekvenser for rettidig eksekvering af efterfølgende faser af byggeprocessen på grund af involvering af flere ressourcer, bl.a. maskiner og store mængder jord (Rifai et al., 2018).

Der er konstateret et behov for optimering af jordarbejde, da det kan have en store indflydelse på den overordnede effektivitet, profitabilitet og tidsstyring af byggeriet (Ahmed et al., 2017; Pan & Hou, 2017; Pradhananga & Teizer, 2015). Ifølge Kirchbach et al., 2015, kan højere effektivitet opnås ved bedre udnyttelse af maskiner, anvendelse af informationssystemer, forbedret informationsflow og data capture.

Ifølge Ahmed et al., 2017, er der et behov for automatisering af arbejdsprocesser indenfor jordarbejde, siden det har stor betydning for den samlede effektivitet af et byggeprojekt. Grundet at jordarbejde består primært af gentagne handlinger, findes der flere muligheder for automatisering af disse. En undersøgelse af Vennapusa et al., 2015, bekræfter også, at automatiseringsløsninger har et potentiale til at forøge den samlede kvalitet, sikkerhed og effektivitet i anlægsbranchen. Hoan et al., 2011, argumenterer også for en industriefterspørgsel efter produktivitet (mængden af udført arbejde), effektivitet (omkostningerne ved det udførte arbejde i form af arbejdskraft og maskiner) og operatørens sikkerhed. Derudover påpeger artiklen, at der er nået en praktisk grænse for hvor meget større og mere kraftfulde maskiner bidrager til produktivitet. Artiklen skriver, at nuværende maskiner på markedet opnår en større produktivitet igennem automatisering og brug af computer- og sanseteknologi.

På baggrund af ovenstående kan konstateres et behov for at finde svar på hvordan problematikkerne *budget- og tidsoverskridelser, spildtid, manglende teknologianvendelse og automatisering af arbejdsprocesser* løses. Dette leder til rapportens problemformulering, som formuleres i nedenstående afsnit.

1.1 Problemformulering

Hvad er potentialet for anvendelse af informationsteknologi til automatisering af arbejdsprocesser, med henblik på minimering af spildtid og reduktion af omkostninger indenfor jordarbejde?

For at undersøge denne problemformulering, indsamles viden ved brug af indsamlingsmetoderne *litteratursøgning, case study, Seven stages of interview inquiry* og *egne observationer*.

Litteratursøgning benytter systemer til at finde tilgængelig forskningsbaseret viden i form af eksisterende løsninger i litteraturen. Metoden benyttes derudover som en litteraturgennemgang af rapporter, bøger og videnskabelige artikler mv., for at vurdere pålideligheden af den fundne data. Den anden anvendte metode, case study, benyttes i forbindelse med at undersøge praktiserede erfaringer. Der kan opstå konflikter mellem teori og virkelighed. Derfor opsøges nøglepersoner i en case-virksomhed indenfor rapportens problemfelt, som kan være behjælpelige til at opklare uregelmæssigheder i teorien. For at strukturere metoden for indhentning af viden i interviews benyttes *Seven stages of interview inquiry*. Afslutningsvis udarbejdes der igennem metoden *Design Science Research*, et løsningsforslag til de problematikker som er blev fundet med indsamlingsmetoderne.

1.2 Afgrænsning

Denne rapport er udarbejdet af studerende med specialisering i bygningsinformatik. Derfor afspejler fokusområdet i rapporten de områder indenfor jordarbejde, som vedrører eller kan gavne data og informationsteknologi. Større dele af emnet jordarbejde er fysisk arbejde, hvilket er i udførelsesfasen af et anlægsprojekt. Derfor har denne rapport fokus på hvordan informationsteknologi kan anvendes til løse problematikker i udførelsesfasen.

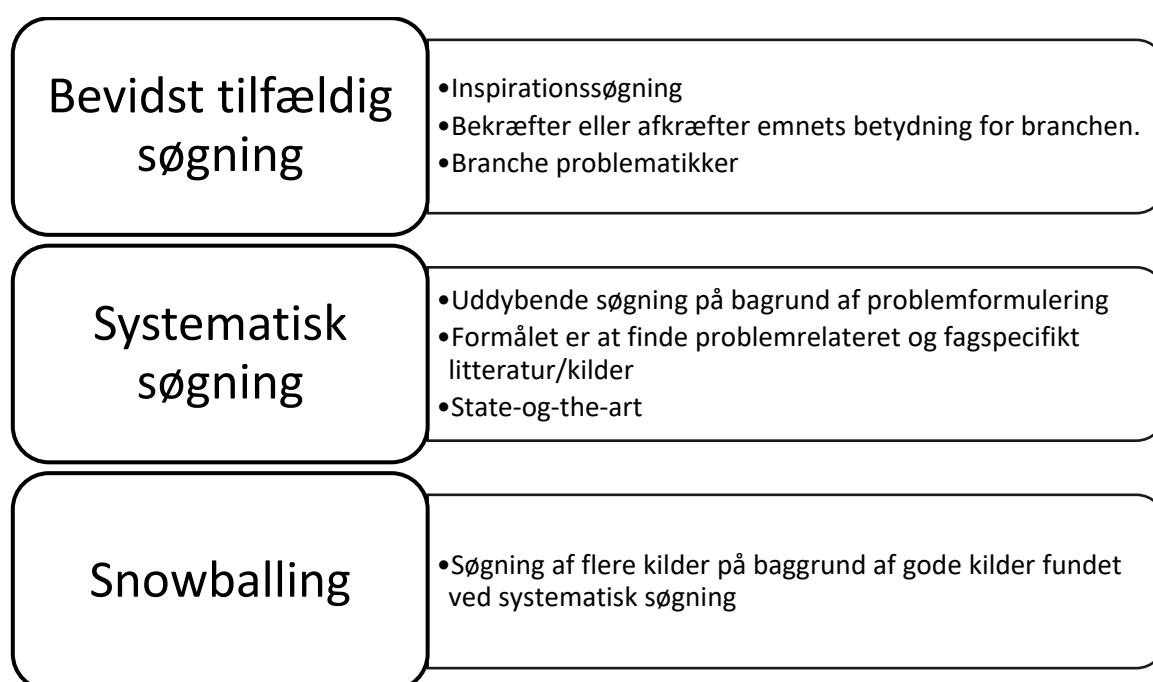
2 Metode

Rapportens metodeafsnit består af metoder, som benyttes for udarbejdelse af et løsningsforslag og indhentning af vidensgrundlag. Først beskrives *litteratursøgning* således, at der kan undersøges eksisterende problematikker og løsninger i branchen, også kaldet state-of-the-art. Herefter beskrives *case study*, der anvendes til at undersøge problematikker i et virkelighedsperspektiv. For at kunne uddrage disse problematikker, benyttes *Seven stages of an interview inquiry*, der strukturerer måden denne viden skal uddrages. Herefter beskrives metoden for hvordan *observationer* inddrages i rapporten, og afslutningsvis beskrives strukturen til at udarbejde et løsningsforslag med metoden *Design Science Research*.

2.1 Litteratursøgning

Der anvendes flere metoder til litteratursøgning i denne undersøgelse – bevidst tilfældig søgning, systematisk søgning samt snowballing (Rienecker et al., 2012). Søgningen koncentrerer sig i to perioder: fra den 02/09/2021 til den 28/09/2021 og fra den 16/11/2021 til den 24/11/2021. Dette havde indflydelse på søgeord gennem tiden, dvs. søgeord blev tilpasset for at bevare fokus i undersøgelsen.

Litteratursøgningen er struktureret på den måde, at undersøgelsen begynder med en bevidst tilfældig søgning, fortsætter med systematisk søgning og afslutter med snowballing, se Figur 2.



Figur 2: Struktur af litteratursøgning

Bevidst tilfældig søgning anvendes for at danne et overblik over problematikker indenfor anlægsbranchen samt bekræfter emnets betydning for branchen. Derudover leverer den type søgning inspiration til undersøgelsen ift. state-of-the-art i branchen. Indledende søgningen er foretaget på Google, både på dansk og engelsk, med de følgende søgeord: BIM, anlægsbranchen, digitalisering, IT, anlæg, data, automatisering. På baggrund af søgningsresultater blev søgeord præciseret til jordarbejde, anlægsbranchen, BIM, real-time data, infrastruktur, maskinstyring, IT-implementering. Derefter blev søgningen foretaget i artikeldatabasen Scopus samt Google Scholar. Der blev fundet

frem til kilder i indledende litteratursøgning som indikerer på budgetoverskridelser og forsinkelser i anlægsbranchen; manglende digitalisering; betydning af jordarbejde for samlet effektivitet i bygge-og anlægsprojekter; behov for effektivisering af udnyttelse af maskiner samt IT. Ud fra det ovenstående er problemformulering udarbejdet.

Systematisk søgning anvendes for at finde fagspecifik litteratur om et undersøgelsesemne på baggrund af problemformuleringen. Gennem problemanalyse blev problematikkerne inden for emnet identificeret. På baggrund af de fundne problematikker var flere kombinationer af søgeord udvalgt. En kombination af søgeord benyttes for at finde frem til relevante artikler ift. problematikkerne. Scopus og Google Scholar er anvendt som primære databaser til systematisk litteratursøgning. Resultaterne af systematisk søgning bearbejdes i rapportens state-of-the-art afsnit.

Snowballing (backward and forward) anvendes for at finde flere kilder på baggrund af udvalgte artikler ved brug af både bevidst tilfældig søgning og systematisk søgning. Backward snowballing indebærer søgning af nye kilder på baggrund af referencer i en oprindelig artikel for at finde artikler, som henviser til den. Forward snowballing indebærer søgning af nye kilder, som henviser til den oprindelige artikel (Wohlin, 2014).

Forskellige in- og eksklusionskriterier er benyttet, materialet kan ikke være udgivet før år 2000, materialet skal være skrevet på engelsk eller dansk, og artikler skal indeholde et resume.

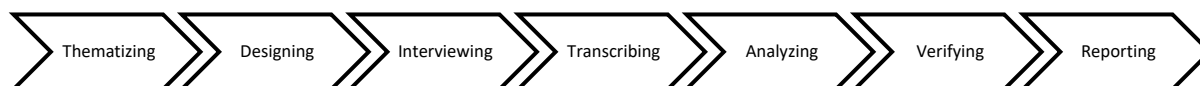
2.2 Case study

Case study er den valgte metode, der anvendes som en datakilde til kvalitativ empiri i dette projekt. Ifølge Yin, 2013, defineres case study som en empirisk studie, der undersøger et komplekst fænomen i dybden inden for en kontekst i den virkelige verden. Case studies anses for værdifulde, fordi de tillader detaljerede beskrivelser af fænomener. De er normalt baseret på en række forskellige datakilder. Dubé et al., 2016, argumenterer for at et case study har en særlig relevans til undersøgelse af komplekse problemer i den kontekst, de opstår i. Case study sikrer, at både undersøgelsen og forståelsen af problemet er dybdegående.

Kvalitativ empiri indsamles ved brug af både interviews og observationer. I denne rapport er formålet af case study eksemplarisk, dvs. casen danner et overblik over typiske forhold og arbejdsprocesser i branchen, hvilket anvendes for at besvare undersøgelsesspørgsmål (Neergaard, 2007). Derudover bygger case study på indsamlet viden gennem indledende litteratursøgning, for at undersøge problemfeltet med en praktisk tilgang.

2.3 Seven stages of an interview inquiry

Seven stages of an interview inquiry er den valgte metode til opsætning af projektets interview. Metoden er en proces til at bearbejde et interview fra emnevalg til transskribering. Den består af syv trin, se Figur 3.



Figur 3: Seven stages of an interview inquiry (Brinkmann & Kvale, 2018)

Disse syv trin er rækkefølgen på, hvordan hvert interview skal bearbejdes. Hvert trin er uddybet i nedenstående afsnit:

Trin et er *Thematizing*. Størstedelen af et interviews proces bør foregå før samtalen optages. I denne del af interviewstadiene undersøges relevante emner og problematikker. I denne del af processen er spørgsmål som "hvad" og "hvorfor" mest betydningsfulde. Det vil sige, hvilke emner, der kan give relevans, og hvorfor de er problematiske nok til at spørge om (Brinkmann & Kvale, 2018, p. 42). I dette projekt anvendes litteratursøgning til at indsamle emner og problematikker.

I trin to, *Designing*, foregår opsætningen af et interview. Når emnet og problematikkerne er fundet, kan der formuleres relevante spørgsmål. Derefter findes den bedste struktur for interviewet. I dette projekt er der valgt semistrukturerede interviews, da strukturen giver plads i interviewet til, at de adspurgte kan svare mere dybdegående (Brinkmann & Kvale, 2018).

Tredje trin, *Interviewing*, er selve udførelsen og mødet med de personer, som skal interviewes. Varigheden kan estimeres ud fra det antal spørgsmål, som formuleres. Personerne som interviewes kan bestemmes ud fra de emner, som vælges på baggrund af tidligere trin metoden. I dette projekt vælges medarbejdere indenfor udførelsen og projekteringen af jordarbejde. Heriblandt udførende på en byggeplads, som kan give indsigt i de fundne problematikker fra *Designing* og *Thematizing* (Brinkmann & Kvale, 2018).

Fjerde trin, *Transcribing*, kommer efter at have foretaget interviews. *Transcribe* betyder transformere, der sker en transformering når informationen ændres fra taleform til nedskreven form. Her kan der anvendes forskellige metoder, bl.a. fuld transskribering, referat eller optaget. I dette projekt er der valgt at interviews optage, således, at alle detaljer kommer med. Derudover foretages et resume, så de essentielle pointer er lettere at arbejde videre med (Brinkmann & Kvale, 2018).

Femte trin, *Analyzing*, er trinnet, hvorpå informationen bearbejdes. I dette trin identificeres problematikker og holdninger således, at det kan udledes hvorvidt informationen er fyldestgørende. Ud fra dette, kan det konkluderes hvorvidt det er nødvendigt med yderligere informationssøgning i form af litteratursøgning, flere interviews eller møder (Brinkmann & Kvale, 2018, p. 115).

Sjette trin er *Verifying*. I dette trin fokuseres der på hvorvidt informationen er troværdig. Der kan opstå bias i holdninger, som kan forvrænge informationens grundlag. I dette trin tages forbehold for, at de interviewede er subjektive til deres situation. Derfor fokuserer dette projekt på at være objektive, således at projektet får et legitimt grundlag (Brinkmann & Kvale, 2018, p. 142).

Syvende og sidste trin er *Reporting*. I dette trin inddrages de involverede parter igen. Her indsamles feedback på det analyseret information. Dette vil give en mulighed for at videreudvikle produktet således, at det vil gavne slutbrugerne.

2.4 Observationer

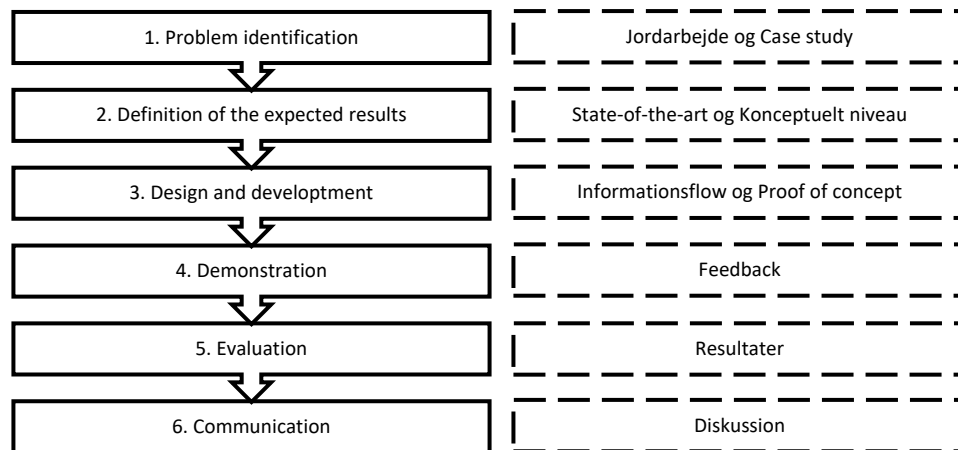
Observationer er en metode, der bruges i denne undersøgelse for at supplere andre dataindsamlingsmetoder. Observationer motiverer undersøgelsesprocessen ved at danne et realistisk billede af et fænomen. Derudover gør denne metode det muligt at identificere nogle givne træk ved det fænomen eller system, der undersøges, og som ofte går ubemærket hen af de personer, der er en del af systemet (Dresch et al., 2018). Observationer foretages tilfældigvis, når forfatterne har mulighed for at deltage i diverse aktiviteter forbundet med case-virksomheden, og når begivenheder anses at være relevante for projektet. Observationer foretages uden metodisk forhåndsviden, til gengæld bruges feltnoter som dokumentation for disse.

2.5 Design Science Research

Design Science Research (DSR) er en metodisk fremgangsmåde, der benyttes til at udvikle det som bogens forfattere kalder *artefakter*. Artefakter skabes til at tjene menneskelige formål. Det er en form

for videnskabelig videns-produktion, som involverer innovativ produktudvikling. DSR tager udgangspunkt i at løse et problem med et virkeligt produkt, men samtidigt fokuserer metoden også på at bidrage med ny viden til videnskaben (Dresch et al., 2018).

DSR består af seks trin, et overblik over disse illustreres på Figur 4.



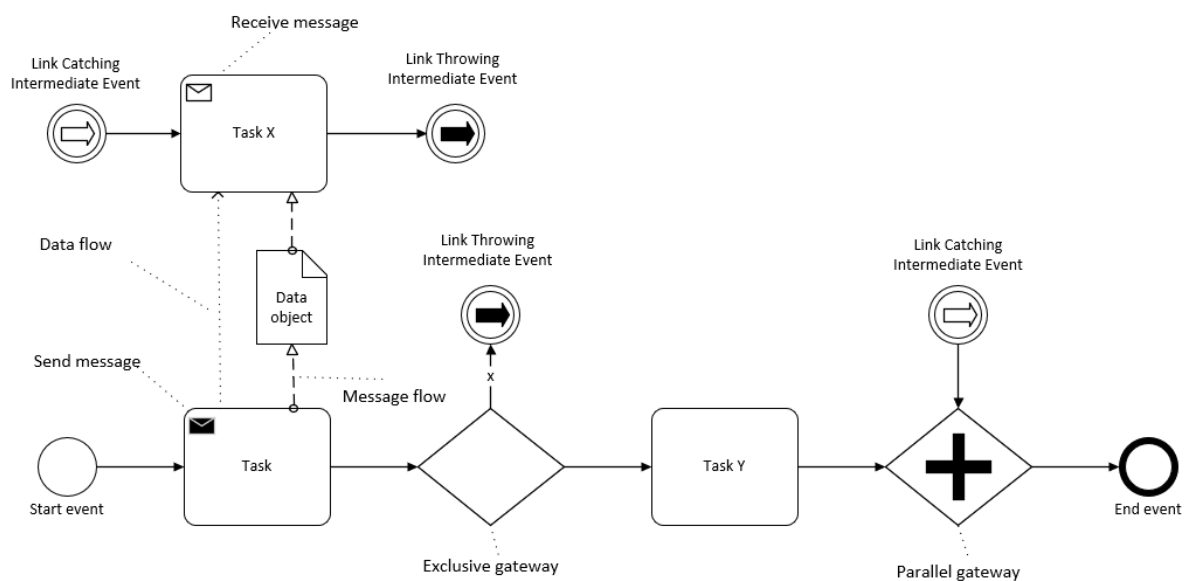
Figur 4: Design Science Research metode og rapport afsnit, inspireret af Dresch et al., 2018, p. 84

Trin et består af at identificere problemet, som skal løses. Dette trin danner motivationen for undersøgelsen og retfærdiggør løsningens relevans. Denne rapport benytter afsnittene *Jordarbejde* og *case study* til at danne vidensgrundlag, for at kunne identificere problematikker. **Trin to** definerer de forventede resultater, som løsningen giver. For at finde inspiration af eksisterende løsninger findes state-of-the-art og herefter udarbejdes en struktur for løsningsforslaget i afsnittet Konceptuelt niveau. **Tredje trin** designer og udvikler den artefakt, som skal løse problematikkerne. For bedst at kunne løse problematikkerne bør udviklingen tage udgangspunkt i eksisterende viden og litteratur. Derfor tages udgangspunkt i state-of-the-art og konceptuelt niveau. Løsningsforslaget udarbejdes i afsnittene Informationsflow og Proof of concept. I **fjerde trin** laves en demonstration. Her udføres en test for at undersøge hvorvidt løsningen fungerer og hvordan den løser problematikkerne. **Femte trin** bedømmer hvordan problematikkerne løses sammenlignet med de forventede resultater i trin to. **Sjette** og sidste trin kommunikerer problemet og dets relevans. Her præsenteres hvordan forskningen blev udført og effektiviteten af løsningen af problemet (Dresch et al., 2018).

Denne rapport vælger denne form for produktudvikling, fordi metoden egner sig godt til et tæt samarbejde med virksomheder, hvor virkelige problematikker kan løses og løsningsforslag kan testes i virkelige kontekster.

2.6 Business Process Model & Notation

Business Process Model & Notation (BPMN) er en metode til at opstille diagrammer og forretningsprocesser på. Diagrammet opstiller forskellige figurer eller *process and collaboration elements*, der specificerer hvilken form for kommunikation, som foregår imellem opgaver (Object Management Group, 2011). Der dannes et sammenhæng mellem figurerne med forskellige pile eller *flows*, som har forskellige betydninger, se evt. Figur 5.

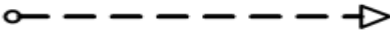
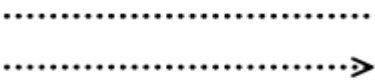
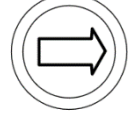


Figur 5: Business Process Model & Notation eksempel (BPMN)

BPMN anvendes af virksomheder til at danne overblik over interne og eksterne processer og deres interaktioner. Herved muliggøres en analyse af processerne således, at problematikkerne kan identificeres og mulige løsninger findes (Object Management Group, 2011).

Nedenstående tabel beskriver de forskellige elementer i en BPMN og viser deres notationer. Tabellen tager udgangspunkt i Object Management Groups (OMG) specifikation for BPMN version 2.0 (Object Management Group, 2011).

Element	Beskrivelse	Notation
Start event	Start af en begivenhed, som forekommer i løbet af processen.	
Intermediate Event	Mellemtrin mellem en start- og slutbegivenhed.	
End Event	Sidste begivenhed i processen.	
Activity	En aktivitet eller term for et stykke arbejde.	
Exclusive Gateway	Exclusive Gateway bruges til at skabe alternative stier inden for et procesflow. For en given instans af processen kan kun én af stierne tages.	

Parallel Gateway	En parallel gateway modellerer en forgrening til flere eksekveringsstier eller en sammenføje af flere indkommende eksekveringsstier.	
Sequence Flow	Rækkefølge eller forløb af processen.	
Message Flow	Kommunikation mellem to deltagere i processen.	
Association/Data flow	Sammenkobler et objekt med en begivenhed eller aktivitet.	
Pool Svømmebassin	Kategoriserer deltagere i processen.	
Swimlane Svømmelinje	Underkategoriserer deltagere i processen.	
Data Object	Information der forudsætter hvad aktiviteter behøver for at blive udført.	
Message	Beskriver indholdet af kommunikationen mellem deltagere.	
Link Throwing Intermediate Event	Smider et link til en Link Catching Intermediate Event.	
Link Catching Intermediate Event	Fanger et link fra en Link Throwing Intermediate Event.	

Tabel 1: BPMN-elementer

Denne rapport vil anvende BPMN til at danne et overblik over processerne indenfor jordarbejde. Processerne kan herefter analyseres således, at problematikker og forbedringspotentialer kan identificeres. Ud fra analysen og de fundne problematikker og forbedringspotentialer kan et løsningsforslag udarbejdes.

3 Problemanalyse

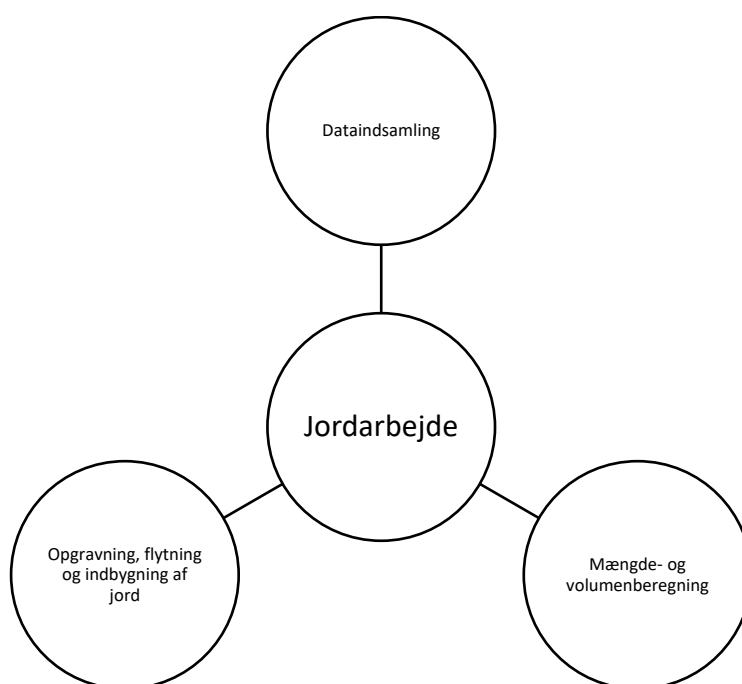
På baggrund af problemformuleringen undersøges jordarbejde i dette afsnit, hvor den grundlæggende viden indsamles. Denne viden giver spørgsmål og problematikker, som kan sammenlignes med den viden, der findes i *Case study*. Derved kan der findes problematikker. Disse problematikker ligger til grund for, at et løsningsforslag kan udarbejdes i afsnit 4.2.

3.1 Jordarbejde

Jordarbejde er en væsentlig del af anlægsarbejde. Intet kan bygges uden gravearbejde eller flytning af jord enten fra/til en byggeplads, eller internt på en byggeplads. Jordarbejde er dermed en del af både større infrastrukturprojekter og mindre bygge- og anlægsprojekter (Trenter, 2015). Jordarbejde omfatter afgravning, indbygning og deponering af råjord. Derudover omfatter arbejdet bl.a. håndtering af forurenede jord, blødbund og opbrudte vejmaterialer (Særlige Arbejdsbeskrivelser (SAB), 2021, p. 1). Definitionen af jordarbejde omfatter også opmåling af jord i feltet, beregning af jordmængder på kontoret og bestemmelse af den mest økonomiske metode til at udføre arbejde (Harbin, 2001).

Den udførende del af jordarbejde benytter forskellige maskiner for at øge effektiviteten, bl.a. gravemaskiner, frontlæssere, dumpere, asfaltmaskiner mv. (Trafikstyrelsen, 2021). Gravearbejde kan derfor være farligt arbejde, da det indebærer en særligt risiko for jordskred, kemiske stoffer og en risiko for at grave eksisterende ledninger og kabler over (BFA, 2017, p. 5).

Ifølge Shah & Hastak, 2008, består en proces af 3 elementer: (1) dataindsamling, (2) opgravning, flytning og indbygning af jord og (3) mængde- og volumenberegning. Disse 3 elementer afspejles på Figur 6, som viser indbyrdes afhængighed imellem dem.



Figur 6: Struktur af jordarbejde, inspireret af Shah & Hastak, 2008

Jordarbejde begynder med dataindsamling, hvilket er landmålerens ansvar. I designfasen af hvert projekt skal de eksisterende jordforhold og jordprofil undersøges ved anvendelse af diverse opmålingsudstyr samt dokumenteres. Disse data kan betragtes som input data til et projekt. De indsamlede data videregives bagefter til designteamet. Designteamet bruger input data til at estimere

jordmængder, der skal flyttes og placeres. Dette gøres ved anvendelse af diverse manuelle og computeriserede metoder. de fleste tilfælde af jordmængdeberegning foretages både før og efter udførsel af et projekt. Opgravning, flytning og indbygning af jord sker primært i udførselsfasen og er entreprenørens ansvar (S. Shah & Hastak, 2008).

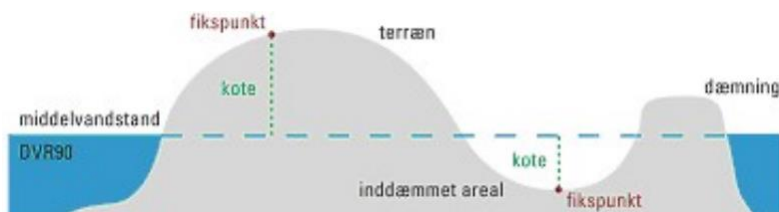
3.1.1 Dataindsamling

Dataindsamling er første del af jordarbejde jf. figur 5. Dataindsamling omhandler de forskellige metoder, der kan anvendes for at indsamle terrændata. Terrændata benyttes til at udarbejde en terrænmodel, som beskrives senere i afsnittet.

3.1.1.1 Landmåling

Ifølge Ullvit & Fredensborg Matthiesen, 2009, kan landmåling defineres som *”måling til genstande på, og til tider over eller under, Jordens overflade for at bestemme deres placering i forhold til hinanden. Landmåling endvidere omfatter beregning af afledte størrelser som koordinater, arealer eller volumen og præsentation af disse data på et kort eller i en anden form”*. For at stedfæste punkter i planen og i højden relativt til hinanden, anvendes målinger såsom retninger, højdeforskelle og længder.

Dette gøres bl.a. ved at foretage en planmåling og højdemåling. En højdemåling er bestemmelsen af terrænets højder i form af punkter, også kaldet koter. Målingen opmåles ved at bestemme højdeforskellen sammenlignet med det første punkt, kaldet fikspunktet (Efteruddannelsesudvalg, 2009). I Danmark er fikspunktet middelvandstanden, se Figur 7.



Figur 7: Højdesystem (Efteruddannelsesudvalg, 2009)

Forskelsværdien mellem fikspunktet og middelvandstanden udgør *koten*. Et eksempel på denne beregning kan være Aarhus, hvor fikspunktet er middelvandstanden og den er bestemt til kote 10.000 meter i *Dansk Vertikal Reference* (DVR90). Aarhus ligger -0,051 meter under middelhavstanden og har derfor en kote på 9,949 meter DVR90 (Efteruddannelsesudvalg, 2009, p. 6). Højdemåling kan foretages ved brug af bl.a. analog eller digital nivellerinstrument, rotorlaser (Ullvit & Matthiesen, 2009).

Planmåling er bestemmelsen af den horisontale placering af punkter i forhold til hinanden. En af de måder der bestemmer den horisontale placering af punkter i forhold til hinanden, er *polær måling*. Polær måling er en metode, der anvendes til at bestemme positionen af et ukendt punkt (terrængenstand) i forhold til to kendte punkter. Planmåling kan foretages ved brug af bl.a. teodolit, totalstation og robottotalstation (Ullvit & Matthiesen, 2009).

3.1.1.2 Punktdata

Planmåling benyttes til at opbygge en overflade, typisk terræn, med punkternes X og Y koordinater, dvs. punktlokation. Derved kan en samling af disse punkter genereres og danne et overblik i form af en plan (Ullvit & Matthiesen, 2009). Punktdata består af lokationsdata (X- og Y-koordinater) kombineret med højdemåling (Z-koordinat), se Figur 8. Normalt anvendes ortogonale koordinatsystem, der beskriver en præcis lokation af et punkt i det tredimensionelle euklidiske rum (Stępień, 2018). Således opnås samlingen af punkter i tre dimensioner, som kan anvende til bl.a. udarbejdelse af terrænmodel (Li et al., 2005).

Point No.	X [m]	Y [m]	Z [m]
1.	0.0000	0.0000	0.0000
2.	25.7233	0.0020	1.6480
3.	15.7988	6.6230	6.7835
4.	0.8898	15.7203	7.1685
5.	-16.2395	25.6953	2.2100
6.	-33.6763	-2.3131	1.4220
7.	-8.2938	-43.5918	-0.0560
8.	27.8830	-39.3765	0.0150
9.	11.7693	-2.1383	-0.0230

Figur 8: Punktdata sæt (Stępień, 2018, p. 13)

3.1.1.3 Punktskyer

Punktskyer er en samling af 3-dimensionale georefererede og eventuelt klassificerede punkter (Miljøministeriet, 2015, p. 4). Punktskyer kan indeholde data samlet ved brug af bl.a. laserscanning (Li et al., 2005). Punktskyer kan benyttes til opmåling af terræn, bygninger, vegetation og infrastruktur, se Figur 9.



Figur 9: Eksempel på et punktsky (4-5 punkter/m²) (Miljøministeriet, 2015)

Et punktsky gør det muligt at generere en terrænmodel (Li et al., 2005). Indenfor anlægsarbejde kan en terrænmodel være benyttet til volumenberegninger, profilmålinger og maskinstyring (Hirt, 2014; Li et al., 2005; Vennapusa et al., 2015).

3.1.1.4 Terrænmodel

Ved brug af opmålingsdata (punktdata eller punktsky) kan en *Digital Terræn Model* (DTM), *Digital Overflade Model* (DSM – eng. *Digital Surface Model*) genereres. Ifølge Li et al., 2005, defineres DTM som en statistisk repræsentation af jordens kontinuerlige overflade, med et stort antal udvalgte punkter med kendte X, Y, Z koordinater, i et vilkårligt koordinatfelt. Terrænoverfladen består af et sæt diskrete punkter med unikke højdeværdier for hvert 2D-punkt. Højdeværdierne defineres ud fra afstanden mellem terrænpunkt (opmålingspunkt) og en vis referenceflade, eksempelvis Middelhavsniveau (Hirt, 2014).

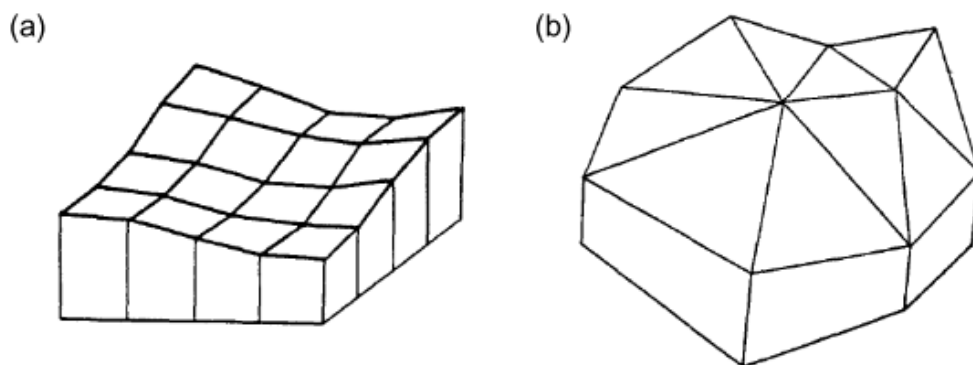
Mens at DTM kun repræsenterer jordoverfladen, beskriver Digital Overflade Model (DSM) også højden af bevoksning samt menneskeskabte genstande, eksempelvis bygninger, se Figur 10. *Digital Elevation Model* (DEM) anvendes ofte som et synonym til DTM eller et paraplybegreb for både DTM og DSM (Hirt, 2014).



Figur 10: Digital Terræn model (DTM) og Digital Overflade Model (DSM) til højre (Hirt, 2014)

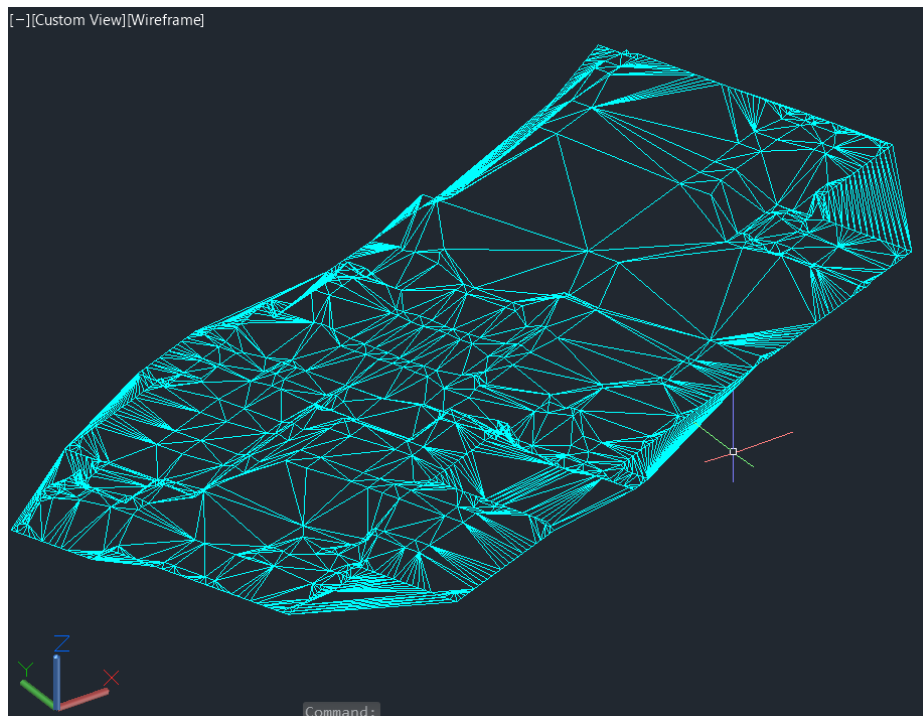
I dette projekt anvendes der kun et begreb – Digital Terræn Model (DTM). Dette gøres pga. relevans af begrebet for projektet og for at undgå forvirringer.

Der findes flere metoder for modellering af DTM-overflade. De mest anvendte i praksis er trekantbaseret og gitterbaseret modellering, se Figur 11. DTM-overflade kan modelleres ved brug af oprindelige punktdata eller punktsky. Dette kan gøres ved at bruge et firkantet gitter, ved hjælp af almindelige trekanter eller gennem triangulering i tilfælde af tilfældigt lokaliserede data (Li et al., 2005).



Figur 11: Kontinuerlig overflade modelleret ved brug af (a) gitter- og (b) trekantbaseret metode (Li et al., 2005)

Triangular Irregular Network (TIN) er en måde til at repræsentere overflademorfologi. TIN-overflade kan konstrueres ved at triangulere et sæt punkter (Environmental Systems Research Institute, 2016), og ved brug af oprindelige punktdata, se Figur 12 (Li et al., 2005).



Figur 12: TIN-overflade modelleret i Civil3D

DTM har en afgørende rolle i bygge- og anlægsarbejde og kan anvendes på flere måde. DTM kan anvendes til beregning af mængder, hældning, arealer, skygger, dræning, m.m. Eksempel på anvendelse af DTM er dets anvendelse som et grundlag i *Geographic Information Systems* (GIS) for planlægningsformål indenfor anlægsarbejde (Hirt, 2014). Derudover anvendes DTM som et grundlag til maskinstyring (*AMG, eng. Automated Machine Guidance*) (Vennapusa et al., 2015).

En undersøgelse foretaget af National Academies of Sciences, Engineering, 2018, viser, at flertallet af entreprenører benytter Digital Terrain Models (DTMs) til bestemmelse af jordmængde, fremgangsmåde, bygbarhed, kvalitetssikring, produktionsovervågning og betaling. Der påpeges i undersøgelsen, at det er vigtigt med en præcis afbildning af jorderoverfladen således, at en detaljeret DTM kan udarbejdes.

3.1.2 Mængdeberegning

Jordmængdeberegning forgår på forskellig vis, afhængigt af hvad, der skal beregnes. Der findes forskellige alternativer af metoder til estimering af jordmængder. Denne rapport sammenligner manuelle- og automatiske metoder til mængdeberegning af jord.

3.1.2.1 Manuel metode

Der findes forskellige metoder til manuel beregning af jordmængder, denne rapport tager udgangspunkt i to af de oftest brugte i anlægsbranchen, *Cross Section* metoden og *Average End Area* metoden.

Den første manuelle metode til mængdeberegning er *Cross Section* metoden. Processen er, at arealet først opdeles i et gitter, hvor størrelsen af gitteret påvirker præcisionen. Et mindre gitter giver en større nøjagtighed. Hver gitterkasse kan beregne fyldningsbehovet ud fra den eksisterende kote og den planlagte kote. Derved vides det hvor meget jord, der skal fjernes eller tilføjes. Sammenfatningen af de forskellige bokse i gitteret, giver en samlet volumen for jord, der skal tilføjes eller fjernes i projektet (S. Shah & Hastak, 2008, p. 47).

Den anden manuelle metode til mængdeberegning er *Average End Area* metoden. Denne metode benyttes, hvis opmålingerne har store afstande fra hinanden, og et cirka-estimat eller et gennemsnit ønskes. Metodens proces foregår således, at der først opmåles tre punkter; en ved midtlinjen og en ved hver kant. Dette danner et snit igennem arealet. Ud fra snittet kan to beregninger udregnes, den jord, som skal fjernes, og den jord, som skal tilføjes i kvadratmeter. For enden af arealet laves en opmåling ligeledes. Derved udarbejdes en profil, som dette kan sammenlignes med. Ud fra profilerne laves et gennemsnit ud fra hvor meget jord, der skal fjernes og tilføjes. Den mængde jord multipliceres med længden af midtlinjen, for at beregne volumen af jord, som skal tilføjes og fjernes i kubikmeter (S. Shah & Hastak, 2008, p. 47).

3.1.2.2 Automatisk metode

Der findes forskelligt software, der kan anvendes til mængdeberegning af jord. Software er skabt til at gøre arbejdsprocessen nemmere og hurtigere. Der er mange forskellige software-udbydere, som udvikler software, der understøtter mængdeberegning, eksempelvis Autodesk, Bentley, Carlson, Trimble, CAiCE, MicroSurvey, Traverse osv. Hver producent udvikler programmer, som er beregnet til enhver form for byggeri (vejbane design software, bygnings design software og jernbane design software osv.). Hvert software product er yderst kompatibelt med data fra totalstation, LiDAR eller laserscanning. Benyttes den automatiske jordmængdeberegnings-metode, kan der nemt og hurtigt indhentes volumen på jord til afskaffelse eller påsætning ud fra en DTM, som indsættes i det valgte program i projektet, se evt. Figur 12 (S. Shah & Hastak, 2008, p. 48).

3.1.3 Opgravning, flytning og indbygning af jord

I dette afsnit beskrives tredje del af Figur 6 - opgravning, flytning og indbygning af jord. I afsnittet beskrives grundlæggende viden indenfor jordarbejde, dvs. hvilke maskinerne og hvilken maskinstyring der findes og hvordan materiale-flowet foregår. Afslutningsvis findes områder indenfor jordarbejde, der er problematiske, hvilket denne rapport har særligt fokus på.

3.1.3.1 Maskiner til jordarbejde

I følgende afsnit beskrives de mest anvendte maskiner til byggeri indenfor jordarbejde i nuværende tid. Maskiner til jordarbejde opdeles i tre kategorier: *Udgravning, transport, indbygning*. Dette er en overordnet beskrivelse af maskinerne, og de præcise specifikationer for individuelle maskiner afviger mellem maskinernes producenter.

Til udgravning benyttes *gravemaskiner*, som består af en skovl på enden af en leddet bom, som enten bevæges frem og tilbage med dæk- eller larvetrækker, se Figur 13. Bevægelsen foregår med hydrauliske cylindre og benyttes primært til læsning. Læsningen udføres generelt ved at løfte skovlen og svinge bommen til den afventende vogn (Trenter, 2015, p. 311).



Figur 13: Gravemaskine (Trenter, 2015, p. 311)

Til transportering benyttes *dumpere*, som er mobile maskiner med kapacitet til at flytte varierende mængder jord. Der kan anvendes knækstyrede-, og stive dumpere eller blot vejlastbiler med vogne, alt afhængigt af behovet for jordflytning, se evt. Figur 14.



Figur 14: Dumpere (Trenter, 2015, p. 313)

Knækstyrede dumpere er den mest almindelige maskine til jordarbejde, da de er alsidige og velegnet til at trække blødere underlag. Det er hurtigere at aflæsse med knækstyrede dumpere, siden de vipper i stedet for at benytte en bagklap. Udvalgte dumpere har indbygget vægt til vurdering af læs. Derved kan prisen for kapaciteten hurtigt udregnes. Stive dumpere er primært brugt i miner, stenbrud og åbne brudsteder, på grund af deres høje kapacitet. Afhængigt af størrelsen kan de bære mellem 40 og 90 tons (Trenter, 2015, p. 314).

Til udjævning af jord benyttes *bulldozere*, som er traktorer, der er udstyret med et frontskubbeblad. De er indbygget med hydrauliske cylindre, som kan hæve og sænke bladet. Traktorenhederne er oftest monteret med larvebånd således, at de kan overkomme en lang række forskellige jordforhold, se Figur 15. Hjulmonterede enheder er også tilgængelige. Bulldozere har mange roller, heriblandt udgravning af jord og sten over korte afstande, sprede materiale og trimme jordarbejde (Trenter, 2015, p. 315).



Figur 15: Bulldozere (Trenter, 2015, p. 315)

Til indbygning benyttes også *valsetog*, som er maskiner, der anvendes til komprimering af bl.a. adskillige jordtyper. Valsetog er den mest benyttede maskine til komprimering de sidste år, da den er velegnet til mange forskellige jordtyper. De fleste eksempler der ses de seneste år, er selvkørende maskiner, se Figur 16.

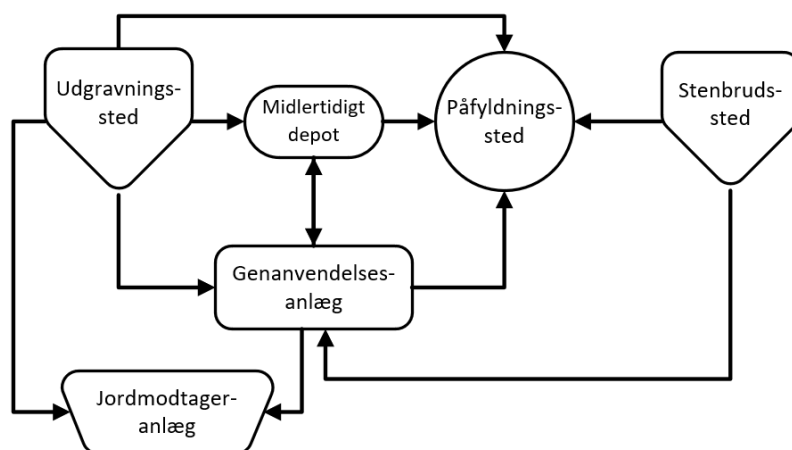


Figur 16: Valsetog (Trenter, 2015, p. 318)

Der findes forskellige typer maskiner til komprimering af jord, heri tandemtromle, stangstyret eller selvkørende dobbeltvalset tromler og pladevibratører (Trenter, 2015, p. 319).

3.1.3.2 Typisk arbejdsproces

I dette afsnit beskrives den grundlæggende proces for jordarbejde. Den primære beskæftigelse er materialeudgravning og den øjeblikkelige transport til et påfyldningssted. Beskæftigelse med udgravning og transport er i realiteten mere kompliceret, her kan der bl.a. forekomme midlertidige deporter, genbrugspladser og lossepladser, se Figur 17.



Figur 17: Typisk jordarbejde proces, baseret på (Dell'Amico et al., 2019, p. 172)

Arbejdsprocessen ved jordarbejde starter ved udgravningsstedet (*eng. Excavation site*), hvor gravemaskiner udgraver materiale. Materialet skal herefter transporteres med dumpere eller lastbiler. Alt afhængigt af projektet, kan det eksempelvis transporteres til et midlertidigt depot (*eng. Temporary depot*) og på et andet tidspunkt transporteres til et påfyldningssted (*eng. Filling site*), det midlertidige depot anvendes i tilfælde af, at påfyldningsstedet ikke er langt nok i processen (Dell'Amico et al., 2019).

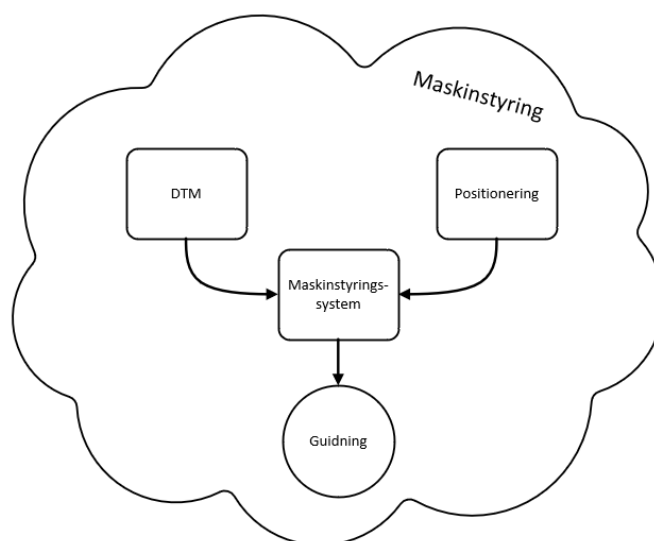
Det opgravede materiale skal sorteres on-site, for at kunne specificere, hvilket kan benyttes til byggeformål. Indenfor sortering af jord findes fire slags materiale: 1. Høj kvalitet, 2. Middel kvalitet, 3. Affald og 4. Muldjord (yderste jordlag). Den største procentdel af specificering af jordtyper kan forudbestemmes ud fra de foreløbige jordbundsundersøgelser. Materialetype 1 og 2 kan genanvendes til direkte påfyldning, hvor materialetype 1 også kan genanvendes til at opnå nyt byggemateriale.

Dette sker på jordmodtageranlæg (*eng. Recycling plant*), hvor materialet blandes med bitumen og cement for at få beton og asfalt. Overskudsjord kan herefter flyttes til en jordmodtageranlæg (*eng. Dumping site*). Affaldsmaterialer skal kasseres på specifikke lossepladser, hvorimod muldjord midlertidigt kan opbevares og genanvendes som sidste jordlag. Ved indbygning, hvor jord flyttes fra midlertidige depoter til påfyldning, benyttes bulldozere og valsetog, der flytter og komprimerer jorden (Dell'Amico et al., 2019).

Der kan også påfyldes materiale fra stenbrud (*eng. Quarrying site*), som enten direkte påfyldes på påfyldningsstedet eller transporteres til genbrudsplader, for at danne nyt byggemateriale, som kan anvendes på påfyldningsstedet. (Dell'Amico et al., 2019).

3.1.3.3 Maskinstyring

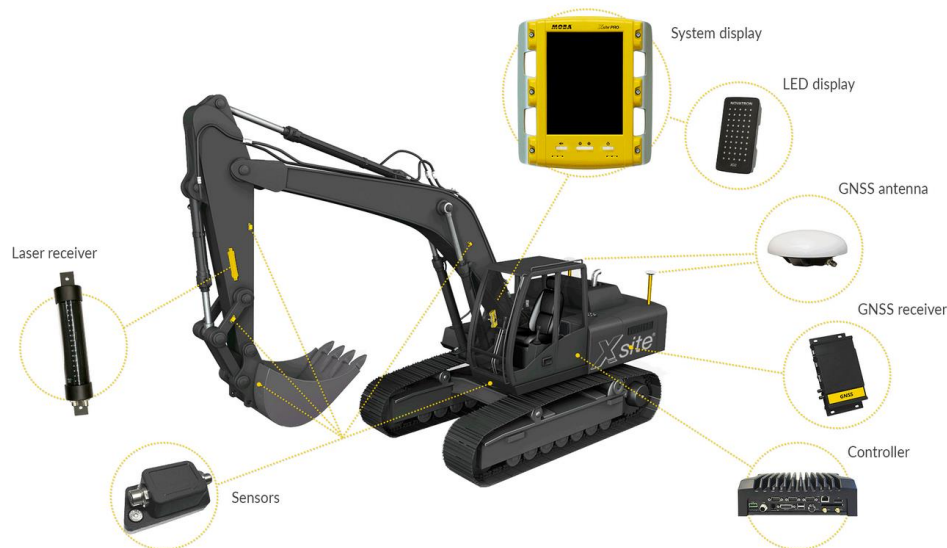
For at understøtte produktionsprocesser indenfor jordarbejde er der flere smart-teknologier, der kan anvendes for forøgelse af effektivitet af maskiner, og for at forbedre produktivitet af produktionen. Disse teknologier er bl.a. overvågning af maskinernes bevægelser, skovlpositionering og kontrol, laserstyringssystem til hældningskontrol, afstandsmålesystemer, laserbaserede- og GPS-baserede maskinstyringssystemer, m.m. (Ahmed et al., 2017). I denne rapport betegnes disse teknologier som en del af *maskinstyring* (*eng. machine control*), der er et paraplybegreb. Dette skyldes, at maskinstyring defineres forskelligt i litteratur og af producenter, eksempelvis *eng. machine control, machine guidance, automated machine guidance*, m.m. Ifølge Topcon, 2021 defineres maskinstyring som en teknologi, der gør det muligt at træffe beslutninger baseret på data i stedet for at stole på fejlbarlige traditionelle metoder eller operatørens dygtighed og erfaring. National Academies of Sciences, Engineering, 2018 definerer maskinstyring som anvendelse af computere, positioneringsteknologi og geospatiale modeller (*eks. DTM*) for at give horisontal og vertikal positionering til operatøren af byggeudstyr. Denne positionering kan anvendes til bl.a. udjævning, komprimering, udgravning og andre type af jordarbejde. (U.S. Department of Transportation, 2013). Figur 18 opsummerer de førnævnte definitioner af maskinstyring, og danner et samlet overblik af maskinstyring som et begreb.



Figur 18: Sammenhæng mellem de elementer af maskinstyring

Figuren viser, at maskinstyring er en overordnet proces bestående af flere elementer: *Digital Terrain Model (DTM)*, *positionering* og *Maskinstyrings-system (computer)*. DTM er beskrevet i afsnit 3.1.1.4. DTM, som anvendes til maskinstyring, indeholder en fremtidig overflade design. Ifølge National

Academies of Sciences, Engineering, 2018, *sker* positioneringen af en maskine ved anvendelse af installerede sensorer samt GNSS (*eng. Global Navigation Satellite System*), eksempelvis GPS, Galileo, GLONASS, m.m. (EU Agency for the Space Programme, 2021). Derudover kan positionering ske med robottotalstation, laser eller en kombination af førnævnte metoder (U.S. Department of Transportation, 2013). Maskinstyring udføres af et maskinstyringssystem bestående af en kontrolenhed (*computer, ofte repræsenteret af control box og skærm/tablet*) med tilsluttede sensorer, der overvåger bl.a. dybden af udgravning, hældning, udgravning og påfyldning, vægt, position af maskine, m.m. (Leica Geosystems, 2021; Topcon, 2021). Figur 19 viser typisk en set-up af maskinstyringssystem på en gravemaskine. Maskinstyringssystemet beregner slutoverfladen for et specifikt sted, hvor maskinen er placeret, ved brug af DTM, der er gemt på en indbygget computer. Bagefter leverer maskinstyringssystemet *Guidning* i form af enten information til maskinoperatøren (udgravning- og påfyldningsmængder) eller eksempelvis automatisk justering af skovlpositionen (U.S. Department of Transportation, 2013).



Figur 19: Maskinstyringssystem på en gravemaskine (Novatron, 2021)

Der findes flere fordele ved anvendelse af maskinstyring. Anvendelse af maskinstyring forøger operatørens produktivitet og præcision i arbejdsprocessen. Maskinstyringssystem opsamler også data fra sensorer opsat på maskinen. (Topcon, 2021). Ifølge Vennapusa et al., 2015 har maskinstyring et potentiale til at forbedre effektivitet, kvalitet og sikkerhed af jordarbejde. Derudover har maskinstyring et potentiale til at automatisere arbejdsprocesser indenfor jordarbejde.

En undersøgelse foretaget af National Academies of Sciences, Engineering, 2018, blandt 504 respondenter, inkl. entreprenører, rådgivere, m.m., bekræfter disse potentialer samt indikerer flere fordele. Disse er: arbejds- og tidsbesparelse, forbedret dokumentationsproces, lettere granskning af projekt-/udbudsmateriale for bygbarhed samt miljøbesparelser. Maskinstyring bidrager til mindre forvirring og mere nøjagtighed af as-built mængdeberegning og fakturering. De fleste entreprenører påpegede en omkostningsreduktion mellem 10% og 25% ved anvendelse af maskinstyring samt en produktivitetsforøgelse mellem 10% og 25%. Udstyrsleverandører indikerer en omkostningsreduktion mellem 25% og 40% ved anvendelse af maskinstyring og en produktivitetsforøgelse på ca. 40%.

I dette afsnit om jordarbejde dannes grundlæggende viden således, at problematikker og forbedringspotentialer indenfor jordarbejde kan findes. Dette afsnit danner derudover grundlag for

den viden, som er nødvendig for at kunne danne overblik over arbejdsprocesser og spørgsmål til interviews. Det, som blev fundet i interviews og de overordnede arbejdsprocesser indenfor jordarbejde, som udledes af interviews og observationer, beskrives i næste afsnit - Case study.

3.2 Case study

For at undersøge problemfeltet med en praktisk tilgang samt skabe en idé omkring virkelige eksisterende forhold i anlægsbranchen, arbejdes der med en repræsentativ case i denne undersøgelse. Casen danner et grundlag for arbejdsprocesser indenfor jordarbejde, giver en ide om hvilke teknologier, der anvendes indenfor mængdeberegning, maskinstyring, modellering osv., samt understøtter brancheproblematikker beskrevet i Indledning. Derudover illustrerer casen de generiske arbejdsgange ift. Jordarbejde, og påpeger de problemområder/udfordringer ift. jordarbejde som er gældende for branchen.

Casen tager udgangspunkt i en virksomhed, som til daglig udfører jordopgaver. Dette indebærer både udførsel af jordarbejde, samt modellering, projektering og mængdeberegning. Der er foretaget 3 interviews med medarbejderne fra case-virksomheden. Mødereferater kan ses i Bilag 1.

I de kommende afsnit redegøres der for de foretagne interviews, og afslutningsvis sammenfattes holdninger og erfaringer fra de forskellige interviews.

3.2.1 Interviews

For at strukturere rapportens interview, er der benyttet *Seven stages of an interview inquiry*. Det første trin i metoden *Thematizing* benyttes til at indsamle den nødvendige viden, for at kunne foretage interviews. Igennem litteratursøgning er der fundet viden i form af overordnede arbejdsprocesser for jordarbejde, jordmængdeberegningsmetoder og problematikker indenfor branchen, se evt. afsnit 2.1.

Det andet trin *Designing* er benyttet til at formulere relevante spørgsmål til interviewene ud fra det forrige trin. I interviews stilles der derfor spørgsmål til: arbejdsprocesser, problematikker, jordmængdeberegning, budget- og tidsoverskridelser, IT og digitalisering.

Tredje trin *Interviewing* er udførelsen af interviews og mødet med personerne. I dette trin lægges der vægt på valget af personer til interviews. Ved at foretage det rigtige valg af personer, skaffes de mest fyldestgørende besvarelser. Denne rapport foretager en kvalitativ indsamlingsmetode. Dette betyder, at rapporten prioriterer en dybere besvarelse fra færre personer, frem for et resultatuddrag af et spørgeskema. Den kvalitative metode vælges derudover for at få overblik over arbejdsprocesser af de adspurgte personer. I rapporten er der valgt tre personer til besvarelse af spørgsmål. Strukturen er semistruktureret for, at personerne bedre kan bidrage med egne holdninger og dybere besvarelser. I interviewene lægges der vægt på at stille opfølgende spørgsmål hvormed, at tvetydigheder afvikles og meninger synliggøres.

3.2.1.1 Interview 1 med VDC-Specialist

I interviewet med VDC-specialisten fra case-virksomheden, blev der fundet følgende problematikker for arbejdsprocessen ved udførelsen af jordarbejde. VDC-specialisten oplevede udfordringer ved bl.a. koordinering, fordi der var mange forskellige fagarbejdere, som arbejdede på samme tid på byggepladsen. Koordinering blev også besværlig, fordi forskellige kraner skulle operere på samme tid. Dette leder til hvad han kaldte *clashes* eller sammenstød, hvilket resulterer i en ændret og forsinket tidsplan.

Problematikkerne stammer bl.a. fra uforudsete faktorer såsom, at det er besværligt at lave præcise jordberegninger. Dette giver udfordringer, da arbejdsprocessen f.eks. er anderledes for blødbund eller

andet dårligt jord. VDC-specialisten forklarer, at selvom der foretages flere boringer, så kan der ikke forudsiges hvad der findes af jord i hele projektet på byggepladsen.

VDC-specialisten forklarer derudover, at andre grunde til budget- og tidsoverskridelser kan være et resultat af, at entreprenøren leder efter ekstraarbejde i form af f.eks. upræcis jordmængdeberegning, siden det giver mere arbejde og derved flere penge til entreprenøren. VDC-specialisten har erfaret en forskel på privat og offentlige bygherre. I det private ses ofte en stram tidsplan, og ofte overskrides denne. I offentlige tilfælde er tidsfristen politisk bestemt. Derfor overskrider de ikke tidsfristen i størstedelen af tilfældene, men det er i stedet budgettet, som overskrides.

De værktøjer, som benyttes, afhænger af det udleverede materiale. Hvis det er pdf'er, er det nemmere med Bluebeam og derefter indsætte det i Excel. Ud fra det kan prisen beregnes ud fra en tilbudsliste ved hjælp af enten AutoCAD, Civil 3D eller Trimble Business Center. Hvis der er data på det, kan det være fordelagtigt at benytte Revit, hvor der f.eks. kan udregnes løbmeter ledning af forskellige typer. VDC-specialisten erfarer, at data fra Revit-modellen ofte giver en relativ tæt udregning til virkeligheden. Dette er fordi tilbudslisten og mængderne fra Revit-modellen hænger godt sammen. Hvis der derimod skal beregnes jordvolumener, er data ofte upræcis, fordi rådgiveren ikke med præcision kan forudsige hvor meget jord, der kommer til at være på byggepladsen.

I forhold til rådgivningen af jordarbejde har VDC-specialisten fundet følgende problematikker: interoperabilitet er det største problem, da det besværliggør samarbejdet på tværs af projekter. Med dette menes, at der findes mange firmaer med forskellige IT-løsninger. Dette medfører, at filformater ikke er kompatible med andre programmer. Dette resulterer i, at der ikke kan udtrækkes alt nødvendigt data, som rådgiveren skal bruge.

3.2.1.2 Interview 2 med Teamleder

I andet interview med teamlederen indenfor BIM/VDC, blev der udpeget flere problematikker indenfor jordarbejde bl.a. uens tegningsmaterialer, uforudsete jordforhold, jordmængdeberegning, forskelligartede maskinstyringssystemer samt konflikter på en byggeplads. I sit arbejde oplever teamlederen tit udfordringer med udleveret projektmaterialer. Projektmaterialer kan blive udleveret i forskellige formater afhængigt af rådgiveren og IKT-specifikationer. Eksempelvis kan projektmaterialer være udleveret som en tegning, en 3D tegning eller en 3D-model. Dette forårsager udfordringer med bearbejdning af modeller og udtrækning af nødvendige data, hvilket resulterer i forøget tidsforbrug. Yderligere blev der nævnt, at kvaliteten af udleveret projektmaterialer påvirker kompleksiteten af udarbejdelse af modeller til maskinstyring.

Næste problematik, som blev nævnt flere gange i løbet af interviewet, er uforudsete jordforhold. Uforudsete jordforhold kan variere fra et projekt til et andet, men problemet består typisk af blødbund, uforudsete underjordiske genstande (ledninger, gamle fundamenter, sten, rør, osv.). Ifølge teamlederen opstår udfordringer med uforudsete jordforhold på langt de fleste projekter. Disse kan skyldes manglende forundersøgelse af jordforhold eller utilstrækkelig forundersøgelse af jordforhold, eksempelvis et lavt antal boreprøver.

Upræcist input data blev også nævnt i løbet af interviewet. Kvalitet af input data påvirker direkte modellerings- og produktionsprocesser, hvilket kan give afvigelser i et projektdesign og gøre jordmængdeestimer upræcise. Input data kan både stamme fra rådgiveren eller bygherre. Det udleverede data kan eksempelvis være gamle landmålingsdata eller andet upræcise opmålingsdata. Det forklares, at de fejl, som primært kommer ved landmålingsarbejde, enten er menneskelige- eller instrumentfejl.

Ifølge teamlederen, er jordmængdeberegning den næste udfordring i jordarbejde. Selvom beregningsprocessen i sig selv er relativt simpel, ved at benytte software til beregning af komplekse overflader (udfordringer med jordmængdeberegning for fundamenter blev dog nævnt), så har input data stor indflydelse på jordmængdeberegning. Der blev nævnt, at en typisk difference mellem jordmængdeestimat og realiseret mængde ligger på 10-15%.

Teamlederen påpegede, at anvendelsen af flere forskelligartede maskinstyringssystemer i produktionen, giver besvær. I branchen findes inkompatibilitet mellem maskinsystemerne og det resulterer i et behov for at anvende flere maskinstyringsmodeller på de forskellige maskiner. Derudover generer forskellige maskinstyringssystemer uensartede output data, hvilket hindrer let anvendelse af data.

Det blev også nævnt at samarbejde mellem virksomheder på en byggeplads er præget af konflikter. Dette kan skyldes både kollisioner på en byggeplads og manglende enighed om økonomien.

Der blev stillet et spørgsmål til team lederen omkring værktøjer, der anvendes i modelleringsprocessen samt jordmængdeberegning. Disse er bl.a. Autodesk Civil 3d, Revit, Bluebeam. Teamlederen forklarer yderligere, at den data som indhentes fra opmålinger, findes igennem bl.a. totalstation, dronescanninger, laserscanninger og fotogrammetri.

Der blev også spurgt til datakilder, som anvendes i arbejdsprocessen. Det blev nævnt, at der kommer data fra maskinstyringssystemer installeret på bl.a. gravemaskiner, dozer, osv. Disse data kan eksempelvis være registrering af bevægelser af maskiner, laveste udgravningspunkt, m.m. På nogle af de større projekter, var disse data brugt til dokumentation af udført arbejde, men data bruges ikke pt. Derudover findes der et system til manuel registrering af dumperkørsel, som anvendes på byggepladser. Den er kendetegnet at være upræcist og manglende.

3.2.1.3 Interview 3 med Regionsdirektør

I tredje interview med regionsdirektøren fra case-virksomheden gennemgås først den gennemsnitlige arbejdsproces, når virksomheden kommer ind i byggeriet. Det starter med, at et projekt vindes i udbudsfasen. Projekt materialet bliver udleveret, derefter etableres en byggeplads hvorfra alt forberedes. Der laves tidsplan, sikres bemanding, underentreprenører og afslutningsvis fordeles ressourcer rundt. Samtidigt foregår dialoger med bygherre, og herfra begynder afgravning med maskiner til både intern og ekstern flytning af jord.

Ifølge regionsdirektøren defineres prisen på jordflytning ud fra opmålinger af overfladeterræn fratrasket den mængde jord, som er blevet udgravet. Derved vides præcis den mængde jord, som er flyttet. Når denne mængde jord skal flyttes, er det essentielt, at maskiner ikke står i tomgang og venter. Dette har et stort ressourceforbrug, heriblandt serviceomkostninger, mandetimer og brændstof mv. Dette er hvad regionsdirektøren ser som den største problematik. Dilemmaet er dog, at det er besværligt at undgå tomgangen. Tomgangen kommer hvis der bl.a. forekommer uforudsete forhindringer, såsom uforudsete jordforhold, blødbunde, muldbanke eller vandbanke. Det kan også være en forhindring i form af overlap med andre sjak på byggepladsen. Regionsdirektøren forklarer herfra, at konflikterne som regel udspringer af enten problemer med økonomi eller tidsplanen. Tomgangen kan dog også forsages af utilstrækkelig allokering af ressourcerne på et projekt, eksempelvis en mangel på dumpere, der flytter opgravet jord, hvilket resulterer i tomgang på en gravemaskine.

Regionsdirektøren har forklaret, at jordopmåling benytter forskellige instrumenter, herunder scannere, droner, GPS, totalstationer og fotogrammetri. Dette danner grundlaget for opmålings- og scanningsdata i form af en punktfil og punktsky. Når den estimerede jordmængde flyttes internt på

byggepladsen, vil det måles i m³. Hvis det derimod flyttes til en jordbank eller afskaffes, er beregningen i tons. Regionsdirektøren har givet omregningsfaktoren på 1,7 tons per m³. Men forklarer også, at dette er en tommelfingerregel og passer aldrig i realiteten. Dette hænger også sammen med, at der er forskel på projekter. Regionsdirektøren har erfaret, at moseprojekter, vejprojekter, infrastrukturprojekter og enfamiliehuse alle er forskellige, og beregnes derfor forskelligt.

Regionsdirektøren bliver stillet spørgsmålet, hvad den typiske difference er mellem estimatet og den realiserede pris ved jordmængdeberegninger. Denne beregning udregnes igennem tilbudslistes, som igennem årene opdateres med erfaringstal på tidligere projekter. Ud fra dette, kan en realistisk pris udarbejdes. Regionsdirektøren fortæller, at den primære grund til, at den realiserede pris skulle være forhøjet, er ekstraarbejde og uforudsete forhindringer.

Til sidst blev regionsdirektøren spurgt omkring tilgængelige data fra produktionen. Han forklarede, at der findes flere datakilder til disse, bl.a. sensorer på gravemaskiner, dumpere m.m. Disse data kunne være behjælpelige med overvågning af produktionen samt udarbejdelse af dokumentation. Der findes dog flere udfordringer ved anvendelse af disse. Da maskinstyringssystemer installeret på flåden stammer fra forskellige producenter, genererer disse systemer data i forskellige filformater, med forskellige datastrukturer, og håndterer manglende data på forskellige måder. Dette vil sige, at der mangler kompatibilitet mellem systemer og output data ikke er ensartet.

3.2.1.4 *Sammenfatning af interviews*

De tre interviews med en VDC-specialist, en teamleder og en regionsdirektør vil i dette afsnit sammenfattes, for at finde paralleller i deres udtalelser.

Alle tre parter fandt **koordinering** som en problematik i deres arbejdsproces. Problematikken forklares af VDC-specialisten, som et resultat af, at flere fagarbejdere skulle samarbejde på byggepladsen. Teamlederen og regionsdirektøren forklarer, at problematikken opstår primært i forbindelse med enighed om økonomi og tidsplan.

VDC-specialisten og Teamlederen har en sammenlignelig problematik i deres arbejdsproces, nemlig mangel på fælles tekniske grænseflader, også kaldet **interoperabilitet** ved udleveret materiale. Dette er et resultat af, at forskellige projekter benytter forskellige IT-løsninger og IKT-specifikationer. Der udleveres forskelligt materiale i form af tegninger, 3D-tegninger eller 3D modeller. Data udtrækkes forskelligt for disse dataformer, og derfor besværliggøres deres arbejdsprocesser.

Når dette projektmateriale afleveres, har VDC-specialisten og teamlederes begge oplevede svingende **kvalitet**. Mangel på kvalitet af projektmaterialet er også en problematik, da det har direkte påvirkning på hvor svært det er at udarbejde modeller til maskinstyring.

Jordmængdeberegning er også en del af arbejdsprocessen, som er præget af udfordringer. Ifølge Teamlederen kan der opstå udfordringer ved beregning af nogle komplekse overflader, eksempelvis fundamenter. Både VDC-specialist og Teamlederen har peget på betydning af input data for præcision af jordmængdeberegning. Der blev bl.a. nævnt, at dårligt projektmateriale, gamle landmålingsdata, lavt antal boreprøver, uforudsete jordforhold m.m. kan have en negativ effekt på jordmængdeberegning, bl.a. præcisionen bliver forringet.

Alle tre parter havde fundet **uforudsete jordforhold**, som en primær problematik i arbejdsprocessen. De uforudsete jordforhold kunne eksempelvis være blødbund eller underjordiske genstande i form af ledninger, gamle fundamenter og mere. VDC-specialisten mener, at disse jordforhold er skyld i budget og tidsoverskridelser.

Alle tre interviewede ser udfordringer ved anvendelse af **maskinstyring**, da der findes flere maskinstyringssystemer i virksomheden. Disse systemer kræver anvendelse af proprietære filformater, systemer, dashboards, m.m. hvilket overkomplificere arbejdsprocessen. Derudover er ifølge Regionsdirektør maskindata fra flåde ikke ensartet pga. forskellige formateringsstyper m.m. Dette resulterer i manglende kompatibilitet mellem systemer.

Både Teamlederen og Regionsdirektøren anser **underudnyttelse af tilgængelige data** fra produktionen som en af problematikkerne i arbejdsprocessen. Der blev indikeret i løbet af interviewene, at der er flere data tilgængelige fra flåden, som ikke anvendes på det nuværende tidspunkt. Disse er eksempelvis maskindata som maskinernes tilstand, lokation, bevægelser samt tidsstempel.

Regionsdirektøren forklarer, at uforudsete jordforhold kan forårsage andre problemer, som er endnu større, nemlig **tomgang** på flåden. Når der forekommer uforudsete jordforhold, har regionsdirektøren erfaret en masse tomgang på eksempelvis gravemaskinerne. Tomgangen kan også være forårsaget af bl.a. en utilstrækkelig ressourceallokering til produktion på en byggeplads, og underudnyttelse af tilgængelige data fra flåde. Tomgang på maskiner finder regionsdirektøren som den primære grund til **budget- og tidsoverskridelser**. Derudover finder regionsdirektøren tomgangsoptimering, som det område indenfor jordarbejde, hvor der kan findes den største økonomiske gevinst ved optimering.

3.2.2 Observationer

Under projektets forløb blev det muligt at deltage i flere interne møder i case-virksomheden samt gennemgå interne dokumentation, herunder e-mails og rapporter m.m. Dette resulterede i observationer af arbejdsprocesser og eksisterende byggepladser. På baggrund af problemformuleringen, inddrages de observationer med højest relevans til projektet i rapporten. Se evt. feltnoter i Bilag 2.

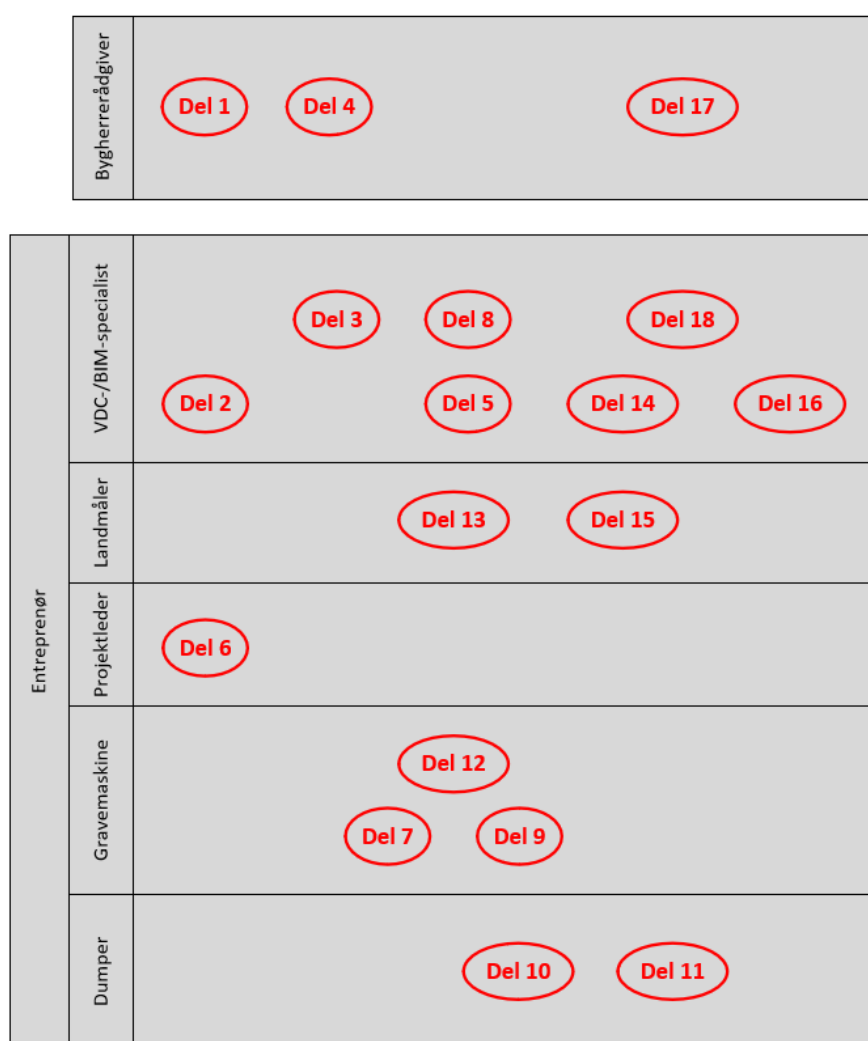
De følgende problematikker er isoleret på baggrund af feltnoter:

- Ud af 8 observationer peger på, at der er stor tomgangstid på bl.a. maskiner.
- Tomgangstid på maskiner resulterer i forøgede serviceomkostninger.
- Case-virksomheden er interesseret i at løse de eksisterende problematikker pga. udført ekstern analyse.
- Maskinstyringssystemer er repræsenteret af flere forskelligartede systemer fra flere udbydere.
- Generering af modeller til maskinstyring forårsager forhøjet tidsforbrug pga. manglende interoperabilitet mellem maskinstyringssystemer.
- Produktions effektivitet er relativt lavt, hvilket skyldes ikke optimalt udnyttelse af ressourcer og planlægning.
- Tilgængelige data fra maskiner underudnyttes.
- Dokumentationen af virksomhedens arbejde halter og er skyld i konflikter/tvister.
- Virksomheden har for mange overarbejdstimer.

De ovenstående problematikker bekræfter nogle af problematikkerne fra foretagne interviews, bl.a. tomgangstid på maskiner, underudnyttelse af tilgængelige data og manglende interoperabilitet mellem maskinstyringssystemer. Derudover viser observationer flere nye problematikker, såsom lav produktionseffektivitet, hvilket er en indikation på dårlig udnyttelse af ressourcer og manglende planlægning, manglende dokumentation af udført arbejde samt mange overarbejdstimer.

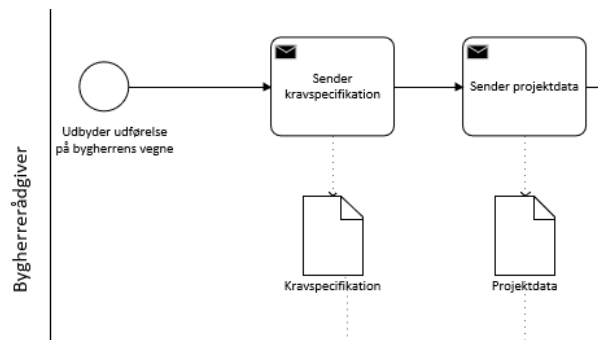
3.2.3 Den nuværende arbejdsproces

For at danne et detaljeret overblik over den nuværende arbejdsproces indenfor jordarbejde i case-virksomheden, er processen modelleret ved brug af BPMN-metoden, der forklares i afsnit 2.6. Informationer fra interviews og observationer, beskrevet i de foregående afsnit, bruges som et grundlag til modellering af den nuværende arbejdsproces. Der er udarbejdet et samlet diagram, som afspejler flere processer fordelt på tværs af case-virksomheden samt kommunikation med bygherre. Hvert svømmebassin afspejler separate enheder - case-virksomhed og bygherrerådgiver. Hver svømmelinje repræsenterer enheders ressourcer, både menneskelige og fysiske. BPMN for den nuværende arbejdsproces kan ses i Bilag 3. I dette afsnit redegøres der for hvert trin af processen, hvilket danner et grundlag for definition af potentielle forbedringspotentialer i næste afsnit. For at danner en visuel repræsentation af forskellige dele af den nuværende arbejdsproces, afspejler deres placering samt indbyrdes afhængigheder mellem involverede aktører, er et forklarende diagram udarbejdet, se Figur 16.



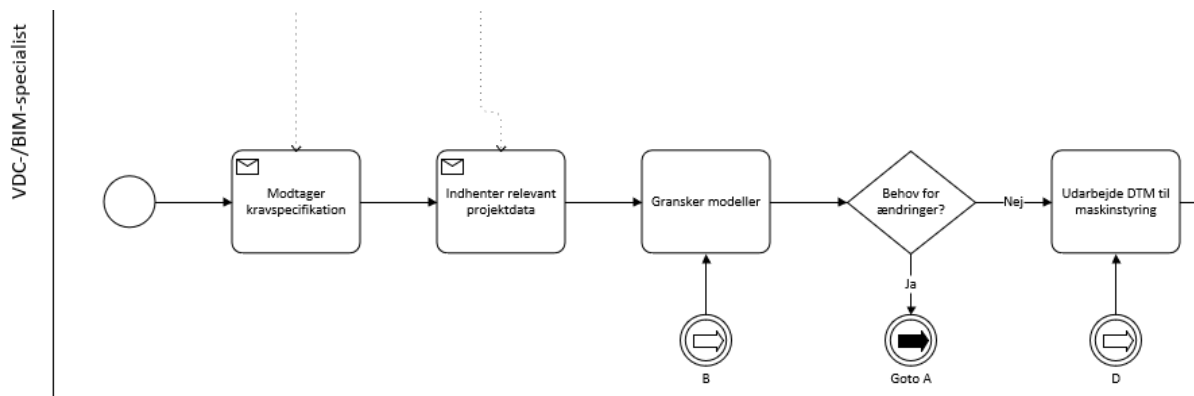
Figur 20: Vejledende BPMN for den nuværende arbejdsproces

I første trin starter processen ved bygherrerådgiver, der udbyder udførelse af projektet på bygherrens vegne, se Figur 21. Bagefter sender bygherrerådgiver en kravspecifikation og projektdata til entreprenøren.



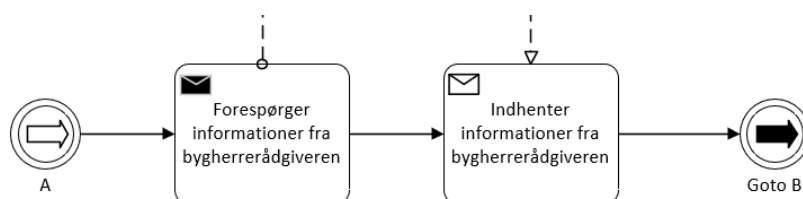
Figur 21: Nuværende arbejdsproces, del 1

I andet trin modtager entreprenøren (VDC-/BIM-specialist) disse data fra bygherrerådgiveren, se Figur 22. Modeller granskes, og hvis der er behov for ændringer, påbegyndes en underopgave A. Hvis der ikke er behov for ændringer, udarbejdes DTM til maskinstyring.



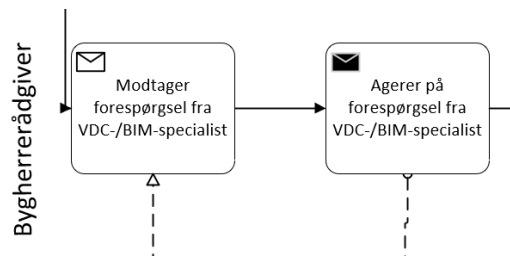
Figur 22: Nuværende arbejdsproces, del 2

Underopgave A er en valgfri opgave, dvs. den ikke nødvendigvis sker, se Figur 23. Hvis denne underopgave udløses, forespørger VDC-specialisten om information fra bygherrerådgiveren.



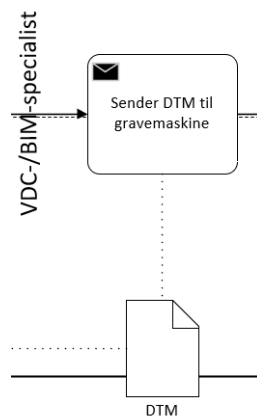
Figur 23: Nuværende arbejdsproces, del 3

Bygherrerådgiver modtager forespørgsel fra VDC-specialist og agerer på den, se Figur 24. Efter VDC-specialist indhenter informationer fra bygherrerådgiver i Figur 23, afsluttes underopgave A, og modellen granskes igen jf. Figur 22. Processen omkring håndtering af ændringer kan gentages, hvis det er nødvendigt.



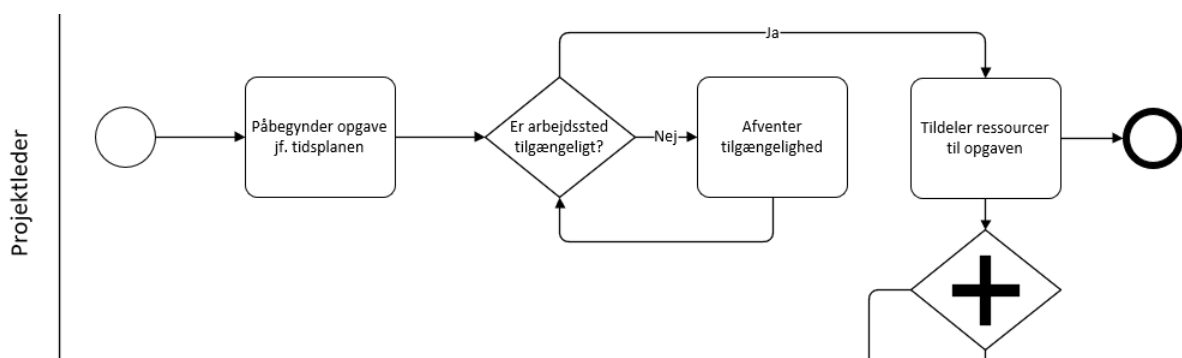
Figur 24: Nuværende arbejdsproces, del 4

Bagefter sender VDC-specialist DTM videre til gravemaskinesvømmelinjen, se Figur 25.



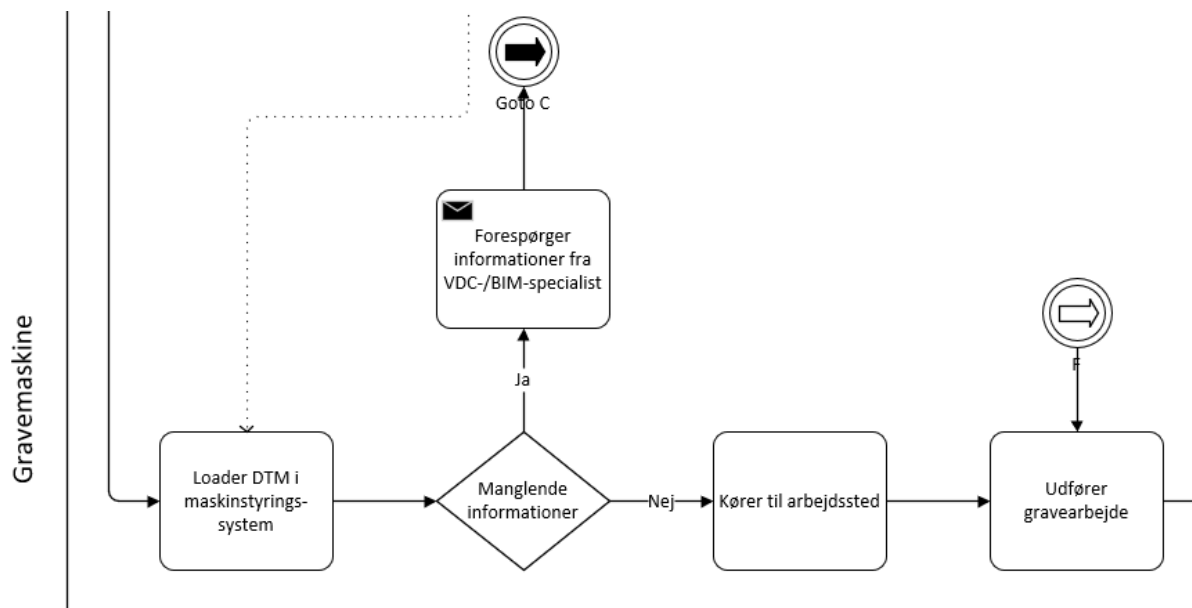
Figur 25: Nuværende arbejdsproces, del 5

Samtidigt påbegyndes processen hos projektleder, se Figur 26. Projektlederens ansvar er at sikre rettidigt udførelse af opgaver, derfor bør opgaven påbegyndes ift. tidsplanen. Før maskinerne sendes til arbejdsstedet, er det nødvendigt at vide om der vil opstå en kollision med andre fag. Hvis ingen arbejder det samme sted, allokere projektlederen ressourcer til opgaven. Alternativt afventer han tilgængelighed på arbejdssted.



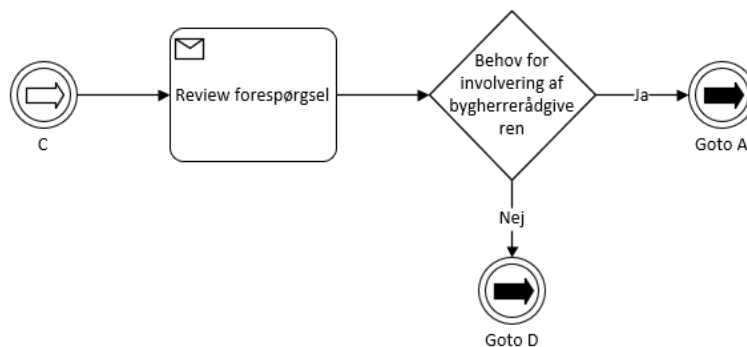
Figur 26: Nuværende arbejdsproces, del 6

Gravemaskinen er tildelt opgaven af projektlederen, se Figur 26. DTM overføres til maskinstyringssystem i Figur 27. Hvis der mangler nogle informationer i DTM forespørges disse fra VDC-specialisten. Ellers kører gravemaskine til dens arbejdssted og udfører gravearbejdet.



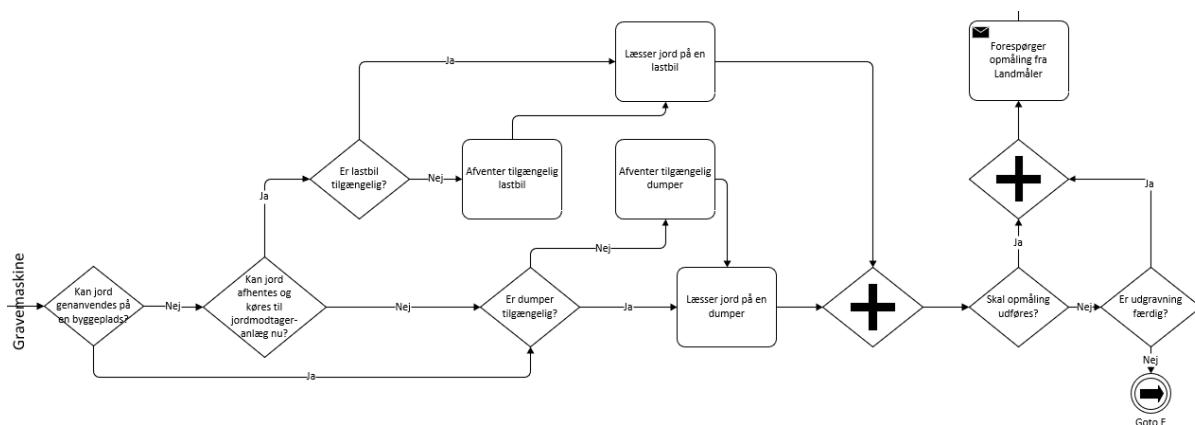
Figur 27: Nuværende arbejdsproces, del 7

Underopgave C begynder efter forespørgsel fra gravemaskine, se Figur 27. Først gennemser VDC-specialist denne forespørgsel og hvis der er et behov for involvering af bygherre, påbegyndes underopgave A, se Figur 23. Alternativt går processen til mellemliggende opgave D, hvor DTM udarbejdes igen og dele af den beskrevne proces gentages, jf. Figur 22.



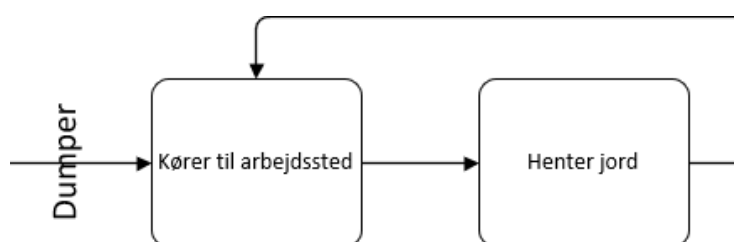
Figur 28: Nuværende arbejdsproces, del 8

Efter, at gravemaskinen udførte gravearbejdet jf. Figur 27, kommer forskellige muligheder, afhængigt af hvor jorden skal transporteres til. Hvis jorden ikke kan genanvendes på byggepladsen, er næste spørgsmål om jorden kan afhentes, og køres til jordmodtageranlæg. Hvis dette er tilfældet svaret, er dette afhængigt af, om en lastbil er tilgængelig. Hvis lastbilen er tilgængelig, læsses jord på den. Ellers afhentes en tilgængelig lastbil. Hvis jorden ikke kan afhentes nu, skal den køres med en dumper til et midlertidigt depot. Arbejdsprocessen for dumperen er beskrevet videre i teksten. Processen er afhængig af, at en dumper er tilgængelig. Hvis jord kan genanvendes på byggeplads, afhentes en dumper også. Efterfølgende læsser gravemaskine jorden på en dumper. Når opgaven er helt eller delvist udført, forespørges opmåling fra en landmåler, hvis det er relevant. Dette gøres for enten at kontrollere udgravning eller for at dokumentere det udførte arbejde. Hvis opmåling skal ikke udføres nu og udgravningen ikke er færdig, videreføres processen til *punkt F*.



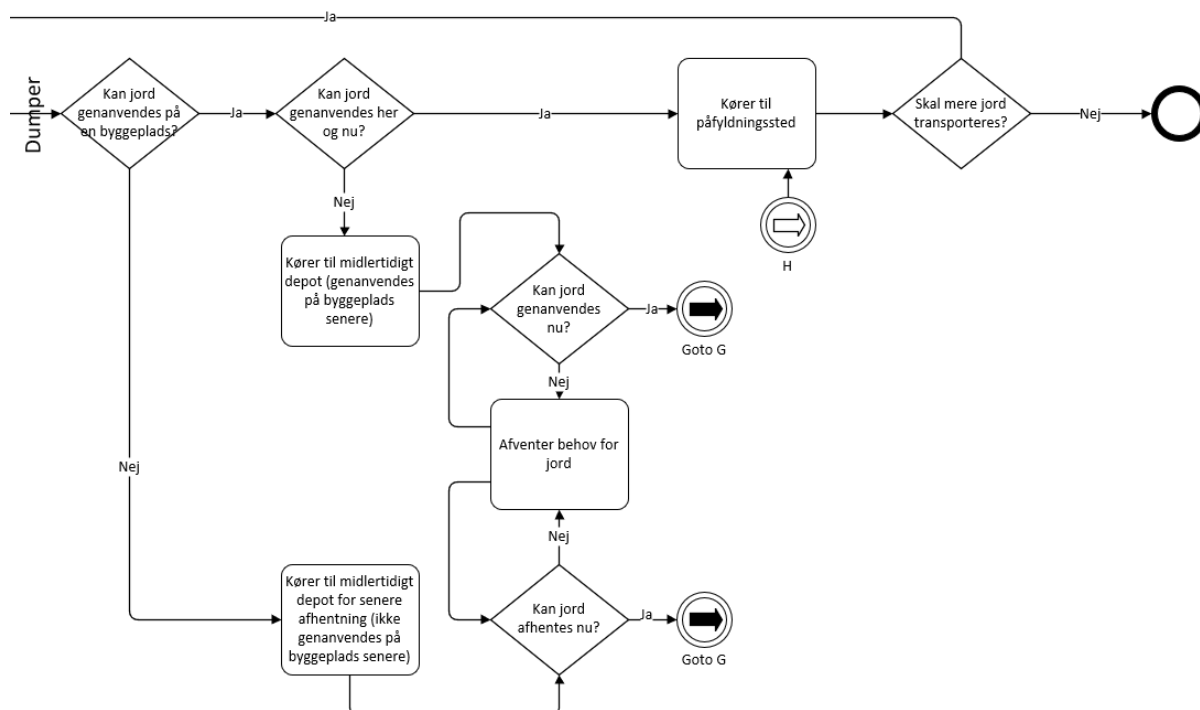
Figur 29: Nuværende arbejdsproces, del 9

På samme tid som arbejdet af gravemaskine begynder, begynder processen for dumperen, se Figur 30. Dumperen kører til arbejdsstedet (samme sted hvor gravemaskine udfører sit arbejde) og henter jord.



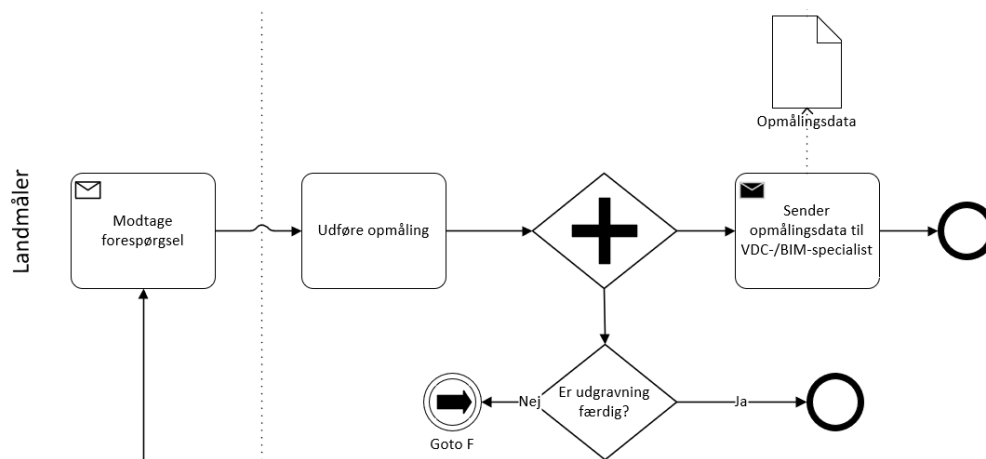
Figur 30: Nuværende arbejdsproces, del 10

Bagefter kører dumperen til det sted hvor jord skal tippes, se Figur 31. Hvis jorden kan genanvendes på byggeplads nu, kører dumperen til påfyldningsstedet og tipper det. Hvis ikke, kører dumperen til et midlertidigt depot. Hvis jord ikke kan genanvendes på byggepladsen, kører dumperen også til et midlertidigt depot. Når der opstår et behov for jord på byggepladsen, eller jord kan afhentes af en lastbil for at køre det til modtageranlæg, videreføres processen til *punkt G*.



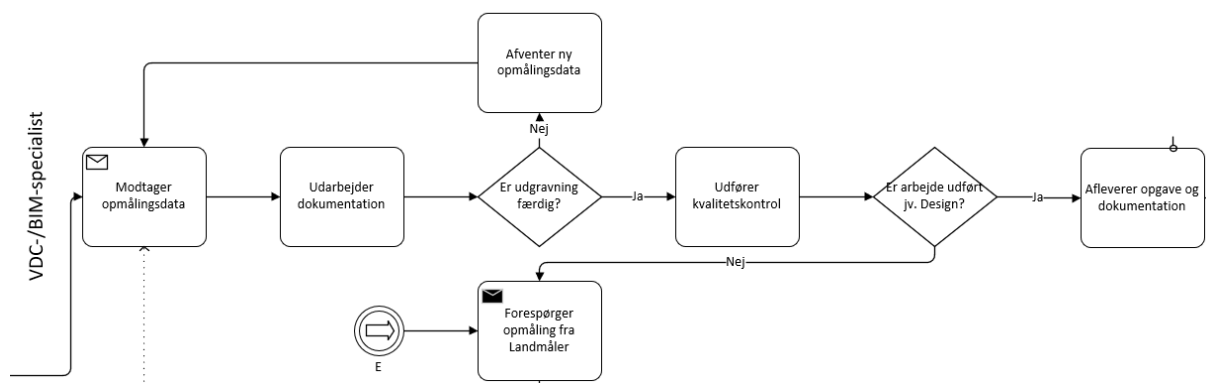
Underopgave G består af kørsel af gravemaskinen til midlertidige depot, pålæsning af jord på et køretøj (dumper eller lastbil) og kørsel tilbage til arbejdsstedet, hvor gravemaskinen skal udføre gravearbejde, se Figur 32. Til sidst videreføres processen til *punkt H*, se Figur 31.

Landmåleren modtager forespørgsel fra gravemaskineføreren, udfører opmålingen og sender opmålingsdataet til VDC-specialisten jf. Figur 33. Samtidig tager landmåleren stilling om udgravning er færdig. Hvis udgravning er færdig, afsluttes processen. Ellers videreføres processen til *punkt F* og gravemaskinen gentager dele af processen igen, se Figur 27.



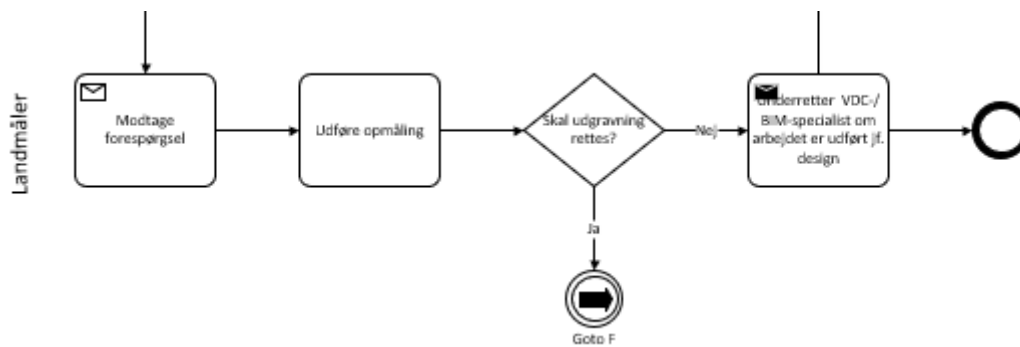
Figur 33: Nuværende arbejdsproces, del 13

Efter der modtages opmålingsdata fra landmåleren, kan VDC-specialisten fortsætte arbejdet og udarbejde dokumentation for udført arbejde, se Figur 34. Dette er en iterativ proces, dvs. at hvis udgravningen ikke er færdig, afventer VDC-specialisten ny opmålingsdata fra landmåleren. Hvis udgravning er færdig, udarbejdes der slutdokumentation. Bagefter udfører VDC-specialisten kvalitetskontrol. Hvis arbejdet er udført jf. projektmateriale og kravspecifikation, afleveres opgaven samt dokumentation til bygherrerådgiveren. Ellers forespørger VDC-specialisten om opmåling fra landmåleren.



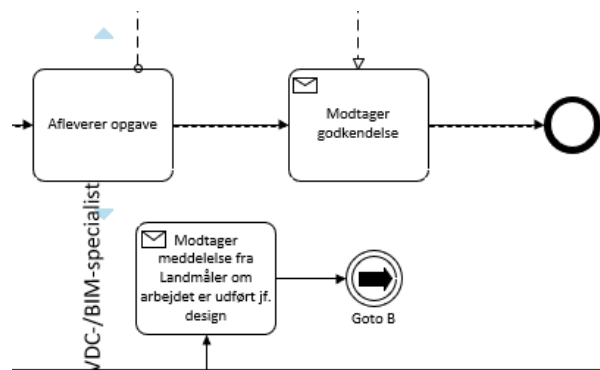
Figur 34: Nuværende arbejdsproces, del 14

Landmåleren modtager forespørgslen og udfører opmålingen af udgravningen igen, se Figur 35. Hvis udgravningen skal rettes, for eksempel pga. fejltopmåling, går processen til *punkt F* og en del af processen gentages, se Figur 27. Hvis opmålingen fra landmåleren ikke kan se nogle problemer med udgravning, underrettes VDC-specialisten.



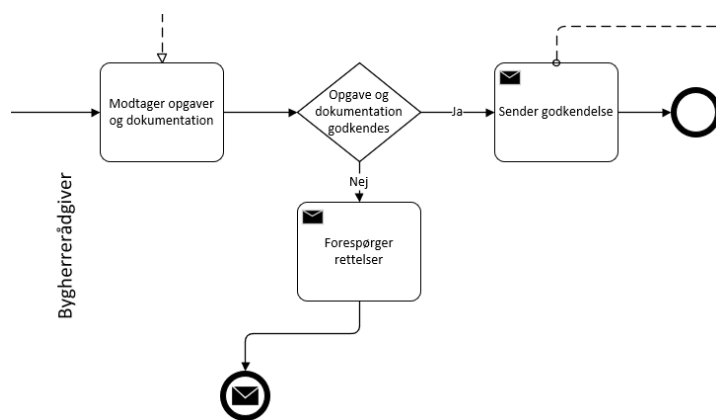
Figur 35: Nuværende arbejdsproces, del 15

VDC-specialisten modtager meddelelsen fra landmåleren, at gravearbejdet er korrekt udført, se Figur 36. Efterfølgende går processen til *punkt B*, se Figur 22. Hvis alt arbejde er udført, afleverer VDC-specialisten opgaven og modtager en godkendelse fra bygherren.



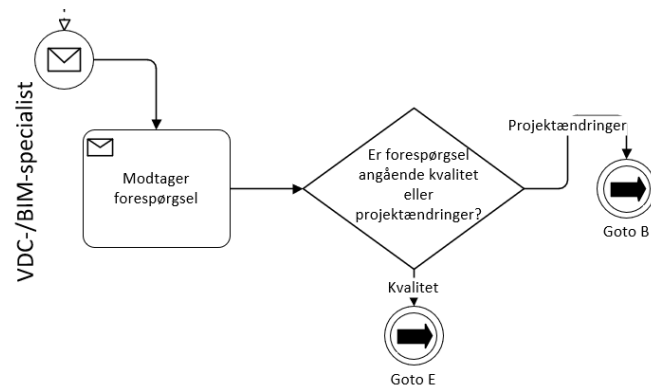
Figur 36: Nuværende arbejdsproces, del 16

Bygherrerrådgiveren modtager opgaver og dokumentation, se Figur 37. Hvis opgaven og dokumentationen godkendes, sendes der en godkendelse til entreprenøren og derved afsluttes processen. Alternativt forespørger bygherrerrådgiver om rettelser til entreprenøren.



Figur 37: Nuværende arbejdsproces, del 17

VDC-specialisten modtager forespørgslen fra bygherrerrådgiveren, se Figur 38. Afhængigt af om forespørgslen handler om kvalitet eller projektændringer, går processen henholdsvis enten til *punkt E* eller *B*.

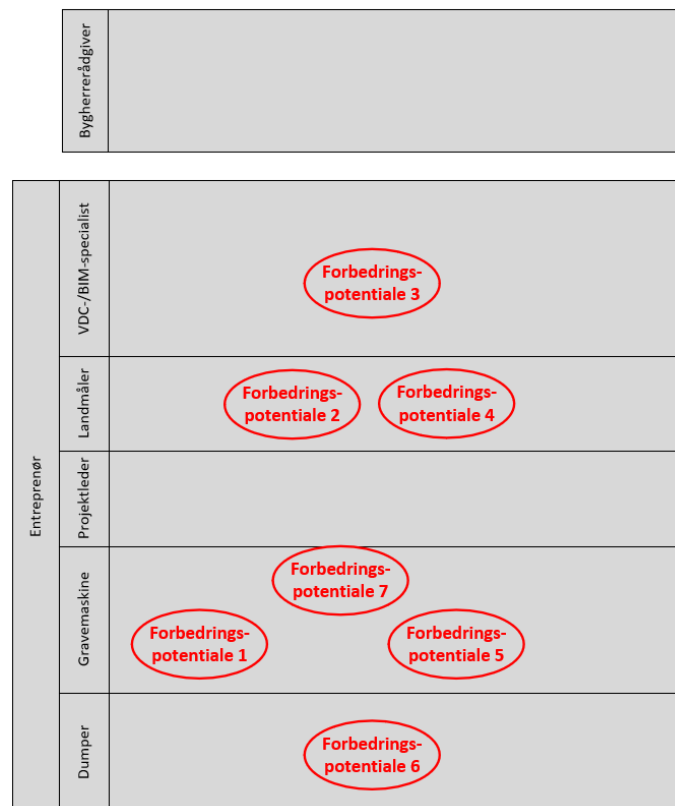


Figur 38: Nuværende arbejdsproces, del 18

På baggrund af ovenstående beskrivelse af nuværende arbejdsproces, ved den undersøgte case-virksomhed, kan der analyseres frem til, at processen er præget af kompleksitet, flere indbyrdes afhængigheder mellem ressourcer og ineffektivitet. I det næste afsnit analyseres mulige forbedringspotentialer.

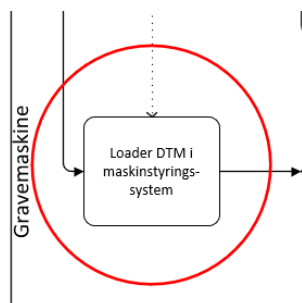
3.2.3.1 Forbedringspotentialer i nuværende arbejdsproces

På baggrund af analyse af den nuværende arbejdsproces hos undersøgte case-virksomhed, kan der analyseres frem til forbedringspotentialer ved arbejdsprocessen. Disse forbedringspotentialer er udpeget på baggrund af problematikkerne i interviewanalysen, foretaget i afsnit 3.2.1.4 og observationer i afsnit 3.2.2. For at danne et visuelt overblik over placeringen af forbedringspotentialerne, er Figur 39 udarbejdet.



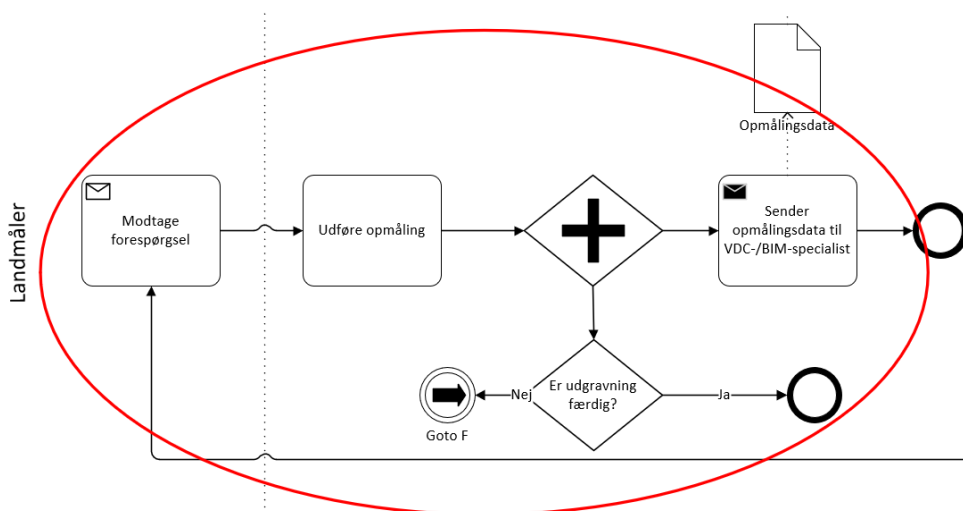
Figur 39: Overblik over forbedringspotentialer

Først viser BPMN'en, at maskinstyringssystem kun anvendes til guidning af gravemaskineførereren, se Figur 40. Den eneste input maskinstyringssystem har er en DTM, som uploades i maskinstyringssystemet. Der er ingen outputs fra maskinstyringssystem, der anvendes andre steder. Dette indikerer, at der er en **manglende anvendelse af tilgængelige data**, der opsamles af maskinstyringssystemet.



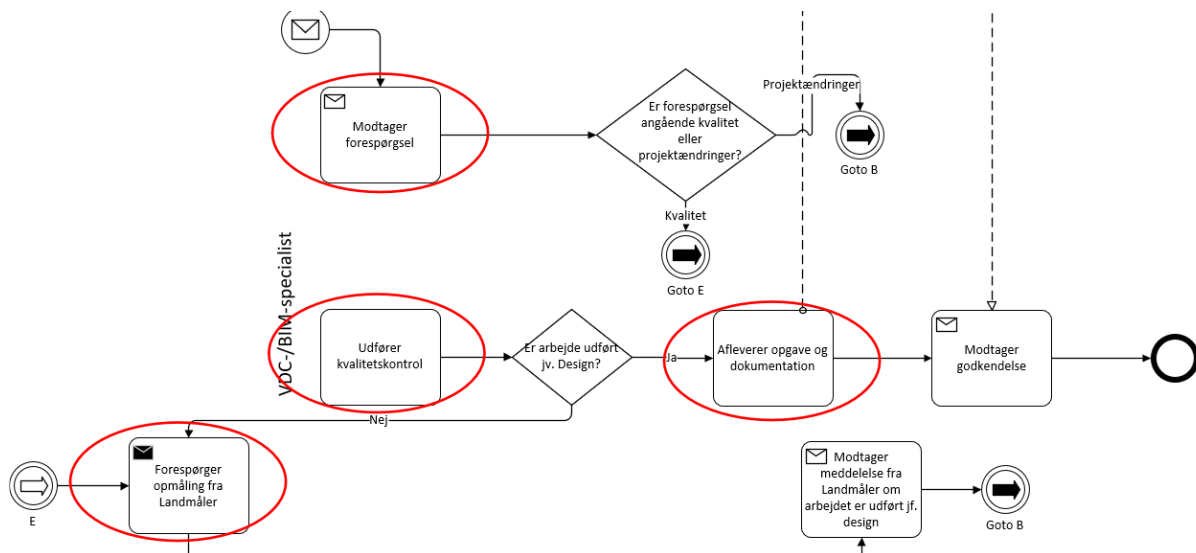
Figur 40: Forbedringspotentiale 1

Den næste proces, der anses som ineffektiv er skildret i Figur 41. Når landmåleren modtager forespørgsel om opmåling fra gravemaskineførereren, udfører han en opmåling af udgravningen. Hvis udgravningen ikke er færdig, skal gravemaskineførereren fortsætte sit arbejde. Denne proces anvendes både for løbende kontrol af gravearbejde (ud over guidning suppleret af maskinstyringssystemet) og som input til dokumentation for udførte arbejde. Derudover anses denne proces som en af de kilder for **tomgang** på gravemaskinen, da arbejdet skal opstilles under opmåling. Det er vurderet, at denne proces kan automatiseres og delvist undgås, da processen er gentagende.



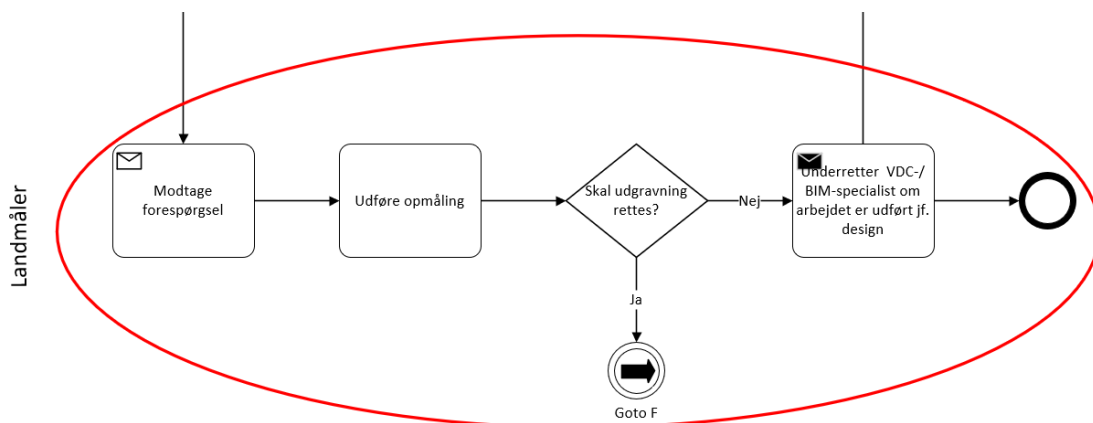
Figur 41: Forbedringspotentiale 2

VDC-/BIM-specialist har også flere processer, der gentages i tilfælde af manglende kvalitet, se Figur 42. Utilstrækkeligt kvalitet kan være opdaget både af VDC-/BIM-specialist og bygherrerådgiver. Når opgaven afleveres til bygherrerådgiveren, kan der sendes en forespørgsel tilbage til VDC/BIM-manager, hvis manglende kvalitet af udført arbejde opdages. Hvis dette er tilfældet, forespørger VDC-/BIM-specialist om opmålingen fra landmåler. Hele processen afspejlet på Figur 42 forårsager gentagelse af flere processer i andre svømmelinjer. Dette indikerer på en **ineffektivitet af produktionsprocessen** i tilfælde af **manglende kvalitet**.



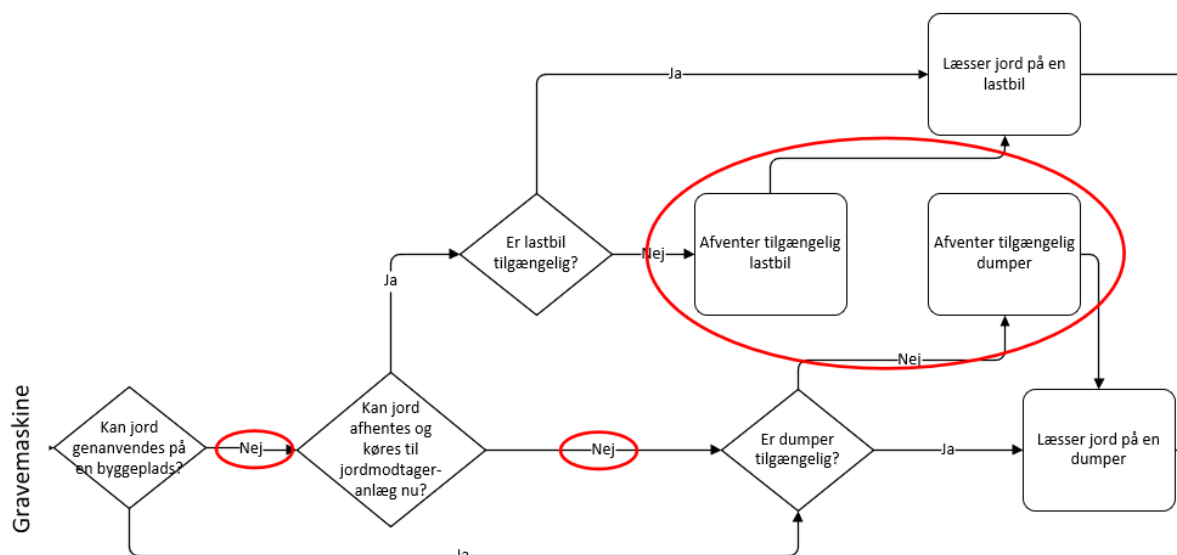
Figur 42: Forbedringspotential 3

Landmåleren udfører opmålingen og hvis udgravning skal rettes, udløses processen fra starten i gravemaskinens svømmelinje, se Figur 43. Denne proces er forårsaget af manglende **kvalitet** af udført arbejde. Dette kan være grundet **manglende udnyttelse af produktionsdata** og fejl i opmåling. Dette forårsager større forbrug af både **tidsmæssige- og økonomiske ressourcer** og kan resultere i upræcis **jordmængdeberegning**.



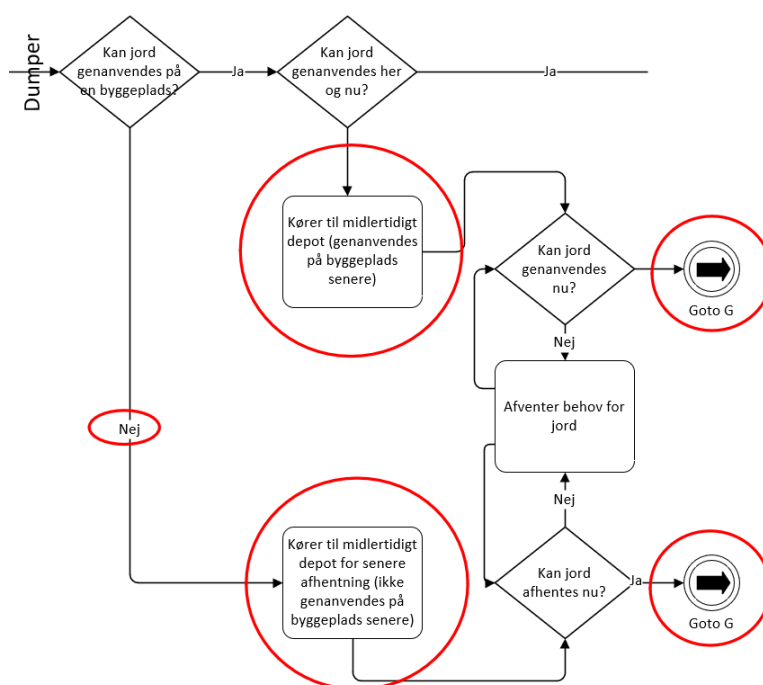
Figur 43: Forbedringspotential 4

Gravemaskinens opgaver indeholder også nogle forbedringspotentialer, se Figur 44. Det fremgår af figuren, at der kan opstå ventetid enten på en lastbil eller på en dumper afhængigt af opgaven. Dette indikerer, at der er tomgangstid på gravemaskiner og utilstrækkeligt allokering af ressourcer til udførelse af jordarbejde. **Tomgangstid** på gravemaskiner forårsager forøgede **tidsmæssige- og økonomiske ressourceforbrug**. Derudover er der et potentiale for at undgå jordkørsel fra byggeplads til jordmodtageranlæg, hvis der opnås en jordbalance på byggepladsen. Jordkørsel fra byggeplads til midlertidigt depot kan også undgås, hvis jorden kan genanvendes straks efter udgravning et andet sted på byggepladsen. Disse tiltag kan reducere **ressourceforbrug**, både for gravemaskiner og for dumperen, som er involveret i jordarbejde.



Figur 44: Forbedringspotential 5

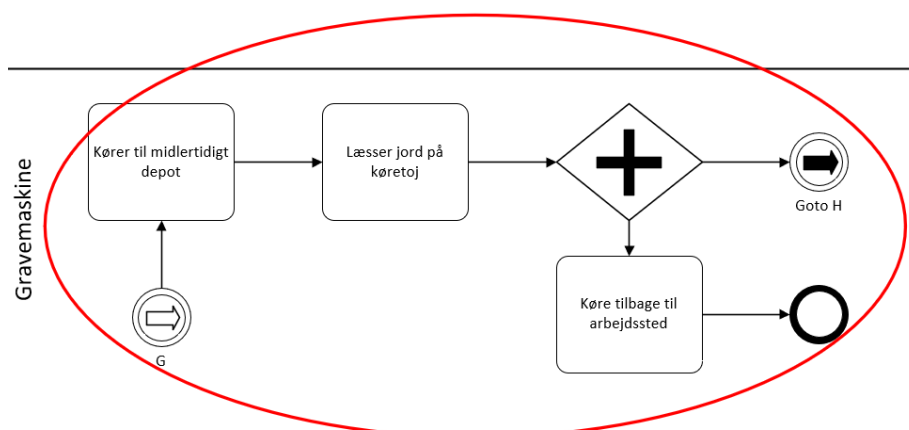
Figur 45 viser forbedringspotentialer ved en del af dumperkørslen. Den største problematik er jordkørsel til midlertidigt depot, hvilket er dobbeltarbejde, da jorden først skal køres fra opgravningssted til midlertidigt depot, oplagres der og bagefter læsses på en dumper eller en lastbil igen og køres til indbygningssted eller jordmodtageranlæg. Dette er illustreret på Figur 45 med Goto G, som udløser en ekstraopgave for gravemaskine, se Figur 46. Disse opgaver peger på **ineffektivitet af produktion, dobbelt arbejde** samt **forøget ressourceforbrug**.



Figur 45: Forbedringspotential 6

Figur 46 fremviser en ekstraopgave, som gravemaskinen har i forbindelse med jorddeponering af midlertidigt depot. Da jord ikke kan køres direkte til jordmodtageranlæg eller til indbygningsstedet,

deponeres jord i midlertidigt depot, hvorefter det skal læsses på en dumper eller en lastbil igen. Denne proces indikerer på **produktions ineffektivitet** samt **forøget anvendelse af ressourcer**.



Figur 46: Forbedringspotentialer 7

I næste afsnit sammenlignes problematikkerne fra analysen af den nuværende arbejdsproces, interviews og observationer.

3.2.4 Sammenfatning af case study

I dette afsnit analyseres problematikkerne uddraget fra analyse af interviews, observationer og den nuværende arbejdsproces. For at danne et overblik over problematikkerne i hver del af analysen af case study, er der udarbejdet en tabel, som ind giver en oversigt over problematikkerne, se Tabel 2. Tabellen består af flere rækker, der repræsenterer problematikkerne. Kolonnerne repræsenterer den del af case study analysen, hvor en problematik blev opdaget. Hvis en problematik er opdaget i en del af case study analysen, repræsenteres det med et kryds i tabellen.

Problematik	Interview	Observationer	Analyse af nuværende arbejdsproces
Manglende koordinering	X		
Manglende kvalitet	X	X	X
Jordmængdeberegning	X		X
Uforudsete jordforhold	X		
Manglende interoperabilitet mellem maskinstyringssystemer	X	X	
Underudnyttelse af tilgængelige data	X	X	X
Tomgang på maskiner	X	X	X
Forøget anvendelse af ressourcer	X	X	X
Lav produktionseffektivitet		X	X

Tabel 2: Problematik oversigt fordelt på dele af case study

Ud fra tabellen kan der ses, at flere problematikkerne blev opdaget på baggrund af analyse af interviews, observationer og den nuværende arbejdsproces. Til gengæld blev andre problematikker kun nævnt i løbet af interviews. *Underudnyttelse af tilgængelige data* var påpeget af interviewpersoner, observeret i feltet samt identificeret ved brug af analyse af den nuværende arbejdsproces. *Tomgang på maskiner og forøget anvendelse af ressourcer* er også de problematikker, som bekræftes af alle tre dele af case study. Selv om lav produktionseffektivitet ikke eksplicit blev nævnt i interviewene, bekræftes dette også med udsagn omkring tomgang på maskiner, dvs. lav produktionseffektivitet er et resultat af tomgang. Tomgangstid anses at være en del af spildtid.

Manglende kvalitet blev også opdaget i alle tre analyser, men i hvert tilfælde anvendes udtrykket *manglende kvalitet* i forhold til adskillige situationer, eksempelvis kvalitet af udarbejdet dokumentation, kvalitet af udførte arbejde eller kvalitet af modtaget projektmaterialer.

Manglende interoperabilitet mellem maskinstyringssystemer kunne ikke bekræftes ud fra analyse af den nuværende arbejdsproces, men det er dog påpeget gennem interviews og observationer. Udfordringer med jordmængdeberegning er bekræftet både i interviews og analyse af den nuværende arbejdsproces.

Manglende koordinering, manglende interoperabilitet og uforudsete jordforhold blev nævnt gennem interviews, men kunne ikke bekræftes i andre dele af case study.

På baggrund af ovenstående analyse kan der ses et gentagne mønster blandt nogle problematikkerne. De mest nævnte problematikker gennem alle afsnit er *Manglende kvalitet, underudnyttelse af tilgængelige data, tomgang på maskiner og forøget anvendelse af ressourcer*. I næste afsnit anvendes den opsamlede viden fra problemanalysen for at lave en delkonklusion.

3.3 Delkonklusion

I dette afsnit redegøres for de forrige afsnit: jordarbejde og case study. Derfra sammenfattes de problematikker, forbedringspotentialer og processer som er fundet.

Jordarbejde er jf. Figur 5 opdelt i tre dele: Dataindsamling, mængdeberegning og opgravning, flytning og indbygning af jord. I disse tre afsnit blev der dannet et grundlag for at kunne finde problematikker og forbedringspotentialer indenfor arbejdsprocesser i jordarbejde. Derudover dannes et grundlag til interviews. Indenfor dataindsamling uddybes de forskellige metoder til indsamling af terrændata. Det kan konkluderes, at når der benyttes en terrænmodel, muliggøres en terrænanalyse, som kan anvendes til bl.a. mængdeberegning. Der findes forskellige metoder til mængdeberegning, som beskrives i afsnit 3.1.2. Yderligere påpegede afsnittet, at mængdeberegning både kan beregnes manuelt og automatisk.

Opgravning, flytning og indbygning af jord viser de primære maskiner i den typiske arbejdsproces. Herudover vises forløbet for håndteringen af jord. I Figur 17 illustreres den typiske arbejdsproces for jordarbejde. Her kan der konstateres dobbeltarbejde når der benyttes midlertidige depoter. Dobbelt arbejde spilder ressourcer, siden den udgravede jord skal flyttes flere gange. Når først den udgravede jord transporteres og dumpes på det midlertidige depot, skal gravemaskinen efterfølgende flyttes igen for at påfylde lastbil eller dumper med det samme jord, og derefter transportere jorden til afskaffelse eller påfyldningsstedet.

Indenfor maskinstyring blev der fundet potentiale til at forbedre processer indenfor jordarbejde. Dette potentiale bygger på undersøgelsen af National Academies of Sciences, Engineering, 2018, der viser omkostningsreduktioner og produktivetsforøgelse for udførende mellem 10% og 25%. Derudover viser undersøgelsen af Topcon, 2021, at der er flere fordele ved maskinstyring såsom, at det forøger operatørens produktivitet og præcision i hans arbejdsproces. Afslutningsvis har undersøgelser af Vennapusa et al., 2015, fundet frem til, at maskinstyring også forbedre effektivitet, kvalitet og sikkerhed af jordarbejde.

I sammenfatningen af interviews blev der fundet forskellige områder, som var problematiske for de interviewedes arbejdsprocesser. De forskellige områder er: *koordinering, interoperabilitet, kvalitet, jordmængdeberegning, uforudsete jordforhold, maskinstyring, underudnyttelse af tilgængelige data og tomgang*. Nogle af disse områder går igen i observationsafsnittet. Her blev der observeret samme problematikker: *Kvalitet, manglende interoperabilitet mellem maskinsystemer, underudnyttelse af tilgængelige data og tomgang*.

Ud fra den nuværende arbejdsproces blev der udarbejdet en analyse af processens forbedringspotentialer. Analysen viser forskellige dele af processen, som er særlig problematiske. Heriblandt i Figur 42, hvor ineffektivitet af produktionsprocessen forekommer, når processer gentages.

I sammenfatningen af case study foretages en analyse ud fra interviews, observationer og den nuværende arbejdsproces. De fire problematikker, som gik igen mellem alle afsnit var: *Manglende kvalitet, underudnyttelse af tilgængelige data, tomgang på maskiner og forøget anvendelse af ressourcer*. Det kan derved konkluderes, at disse er de største og mest genkommende problematikker indenfor rapportens problemfelt. Dette afsnit udgør analysen af problematikker i rapporten og i næste afsnit bearbejdes disse, således et løsningsforslag kan udarbejdes.

4 Problembearbejdning

På baggrund af de problematikker som blev fundet i forrige afsnit, bearbejdes de i dette afsnit, hvormed, at et løsningsforslag kan udarbejdes. I dette afsnit undersøges der først, ved hjælp af litteratursøgning, hvilke eksisterende løsninger til problematikkerne, som findes. Herefter udarbejdes et løsningsforslag, der bidrager til løsningen af problematikkerne. Efter løsningsforslaget er udarbejdet, hentes feedback fra en entreprenør. De resultater, der findes, bliver afslutningsvis beskrevet i resultatafsnittet.

4.1 State-of-the-art

I dette afsnit dannes et overblik over eksisterende løsninger i litteraturen, her benyttes metoden *systematisk søgning*. En kombination af søgeord benyttes. Der anvendes et undersøgelsesområde igennem søgeordet *earthwork*. Efter at have foretaget interviews, observationer og undersøgt den nuværende arbejdsproces, er relevante søgeord fundet. Disse kobles sammen med *earthwork* for at finde relevant litteratur. Søgeord og resultater opstilles i nedenstående Tabel 3:

Søgeord (14)	Søgeresultater (2252 artikler)	Problem-relevante	Løsningsrelevante (14)
Earthwork automation	65	9	5
Earthwork machine control	67	8	3
Earthwork efficiency	149	2	2
Earthwork data	745	2	1
Earthwork idle time	5	2	1
Earthwork quality	342	4	1
Earthwork resource	205	1	1
Earthwork machine	187	0	0
Earthwork mechanized	20	0	0
Earthwork optimization	227	1	0
Earthwork data collection	41	0	0
Earthwork automated machine guidance	4	0	0
Earthwork decision support system	32	0	0
Earthwork productivity	122	2	0

Tabel 3: Søgeord oversigt

Søgeresultater på søgeordene gennemgås, hvorefter de problemrelevante artikler læses, dvs. dem, som har relevans til rapportens problemformulering. Ud fra disse problemrelevante artikler, udvælges artiklerne, der indeholder en brugbar eksisterende løsning. Artiklerne skal danne inspiration og grundlag til at udarbejde et løsningsforslag. De udvalgte artikler beskrives i nedenstående Tabel 4 og inddeles herefter under et hovedemne, afhængigt af hvilken type løsning den er.

Søgeord	Kilde	Beskrivelse	Hovedemne
Automation	Kirchbach et al., 2012	Forbedring af informationsflow i jordarbejde for at forøge gennemsigtighed af arbejdsprocessen. Oprettelse af en holistisk byggemodell ved anvendelse af sensordata fra byggemaskiner i kombination med BIM-data og planlægning. Automatisk generering af en opdateret DTM ved hjælp af sensordata. Dokumentation af uoverensstemmelser mellem design og produktion.	Data-anvendelse

Automation	Kirchbach et al., 2014	Metode for dynamisk allokering af maskiner for jordarbejde på byggepladser. Implementering af produktionsfilosofi i jordarbejde. Forøgelse af produktivitet gennem reduktion af tomgangstid på maskiner. Anvendelse af lean ledelsesprincipper i kombination med IT for at forbedre effektivitet og produktivitet af processer indenfor jordarbejde.	Produktions-optimering
Automation	Lin et al., 2012	Mekanisme for optimering af maskinflådestyringen, der reducerer varighed af jordarbejdsprocesser. Fokus på jordkørsel og optimering af lastbilafsendelse på flere byggepladser.	Produktions-optimering
Automation	Parente et al., 2015a	Helhedsorienteret dynamisk optimeringssystem, der betragter jordarbejde som en produktionslinje, hvor målet er at optimere ressourcerne under to afgørende kriterier (omkostninger og varighed).	Produktions-optimering
Automation	Parente et al., 2015b	Anvendelse af data mining og dynamisk optimeringssystem til henholdsvis estimering af ressourceproduktivitet og optimering af ressourceallokering under hensyntagen til de to jordarbejds mål (varighed og omkostninger).	Produktions-optimering
Data	Naghshbandi et al., 2021	Kategorisering af teknologiudvikling i byggebranchen. Kategorierne indsættes under nye kapacitetsniveauer. Der kræves teknologier med højere niveauer af nøjagtighed til et mere avanceret niveau af automatisering. Denne undersøgelse definerer forskellige use cases inkluderer omfanget af teknologi, hvis formål er systemsikkerhed og modstandsdygtighed.	Produktions-optimering
Efficiency	Chen et al., 2021	Identificering af hovedårsagerne til tomgang på gravemaskiner og lastbiler på baggrund af analyse af interaktion mellem disse ved brug af Computer Vision.	Computer Vision
Efficiency	Kirchbach et al., 2013	Tværbinding af maskiner for en højere grad af informationsgennemsigtighed, hvilket giver en hurtigere måde at opdage ændringer gennem dynamikken i byggeprocessen (ændring af jordforhold, vejrforhold osv.).	Data-anvendelse
Idle time	Bügler et al., 2014	Denne artikel observerer udgravningsprocesser igennem videooptagelser af det involverede maskineri. Derudover fotograferes udgravningsstedet for at vurdere den udgravede volumen. Denne artikel benytter denne metode til at levere en aktivitets- og begivenhedsstatistik. Dette giver grundlag til at beregne præstation på nuværende projekter og giver sammenligningsgrundlag til fremtidige projekter.	Computer Vision

Machine control	Haronian & Sacks, 2020	Introduktion af Production Process Evaluation (PPE) index til evaluering af jordarbejdsprocesser ved brug af kvantificering af affald i flaskehalsoperationen. Anvendelse af tilgængelige data fra maskinstyringssystem for beregning af flere nøgletal i produktionen.	Data-anvendelse
Machine control	Haronian & Sacks, 2021	Forslag af en model, der betragter lean view af produktionsflow i jordarbejde. Introduktion af 7 nøgletal for jordarbejde fordelt på 4 kategorier. Undersøgelse af muligheder for anvendelse af tilgængelige data fra maskinstyringsteknologier	Data-anvendelse & Produktions-optimering
Machine control	Seo et al., 2015	Introduktion af flådekontrol teknologi, der kan maksimere koordination mellem jordmaskiner og site kontrol center. Planlægning og overvågning af hele maskinflåde baseret på kommunikation mellem individuelle maskiner og kontrolcenter. Introduktion af Construction Control Center (C ³) koncept, som producerer detaljeret produktionsplan til maskiner inkl. ressourcebesparelse. Overvågning af jordarbejdets fremskridt ved brug af kommunikation, inkl. design- og byggeinformationsudveksling i reel tid, mellem C ³ og individuelle maskinstyringssystemer.	Data-anvendelse & Produktions optimering
Quality	You et al., 2021	Design af et system, hvor en bulldozer kan være ubemandet og fjernstyres ved brug af LiDAR, kamera og radar mm. Automatisering af byggebranchen og kvalitetsforbedring ved at udvikle et system, hvor en bulldozer kan være ubemandet og fjernstyres ved brug af LiDAR, kamera og radar mm.	Data-anvendelse
Resource	R. K. Shah et al., 2008	Metode til integration af produktivitetsdata med en visualiseringsmodel i jordarbejde. Automatisk generering af terrænoverflader og visualisering af udførte jordarbejde. Foreslået model bidrager til effektiv byggeplanlægning og ressourceplanlægning. Dette resulterer i reduktion af produktionsomkostninger og forbedret produktivitet på stedet.	Data-anvendelse

Tabel 4: Sammenfatning af resultaterne fra litteratursøgning

Tabel 4 beskriver eksisterende løsninger fundet i litteraturen og de opdeles i tre hovedemner: Dataanvendelse, Computer vision og Produktionsoptimering. Hvert hovedemne beskrives i nedenstående afsnit. Denne rapport vil anvende undersøgelserne som inspiration og grundlag til at udarbejde et løsningsforslag.

4.1.1 Dataanvendelse

I de udvalgte artikler indenfor dataanvendelse undersøges primær anvendelse af tilgængelige data fra maskinstyringssystem, DTM og produktionen. Kirchbach et al., 2012, undersøger et integreret system, som indsamler og lagrer data fra sensorer installeret på maskiner. Dette gøres for at forbinde indsamlet data med information fra planlægningsfasen, hvilket fører til en højere grad af

gennemsigtighed i produktionen. Det foreslåede system sender reel-tids information til et site control center, hvor det kan anvendes af alle involverede aktører. Det basale formål omkring gennemsigtighed er at reducere spild i produktionen, herunder tid. Kirchbach et al., 2012, påpeger også andre fordele ved dette system: mulighed for en automatisk generering af opdateret DTM samt identificering af ændringer i byggeprocessen.

Undersøgelsen fra Kirchbach et al., 2013, undersøger dette system videre, og bekræfter potentialer af IT-integreret system indenfor jordarbejde. Systemet anvender lean-principper, hvilket leverer et holistisk billede af en byggeplads, reduktion i tomgangstid, omarbejde og højere niveau af gennemsigtighed. Artiklen viser, at kombinationen af sensordata fra maskinstyring, en kommunikationsplatform og visualiseringsteknologi kan forøge produktivitet af jordarbejde.

Haronian & Sacks, 2020, udviklede *Production Process Evaluation (PPE) indekset* for at evaluere arbejdsprocesser indenfor jordarbejde. Dette blev muligt ved kvantificering af processer i flaskehalsen. PPE er en indeksforhold udregnet på flere produktionsmålinger, der udregnes ved brug af sensordata fra maskinstyringssystem og DTM. Forfatterne undersøgte PPE på en case og resultaterne viser, at et typisk flaskehalsscenarie i indbygningsarbejde er et højt kapacitetstal kombineret med lav effektivitet. Derudover blev der påpeget en manglende viden af ineffektivitetsfaktorer og produktionsspild i jordarbejde. Undersøgelsen viste et potentiale ved Lean konstruktion samt demonstrerede hvordan PPE-indekset muliggør både identifikation og kvantificering af spild på produktionsniveau.

Artiklen af Haronian & Sacks, 2021, undersøger potentialet ved Lean konstruktion videre. Forfatterne foreslår et system, som er baseret på sensordata fra maskinstyringssystem. Produktionsdata fra maskinstyringssystem er med til at understøtte evaluering af produktionsflow i henhold til lean-principper. Begrebet PPE er undersøgt videre, og det er konstateret, at PPE positivt bidrager til forbedret situationsfornemmelse. Dette resulterer i effektiv beslutningstagning, ved styring af udførelse af jordarbejder på en byggeplads. Dette system måler produktionen på syv nøgletal, fordelt på fire kategorier. Disse kategorier er: planlægning, produktivitet, flow og tid.

R. K. Shah et al., 2008, undersøgte integration af variable produktivitet med 4D visualiseringsmodel til jordarbejde. Undersøgelsen viser, at anvendte metoder indenfor planlægning af jordarbejde er subjektive, og tit baseres på projektledernes erfaring og viden. Artiklen præsenterer 4D visualiseringsmodel, der er et beslutningsstøttende værktøj. Dette værktøj afhjælper effektiv planlægning og ressourceallokering, hvilket resulterer i reduktion af produktionsomkostninger og forbedring af produktiviteten på stedet.

You et al., 2021, undersøger ubemandet bulldozer til automatisk udførelse samt overvågningssystem for jordarbejde. Undersøgelsen viser, hvordan sensordata fra en bulldozer kan anvendes til overvågning af produktionen. Til sidst bekræftes pålidelighed af dette system.

På baggrund af undersøgelser omkring dataanvendelse, kan der ses brancheinteresse for anvendelse af tilgængelige data fra maskinflåde. Flere forfatterne undersøgte hvordan DTM, visualiseringsmetode og tilgængelige sensordata fra maskinstyringssystemer, der i forvejen er installeret på maskiner, kan anvendes til forøgelse af gennemsigtighed af produktionsprocessen. Dette kan resultere i identificering af spild i produktionen, forhøje produktivitet af jordarbejde samt reducere produktionsomkostninger. Undersøgelser indikerer også en mangel på viden på årsager til lav effektivitet og manglende beslutningsgrundlag iht. ressourceallokering. Produktionsmålinger anses at være en et grundlag for identificering af årsager til disse udfordringer.

4.1.2 Computer vision

Dette hovedemne omhandler computer vision, som er en måde at overvåge arbejdsprocesserne i jordarbejde. De fundne undersøgelser har forskellige metoder og fokusområder til overvågning, disse beskrives i nedenstående afsnit.

En undersøgelse af Chen et al., 2021, viser, at tomgangstid er en vigtig faktor, som påvirker ressourcers (maskiners) produktivitet. Derfor benytter undersøgelsen metoder, herunder overvågningsvideoer på stedet, til at genkende ressourceaktiviteters arbejds- og tomgangstid. Igennem denne overvågning bliver det muligt at identificere årsager til tomgang, som f.eks. mangel på plads til manøvrering eller andet. Derved kan der foretages en omkostningskontrol, ressourceallokering og bedre forståelse af årsager til lav produktivitet i nuværende og fremtidige byggeprojekter.

En undersøgelse af Bügler et al., 2014, benytter samme videooptagelse af involverede ressourcer (maskineri). Derved kan der laves aktivitets- og begivenhedsstatistik, som ligesom ovenstående undersøgelse, giver bedre forståelse og styring af problematikker på byggepladsen. Denne undersøgelse tilføjer fotografering af udgravning på pladsen, for at kunne vurdere volumen af udgravningen. Derved kan der med større præcision kontrolleres byggeaktiviteter, status, læsetider og produktivitet.

Disse undersøgelser viser at overvågning af ressourceaktiviteter kan give en bedre forståelse for lav produktivitet og kontrol af byggeaktiviteter. Der findes forskellige metoder til at overvåge ressourceaktiviteter, blandt andet ved at undersøge processer i jordarbejdes produktion, som beskrives i nedenstående afsnit.

4.1.3 Produktionsoptimering

Dette hovedemne beskriver produktionsoptimering. Med dette menes processer i byggeriet, der har forbedringspotentialer. De forskellige undersøgelser har udarbejdet både fysiske-, ledelsesmæssige- og systemløsninger til forbedring af jordarbejde processen.

Kirchbach et al., 2014, redegør for et *digital Kanban*, som er en metode til at kommunikere og vurdere det bedste match mellem gravemaskiner og dumpere i forhold til lokation. Derudover overføres der sensordata til et kontrolcenter, således unormale forhold kan identificeres. *Digital Kanban* benyttes som et analyseværktøj til at vurdere tomgangstid og kvalitet i jordarbejde processen.

Denne form for procesoptimering benyttes også i løsningen fra Lin et al., 2012. Denne løsning har til formål at minimere jordflytningsoperationens varighed. Denne løsning lægger vægt på at udnytte ressourcer igennem hele projektets varighed og sørge for, at et tilstrækkeligt antal køretøjer er tildelt. Hvis disse ressourcer er utilstrækkeligt fordelt, føres det til bøder og økonomisk tab for virksomheder. Denne artikel optimerer processen ved at benytte en systematisk tilgang til at afsende jordflyttebiler. Der integreres et globalt positioneringssystem (GPS) på køretøjerne for at øge effektiviteten og anvendeligheden af lastbilerne.

Ifølge Parente et al., 2015a, handler produktionsoptimeringen mere om at anvende et helhedsorienteret dynamisk optimeringssystem. Ved at fokusere på de to kriterier omkostninger og varighed, kan der ved brug af lineær programmering nemmere fordeles ressourcer som f.eks. gravemaskiner og dumpere. Denne undersøgelse anvender Geographical Information System (GIS) til at indhente informationer fra GPS. Herved bestemmes de korteste ruter, som støtter beslutningstagen for projektlederne. I en anden undersøgelse af Parente et al., 2015b, viderearbejdes denne helhedsorienteret og dynamiske optimeringssystem sammen med kunstig intelligens som dataanvendelse (data mining) og metaheuristik. Dette anvendes for at forøge kvaliteten af

jordarbejde, da det øger evnen til at estimere ressourcers produktivitet med større præcision. Derved kan ledelsen bedre foretage understøttede beslutninger i projektet.

Den samme slags procesoptimering benyttes i undersøgelsen fra Seo et al., 2015. For at have en ressourcebesparelse, benyttes koordinering af jordmaskiner og et Construction Control Center (kontrolcenter). Kontrolcenteret giver overblik over processen for jordarbejde, hvormed dette har til formål at forbedre planlægningen. Kontrolcenteret får data fra modellen, planlægningssystemer, laser scanning og 3D modellering samt kørselsoptimering. Der benyttes disse maskinstyringssystemer således, at maskinflåden kan overvåges, og derved erhverve en større effektivitet.

En sidste tilgang til optimering af produktionen er undersøgelsen af Naghshbandi, Varga and Hu, 2021. I denne undersøgelse opsættes forskellige niveauer af automatisering af jordarbejde, fra lavest til højest. Der beskrives forskellige redskaber som anvendes i de forskellige niveauer. Denne optimering tager udgangspunkt i, at i fremtidens jordarbejde er store dele af arbejdet ubemandet og beslutninger foretages af maskiner på baggrund af data.

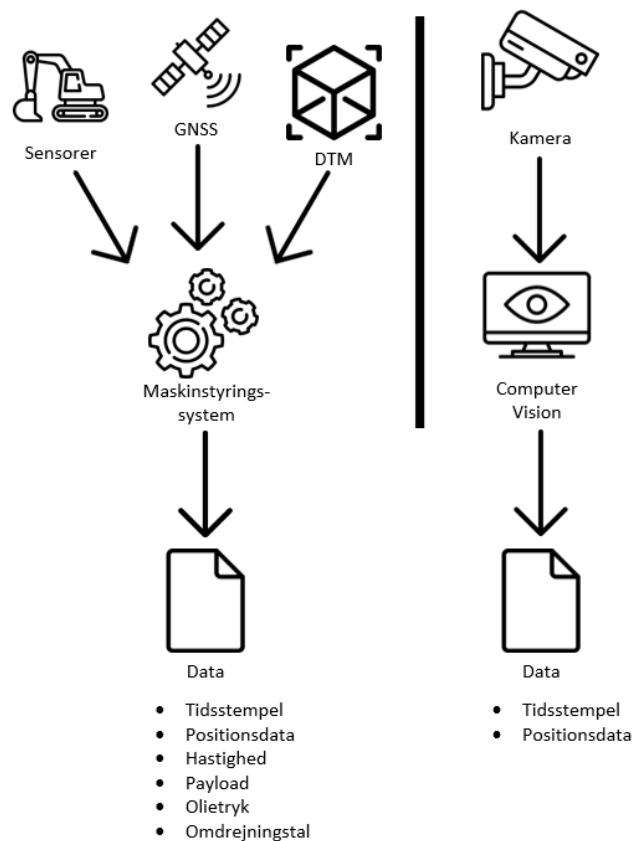
Det som kan konkluderes ud fra undersøgelseerne i produktionsoptimering er, at data fra kontrolcenteret og GPS'en kan anvendes af projektledere som et analyseværktøj, til at vurdere tomgangstid og kvalitet, og derved estimere produktivitet. Kontrolcenteret kan benyttes til at overvåge maskinflåden, som ifølge undersøgelseerne giver større effektivitet.

De tre hovedemner giver forskellige forslag til at løse problemfeltet og forbedre processer indenfor jordarbejde. Disse undersøgelser giver inspiration til hvordan rapportens løsningsforslag kan udføres, hvilket udarbejdes i næste afsnit.

4.2 Løsningsforslag

I det foregående afsnit er state-of-the-art undersøgt i relation til problemfeltet. Dette giver et grundlag til at udarbejde et løsningsforslag, som struktureres ud fra metoden *Design Science Research*. DSR-metoden designer og udvikler et produkt, til at løse de fundne problematikker fra Problemanalysen. I denne rapport er der fundet problematikker i problemanalysen i afsnit 3. I problemanalysen var fire problematikker gennemkommende: *manglende kvalitet, underudnyttelse af tilgængelige data, tomgang på maskiner og forøget anvendelse af ressourcer*.

De forskellige hovedemner (Produktionsoptimering, Dataanvendelse og Computer Vision) havde hver deres forslag/metoder til at bidrage til at løse disse problematikker. I Produktionsoptimering blev der beskrevet tiltag til reduktion af tomgang på maskiner, effektivisering af ressourceforbrug og forbedring af kvalitet. Tiltag beskrevet under Dataanvendelse gør nytte af data fra maskinstyringssystem. Tiltag, der er beskrevet under Computer Vision gør brug af data opsamlet med Computer Vision teknologi. Disse to tiltag repræsenterer to forskellige måder at indsamle data på, der bagefter skal bearbejdes og bruges som input til Produktionsoptimering. Derfor kan disse to tiltag sammenlignes, for at vælge det mest passende tiltag, til at udarbejde et løsningsforslag. Disse tiltag sammenlignes på Figur 47.



Figur 47: Sammenligning af dataindsamling med maskinstyringssystem og Computer Vision, ikoner fra Flaticon.com

Figur 47 sammenligner de forskellige input og output for maskinstyringssystem og Computer Vision, for at finde den bedste metode til dataindsamling. Maskinstyringssystem benytter tre input: data fra sensorer, GNSS og DTM. Hvorimod Computer Vision gør brug af et input: video eller billeder fra kamera. Disse datainputs giver forskellige outputs. Maskinstyringssystemets output er tidsstempel, positionsdata, hastighed, payload og olietryk, omdrejningstal m.m. Sammenlignet med Computer Vision der har tidsstempel og positionsdata.

Grundet at Computer Visions eneste input er et kamera, bliver tiltaget meget begrænset i form af data. Det kan anvendes til at visuelt lokalisere en maskine og derved vide tidsstempelt. Positionsdata kan udregnes ved brug af billedbearbejdning igennem programmering. Derudover kræver dette tiltag opsætning af et eller flere kameraer afhængigt af størrelsen på en byggeplads.

Et maskinstyringssystem gør brug af flere inputs og har derved flere outputs. De forskellige outputs fra maskinstyringssystem kan benyttes til positionering af maskiner, estimering af produktivitet og tilstand m.m. Afslutningsvis anvender maskinstyringssystem tilgængelige data fra sensorer og DTM, hvilket løser problematikken fra afsnittet Case study vedrørende underudnyttelse af tilgængelige data. Derfor anses anvendelse af maskinstyringssystem som den bedste metode til dataindsamling i løsningsforslaget.

I det næste afsnit udarbejdes løsningen på et konceptuelt niveau, hvilket danner en holistisk oversigt over løsningsforslag.

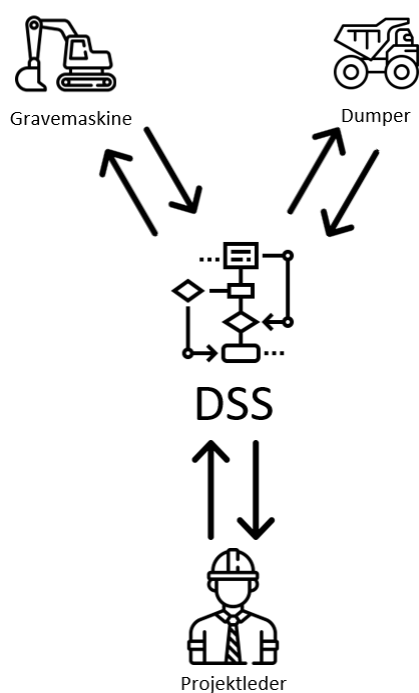
4.2.1 Konceptuelt niveau

Løsningsforslaget bearbejder de fundne problematikkerne fra case study jf. afsnit 3.2. En metode fra state-of-the-art til at bearbejde problematikkerne er at identificere en flaskehals i arbejdsprocessen.

En flaskehals er en aktivitet, der begrænser kapaciteten af hele processen (Haronian & Sacks, 2020). Igennem case study blev arbejdsprocessen indenfor jordarbejde undersøgt. Flaskehalsen i den nuværende arbejdsproces er, når der forekommer tomgangstid på en gravemaskine og dumper. Dette kan ses på både de fundne problematikker og forbedringspotentiale.

Projektlederen har ansvar for maskinerne og planlægning af udførelsen. Det blev påpeget, i en undersøgelse i afsnit 4.1, at projektlederen baserer sin planlægning på erfaring og viden. For at projektlederen kan foretage en bedre planlægning således, at tomgang på maskiner kan reduceres, vil der udarbejdes et beslutningsstøttesystem (DSS – eng. *Decision Support System*).

Ved sammenkobling af 3 aktanter (gravemaskine, dumper, projektleder) og tilføjelse af et beslutningsstøttesystem, kan en mere objektiv understøttet beslutning træffes, se Figur 48. Ud fra eksisterende løsninger i *State-of-the-art* vurderes, at et beslutningsstøttesystem kan resultere i reduktion af tomgangstid på maskiner, reduceret anvendelse af ressourcer og forbedret projektkvalitet.



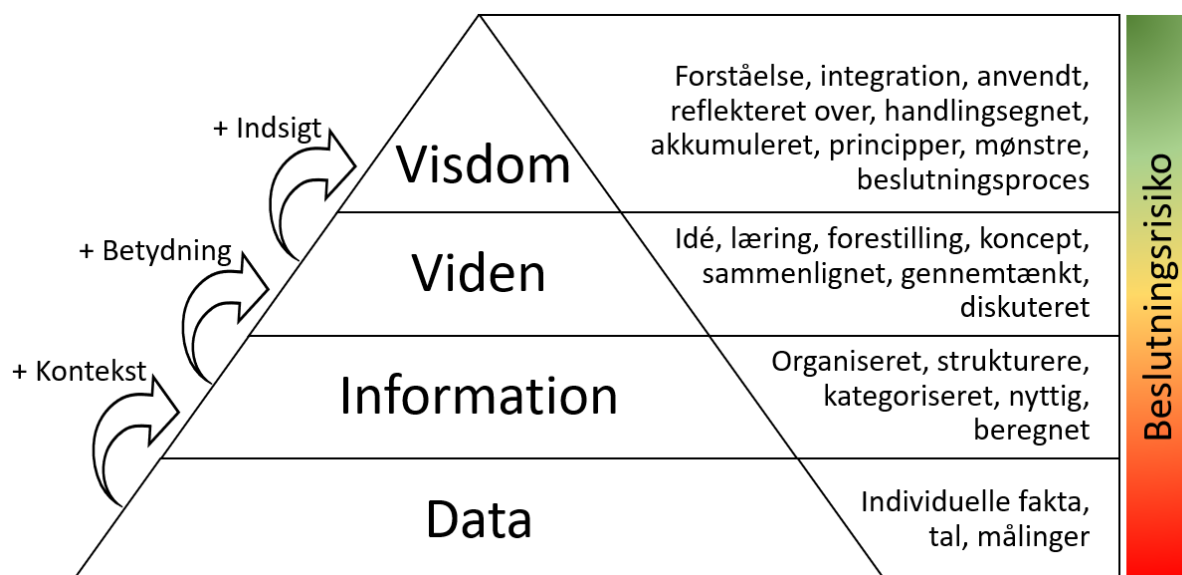
Figur 48: Konceptuel model af DSS, ikoner Flaticon.com

For at undersøge hvordan state-of-the-art kan bidrage til at udarbejde DSS jf. Figur 48, sammenfattes figuren med de to valgte hovedemner fra State-of-the-art: Dataanvendelse og Produktionsoptimering. Ud fra undersøgelser fra Dataanvendelse kan konkluderes, at beslutningstagningsprocessen igennem DSS bliver nemmere. Dette kan gøres ved at anvende et IT-integreret system. Herfra kan arbejdsprocesser indenfor jordarbejde evalueres. Ved at anvende sensordata fra maskinstyringssystem, kan identifikation og kvantificering af spild på produktionsniveau findes.

Undersøgelser fra afsnittet om Produktionsoptimering redegør for, hvordan et kontrolcenter kan anvendes til at vurdere tomgangstid. På samme vis vil løsningsforslaget jf. Figur 48 benytte et beslutningsstøttesystem som et analyseværktøj, til vurdering af tomgangstid og kvalitet i jordarbejde processen.

Flere undersøgelser bekræftede en øget effektivitet ved at anvende et IT-integreret system, som kan evaluere produktionsdata, afhjælpe effektiv planlægning og ressourceallokering, understøtte beslutningstagningsprocessen og beslutningsrisikoen.

En projektleder kan nedsætte risikoen af beslutninger, ved at anvende data og information til at understøtte beslutninger. Ud fra data kan der påsættes kontekst, betydning og indsigt, for at opnå en større forståelse, og derved nedsætte beslutningsrisikoen, se Figur 49.



Figur 49: Beslutningsrisiko pyramiden (eng. DIKW hierarchy), inspireret af (Cannas et al., 2019; Rowley, 2007)

Beslutningsrisikoen i Figur 49 skildrer i hvor høj grad en beslutning er understøttet. Mindst understøttet og med højest beslutningsrisiko er data, som er individuelle tal eller målinger. Hvis der tilføjes kontekst og data bearbejdes, kan det kaldes information. Hvis informationen indeholder betydning og f.eks. bliver sammenlignet med andet information, bliver information til viden. Afslutningsvis kan viden blive til visdom, hvis der tilføjes indsigt. Visdom er når der er en høj forståelse og derfor den laveste beslutningsrisiko.

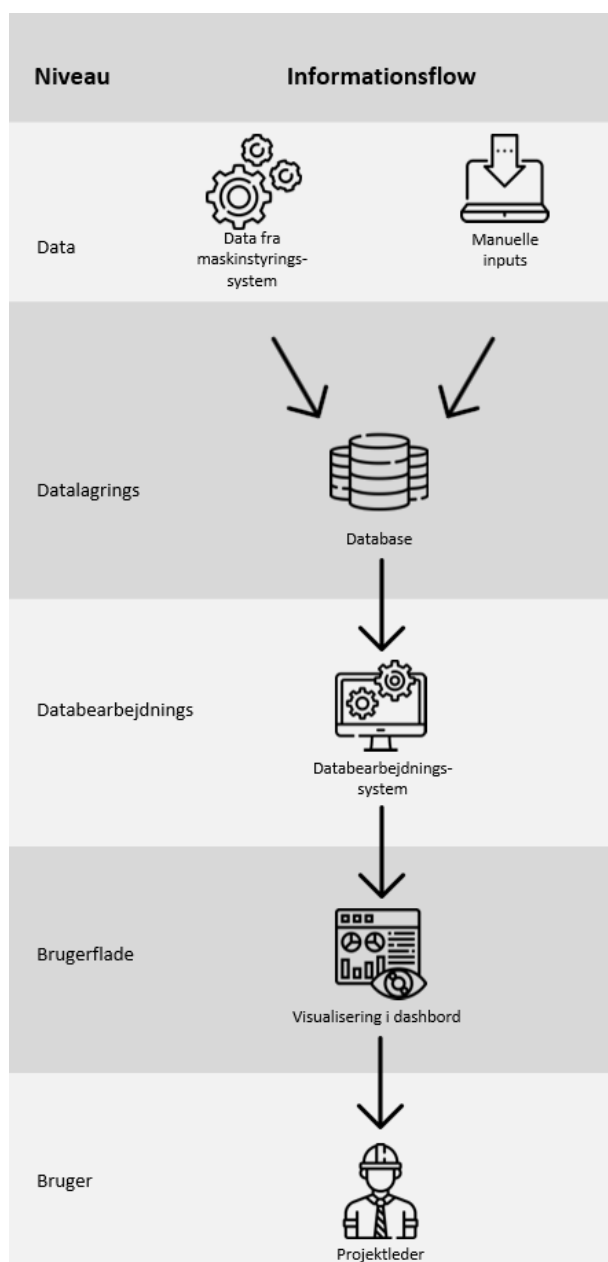
Figur 48 viser, at et beslutningsstøttesystem gør beslutningsprocessen nemmere. Dette understøttes af Figur 49, hvor en større viden og visdom opnås, ved at give data og information kontekst og betydning. Derudover mindskes beslutningsrisikoen også. En projektleder kan benytte data og information igennem et beslutningsstøttesystem til at opnå viden og visdom. Dette kan gøres ved at visualisere informationer i et dashboard. Dashboardet er derved en del af beslutningsstøttesystemet.

Et dashboard er en enkelt side, der bruger visualiseringer til at fortælle en historie. Et veludvalgt dashboard indeholder kun de vigtigste elementer i den historie, fordi det er begrænset til én side. Et dashboard giver et overblik over de vigtigste nøgletal i virksomheden, hvilket gør det muligt at overvåge virksomhedens processer. Visualiseringerne understøttes af et eller flere datasæt og konsolideres på en eller flere faner. Fordele ved et dashboard er at det er interaktivt, konsoliderer flere data et sted og give et nemt overblik over virksomhedens nøgletal på en side (Microsoft Docs, 2021c).

For at danne overblik over hvordan et beslutningsstøttesystem er struktureret, udarbejdes et informationsflow i nedenstående afsnit. Her dannes overblik over hvordan data bearbejdes således, at det ender brugbart til brugeren (projektlederen).

4.2.2 Informationsflow

Næste skridt i udarbejdelse af løsningsforslag er undersøgelse af informationsflow. Informationsflow skal undersøges nærmere, for at danne et overblik over det detaljerede flow fra datakilder til projektlederen. Informationsflow kan ses på Figur 50.



Figur 50: Informationsflow i DSS, ikoner Flaticon.com

Figuren viser et detaljeret informationsflow med mellemtrin mellem oprindelige data og brugeren. Informationsflow er fordelt på 5 niveauer. Den første niveau er dataniveau. Formålet ved dataniveauet er at skildre visuelt hvor de nødvendige data kommer fra. Disse er eksempelvis data fra maskinstyringssystem og manuelle inputs. Næste niveau repræsenterer datalagring. På dette niveau opsamles alle indsamlede data fra dataniveauet og oplagres på en struktureret måde, eksempelvis ved anvendelse af en database. Det tredje niveau er databearbejdningsniveau, hvor opsamlet data fra databasen bearbejdes. Det fjerde niveau repræsenterer brugerflade, hvor brugeren har mulighed for at overvåge produktionen, som for eksempel på et dashboard. Sidste niveau er brugerniveau, som afspejler placering af brugeren i informationsflowet.

Den nødvendige data i informationsflowet, som skal anvendes i beslutningsstøttesystemet, baseres på brugerens behov. Derfor undersøges brugerens behov først i næste afsnit. Derefter fortsætter afsnittene modsat informationsflowet på Figur 50 og op imod dataniveau.

4.2.2.1 Brugerniveau

Igennem afsnittet Case study er der fundet fire gennemkommende problematikker. Disse er: *manglende kvalitet, underudnyttelse af tilgængelige data, tomgang på maskiner, forøget anvendelse af ressourcer*. Løsningsforslaget skal give projektlederen mulighed for at imødekomme disse problematikker. Derfor beskrives der i dette afsnit, hvordan hver problematik skal bearbejdes i dashboardet for at afdække brugerbehovet.

For at imødekomme *forøget anvendelse af ressourcer*, skal dashboardet først give overblik over ressourcer i brug. Med dette menes der det foretagende arbejde og overarbejde. Herigennem kan der foretages tidsstyring af projektet, ved at sammenligne det udførte arbejde med deadlines. Igennem tidsstyring kan der også foretages en økonomistyring. Dashboardet kan give overblik over arbejde, tidsstyring og økonomi, og derved give et overblik over anvendelsen af projektets ressourcer.

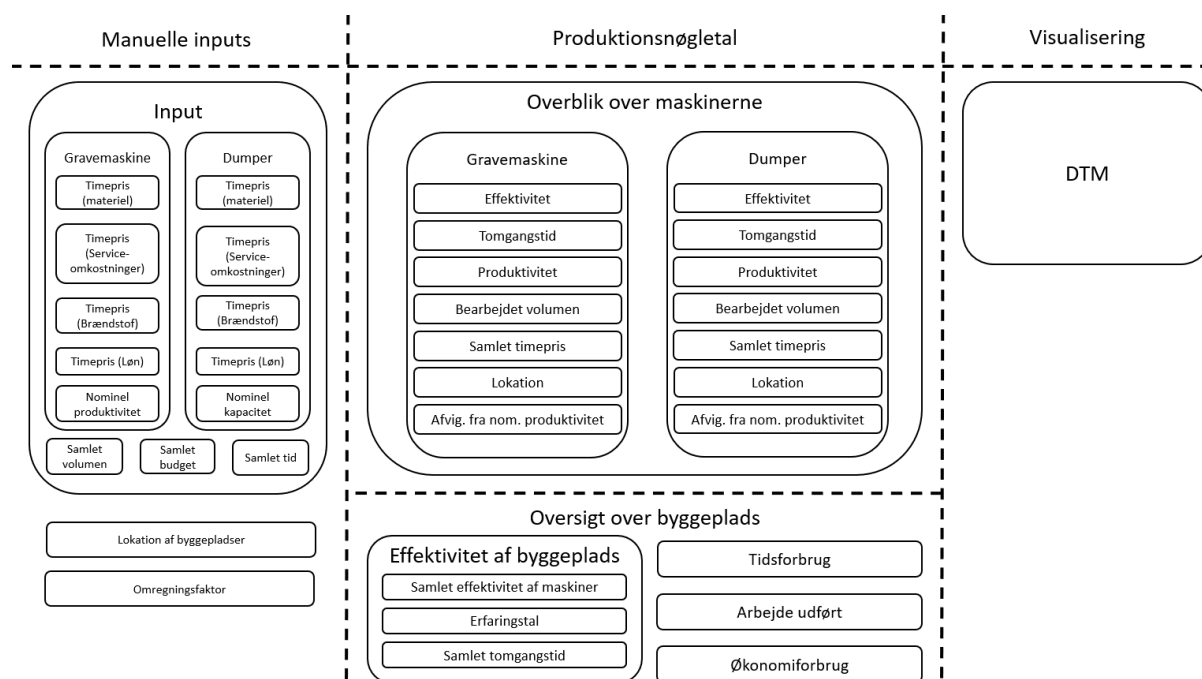
Ved *tomgang på maskiner* forventes data på dashboardet, som stilstand fra de forskellige maskiner på byggepladsen, eksempelvis fra en gravemaskine og en dumper. Når projektlederen har kendskab til tomgang på pladsen samt produktionsnøgletal på hver maskine, kan der tages foranstaltninger, såsom at allokere maskiner til andre byggepladser/opgaver, der mangler. Derved kan der spares ressourcer på tværs af projekter.

Underudnyttelse af tilgængelige data kan imødekommes ved, at projektlederen anvender den allerede tilgængelige data fra maskinstyring. I dashboardet kan denne data anvendes til at imødekomme de andre problematikker, herunder *tomgang på maskiner* og *forøget anvendelse af ressourcer*. Når projektlederen anvender det tilgængelige data til at imødekomme disse problematikker, imødekommes indirekte også problematikken om *manglende kvalitet*, da projektets overordnede kvalitet også forøges.

I næste afsnit beskrives hvordan relevante informationer kan formidles til brugeren for at understøtte brugerbehov.

4.2.2.2 Brugerfladeniveau

For at understøtte brugerbehov og levere alle relevante informationer, skal disse formidles til brugeren på struktureret vis i et dashboard. Dashboardet afspejler relevante informationer, der skabes ved tilføjelse af kontekst til ustruktureret data fra dataniveau. Dette gøres ved organisering, strukturering, kondensering og beregning af nøgletal. På baggrund af brugerbehov er de følgende informationer valgt til at være repræsenteret på dashboardet:



Figur 51: Foreslået struktur af dashboard

Figur 51 er en foreslået struktur af dette dashboard. Foreslået struktur kan ses i højere opløsning i Bilag 4. Dashboardet er fordelt på fire faner: *Manuelle inputs*, *Produktionsnøgletal*, *Oversigt over byggeplads* og *Visualisering*. Hvert faner består af et eller flere blokker (grupper), som viser diverse informationer.

Formålet ved fanen *Manuelle inputs* er at håndtere alle nødvendige brugerdefinerede inputs. Input-blokken er fordelt i flere kategorier, hvor der kan ses informationer omkring hver maskine, eksempelvis en gravemaskine og en dumper. Disse er timepriser på materiel, service, brændstof, løn samt nominal produktivitet/kapacitet af maskinen. Derudover kan der defineres samlet jordvolumen, samlet budget, bearbejdet volumen og samlet planlagt tid i projektet. Sidst kan informationer omkring lokation af byggepladsen og omregningsfaktoren defineres. Omregningsfaktoren anvendes for at omregne jordvolumen i m³ til jordmængder i tons. Manuelle inputs anvendes på dashboardet til beregning af produktionsnøgletal.

Fanen *Produktionsnøgletal* formidler informationer omkring produktionsstatus til brugeren. Blokken *Overblik over maskinerne* repræsenterer informationer på hver maskine – effektivitet, tomgangstid, produktivitet, bearbejdet volumen, samlet timepris, lokation samt afvigelse fra nominal produktivitet. Formålet ved denne fane er at give projektlederen indsigt i produktionen fordelt på hver maskine.

Fanen *Oversigt over byggeplads* består af flere elementer. En af blokkene viser effektivitet af byggepladsen. Der kan ses en samlet effektivitet af maskiner og tomgangstid, hvormed disse kan sammenlignes med erfaringstal fra tidligere projekter ift. effektivitet. Derudover kan der ses hvilket arbejde der er blevet udført (fremgang af projektet), tidsforbrug og økonomiforbrug. Formålet ved denne fane er at give projektlederen indsigt i produktionen på en byggeplads.

Formålet med fanen *Visualisering* er at give brugeren et værktøj til at overvåge placeringen af hver maskine på byggepladsen, samt anvende DTM til jordmængde beregning. Dette kan afhjælpe identificering af hindringer i maskinkørsel samt overvågning af arbejdsprocessen.

I næste afsnit beskrives hvordan specifikke nøgletal udregnes.

4.2.2.3 Databearbejdningsniveau

For at vise relevante informationer til brugeren på et dashboard, skal disse udregnes ved brug af det oprindelige data fra fanerne/blokkene, dataniveau og brugerinput. Tabel 5 opsummerer de nødvendige nøgletal, der indgår i dashboardet. Tabellen viser nøgletallenes udregningsmetode og enheder.

Nøgletal	Udregningsmetode	Enhed
<i>Arbejde udført</i>	Bearbejdet volumen / samlet jordmængde * 100	%
<i>Tidsforbrug</i>	Faktisk tid brugt / samlet planlagt tid * 100	%
<i>Økonomiforbrug</i>	Faktisk budgetforbrug / budget * 100	%
<i>Effektivitet (maskine)</i>	Arbejdstid / Samlet brugt tid * 100	%
<i>Tomgangstid</i>	Estimeres ved brug af olietryksdata/omdrejningstal/payload	timer
<i>Produktivitet</i>	Bearbejdet mængde (eller bearbejdet volumen) / time	m ³ (tons)/time
<i>Bearbejdet mængde</i>	Skovkapacitet * cyklusser * omregningsfaktor eller aftages direkte fra maskinstyringsdata	tons
<i>Bearbejdet volumen</i>	Bearbejdet mængde * omregningsfaktor	m ³
<i>Afvigelse fra nominel produktivitet</i>	Produktivitet (m ³ /t) / nominel produktivitet * 100	%
<i>Samlet timepris</i>	Timepris ¹ + Timepris ² + Timepris ⁿ	kr./t.
<i>Lokation</i>	Estimeres ved brug af positionsdata	koordinater
<i>Erfaringstal (effektivitet)</i>	Estimeres ved brug af data fra tidligere projekter	%
<i>Samlet effektivitet af byggeplads</i>	Effektivitet ¹ + Effektivitet ² + Effektivitet ⁿ / n	%
<i>Samlet tomgangstid</i>	Tomgangstid ¹ + Tomgangstid ² + Tomgangstid ⁿ	timer

Tabel 5: Udregning af nøgletal

Tabellen viser generelle principper for beregning af nøgletal. Denne beregning på nøgletal er estimeret ved at bruge sensordata.

For at beregne **arbejde udført** skal der anvendes *bearbejdet jordmængde* og *samlet jordmængde* (aftages fra DTM). Samlet jordmængde kan direkte aftages fra DTM, mens bearbejdet volumen kan estimeres på flere måder. Mængderne kan direkte aftages fra maskinstyringssystem, der registrerer bearbejdet mængde jord. Et alternativ til dette, er en undersøgelse af Kirchbach et al., 2015, der bruger en mobilapplikation, hvor dumperkørsel med prædefinerede mængder kan registreres.

Tidsforbrug beregnes ved anvendelse af *faktisk tid brugt* og *samlet planlagt tid* (prædefineres af brugeren). Faktisk tid brugt kan registreres ved brug af maskinstyringssystem, og samlet planlagt tid estimeres af projektlederen.

Økonomiforbrug beregnes ved brug af *faktisk budgetforbrug* og *budget* (prædefineres af brugeren). Faktisk budgetforbrug kan estimeres ved anvendelse af samlet timepris af maskine og antal brugte timer. Der kan estimere anvendte brugte timer ud fra data fra maskinstyringssystem.

Effektivitet af hver maskine udregnes som *arbejdstid* divideret med *samlet brugt tid* (estimeres med maskinstyringsdata).

Der er vurderet flere muligheder for estimering af **tomgangstid**. Tomgangstid kan estimeres enten ved brug af *olietryksdata*, *omdrejningsdata* eller ved brug af en kombination af *positions data* af både gravemaskine og dumper. Anvendelse af olietryksdata eller omdrejningsdata forudsætter adgang til denne type data fra maskinstyringssystem. Olietryksdata og omdrejningsdata kan analyseres for at finde mønstre af maskintilstande, som eksempelvis kørsel, udgravning, standsning mv. Dette er også påpeget i undersøgelsen af You et al., 2021.

En anden mulighed er at sammenligne positionsdata fra en gravemaskine med positionsdata fra en dumper. Hvis afstanden mellem to maskiner er mindre end en prædefineret værdi, kan dette anses som udførsel af arbejde for begge maskiner. Hvis afstanden mellem to maskiner til gengæld er mere end en prædefineret værdi, kan dette anses som tomgangstid for en gravemaskine. Tilstanden af dumperen kan derefter vurderes ved ændring i lokation. Hvis lokationen af dumperen ikke ændres i mere end prædefineret tid, er der tomgangstid på dumperen.

Produktivitet udregnes ved at dividere *bearbejdet volumen* eller *bearbejdet mængde* i en specifik periode med *antal timer* i samme periode.

Bearbejdet mængde kan enten estimeres ved brug af *prædefineret skovkapacitet* multipliceret med antal *cyklusser* og *omregningsfaktor* (prædefineres af brugeren). Alternativt kan det aftages direkte fra maskinstyringsdata.

Bearbejdet volumen kan beregnes ved at multiplicere *bearbejdet mængde* med *omregningsfaktor*.

Afvigelse fra nominel produktivitet beregnes som *produktivitet* (m^3/t) trukket fra *nominel produktivitet* (prædefineres af brugeren) divideret med *nominel produktivitet*.

For at beregne **samlet timepris** for en maskine skal *individuelle timepriser* for specifikke ressourcer summeres, inkl. timepris for materiel, løn, service m.m. Timepriserne prædefineres af brugeren.

Lokation af hver maskine kan estimeres ved sammenligning af *positionsdata* fra maskinstyringssystem og *koordinater* af byggepladser (arbejdssteder). Koordinater af byggepladser prædefineres af brugeren.

Erfaringstal (effektivitet) er afhængigt af tidligere projekter, hvor nøgletal var registreret. Nogle nøgletal for to eller flere projekter kan sammenlignes for at benchmarke det nuværende projekt.

For at beregne **samlet effektivitet af maskiner** på en specifik opgave, skal *effektivitet af hver maskine* summeres og derefter divideres med *antal maskiner*.

Samlet tomgangstid beregnes ved summering af *tomgangstid* på alle maskiner.

I næste afsnit beskrives hvordan alle nødvendige data kan oplagres, for at understøtte databearbejdning.

4.2.2.4 Datalagringsniveau

For at oplagre store mængder af sensordata, der anvendes til udregning af nøgletal til dashboardet, skal en database anvendes. En database er en organiseret samling af struktureret information eller data, der typisk er oplagret i et Edb-system (Oracle, 2021). Der er flere muligheder for hvordan data kan oplagres, men det er vurderet, at det skal være en mulighed at have adgang til data, uden at have behov for at reorganisere og restrukturere data. Derudover skal databasen være i stand til at skalere således, at data fra flere maskiner, og evt. flere nøgletal, kan oplagres i den. Derfor er en relationsdatabase valgt som en passende løsning.

En relationsdatabase er en samling af dataelementer med foruddefinerede relationer mellem dem. Disse elementer er organiseret i et sæt tabeller (relations) med kolonner (attribute, felt) og rækker (tuple, records). Tabeller bruges til at indeholde data om de objekter, der skal repræsenteres i databasen. Hver kolonne i tabellen indeholder en bestemt slags data, og et felt oplagrer den faktiske værdi af attributten. Rækkerne i tabellen repræsenterer en samling af relaterede værdier for objektet eller enheden. Hver række i tabellen kan markeres med en unik identifikator, kaldet den primære nøgle, og fremmednøgler kan bruges til at tilknytte rækker til flere tabeller. Disse data kan tilgås på mange forskellige måder, uden at skulle reorganisere databasetabellerne selv (Amazon Web Services (AWS), 2021).

For at definere databasen, og visuelt vise dens struktur, er *Entity Relationship Diagram* anvendt. Et Entity Relationship Diagram (ERD) er et flowdiagram, der illustrerer, hvordan "entiteter" (såsom koncepter, mennesker eller objekter) er relateret til hinanden i et system (Lucidchart, 2021). Databasen er designet baseret på databasens normaliseringsprincipper (eng.: *database normalization principles*). Normalisering er processen der vedrører organiseringen af data i en database. Dette inkluderer opsætning af tabeller og etablering af relationer mellem disse tabeller i henhold til regler. Reglerne er designet til at beskytte data og gøre databasen mere fleksibel. Dette gøres ved at eliminere redundans og inkonsistente afhængigheder (Microsoft Docs, 2021a).

ERD er designet ved brug af dbdiagram.io værktøj ved anvendelse af DBML (eng.: *Database Markup Language*). Eksempel på DBML-syntaks kan ses på Figur 52.

```
1 Table machines as U {
2   id int [pk, increment] // auto-increment
3   name varchar
4   type_id int
5   location_id int
6 }
```

Figur 52: Eksempel på DBML-syntaks

DBML er et open-source DSL-sprog (eng.: *domain-specific language*) designet til at definere og dokumentere databaseskemaer og strukturer. Den er designet til at være enkel, konsistent og yderst læsbar (dbml.org, 2021). Databasestrukturen defineret i DBML kan ses i Bilag 5. ERD for den foreslået database genereret ved brug DBML kan ses på Figur 53.



Figur 53: Entity Relationship Diagram for den foreslået databasen

Figuren viser en mulig struktur af databasen og relationerne mellem entiteter. Databasen er struktureret i flere tabeller således, at alle nødvendige data fra dataniveau og informationer fra databearbejdningniveau kan oplagres og tilgås. ERD består af 6 tabeller.

Relationer i ERD mellem tabeller viser forholdet mellem entiteter. Hver maskine har et *type_id*, der viser hvilken type maskinen er, og *location_id*, der viser hvilket lokation (eks. byggeplads) maskinen er på. Tabel *machine_metrics* og *timeseries* forbindes med tabellen *machines*, hvormed det er muligt at identificere hvilke rækker i disse tabeller, der er relateret til en specifik maskine. Tabel *production_metrics* har forbindelse med *location_id* i tabel *locations* således, at det er muligt at identificere produktionsnøgletal på hver lokation.

ERD kan anvendes for opsætning af en database, eksempelvis i MySQL. Databasestrukturen i DBML kan direkte eksporteres i SQL (eng.: *Structured Query Language*) hvormed, at filen kan importeres i DBMS (eng.: *Database Management System*). Eksempel på SQL-syntaks kan ses på Figur 54.

```

1 CREATE TABLE `machines` (
2   `id` int PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT,
3   `name` varchar(255),
4   `type_id` int,
5   `location_id` int
6 );

```

Figur 54: Eksempel på SQL-syntaks

Foreslået databasestruktur vist på Figur 53 i form af ERD, er eksporteret i SQL og kan ses i Bilag 6. Filen kan importeres direkte i MySQL DBMS for at opretter databasen.

I det næste afsnit analyseres hvilke data, der skal være til stedet for at understøtte den foreslået datalagringsmodel.

4.2.2.5 Dataniveau

I dette afsnit beskrives den data, som skal indsættes i datalagringsmodellen og derefter anvendes i databearbejdningniveauet. De forskellige inputdata kan ses på Figur 50 under data niveau, disse er: maskinstyringssystem og manuelle data.

Maskinstyringsdata	Manuelle inputdata
Tidsstempel	Literpris (Brændstof)
Positionsdata	Serviceomkostninger for maskine
Payload	Byggebudget
Olietryk	Maskine timepris
Omdrejningsdata	Arbejdsløn
	Samlet planlagt tid
	Samlet jordmængde
	Erfaringstal

Tabel 6: Inputdata

Det første datainput kommer fra maskinstyringssystemet. Maskinerne på byggepladserne producerer denne data igennem sensorer. Efter maskinerne har udført en handling, registreres data. Herved vises data som f.eks. x, y og z koordinaterne på maskinen (positionsdata) samt hvornår det er udført (tidsstempel) og motors kondition (olietryk).

Manuelle inputdata er næste nødvendige datainput. Dette datainput indtastes af projektlederen manuelt således, at det kan bearbejdes med andre datainput i databearbejdningniveau. Fra disse tal kan der beregnes nøgletal, der er beskrevet i Databearbejdningniveau.

På baggrund af den ovenstående beskrivelse af konceptuelt niveau og informationsflow, kan der udarbejdes et proof of concept i næste afsnit. Dashboardet kan anvendes af projektlederen som beslutningsstøttesystem til at reducere beslutningsrisikoen og problematikkerne.

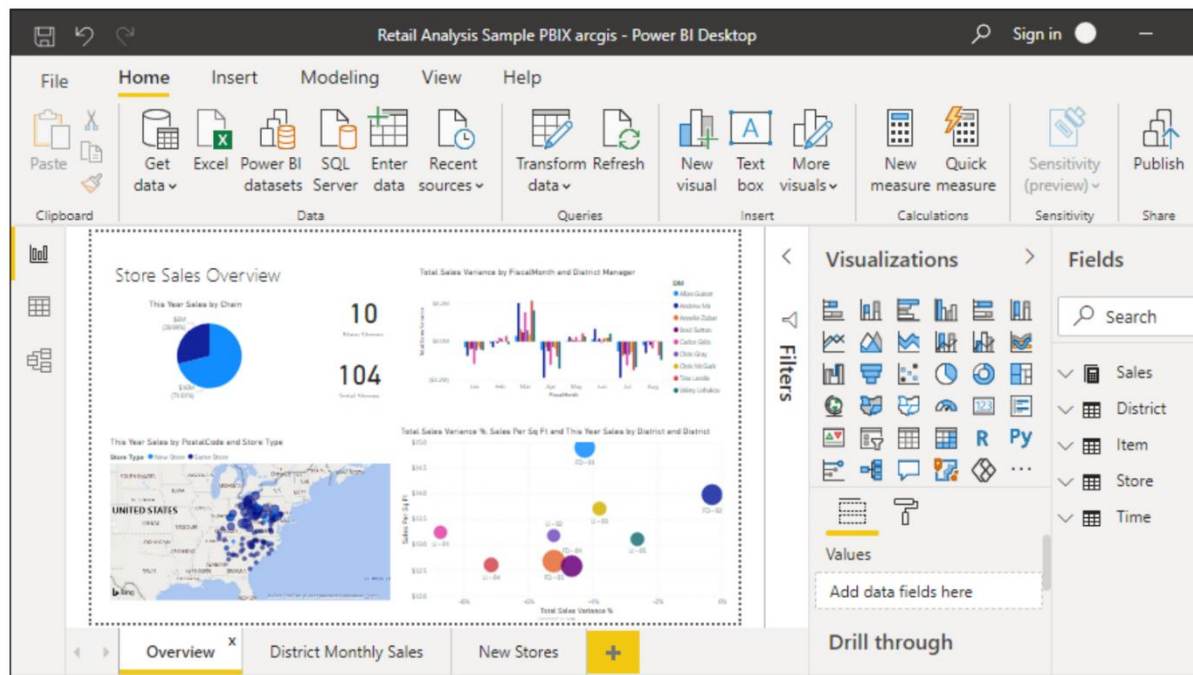
4.2.3 Proof of concept

I dette afsnit viderearbejdes det konceptuelle niveau og informationsflow således, at et dashboard kan udarbejdes. Formålet ved proof of concept er demonstration af det foreslået beslutningsstøttesystem. Dashboardet anvendes af projektlederen til at visualisere information, som

er en del af beslutningsstøttesystemet. I denne rapport er der valgt at udarbejde et dashboard i Power BI. Power BI beskrives derfor i nedenstående afsnit.

4.2.3.1 Værktøj - Power BI

Power BI er et værktøj, der benyttes til at forandre sammenhængende data til visuelle og interaktive indsigter. Data kan både komme fra et lokalt drev på en computer eller en cloud database. Power BI kan oprette forbindelse til datakilderne, visualisere og finde det vigtige indhold, der kan deles med alle involverede parter (Microsoft Docs, 2021b). Et eksempel på et dashboard kan ses på Figur 55.

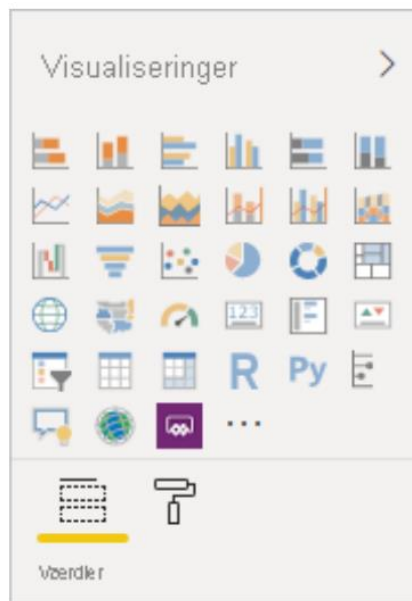


Figur 55: Power BI Desktop eksempel (Microsoft Docs, 2021b)

Når der oprettes forbindelse til datakilder og de kombineres, kaldes dette *udformning* i en datamodel. Datamodellen kan bygge og samle visualiseringer, så det kan deles som rapporter til involverede parter (Microsoft Docs, 2021b).

Visualiseringer af information oprettes ved, at data indsættes fra et lokalt drev eller cloud database, herefter vælges *New visual*, se Figur 56.

Visualiseringer kan baseres på enten rå data eller på bearbejdet data. Data kan bearbejdes og analyseres med *målinger* (eng.: *Measures*). En *måling* er et værktøj for dataanalyse. Simpel måling kan nemt defineres ved *Hurtig måling*, mens mere komplekse målinger forudsætter anvendelse af DAX (eng.: *Data Analysis Expressions*) (Microsoft Docs, 2021b).



Figur 56: Power BI - Indsæt visualisering (Microsoft Docs, 2021b)

Efter data er indlæst i Power BI, kan den ønskede visualiseringsformat vælges til højre. Den ønskede forklaring, eventuelle detaljer og værdier til visualiseringen, indsættes. Denne proces gentages for alle nøgletal fra databearbejdningniveau, som ønskes visualiseret. Strukturen i dashboardet udarbejdes ud fra Figur 51.

I det næste afsnit redegøres der for de nødvendige inputs til Power BI for at udvikle et dashboard.

4.2.3.2 Input til Power BI

For at udarbejde et dashboard i Power BI er det nødvendigt at afdække to foregående niveauer jf. Figur 50, dvs. data- og datalagringsniveauer. Anvendelse af databasen var foreslået i afsnit 4.2.2.4, for understøttelse af datalagring af alle nødvendige inputdata samt beregnede informationer. Da formålet ved proof of concept er demonstration af det foreslåede beslutningsstøttesystem, er der valgt at erstatte databasen med .csv- og .xlsx- filer. Dette påvirker ikke design og udvikling af dashboardet i Power BI, og simplificerer håndtering af data nødvendigt for proof of concept. Anvendt datasæt kan ses i Bilag 7.

Der var udarbejdet et simuleret datasæt for at afprøve dashboardet. Dette datasæt er udarbejdet på baggrund af virkelige data indhentet fra jordentreprenøren. Simuleret datasæt er udarbejdet således, at alle nøgletal beskrevet i afsnit 4.2.2.3 kan udregnes, og tomgangstid kan klart identificeres på dashboardet. Derudover afspejler datasæt interaktion af maskinerne på en byggeplads. Dette gøres for at illustrere potentialer ved dashboardet. Datasæt indeholder maskindata for 2 timer fordelt i minutintervaller.

Der er udarbejdet en .csv-fil for at repræsentere datasæt fra en gravemaskine og en for en dumper.

```
1 timestamp;id;longitude;latitude;elevation;payload;oil_pressure;rpm
2 14-09-21 08:00;1;95,333.95;570,139.50;70.578;1700;405;1714
3 14-09-21 08:01;1;95,333.95;570,139.50;70.624;2917;403;1786
4 14-09-21 08:02;1;95,333.95;570,139.50;70.577;1185;402;1767
5 14-09-21 08:03;1;95,333.95;570,139.50;70.558;1853;404;1895
```

Figur 57: Udklip fra datasæt af en dumper

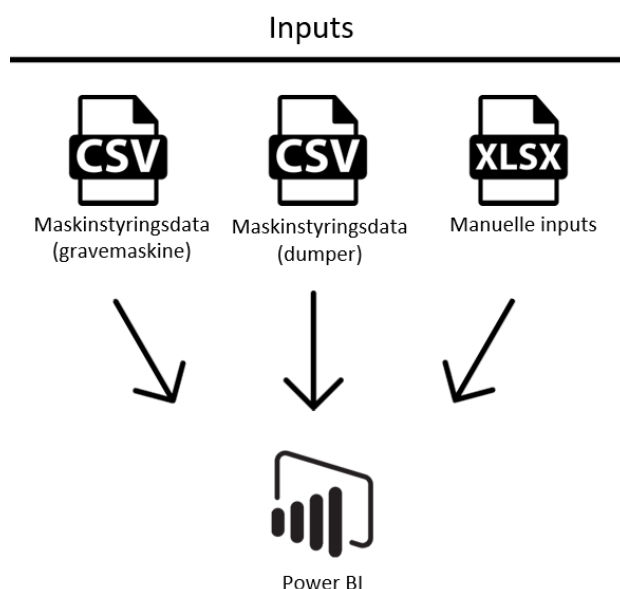
Figur 57 viser et udklip fra datasæt fra en dumper. Datasæt består af flere række med forskellige tidsstempler, koordinater (longitude, latitude og elevation), payload, olietryk og omdrejningstal.

1	Timepris (Brændstof)	250	kr./t.
2	Timepris (Løn)	200	kr./t.
3	Timepris (Materiel)	1000	kr./t.
4	Timepris (Serviceomkostninge	100	kr./t.
5	Nominel produktivitet	206	m3/t.
6			

Figur 58:Udklip for .xlsx-fil med manuelle inputs til dashboardet

Figur 58 viser et udklip fra .xlsx-fil, der bruges som manuelle inputs til dashboardet. Filen er konstrueret således, at brugeren kan definere timepriser fordelt på flere poster, nominel kapacitet/produktivitet for maskiner. Derudover skal samlet budget, samlet tid, samlet volumen, lokation af en byggeplads samt omregningsfaktor, defineres.

På baggrund af de foregående beskrivelser af adskillige dele af proof of concept, kan en struktur defineres.



Figur 59: Struktur af proof of concept

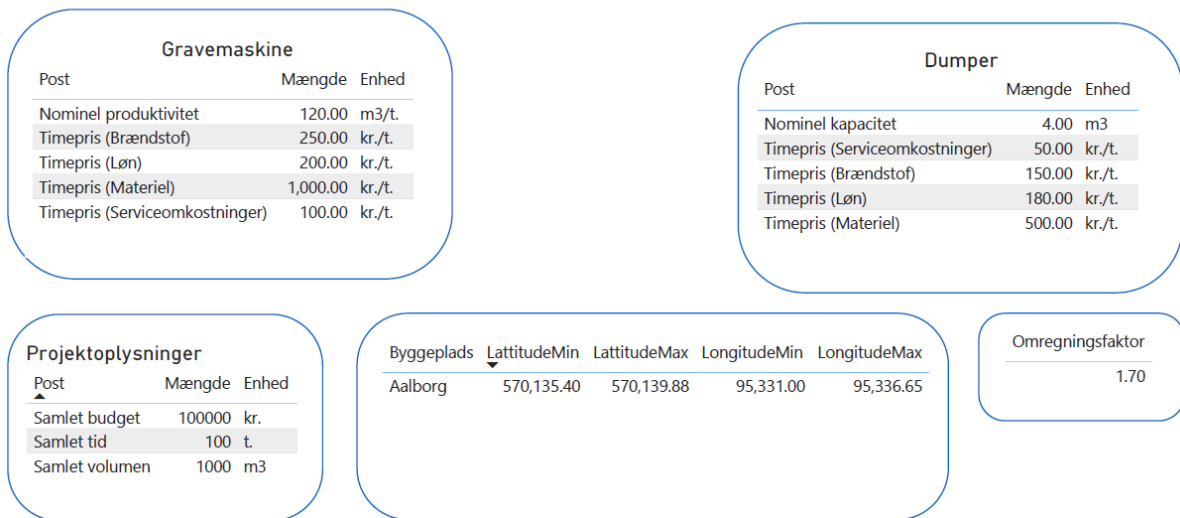
Figur 59 skildrer en mulig struktur af proof of koncept, der viser samspillet mellem input filer og værktøj, for at udarbejde et dashboard.

I næste afsnit beskrives, hvordan dashboardet er opsat i Power BI.

4.2.3.3 Dashboard

I dette afsnit beskrives det udarbejdede dashboard. Dashboardet er udarbejdet på baggrund af den foreslåede struktur, se Figur 51. Dashboardet kan ses i højere opløsning i Bilag 8 og evt. som .pbix-fil i Bilag 9.

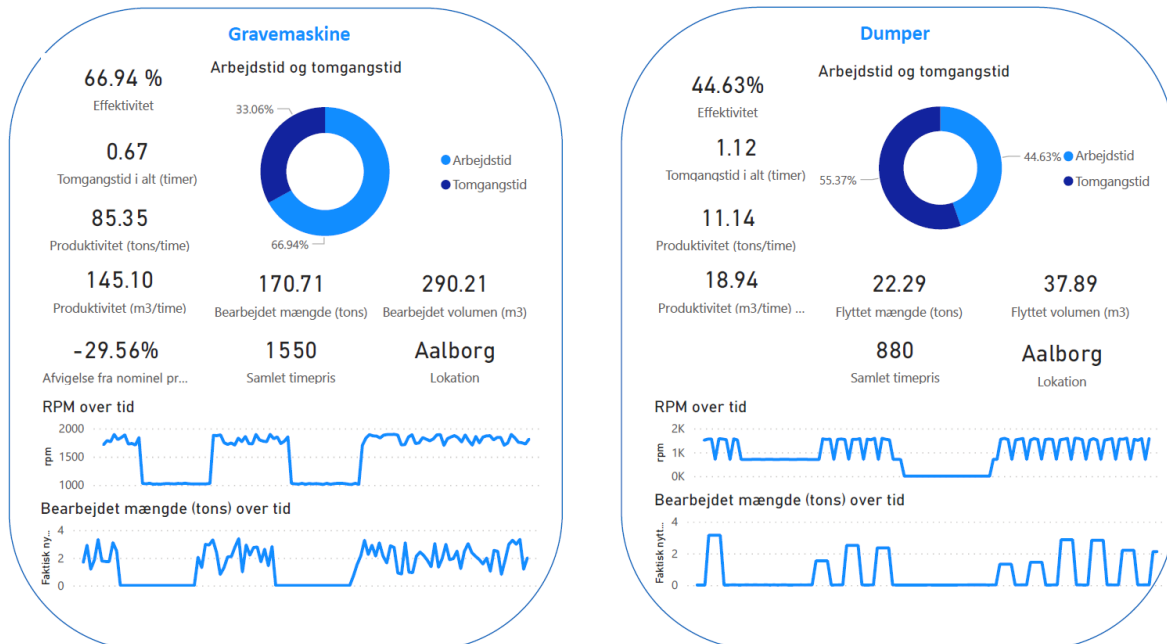
Manuelle inputs



Figur 60: Udarbejdet dashboard - fane Manuelle inputs

Figur 60 viser den første fane på dashboardet, *Manuelle inputs*. Her kan der ses brugerdefinerede inputs, der anvendes for beregning af produktionsnøgletal og visualisering af maskiner på et kort. Inputs er fordelt på forskellige blokke, hvilket leverer mere struktur til data. Hver maskine afspejles som en separat blok, og andre oplysninger er grupperet på baggrund af fanerne importeret fra .xlsx-fil.

Produktionsnøgletal

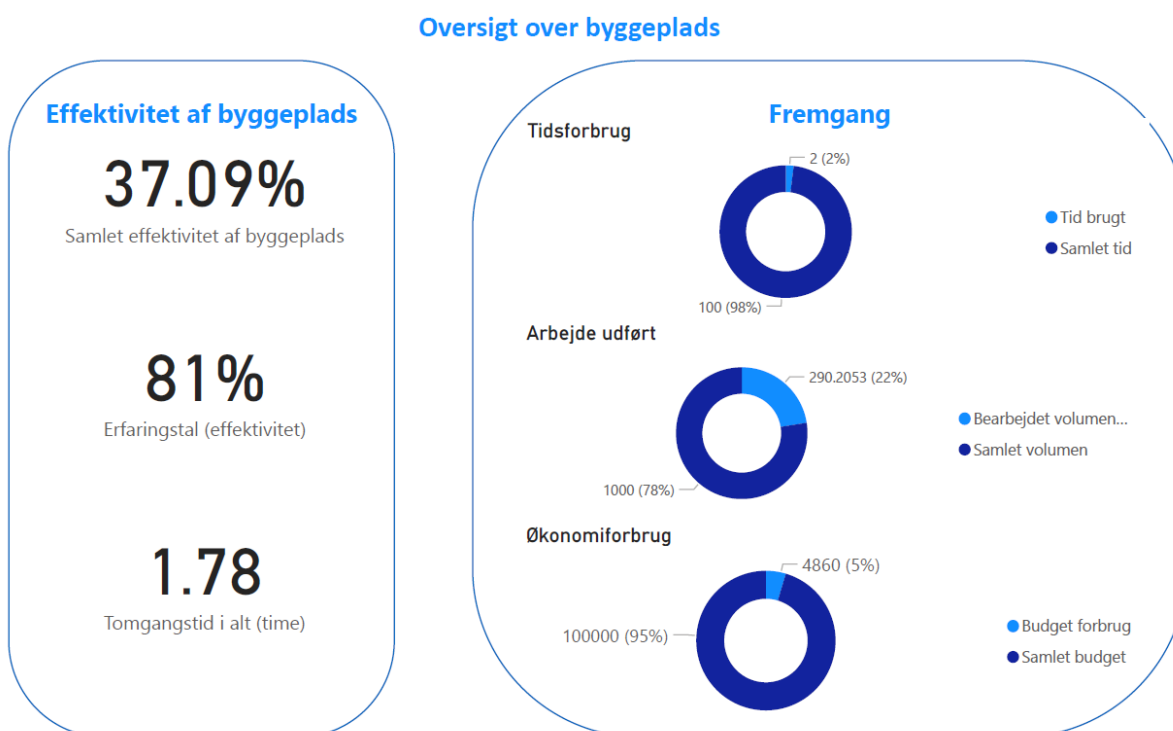


Figur 61: Udarbejdet dashboard - fane Produktionsnøgletal

Figur 61 viser den anden fane på dashboardet, *Produktionsnøgletal*. Her kan der ses to blokke, som visualiserer informationer fordelt på hver maskine. Fanen indeholder følgende informationer, der beskrives i afsnit 4.2.2.3:

- Effektivitet: viser effektivitet af en maskine.

- Tomgangstid: viser tomgangstid på en maskine.
- Produktivitet: viser produktivitet af maskinen.
- Bearbejdet mængde: viser bearbejdet jordmængde.
- Bearbejdet volumen: viser bearbejdet jordvolumen.
- Afvigelse fra nominel produktivitet: viser forskellen mellem nominel produktivitet og faktisk produktivitet.
- Samlet timepris: viser samlet timepris for en maskine.
- Lokation: viser placering af en specifik maskine.
- RPM over tid: viser fordeling af omdrejninger over en specifik tidsperiode.
- Bearbejdet volumen over tid: viser fordeling af bearbejdet volumen over en specifik tidsperiode.



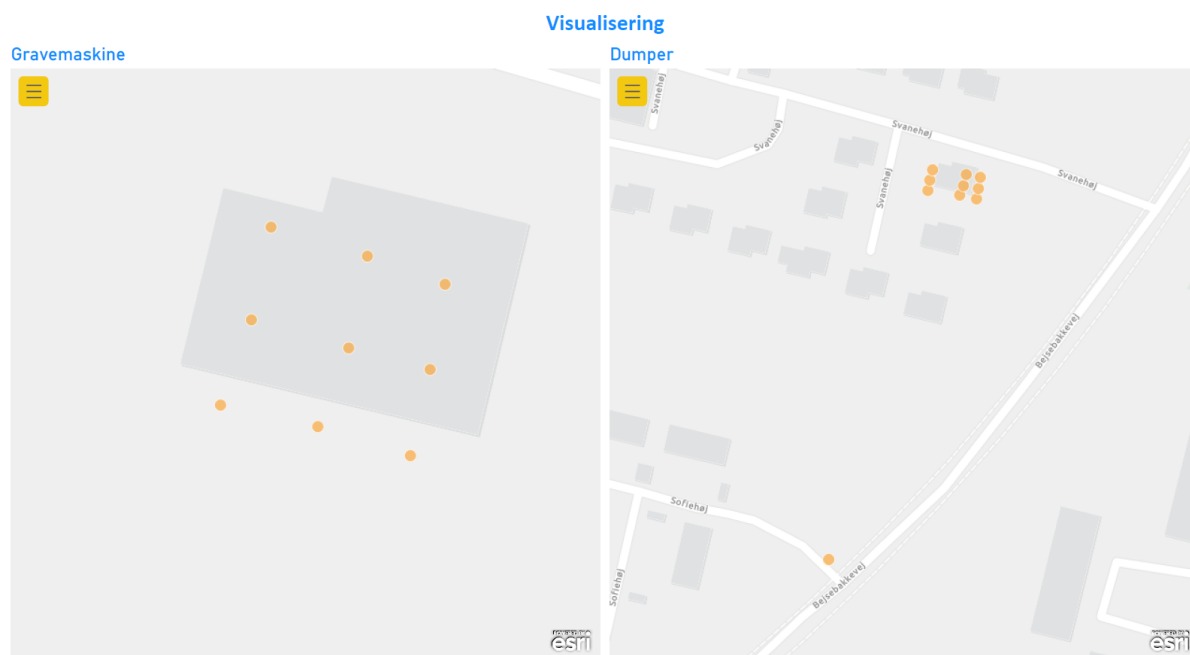
Figur 62: Udarbejdet dashboard - fane Oversigt over byggeplads

Figur 62 viser den tredje fane på dashboardet, *Oversigt over byggeplads*. Fanen er fordelt i to blokke. Den første blok repræsenterer flere nøgletal, der afspejler effektiviteten af en byggeplads. Blokkene indeholder tre nøgletal, der beskrives i afsnit 4.2.2.3:

- Samlet effektivitet af byggeplads: viser samlet effektivitet af maskiner på en byggeplads.
- Erfaringstal: viser effektivitet af maskiner på tidligere projekter. Erfaringstal er kun eksemplarisk, da dashboardet kun er gennemprøvet på et projekt.
- Tomgangstid i alt: viser samlet tomgangstid for alle maskiner.

Den anden blok viser fremgang på en byggeplads. Den indeholder:

- Tidsforbrug – indikerer forhold mellem tid brugt og samlet tid i procent.
- Arbejde udført – indikerer forhold mellem bearbejdet volumen og samlet volumen i procent.
- Økonomiforbrug – indikerer forhold mellem budget brugt og samlet budget i procent.



Figur 63: Udarbejdet dashboard - fane Visualisering

Figur 63 viser den fjerde fane på dashboardet, *Visualisering*. Der er mangel på integration imellem Power BI og DTM, derfor anvendes *ArcGIS Maps* til visualisering i stedet. Denne fane består af flere vinduer, hvor der vises forskellige lokationer af maskiner indenfor et byggeprojekt. Lokationen af hver maskine findes ved brug af data fra et datasæt. Hver prik på kortet afspejler lokationen af en maskine på et specifikt tidspunkt. Der er kun vist to maskiner, da der i proof of concept anvendes datasæt for to maskiner.

Igennem et dashboard, er det muligt at skabe en visualisering af data i et dashboard. Dashboardet kan anvendes af en projektleder til at bestemme, hvorvidt der skal foretages ændringer i projektet vedrørende allokering af gravemaskiner og dumpere ift. flere produktionsnøgletal. Derudover understøtter informationerne i dashboardet beslutninger af projektlederen ift. optimering af arbejdsprocessen. I næste afsnit beskrives feedback til løsningsforslaget.

4.3 Feedback

I dette afsnit beskrives den indhentede feedback fra to aktører i byggebranchen. Feedbacken er indhentet skriftligt og kan ses i Bilag 10. Første feedback er fra regionsdirektøren fra tidligere interviews.

Generelt mener regionsdirektøren at: *"Overordnet set giver det god mening og ser professionelt ud."* Der bliver stillet spørgsmål til hvordan tomgangstiden er så høj på maskinerne, da han ikke kender projektet. Herefter forstår regionsdirektøren ikke tidsintervallerne på de nederste grafer. Intervallerne findes ved at markere grafen med musen på dashboardet. Regionsdirektøren forklarer et ønske om at danne et større overblik over hver enkelte maskiner på flere byggepladser: *"Hvis I har data på flere maskiner, bør der være en oversigt, der viser produktiviteten for de enkelte maskiner - gerne med kortoversigt"*. Afslutningsvis beskriver regionsdirektøren nogle overvejelser, til hvordan dashboardet kan gøres bedre, såsom: *"Linjer mellem punkter på kort og en KPI-startside til differentiering af medarbejders roller og adgang til dashboardet."*

Der er også indhentet feedback fra en projektleder. Generelt mener projektlederen at: *"Dashboardet kunne være et nyttigt værktøj og give et godt overblik for en entreprenør eller en bygherre, for at se hvad pengene går til og forbrug af tid."* Projektlederen forklarer herefter sin holdning til dashboardets begrænsninger: *"Med det sagt, kan dashboardet nok mest bruges i opstarten, for at få bygherre-godkendelse af et projekt."* Med dette menes, at bygherren kan se tidligere projekter ud fra erfaringstal i dashboardet. Derigennem etableres et mere præcist billede af omkostninger for jordarbejde. Herefter beskriver projektlederen, at dashboardet kan anvendes af andre aktører, såsom entreprenør eller byggeledelse: *"En entreprenør eller byggeleder har større incitament til at bruge værktøjet, da de vil stå til ansvar for arbejdet."* Dette betyder, at dashboardet måske kan anvendes bredere end rapportens forudsætning.

Ud fra løsningsforslagsafsnittet og feedback fra regionsdirektøren og projektlederen, kan resultaterne beskrives i nedenstående afsnit.

4.4 Resultater

I rapportens resultatafsnit redegøres der for løsningsforslaget. Her sammenlignes afsnittene: konceptuelt niveau, informationsflow og proof of concept. Ved at sammenligne disse afsnit, kan forskellen mellem teori og praksis findes. Efter at disse afsnit er blevet sammenlignet, analyseres den indhentede feedback på løsningsforslaget. Løsningsforslaget er udarbejdet efter *Design Science Research* metoden. Det vil sige, at der udvikles et produkt til at tjene menneskelige formål ud fra et fundet problem. I dette afsnit bedømmes løsningen af problematikkerne, sammenlignet med det konceptuelle niveau.

Løsningsforslaget er udarbejdet ud fra de fire genkommende problematikker i problemanalysen: *manglende kvalitet, underudnyttelse af tilgængelige data, tomgang på maskiner og forøget anvendelse af ressourcer.* For at løse disse problematikker, blev der undersøgt eksisterende løsninger i state-of-the-art afsnittet. Der blev inddelt tre hovedemner ud fra state-of-the-art. To af disse hovedemner kunne anvendes som inputdata til løsningsforslaget. Ved sammenligning af maskinstyringssystem og computer vision, blev der vurderet, at maskinstyringssystem skulle anvendes, fordi den giver flere input og output.

I en kilde fra state-of-the-art beskrives en flaskehals, som begrænser kapaciteten af hele processen. I det konceptuelle niveau blev der identificeret en flaskehals i arbejdsprocessen af jordarbejde. Denne flaskehals er tomgangstids på gravemaskiner. For at projektlederen kan foretage en bedre planlægning og have mere understøttede beslutninger, vil løsningsforslaget udarbejdet et beslutningsstøttesystem (DSS – eng. *Decision Support System*). For bedst muligt at understøtte beslutninger, også kaldet beslutningsrisiko, skal der, ifølge Figur 49, anvendes data og information til at opnå denne større forståelse.

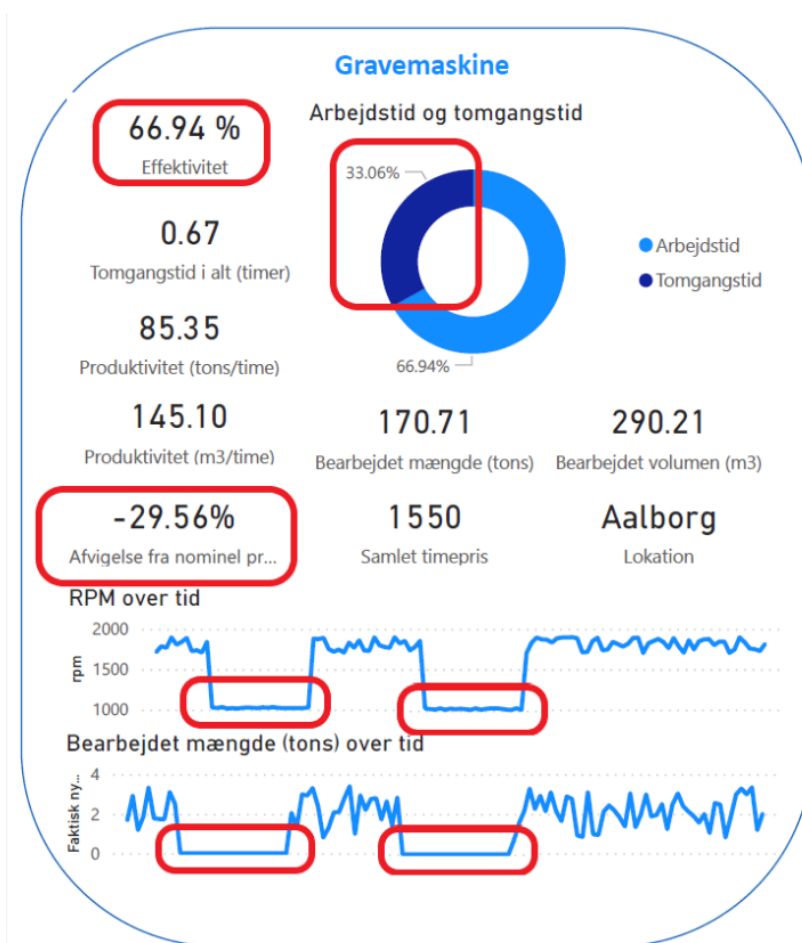
Anskuet ud fra beslutningsrisikopyramiden i Figur 49, skal der anvendes data til at understøtte beslutninger. Derfor analyseres der i Figur 50, hvordan informationsflowet starter fra data og ender anvendeligt til brugeren. Det som brugeren (projektlederen) skal kunne se i beslutningsstøttesystemet, vurderes ud fra de fire genkommende problematikker. Derfra foreslås en struktur af et dashboard, for at visualisere information til brugeren. Informationen inddeles i fire faner: *Manuelle inputs, Produktionsnøgletal, Oversigt over byggeplads og Visualisering.* I afsnit 4.2.2.3 beskrives det hvordan disse visualiseringer beregnes. Herefter beskrives hvordan data lagres og afslutningsvis hvilken data, der er nødvendig til beregning.

I afsnittet brugerfladeniveau skildres en foreslået struktur til visualiseringen af data igennem et dashboard jf. Figur 51. Alle faner af dashboardet fra afsnittet proof of concept, indeholder de samme

informationer, sammenlignet med den illustrerede struktur. Selvom informationerne er de samme, er der forskel på opsætningen. Dette er grundet, at Power BI har et andet pladsbehov, når data visualiseres. På tværs af alle faner er de forskellige informationer blevet bearbejdet og inddelt i kategorier, uddybet og tilføjet enheder. Nogle informationer har fået tilføjet visualiseringer, såsom Figur 61, der har målt tomgangstid som procent i et cirkeldiagram.

På baggrund af defineret informationsflow er proof of concept udarbejdet. Proof of concept består af et Power BI dashboard, der leverer de nødvendige informationer til projektlederen jf. brugerbehov defineret i afsnit 4.2.2.1. Indhold af hver fane er beskrevet i afsnit 4.2.3.3.

Fanen *Manuelle inputs* giver projektlederen en mulighed for at kontrollere alle brugerdefinerede inputs og evt. ændre disse, hvis der opstår behov for det. Fane *Produktionsnøgletal* leverer en indsigt til projektlederen i produktionsprocessen fordelt på hver maskine.



Figur 64: Udklip fra fane Produktionsnøgletal

Nøgletallene i dashboardet giver projektlederen overblik over informationer således, at produktionen løbende kan analyseres af projektlederen og optimeres. Projektlederen kan overvåge effektiviteten af maskinen, tomgangstid, produktivitet bearbejdet mængde og volumen. Figur 64 viser visualiseringer på fanen, der klart indikerer maskinens præstation. Effektivitet peger på udnyttelse af maskine på en byggeplads. Dette kan også ses på et kransediagram, der viser hvor stor er andel af tomgangstid der er på en maskine. Hvis der opstår en tvivl om underpræstation af en maskine, kan projektlederen analysere omdrejningstal og bearbejdet volumen på linjediagrammer. Disse diagrammer leverer et klart overblik over fordeling af et specifikt nøgletal over tid, hvilket gør identifikation af tomgangstid muligt. Plateauer markeret i rødt på Figur 64 er eksempel på tomgangstid. Ved at markere et specifikt

punkt på et linjediagram, kan der ses en værdi og et valgt tidspunkt. Projektlederen kan derfor igangsætte foranstaltninger, for at mindske tomgangstid, som derved også reducerer omkostninger i projektet. Dette kan eksempelvis være optimering af samspil mellem en gravemaskine og en dumper, allokering af flere dumpers på opgaven, fjernelse af hindringer i arbejdsprocessen, m.m.

Afvigelse fra nominel produktivitet signalerer, at der er forskel mellem nominel produktivitet og faktisk produktivitet af maskinen. Negativt tal indikerer, at maskinen underpræsterer. Projektlederen kan derfor undersøge, om der kan laves ændringer til arbejdsprocessen således, at maskine udnytter sin produktivitet mere.

Øvrige nøgletal kan anvendes for at benchmarke produktionerne samt se diverse informationer om maskinen.

Fanen *Oversigt over byggeplads* kan anvendes af projektlederen, for at vurdere effektiviteten for hele byggepladsen uden at se nøgletal fordelt på hver maskine. Dette kan bruges til at benchmarke den nuværende opgave i forhold til erfaringstal fra tidligere projekter. Derudover leverer fanen informationer om fremgangen af et projekt. Dette kan anvendes af projektlederen til at dokumentere hvor stor del af opgaven, der er færdiggjort og samtidig se om projektet overholder dets tidsplan og budget.

Figur 51 indeholder en DTM på dashboardet. Der findes ikke et plug-in til at indsætte en DTM i Power BI på nuværende tidspunkt. For at gøre nytte af koordinater fra maskindata, benyttes i stedet *ArcGIS Maps*, der er et indbygget visualiseringsformat i Power BI. ArcGIS Maps formaterer koordinaterne latitude (Y) og longitude (x) på et kort, ud fra den indsatte data. ArcGIS Maps giver lokationen på den indsatte data i form af gule prikker. Tidsstempel kan ses ved at holde mus over en prik. Igennem denne visualisering af lokation, kan en projektleder danne overblik over bevægelser på gravemaskiner og dumpere, på tværs af byggeprojekter. Dette kan anvendes af projektlederen for at identificere årsager til tomgangstid. En DTM kan visualisere højdekurver på en terrænmodel, som ArcGIS Maps er uden. På den anden side, kan ArcGIS Maps give elevation (Z-koordinatet) på gravemaskine, ved at markere de gule prikker på dashboardet, hvorimod en DTM viser elevation af udgravet jord.

Igennem dette afsnit er der redegjort for rapportens udarbejdede produkt, løsningsforslaget. Løsningsforslaget er, ifølge Design Science Research-metoden, et produkt til at løse de fire genkommende problematikker. For at udarbejde et proof of concept, er der fokuseret på flaskehalsen vedrørende tomgangstid på gravemaskine, hvilket skal reduceres igennem et beslutningsstøttesystem. Beslutningsstøttesystemet leverer gennemsigtighed til arbejdsprocessen gennem automatisk databearbejdning og visualisering af informationer om produktionen i et dashboard i Power BI. Dette understøtter beslutningstagningsprocessen hos projektlederen. Næste afsnit af rapporten er diskussion. Her reflekteres over effektiviteten af løsningen, metodevalg og hvordan løsningsforslaget kan forbedres.

5 Diskussion

I dette kapitel diskuteres og evalueres der på denne rapports undersøgelse. Diskussionen er struktureret således, at der først diskuteres de valgte metoder og undersøgelsens begrænsninger. Derefter diskuteres state-of-the-art. Denne stilles op mod det udarbejdede løsningsforslag. Sidst diskuteres løsningsforslaget og dennes relevans samt feedbacken på løsningsforslaget.

5.1 Valgte metoder

Undersøgelsen understøttes af flere metoder, der anvendes både som et grundlag til undersøgelsen, og for at understøtte udarbejdelsen af specifikke dele af undersøgelsen. Flere dataindsamlingsmetoder er anvendt for at danne dette grundlag: *litteratursøgning, case study, observationer og interviews*.

Litteratursøgning anvendes for at indsamle viden om eksisterende problematikker og viden omkring undersøgelsesemnet. Der blev undersøgt flere kilder, for at skabe et holistisk billede af eksisterende problematikker, teoretisk grundlag og state-of-the-art. Der kan dog potentielt søges litteratur på andre sprog end engelsk og nordiske sprog.

Case study anses som værende en praktisk metode til at undersøge eksisterende forhold i anlægsbranchen. Denne metode vurderes at være tilstrækkelig for at indsamle viden om case-virkomheden og de nuværende arbejdsprocesser indenfor jordarbejde. Derudover understøtter case study de fundne problematikker i litteraturstudie. Informationer fra case study vurderes at være repræsentative for hele branchen. Der kan potentielt undersøges flere cases for at præcisere arbejdsprocesser indenfor jordarbejde. Dette kan identificere flere brugerbehov og resultere i mere afdækkende beslutningsstøttesystem.

Semistruktureret interview er valgt for at indsamle informationer omkring casen. Der var foretaget 3 interviews, hvilket har leveret de nødvendige informationer omkring casen fra forskellige vinkler. Struktureret interview i form af et spørgeskema kan også anvendes til at indsamle data omkring undersøgelsesemnet i hele branchen. På denne måde kan der afdækkes en større del af branchen. Alligevel vurderes det, at struktur af denne type interview ikke vil levere uddybende svar fra respondenter.

Design Science Research anvendes gennem undersøgelsen som en metode for produktudvikling. DSR lever struktur til udviklingsprocessen. DSR vurderes at være en metode, der kan afdække mange aspekter af udviklingsprocessen, fra identificering af problemet indtil feedback og vurdering af prototypens holdbarhed.

5.2 State-of-the-art

Det udarbejdede løsningsforslag er inspireret af state-of-the-art i branchen. Der blev foreslået en integreret løsning til indsamling, oplagring, bearbejdning og visualisering af data. Dashboard anses som værende en overskuelig måde at visualisere produktionsprocessen på. Dette tilføjer dashboardet gennemsigtighed til produktionsprocessen. Tilgængelige data fra maskinstyringssystem danner grundlag til beregning af flere nøgletal på hver maskine og hele projektet. Der blev også undersøgt indsamling af data med *computer vision*, men denne metode forudsætter opsætning af flere kameraer på en byggeplads, mens data fra maskinstyringssystemer allerede er tilgængelige jf. case study. Derudover vurderes det, at computer vision kun kan levere begrænset data sammenlignet med maskinstyringssystem.

State-of-the-art har også beskrevet anvendelse af DTM i et beslutningsstøttesystem. Automatisk opdatering af DTM ved brug af maskinstyringsdata, er et emne, der skal nærmere undersøges. Der

anses at være et stort potentiale for automatiseret dokumentering af produktionsprocessen og overvågning af maskiner direkte i DTM. Løsningsforslag visualiserer kun dette i begrænset omfang ved brug af et kort med maskinposition.

5.3 Løsningsforslag og feedback

På baggrund af state-of-the-art undersøgt i afsnit 4.1, er løsningsforslaget udarbejdet. Løsningsforslaget er først præsenteret på et konceptuelt niveau, hvor en konceptuel struktur af løsningen er defineret. Derefter er et detaljeret informationsflow udarbejdet. Informationsflow repræsenterer den foreslåede løsningsstruktur, der afdækker alle niveauer af informationsflow: bruger, brugerflade, databearbejdning, datalagring og data. Dette lå til grund for udarbejdelse af proof of concept.

Proof of concept er udarbejdet på baggrund af informationsflowet præsenteret i afsnit 4.2.2. Nogle dele er dog simplificeret. Det vurderes, at dashboardet afdækker brugerbehov defineret i afsnit 4.2.2.1, da brugerbehov ligger til grund for udarbejdet informationsflow. Det er valgt at erstatte den foreslået database, se afsnit 4.2.2.4, med enkelte filer, for at demonstrere potentialer ved dashboardet. Selvom det er bekræftet, at dashboardet kan bearbejde alle input data fra filer, er det forventet, at håndtering af data i databasen kan tilføje kompleksitet til løsningen. Der skal etableres en database ved brug af .sql-fil beskrevet i afsnit 4.2.2.4. Der er dog ikke taget stilling til hvordan data skal indsættes til databasen. Manuelle inputs kan stadig håndteres ved brug af Excel-regneark, hvor brugeren kan indtaste dataene på hvert projekt, maskine, m.m. Denne metode for håndtering af manuelle inputs vurderes at være mere effektiv, sammenlignet med direkte input af data i Power BI. Det kan dog være nødvendigt at undersøge andre muligheder for håndtering af manuelle inputs ved et større antal projekter og maskiner.

Maskinstyringsdata er indsat i databasen som en fil for hver maskine. Det antages dog, at maskinstyringsdata kommer som et live datafeed i et virkeligt projekt. Derudover er håndtering af datafeed fra maskinstyringsystemer installeret på flere maskiner, hvilket kan forårsage udfordringer med databasen. I proof of concept er der anvendt et simuleret datasæt, der indeholder data kun på 2 timer fordelt i minutintervaller. Hvis der skal håndteres livefeed fra flere maskiner med sekundintervaller i længere tidsperiode, kan det pludselig overbelaste databasen. Derudover er det ikke nødvendigt at beholde disse data, da produktionsnøgletal kan udregnes for specifikke tidsintervaller og indsættes i databasen. Dette kan eksempelvis gøres med et Python script. Oplagring af produktionsnøgletal er nødvendigt for at have adgang til historisk data.

Det var påpeget mangel på interoperabilitet mellem maskinstyringssystemer fra forskellige producenter. Derfor er databearbejdningsmetode foreslået som en del af proof of concept gældende kun for anvendt dataset. Det anses, at der kan opstå udfordringer ved håndtering af data fra andre maskinstyringssystemer. Dette kan skyldes andet dataformatering hos andre systemudbydere. Derfor skal der tages højde for dette i videreudvikling af løsningen.

Den automatiske jordberegningss metode i mængdeberegningssafsnittet skulle anvende en DTM, hvilket er grunden til at Figur 51 viser DTM i den foreslåede struktur af dashboardet. Det beskrives i resultatafsnittet, at der manglede integration mellem Power BI og Revit. Der findes intet plug-in til at inddrage en terrænmodel i et dashboard, af den grund benyttes ArcGIS Maps i stedet. Derved kan jordmængder ikke udtrækkes fra DTM og indsættes i Power BI. For at beregne mængder af jord, anvendes i stedet en omregningsfaktor. En omregningsfaktor er en metode, der benyttes til at groft estimere mængden af jord. Igennem rapportens interview med en regionsdirektør, er der givet et erfaringstal af omregningsfaktor på 1,7. Det vil sige, at 1 m³ jord giver 1,7 tons jord.

I forbindelse med opsætning af dashboard, er der opstået udfordringer med visualisering af positionsdata direkte i DTM, da der ikke blev fundet indbyggede værktøjer til at gøre det med. Derfor skal der undersøges andre lignede værktøjer med større funktionalitet. Ellers skal muligheder for visualisering i DTM, som en del af Power BI dashboard, undersøges videre, evt. udarbejdelse af add-in til Power BI kan overvejes. At skulle anvende en DTM ville medføre andre problemer for dashboardet. Det havde krævet, at modellen indeholder de specifikke koordinater, som er de gule prikker i ArcGIS Maps. Hvis disse skulle indsættes på en DTM, skulle der udvikles et Dynamo eller Python script til at indsætte koordinaterne på terrænmodellen. Denne terrænmodel skulle herefter opdateres og indsættes i dashboardet, hvilket ikke kan gøres automatisk. Hvis en bedre integration forekommer i Power BI, kan en DTM indsættes i dashboardet i fremtidigt arbejde.

Et af de nøgletal som ikke kunne estimeres i dashboardet er *Afvigelse fra nominel produktivitet* for en dumper. Dette skyldes, at nominel produktivitet af dumperen ikke oplyses af producenten. Nominel produktivitet er afhængigt af kørt afstand mellem på- og aflæsningssted og *nominel kapacitet*, og det vil derfor variere på tværs af projekter. Alternativt kan erfaringstal fra tidligere projekter anvendes.

Igennem rapportens undersøgelse kan der ikke direkte påvises, at der er kommet en øget kvalitet. Med det sagt, kan der argumenteres for, at løsningsforslaget understøtter beslutningstagningsprocessen. Ved at løsningsforslaget gør projektlederen opmærksom på tomgangstiden på maskiner igennem dashboardet, kan spildtiden reduceres til minimum. Derved leverer den foreslåede løsning et beslutningsgrundlag til projektlederen iht. ressourceallokering. Når spildtiden reduceres, resulterer dette i en reduktion af omkostninger. Derfor kan der argumenteres for, at løsningsforslaget indirekte øger kvaliteten af et byggeprojekt i forbindelse med planlægning og ledelse af projektet.

I feedbackafsnittet blev der indhentet feedback på løsningsforslaget fra en regionsdirektør fra tidligere interviews og en projektleder. Den generelle konsensus var, at dashboardet gav god mening, og kunne være et nyttigt værktøj. Med det sagt, kom dashboardet også med begrænsninger og dele, som kunne forbedres eller ændres. Noget som bl.a. manglede, var tidsintervaller på tomgangstid og visualisering af lokation på gravemaskine og dumper. Disse tidsintervaller kan ses, hvis visualiseringer markeres inde i dashboardet. Regionsdirektøren ønskede derudover linjer eller forbindelse mellem punkterne på visualisering af lokation på gravemaskine og dumper. Dette kan overvejes i fremtidigt arbejde af dashboardet. Projektlederen foreslog i sin feedback, at dashboardet anvendes i opstart af et projekt til bygherregodkendelse. Formålet med dashboardet i denne rapport er at skulle anvendes som et beslutningsstøttesystem i udførelsen af jordarbejde. Men det er også en mulig, at dashboardet anvendes som et værktøj til at estimere omkostninger på gravemaskiner i opstarten af et byggeri. Dette gøres ved at anvende erfaringstal fra tidligere projekter.

Den foreslåede løsning muliggør automatisk dokumentering af det udførte arbejde. Dette muliggøres ved, at det udførte arbejde kan publiceres direkte i Power BI. Løsningsforslaget understøtter også beslutningstagningsprocessen ved at automatisere databearbejdningsprocessen i jordarbejde, som ifølge beslutningsrisiko-pyramiden giver information og derved overblik over produktionsprocessen, herunder visualiseringer af nøgletal og lokation af maskiner. Dette danner projektlederens dataunderstøttede beslutningsgrundlag i byggeprojektet. Projektlederens arbejdsproces er ikke direkte automatiseret af løsningsforslaget, men beslutningsgrundlag for at kunne foretage beslutninger beregnes automatisk.

I dette diskussionsafsnit er rapportens undersøgelse og dens relevans vurderet. Igennem diskussionen er løsningsforslaget diskuteret i forbindelse med metoder, begrænsninger, state-of-the-art og feedback. I næste afsnit konkluderes der på rapportens besvarelse af problemformuleringen.

6 Konklusion

Igennem indledningen er der fundet brancheproblematikkerne: *budget- og tidsoverskridelser, spildtid, manglende teknologianvendelse og automatisering af arbejdsprocesser*. Baseret på disse problematikker er en problemformulering udledt. Denne problemformulering udgør undersøgelsesgrundlaget til rapporten og beskrives således:

Hvad er potentialet for anvendelse af informationsteknologi til automatisering af arbejdsprocesser, med henblik på minimering af spildtid og reduktion af omkostninger indenfor jordarbejde?

For at besvare problemformuleringen er der anvendt metoder til at undersøge og analysere problemfeltet. Til at indsamle teoretisk viden omkring problemfeltet anvendes litteratursøgningsmetoden. For at opnå praktisk viden anvendes en *case study* sammen med *Seven stages of an interview inquiry* og *observationer*. Igennem disse metoder indsamles viden, der danner et helhedsbillede af problemfeltet.

Vidensgrundlaget udarbejdes igennem afsnittet problemanalyse, som indeholder det teoretiske afsnit *Jordarbejde* og det praktiske afsnit *Case study*. *Jordarbejde* danner den teoretiske viden og inddeles i tre underafsnit. *Dataindsamling* introducerer koordinatdata og Digital Terræn Model (DTM), som anvendes senere i løsningsforslaget. *Mængdeberegningssnittet* beskrev den manuelle og automatiske metode til mængdeberegning af jord. Sidste afsnit *Opgravning, flytning og indbygning af jord* giver en forståelse for de anvendte maskiner og teknologier i byggeriet. *Case study* danner grundlag for den praktiske viden, med udgangspunkt i erhvervslivet i anlægsbranchen. Efterfølgende er der foretaget tre interviews. Herefter analyseres den nuværende arbejdsproces i jordarbejde for at finde forbedringsområder, som peger på problematikker i arbejdsprocessen. På baggrund af den indsamlede viden i interviews, observationer og den nuværende arbejdsproces, kunne der sammenfattes fire genkommende problematikker: *Manglende kvalitet, underudnyttelse af tilgængelige data, tomgang på maskiner og forøget anvendelse af ressourcer*.

For at udarbejde et løsningsforslag vælges *Design Science Research (DSR)*, fordi den strukturerer udviklingen af et produkt. Derudover anvendes eksisterende forskning fra state-of-the-art. Den relevante forskning vælges ud fra rapportens problemanalyse og giver inspiration til løsningsforslaget. I starten af løsningsforslaget findes en flaskehals i den nuværende arbejdsproces. Flaskehalsen er tomgangstid på en gravemaskine og dumper.

På baggrund af forbedringspotentialerne, problematikkerne, state-of-the-art og flaskehalsen udarbejdes en konceptuel model af et beslutningsstøttesystem. Formålet ved beslutningsstøttesystemet er at levere et analyseværktøj til projektlederen, som kan anvendes til bedre planlægning af arbejdsprocessen samt reduktion af tomgangstid på maskiner. Ud fra den konceptuelle model udarbejdes et informationsflow, der har til formål at understøtte løsningsforslaget. Informationsflowet er et grundlag for løsningsforslaget, da den definerer adskillige dele af beslutningsstøttesystemet, herunder brugerbehov, brugerflade, databearbejdning, datalagring og data.

Proof of concept udarbejdes på baggrund af informationsflow. Et dashboard danner grundlag for beslutningsstøttesystemet, hvilket er lavet i Power BI. Dashboardet kan anvendes af projektlederen til at visualisere relevante informationer. Disse er fordelt på fire faner: *Manuelle inputs, Produktionsnøgletal, Oversigt over byggeplads og Visualisering*. Simuleret dataset anvendes i proof of concept. Dashboard leverer visualisering af informationer. Disse visualiseringer kan anvendes af projektlederen til at understøtte sine beslutninger ift. Optimering af produktionsprocessen og allokering af maskiner til opgaven.

Dashboardet kan anvendes af en projektleder til at dokumentere udført arbejde og bestemme, hvorvidt der skal foretages ændringer i projektet, vedrørende allokering af gravemaskiner og dumpere. En fordel ved anvendelse af et dashboard som et visualiseringsværktøj i beslutningsstøttesystemet er, at dashboardet tilføjer gennemsigtighed til produktionsprocessen. Derudover giver dashboardet projektlederen et værktøj til overvågning af maskiner og produktionsnøgletal ud fra indsat data. Dette kan resultere i reduktion af tomgangstid på maskiner, bedre anvendelse af ressourcer, tilgængeligt data og dermed en indirekte påvirkning af byggeprojekts kvalitet.

Løsningsforslaget er udarbejdet for at kunne bevise problemformuleringens spørgsmål, om hvad potentialet er, for at anvende informationsteknologi til automatisering af arbejdsprocesser indenfor jordarbejde til reduktion af spildtid og omkostninger. Det som blev fundet i rapporten og som baseres på indhentet feedback er, at dashboardet giver en projektleder overblik over informationer i et projekt, herunder tomgangstid og omkostninger. Potentialet er derfor, at der er mulighed for at minimere spildtid og reducere omkostninger i et projekt, ved at løsningsforslaget automatiserer databearbejdningsprocessen i jordarbejde. Dette gør at projektlederens beslutningsgrundlag beregnes automatisk. Projektlederen kan derved danne et overblik over produktionsprocessen, planlægge bedre og dermed tage mere data-understøttede beslutninger til at lettere styre byggeprojektet.

I rapportens næste afsnit *Perspektivering*, beskrives hvordan løsningsforslaget kan perspektiveres til andre undersøgelsesformål. Derudover beskrives der i perspektiveringsafsnittet hvordan løsningsforslaget og rapportens problemfelt kan viderebearbejdes.

7 Perspektivering

Rapportens problemformulering stiller spørgsmål til automatisering af arbejdsprocesser med fokus på spildtid og omkostninger. I dette afsnit beskrives hvordan løsningsforslaget kan ændre fokus til f.eks. at inddrage bæredygtighed, herefter beskrives hvordan løsningsforslaget kan forbedres og hvilken metode, som kan anvendes til implementering af løsningsforslaget i virksomheder.

7.1 Bæredygtighed

Et andet relevant undersøgelsesområde, som rapportens problemfelt ikke inddrager, er bæredygtigheds elementer. Livscyklusvurdering (LCA) og CO₂ udledning nævnes også i indhentet feedback, som værende relevante overvejelser i rapporten. Grundet rapportens problemformulering er bæredygtigheden ikke undersøgt, men kan i fremtidigt arbejde vurderes. Ved tomgangstid på maskiner udledes unødigt CO₂, som kan udregnes og eventuelt tilføjes løsningsforslagets dashboard. Et andet bæredygtighedstiltag som kan undersøges, er håndtering af overskudsjord. Overskudsjord er en uudnyttet ressource med flere muligheder, der kan spare penge og gavne miljøet. Projektet *Helhedsorienteret Bæredygtig Jordhåndtering* er et projekt, der forsøger at håndtere, at lastbiler unødigt flytter millioner tons overskudsjord i bygge- og anlægsprojekter, der leder til problemstillinger som CO₂-udledninger, støj og partikelforurening. Disse bæredygtighedstiltag kan danne undersøgelsesgrundlag og være tilføjelser til denne rapports løsningsforslag i fremtidigt arbejde (Helhedsorienteret Bæredygtig Jordhåndtering, 2018).

7.2 Automatisering af inputs

I fremtidigt arbejde er det muligt at videreudvikle beslutningsstøttesystem således, at manuelle inputs erstattes med automatisk input til systemet. Dette kan gøres ved at hente disse data fra et andet IT-system i en virksomhed, hvis dette er til stede. Eksempelvis kan budget- og omkostningsdata, timepriserne på maskiner, løn, serviceomkostninger, samlet budget m.m. indhentes fra et økonomistyringssystem. Data omkring tidsplan for et projekt kan indhentes fra projektstyringssystem. Det er muligt at tilslutte flere datakilder i Power BI (Microsoft Docs, 2021b). Derfor vurderes det at være muligt. Disse muligheder skal undersøges nærmere i fremtidig forskning.

7.3 Implementering af dashboard

Fremtidig forskning bør også undersøge hvordan den foreslåede løsning kan implementeres i virksomheder. *Magic Bullet Theory* og *Technochange* foreslår en metode for implementering af IT-løsninger i virksomheder. Teorien undersøger, hvordan implementeringsprocessen kan integreres på tværs af organisationen, for at opnå de ønskede resultater (Markus & Benjamin, 1997). *Actor-Network Theory* kan også anvendes, for at forstå hvordan IT-systemer påvirker den eksisterende organisation og arbejdsgange i en virksomhed og omvendt (Mähring et al., 2004). Disse teorier kan eksempelvis anvendes som implementeringsgrundlag for løsningsforslaget i virksomheder.

8 Bibliografi

- Ahmed, N., Hong, A. J., Ku, H., Moon, S., & Moon, S. (2017). Technical Review of Automated System Application to Earthworks in Australia –Machine Control Systems, Laser Leveling Guidance Systems, GPS Systems, Radio Guidance Systems, 2D & 3D Laser and Radio Positioning Guidance System. *34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2017) Using, Isarc.*
- Amazon Web Services (AWS). (2021). *What is a Relational Database?* <https://aws.amazon.com/relational-database/>
- Bech, M., & Papers, H. E. (2005). *Privat inddragelse i finansiering , byggeri og drift af offentlige anlægsinvesteringer med særlig vægt på sundhedsområdet : Udenlandske erfaringer og danske muligheder.*
- BFA. (2017). *GRAVEARBEJDE VED BYGGERI OG ANLÆG Branchevejledning om.*
- Brinkmann, S., & Kvale, S. (2018). Doing Interviews. In *Doing Interviews*. <https://doi.org/10.4135/9781849208963.n1>
- Bügler, M., Ogunmakin, G., Teizer, J., Vela, P. A., & Borrmann, A. (2014). A comprehensive methodology for vision-based progress and activity estimation of excavation processes for productivity assessment. *EG-ICE 2014, European Group for Intelligent Computing in Engineering - 21st International Workshop: Intelligent Computing in Engineering 2014*, 1–10.
- Byggeriets Uddannelser. (2019). *Brugen af ny teknologi – status og behov Juni 2019 Resumé Forord Indholdsfortegnelse.*
- Cannas, A., Tedeschi, L. O., Atzori, A. S., & Lunesu, M. F. (2019). How can nutrition models increase the production efficiency of sheep and goat operations? *Animal Frontiers*, 9(2), 33–44. <https://doi.org/10.1093/af/vfz005>
- Chen, C., Zhu, Z., Hammad, A., & Akbarzadeh, M. (2021). Automatic Identification of Idling Reasons in Excavation Operations Based on Excavator–Truck Relationships. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 35(5), 04021015. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000981](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000981)
- Correia, A. G., & Parente, M. (2018). Coupled ICT and Dynamic Optimization Tools Toward an Integrated Earthwork Management System. In X. Shi, Z. Liu, & J. Liu (Eds.), *Proceedings of GeoShanghai 2018 International Conference: Transportation Geotechnics and Pavement Engineering*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0011-0>
- dbml.org. (2021). *DBML - Database Markup Language*. <https://www.dbml.org/home/>
- Dell’Amico, M., Fuellerer, G., Hoefinger, G., & Novellani, S. (2019). A Decision Support System for Earthwork Activities in Construction Logistics. In *AIRO Springer Series* (Vol. 2). https://doi.org/10.1007/978-3-030-25842-9_13
- Deloitte. (2013). *Baggrundsrapport for analyse af den danske byggesektor*. 65. https://www.trafikstyrelsen.dk/~media/Dokumenter/15_byggeri/Byggepolitik/branchekortlaegning_af_den_danske_byggesektor_140513_final.ashx
- Deloitte. (2020). *Bygge- og anlægsbranchen 2020.*
- Digitalt Vækstpanel. (2017). *Danmark som digital frontløber*. 58.
- Dresch, A., Lacerda, D. P., & Antunes Jr., J. A. V. (2018). Design-science research. In *Research Methods: Information, Systems, and Contexts: Second Edition*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102220-7.00011-X>

- Dubé, L., Paré, G., Dubé, L., & Paré, G. (2016). Rigor in Information Systems Positivist Case Research: Current Practices, Trends, and Recommendations. *Case Studies*, 27(4), IV141–IV141. <https://doi.org/10.4135/9781473915480.n65>
- Efteruddannelsesudvalg, J. (2009). *Nivellering og afsætning i haveanlæg*.
- Environmental Systems Research Institute, I. (2016). *What is a TIN surface?—Help | ArcGIS for Desktop*. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm>
- EU Agency for the Space Programme. (2021). *What is GNSS?* <https://www.euspa.europa.eu/european-space/eu-space-programme/what-gnss>
- EUBIM Task Group. (2016). Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector. *EU BIM Task Group*, 84.
- Flyvbjerg, B., Holm, M. K. S., & Buhl, S. L. (2003). How common and how large are cost overruns in transport infrastructure projects? *Transport Reviews*, 23(1), 71–88. <https://doi.org/10.1080/01441640309904>
- Harbin, A. L. (2001). *Land Surveyor Reference Manual*.
- Haronian, E., & Sacks, R. (2020). Production process evaluation for earthworks. *IGLC 28 - 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020*, 589–600. <https://doi.org/10.24928/2020/0020>
- Haronian, E., & Sacks, R. (2021). Production Control in Earthworks: Concepts and Metrics. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(10), 04021127. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002091](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002091)
- Helhedsorienteret Bæredygtig Jordhåndtering. (2018). *Jordhåndtering*. <http://jordhåndtering.dk/rådgiver/tidlig-planlægning/overordnet-jordhåndtering>
- Hirt, C. (2014). *Encyclopedia of Geodesy*. 2–7. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-02370-0>
- Hoan, L. Q., Jeong, C. S., Kim, H. S., Yang, H. L., & Yang, S. Y. (2011). Study on modeling and control of excavator. *Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2011*, 969–974. <https://doi.org/10.22260/ISARC2011/0179>
- Kirchbach, K., Aziz, Z., & Tezel, A. (2015). *Earthworks Control Automation*.
- Kirchbach, K., Bregenhorn, T., & Gehbauer, F. (2012). Digital Allocation of Production. *IGLC 2012 - 20th Conference of the International Group for Lean Constructio*.
- Kirchbach, K., Koskela, L., & Gehbauer, F. (2014). Digital kanban for earthwork site management. *22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Understanding and Improving Project Based Production, IGLC 2014*, 663–676.
- Kirchbach, K., Steuer, D., & Gehbauer, F. (2013). Introduction of a digital earthwork construction site. *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2013, IGLC 2013*, 110–119.
- Leica Geosystems. (2021). *Machine Control Solutions*. <https://leica-geosystems.com/products/machine-control-systems>
- Li, Z., Zhu, Q., & Gold, C. (2005). DTM Principles and Methodology. In *Digital Terrain Modeling*.
- Lin, C., Hsie, M., Hsiao, W., Wu, H., & Cheng, T. (2012). Optimizing the Schedule of Dispatching Earthmoving Trucks through Genetic Algorithms and Simulation. *Journal of Performance of*

- Constructed Facilities*, 26(2), 203–211. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0000219](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000219)
- Lucidchart. (2021). *ER Diagram (ERD) - Definition & Overview*. <https://www.lucidchart.com/pages/er-diagrams>
- Mähring, M., Keil, M., Holmström, J., & Montealegre, R. (2004). Trojan actor-networks and swift translation: Bringing actor-network theory to IT project escalation studies. *Information Technology & People*, 17(2), 210–238. <https://doi.org/10.1108/09593840410542510>
- Markus, M., & Benjamin, R. (1997). The Magic Bullet Theory in IT-Enabled Transformation. *Sloan Management Review*, 38(2), 55–68.
- Mckinsey Global Institute. (2017). *Reinventing construction: a route to higher productivity*. www.mckinsey.com/mgi.
- Microsoft Docs. (2021a). *Database normalization description*. <https://docs.microsoft.com/en-us/office/troubleshoot/access/database-normalization-description>
- Microsoft Docs. (2021b). Hvad er Power BI? *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 2013–2015.
- Microsoft Docs. (2021c). *What is a dashboard and how do I open it?* <https://docs.microsoft.com/en-us/power-bi/consumer/end-user-dashboards>
- Miljøministeriet. (2015). Danmarks Højdemodel, DHM/Punktsky. *Geodatastyrelsen*, 1–11.
- Miljøstyrelsen. (2017). *Kortlægning af jordstrømme* (Issue 1947).
- Naghshbandi, S. N., Varga, L., & Hu, Y. (2021). Technology capabilities for an automated and connected earthwork roadmap. *Construction Innovation*. <https://doi.org/10.1108/CI-02-2021-0022>
- National Academies of Sciences, Engineering, and M. (2018). Use of Automated Machine Guidance within the Transportation Industry. In *The National Academies Press*. Transportation Research Board. <https://doi.org/10.17226/25084>
- Neergaard, H. (2007). *Udvaeltgelse af cases*.
- Novatron. (2021). *What is machine control?* <https://novatron.fi/en/what-is-machine-control/>
- Object Management Group. (2011). Business Process Model and Notation (BPMN). *Business Model and Notation*, 1(January), 429–453. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-799959-3.00021-5>
- Oracle. (2021). *What Is a Database*. <https://www.oracle.com/database/what-is-database/>
- Pan, Y., & Hou, L. (2017). Lifting and parallel lifting optimization by using sensitivity and fuzzy set for an earthmoving mechanism. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 231(2), 192–203. <https://doi.org/10.1177/0954407016660454>
- Parente, M., Cortez, P., & Correia, A. G. (2015a). An evolutionary multi-objective optimization system for earthworks. *Expert Systems with Applications*, 42(19), 6674–6685. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.04.051>
- Parente, M., Cortez, P., & Correia, A. G. (2015b). Combining data mining and evolutionary computation for multi-criteria optimization of earthworks. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 9019, 514–528. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15892-1_35
- Pradhananga, N., & Teizer, J. (2015). Cell-based construction site simulation model for earthmoving

- operations using real-time equipment location data. *Visualization in Engineering*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s40327-015-0025-3>
- Rienecker, L., Stray, P., & Jørgensen, S. (2012). *Den gode opgave : håndbog i opgaveskrivning på videregående uddannelser* (4. udgave). Samfundslitteratur.
- Rifai, A. I., Latief, Y., & Rianti, L. S. (2018). Data mining applied for earthworks optimisation of a toll road construction project. *MATEC Web of Conferences*, 195, 04019. <https://doi.org/10.1051/MATECONF/201819504019>
- Rowley, J. (2007). The wisdom hierarchy: Representations of the DIKW hierarchy. *Journal of Information Science*, 33(2), 163–180. <https://doi.org/10.1177/0165551506070706>
- Særlige Arbejdsbeskrivelser (SAB). (2021). *Jordarbejder Supplerende bestemmelser til AAB-Jordarbejder*.
- Seo, J., Lee, H., Cassule, L. N., & Moon, S. (2015). Machine guidance based site control technology (SCT) for earthwork equipment fleet. *32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining: Connected to the Future, Proceedings*. <https://doi.org/10.22260/isarc2015/0061>
- Shah, R. K., Dawood, N., & Castro, S. (2008). Automatic generation of progress profiles for earthwork operations using 4D visualisation model. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 13(September), 491–506.
- Shah, S., & Hastak, M. (2008). *ACQUISITION AND ANALYSIS OF EARTHWORK PAY QUANTITY VERIFICATION DATA*. 1, 11.
- Stępień, G. (2018). Method of the determination of exterior orientation of sensors in hilbert type space. *Sensors (Switzerland)*, 18(3). <https://doi.org/10.3390/s18030891>
- Topcon. (2021). *Machine Control - The Basics*. <https://www.topconpositioning.com/gb/insights/machine-control-basics>
- Trafikstyrelsen. (2021). *Oversigt over støjkloder ved anlægsarbejde i opstartsaktiviteter*.
- Trenter, N. A. (2015). *Earthworks : a guide*. Thomas Telford.
- U.S. Department of Transportation. (2013). *Automated Machine Guidance with Use of 3D Models—Executive Summary*.
- Ullvit, J., & Matthiesen, L. F. (2009). *Landmåling - en introduktion* (1st ed.). Nyt Teknisk Forlag.
- Vennapusa, P. K. R., White, D. J., & Jahren, C. T. (2015). Impacts of Automated Machine Guidance on Earthwork Operations. *Construction Engineering and Management*, 207–215. https://lib.dr.iastate.edu/ccee_conf/34%0Ahttps://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1032&context=ccee_conf
- Wohlin, C. (2014). *Guidelines for Snowballing in Systematic Literature Studies and a Replication in Software Engineering*. 148, 148–162.
- Yin, R. K. (2013). *Case study research : design and methods*.
- You, K., Ding, L., Zhou, C., Dou, Q., Wang, X., & Hu, B. (2021). 5G-based earthwork monitoring system for an unmanned bulldozer. *Automation in Construction*, 131(February), 103891. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103891>

9 Bilag

Bilag 1 - Interview noter (.pdf)

Bilag 2 - Observationer (.pdf)

Bilag 3 - Nuværende arbejdsproces (BPMN) (.pdf)

Bilag 4 - Foreslået struktur af dashboard (.pdf)

Bilag 5 – Databasestruktur i DBML (.txt)

Bilag 6 – Databasestruktur (.sql)

Bilag 7 – Dataset (.zip)

Bilag 8 – Dashboard (.pdf)

Bilag 9 – Dashboard (.pbix)

Bilag 10 – Feedback (.pdf)