



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp.

Fakultetet for realfag og teknologi
Professor Nils Bjugstad

Utvikling og utredning av design- og forsøkskonsept for vindmåleinstrument tilpasset åkersprøyte

Development and report of a design- and
experiment concept for a wind measurement
instrument adapted to the field sprayer

Guro Vassend

Maskin, prosess og produktutvikling
Fakultetet for realfag og teknologi

Utvikling og utredning av design- og forsøkskonsept for vindmåleinstrument tilpasset åkersprøyte

Av
Guro Vassend



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Mastergradsarbeid for realfag og teknologi

Norges Miljø og Biovitenskapelige Universitet

Våren 2018



FORORD

Denne masteroppgaven skrives som en avslutning av et femårig sivilingeniørstudium innen maskin, prosess og produktutvikling ved Fakultetet for realfag og teknologi ved Norges Miljø- og biovitenskapelige universitet. Dette prosjektet er planlagt og rapporten er skrevet våren 2018.

Ved å studere på NMBU har fokuset på miljø og bærekraft preget studiegangen, og hatt en stor innflytelse på meg som person og de valgene jeg tar i hverdagen. Jeg er født og oppvokst på en melkegård i Porsgrunn, hvor jeg har fått mye input om landbruk og matproduksjon allerede fra tidlig alder. Samtidig er fokuset på bruk av plantevernmidler økende i dagens samfunn, og da særlig med tanke på hvilke giftstoffer vi mennesker får i oss gjennom mat, samt hvilke konsekvenser dette kan gi på lang sikt. Det er derfor av interesse å skrive en landbruksrelatert masteroppgave som kan være med på å optimalisere den norske, konvensjonelle matproduksjonen ved å redusere overflødig bruk av plantevernmidler. Hensikten med oppgaven er å utvikle et vindmåleinstrument som kan plasseres på traktoren eller sprøyta ved sprøyting av plantevernmidler. Instrumentet kan gjøre det enklere for bonden å sprøyte under ideelle forhold hvilket vil optimere vekstresultatet og samtidig unngå sløsing av plantevernmiddel både på veksten og i omkringliggende økosystemer.

Jeg vil rette en stor takk til professor Nils Bjugstad, min hovedveileder og oppdragsgiver på dette masterprosjektet. Hans gode kunnskap og engasjement har vært til stor hjelp underveis i prosessen både ved konsultasjon, hjelp med fagstoff og testing. Jeg vil også takke førsteamanuensis Jan Kåre Bøe som min biveileder, og for all hjelp med metodikken underveis i oppgaven. Avdelingsleder ved NMBU Signe Kroken, førsteamanuensis Mareile Astrid Wolff, førsteamanuensis Geir Terjesen og senioringeniør Tom Ringstad har vært til stor hjelp ved konsultasjon og kunnskap omkring vind, teknologien ved vindmåling, beregningsteknikk og hvordan måle absolutt vindhastighet. Dette har hjulpet meg til å se flere problemstillinger og løsninger enn jeg hadde klart å se selv. Jeg ønsker også å takke senior rådgiver Tone Merete Gislesen fra Mattilsynet region øst for tiden hun satt av til intervju og hennes gode og oppklarende svar omkring bruken av plantevernmidler.

Ønsker også å takke min kjære familie og mine gode venner for alle støtten jeg har fått gjennom hele masterperioden. Jeg vil rekke en spesiell takk til pappa Lars Vassend for gode erfaringer når det kommer til å dele kunnskap om sprøyting og landbruk, mamma Hilde Vassend, Marie Hammer Iversen og Silje Kristine Larsen som har hjulpet til med korrekturlesing av oppgaven, samt Elise Marie Eriksen som har hjulpet til med å få en god flyt i det engelske språket i abstractet.

Ås, 15. Mai 2018

Guro Vassend



SAMMENDRAG

I dagens samfunn er det et stadig økende fokus hos både produsenter og konsumenter på mat, dens kvalitet og fremstilling, samt menneskets påvirkning på miljøet. Innenfor landbruket har flere bønder og produsenter av landbruksutstyr de siste årene blitt mer bevisste på tiltak som kan redusere avdriftsmengden ved sprøyting med plantevernmidler. Dette gjelder da særlig ved bruk av giftstoffer i nærheten av sensitive soner som for eksempel vannforekomster og oppholdssteder for barn. Hjelpemidler for reduksjon av avdrift i det norske og internasjonale landbruket ansees som svært aktuelle med tanke på nåtidens og fremtidens matproduksjon.

Hovedmålsettingen for dette masterprosjekt er å utrede, utvikle og designe en potensiell løsning for måling av absolutt vindstyrke, samt utforme tekniske beskrivelser og anvisninger. Vindmåleinstrumentet sin hovedhensikt er å gi tilstrekkelig informasjon slik at spredningen kan foregå under optimale forhold, og på den måten være med på å redusere avdriftsmengden ved spredning av plantevernmidler i landbruket. Denne rapporten vil fungere som et forprosjekt for videre testing og utvikling av et vindmåleinstrument. Produktmålsettingen er å konstruere et vindmåleinstrument som kontinuerlig måler den absolutte vindstyrken under utendørs sprøyting ved bruk av åkersprøyte. Vindens hastighet og retning skal enkelt kunne avleses fra førersetet i kjøretøyet, og dermed gi kontinuerlig informasjon om sprednings-forholdene. I Norge i dag er den øvre grensen for maksimal tillatt vindhastighet for sprøyting satt til 5 m/s, men på grunn av manglende egnede måleutstyr, er dette et krav som er vanskelig å overholde.

For å komme frem til et anbefalt testkonsept ble det gjennomgått flere prosessstrinn, som gjennom ulike steg ligger til grunn for videre arbeid og testing. Prosessstrinnene består av et omfattende litteraturstudium, metodebeskrivelse, konseptutredning og konseptvalg, eksperttesting, enkel modellering og evaluering. Litteraturstudiet omfatter i hovedsak studie av sprøyting, plantevernmidler, vind og eksisterende vindmåleinstrumenter. Metodikken tar for seg aktuell terminologi og begreper, samt presentasjon av metodene og løsningsverktøyene benyttet i oppgaven. Ved bruk av SCAMPER blir løsningsalternativer og konsepter utviklet på en ryddig og åpen måte. Pughs metodikk er et matematisk og objektivt verktøy som benyttes ved seleksjon og utvelgelse av best egnede løsning. Både Pugh og SCAMPER er flittig benyttet gjennom hele utviklingsprosessen av vindmålekonseptet tilpasset utendørs bruk tilpasset et kjøretøy. I konseptgenereringen ble det redegjort for ulike forslag til løsningsalternativer. Disse ble evaluert opp mot tiltenkte produkttegenskaper knyttet til produktmålsettingen, samt analysert og sammenlignet i en konseptscreening. Her ble to ulike alternativer, sonisk vindmåler og klassisk anemometer tatt med videre. Begge alternativene har en plassering på kjøretøyets tak og dataoverføring inn til et display på dashbordet.

Da det finnes interessant å undersøke målepresisjonen til de to foretrukne alternativene sammenlignet med en helt enkel og primitiv løsning, blir i tillegg en svært forenklet vimpelløsning med plassering på kjøretøyets panser presentert og utredet for videre arbeid. Vimpelløsningen ble konstruert for å tåle vibrasjoner og støt fra kjøring på ujevnt underlag, slag fra lavhengende grener, uten å blokkere for unødvendig mye sikt på panseret. Dette har resultert i et 400 mm høyt vimpelstativ med en diameter på 7mm. En rød nylonvimpel er festet på tuppen av vimpelbommen med en M6-skrue med krok. Graden av vimpelutslag angir vindens hastighet. Vimpelbommen kan svinge fritt omkring høydestangen for anvisning av vindretning. For økt stabilitet støttes høydestangen opp av fire symmetriske støttepilarer, samt er fastmontert på en stabil bunnplate.

Vimpelløsningen vil konstrueres i rustfritt stål med legeringer av nikkel og krom. Dette materialet er 100 % resirkulerbart, innehar høy styrke og er motstandsdyktig mot miljømessige faktorer som syrer og baser fra plantevernmiddelskyen, UV-stråling, fuktighet og lokal høy temperatur. Vimpel-stivet har en total vekt på 0,278 kg. Det satses fullt på produksjon i Norge, bruk av strøm som tilført energikilde, samt



full gjenvinning ved endt levetid. Konseptutviklings- og produksjonskostnaden for 10 000 enheter er på 1 030 000 NOK. Dette ga en minste enhetspris på 103 NOK for kun produksjon. For å oppnå fortjeneste vil utsalgspris være på 432,98 NOK.

Videre arbeid vil omhandle den fysiske utviklingen av et vindmåleinstrument. Av dette inngår forsøk basert på den utformede forsøksplanen med tilhørende forsøksledd presentert i kapittel 10. Resultatene vil analyseres for optimal videreutvikling av vindmålekonseptene.



ABSTRACT

In today's society, there is a continuous increasing focus from both producers and consumers in regard to food, both on the quality and presentation, as well as people's influence on the environment. Within livestock several farmers and producers of livestock equipment have the last years become more aware of measures which can reduce the amount of spray drift in regard to spraying and pesticides. Especially when it comes to the use of hazardous substances in close proximity to more sensitive areas such as occurrence of groundwater and areas utilised by children. Aids for reduction of spray drift in both the Norwegian and international agriculture is very current in regard to both today's and the future food production.

The main goal of this thesis is to examine, develop and design a potential solution for measuring the absolute wind force, as well as, develop technical descriptions and instructions. The main purpose of the wind measuring instrument is to give sufficient information to be able to have the spreading happen in the most optimal conditions, and in that way aiding in the reduction of spray drift amount when spraying pesticides on agricultural land. This thesis will work as a pre-project for further testing and development of a wind measuring tool. The Product goal is to construct a wind measuring tool which continuously measures the absolute wind force during outdoor spraying with the use of a field sprayer. The velocity and direction of the wind should be easily read from the driver seat in the vehicle, and in this way, give continuous information in regard to the spraying conditions. In Norway today the higher limit for maximum wind velocity when spraying is at five m/s, however, because of the lack of suitable measuring tools, the limit is difficult to maintain.

To be able to come up with a recommended testing concept there was undergone multiple process steps which through different steps makes up the foundation for further work and testing. The process steps consists of a substantial literature review, method description, concept examination, expert testing, a simple modelling and evaluation. The literature review consists mostly of spraying, pesticides, wind and existing wind measuring tools. The method description describes relevant terminology, as well as, a presentation of the methods and the solution tools utilised in the thesis. With the use of SCAMPER the different alternatives for solutions and concepts developed in a structured and open fashion. Pugh's methods are mathematical and objective tool which utilises selection of the most suitable solutions. Both Pugh and SCAMPER is frequently used throughout the development process of the wind measuring concept suited for outdoor use adapted to a vehicle. In the concept examination, different alternatives for solutions are investigated. The alternatives were evaluated based on the product abilities in regard to the goal of the product, as well as, analysed and compared in a concept screening. Two alternatives, sonic wind measurer and the classic anemometer, continued to further tests. Both alternatives would be placed on the roof of the vehicle and the data would be transferred to a display on the dashboard.

As it is interesting to investigate the precision to the two preferred alternatives that are compared with a simple and primitive solution, the alternatives with a simple pennant solution with placement on the hood of the vehicle is examined for future research. The pennant solution was constructed to stand vibrations and impact caused by driving on uneven surfaces, hits from low hanging branches, without blocking any necessary outlook. This resulted in a 400 mm tall pennant pole with a diameter of 7 mm. A red nylon pennant is attached at the tip of the pennant beam with a M6-screw with a lid. The level of pennant swing determines the velocity of the wind. The pennant beam is able to rotate freely around the pole to indicate the direction of the wind. For increased stability, the pole is supported by four symmetrical supportive pillars, as well as a stable bottom plate. The pennant solution will be constructed in stainless steel with alloy of nickel and chrome. The material is 100 % recyclable, has a high strength ability and is resistant to environmental factors such as acidic and alkaline substances from the pesticides, UV-radiation, humidity and local high temperatures. The pennant stand has a total weight of 0,278 kg. The production is set to be in Norway, with the use of electricity as the energy source, as well



as being fully recyclable. The concept development and production cost for 10 000 units is estimated to 1 030 000 NOK. This provides a minimum price for one unit at 103 NOK for only production. To be able to achieve a profit the sales price would be at 432,98 NOK.

Future work will involve the physical development of a wind measuring tool. This includes a trial based on the developed trial plan with the complementary trial stages presented in chapter 10. The result will be analysed for the optimal future development of the wind measuring concepts.



INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD.....	III
SAMMENDRAG	IV
ABSTRACT	VI
1. INNLEDNING	1
1.1. Bakgrunn	1
1.2. Eksisterende teknologi for vindmåling.....	3
1.3. Oppdragsbeskrivelse og fokuspunkter	5
1.4. Problemstilling	5
1.5. Regelverk, markedsbehov og potensiale	6
1.5.1. Regelverk.....	6
1.5.2. Markedsbehov	6
1.5.3. Potensiale.....	7
1.6. Teknologiske flaskehalsar	8
2. PROSJEKTPLAN	9
2.1. Prosjekt målsetting	9
2.1.1. Hovedmål	9
2.1.2. Delmål	9
2.2. Arbeidsplan med milepæler.....	9
2.3. Avgrensninger	10
3. METODEBESKRIVELSE.....	11
3.1. Terminologi og begreper	11
3.1.1. Begreper og definisjoner	11
3.1.2. Symboler og enheter.....	12
3.1.3. Beregningsformler.....	14
3.2. Metodebruk og løsningsverktøy	15
3.2.1. Pughs metodikk	15
3.2.2. Integriert produktutvikling (IPD)	16
3.2.3. SCAMPER	16
3.2.4. Programvare	17
3.3. Prosesstrinn	17
3.4. Kvalitetssikring og standarder.....	18
4. TEORI OG TEKNOLOGI	19
4.1. Vind.....	19
4.1.1. Globale vindforhold.....	19



4.1.2.	Lokale vindforhold	20
4.1.3.	Ruhet og dragkoeffisient	21
4.1.4.	Porøsitet.....	22
4.1.5.	Vindenergi	22
4.1.6.	Laminær og turbulent luftstrøm.....	23
4.1.7.	Logaritmisk vindprofil.....	25
4.2.	Sprøyteprosessen.....	25
4.2.1.	Overordnet sprøyteprosedyre	26
4.2.2.	Dyser	27
4.2.3.	Sprøytevæske.....	27
4.3.	Avdrift.....	28
4.3.1.	Måling av avdrift.....	29
4.3.2.	Buffersone	30
4.3.3.	Forhold som påvirker avdrift.....	30
4.4.	Konkurrerende løsninger og teknologi	31
4.4.1.	Vindmåling på seilbåt.....	32
4.4.2.	Vindmåling på sprøytetog	32
4.4.3.	AMAZON WindControl og ArgusTwin	32
4.5.	ISOBUS hos traktor.....	33
5.	PRODUKTSPEISIFISERING.....	34
5.1.	Produktmåling (Customers needs).....	34
5.1.1.	Produktmål	34
5.1.2.	Delmål	34
5.2.	Rangering av produkttegnisger	34
5.3.	Metriske grensespesifikasjoner	36
5.4.	Tidlig kostnadsvurdering.....	36
6.	KONSEPTGENERERING.....	37
6.1.	Funksjonsanalyse for produkttypen.....	37
6.2.	Funksjonsalternativer med skisser.....	37
6.2.1.	Måle vindens hastighet og retning.....	38
6.2.2.	Visualisering.....	39
6.2.3.	Plassering av måleinstrument	40
6.3.	Tidligvurdering av bruksbetingelser.....	42
6.3.1.	Vindhastighet ved ulik høyde.....	42
6.3.2.	Maksimalt dråpeutslag ved 5 m/s vindhastighet.....	43
6.4.	Tidligvurdering av brukspåkjenninger	48
6.4.1.	Festemekanisme	48



6.4.2.	Absolutt vindhastighet.....	49
6.4.3.	Oppbevaring	49
6.4.4.	Utskiftbare komponenter	50
6.5.	Materialvalg.....	50
7.	EGENSCREENING OG KONSEPTVALG	52
7.1.	Utvikling av seleksjonsmatrise.....	52
7.2.	Egen konseptscreening	52
7.2.1.	Måling av vindens hastighet og retning.....	52
7.2.2.	Visuell visning av vinddata	53
7.2.3.	Plassering av måleinstrument	54
7.3.	Foretrukne løsningsalternativer	55
8.	PROTOTYPEUTVIKLING	56
8.1.	Prototypens design	56
8.1.1.	Alternativer fra konseptvalg	56
8.1.2.	Alternativ, forenklet løsning.....	56
8.2.	Prototyping	61
9.	EKSPERTTESTING	62
9.1.	Målsetting for testing.....	62
9.2.	Oppsett av spørreundersøkelse	62
9.3.	Presentasjon av ekspertpersoner.....	62
9.4.	Resultater fra eksperttesting	63
10.	OPPSETT FOR VIDERE FORSØK OG TESTING.....	65
10.1.	Forsøksmål	65
10.2.	Utstyr	65
10.3.	Forsøksledd	65
10.4.	Forsøksplan	66
10.5.	Resultatbehandling	67
11.	MILJØ, RESIRKULERING OG VEDLIKHOLD	68
11.1.	Materialeegenskaper.....	68
11.2.	Vedlikehold og overflatebehandling	68
11.3.	Miljøkrav og resirkulering.....	68
11.4.	Miljøanalyse	69
12.	PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN	70
12.1.	Sammenstilling	70
12.2.	Design av hovedelementer	71
12.3.	Design av komponenter	72
12.4.	Standardkomponenter.....	74



13.	FRAMSTILLING, KOSTNADER OG RISIKO	75
13.1.	Produksjonsmetode for stativ	75
13.2.	Kostnadskalkyle for prototype	76
13.3.	Kostnadsanalyse for serieproduksjon	77
13.4.	Break-even analyse.....	79
13.5.	Konkurrentanalyse.....	80
13.6.	Systemanalyse	80
13.7.	Risikoanalyse.....	81
13.8.	SWOT-analyse	81
14.	MARKEDSPRESENTASJON.....	83
14.1.	Rendrert fremstilling	83
14.2.	Produktnavn.....	85
14.3.	Varemerke	85
14.4.	Utsalg og emballasje.....	86
14.5.	Teknisk beskrivelse	87
15.	PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON.....	88
15.1.	Konseptutviklingsarbeidet.....	88
15.2.	Forbedringspotensialer	89
15.3.	Designrevisjon, produksjon og kostnadsreduksjon	90
16.	KONKLUSJON.....	91
16.1.	Resultater.....	91
16.2.	Videre arbeid	92
16.3.	Anbefalinger.....	92
16.4.	Videreutviklingsmuligheter.....	93
17.	KILDER	94
	Tabelloversikt.....	96
	Figurliste.....	97
VEDLEGG		100
A:	Tabell kapittel 6.3.2. Maksimalt dråpeutslag ved 5 m/s vindhastighet	100
B:	Spørreundersøkelse.....	101
C:	Svar spørreundersøkelse	102
	Ekspertperson: Lars Vassend	102
	Ekspertperson: Roar Meen	102
	Ekspertperson: Jon Asper	102
	Ekspertperson: Olav Tveit.....	103
D:	Sammenstilling vimpelstang	104
E:	Mekaniske produktgenskaper for vimpelstativ	106

1. INNLEDNING

Innledningsvis vil det bli redegjort for oppgavens bakgrunn, problemstilling og markedspotensial. Det vil bli gjennomgått hvilken eksisterende vindmåleteknologi som finnes for måling av vindvektor, samt drøfting av teknologiske flaskehalsen knyttet til utvikling av vindmåleinstrument festet på kjøretøy.

1.1. Bakgrunn

De siste årene har holdningene i det norske samfunnet endret seg, og fokuset på bruk av plantevernmidler har økt kraftig. Det har blitt utført flere forskningsprosjekter på næringsinnhold i mat som er sprøytet med plantevernmidler kontra ikke sprøytet. Det har blitt studert hvilken påvirkning plantevernmidler har på jordsmonn, omkringliggende vannkilder og planters resistans, samt dyre- og insektiv i nærliggende økosystemer. Forbrukerne blir stadig mer miljøbevisste, hvilket påvirker valgene som tas og deres holdning til plantevernmidler, økologiske produkter og en bærekraftig utvikling. Som et resultat av det norske regelverket for bruk av tillatte plantevernmidler, samt samfunnets forbrukerpreferanser, ligger Norge i verdenstoppen når det kommer til å minimere bruk av plantevernmidler i det konvensjonelle landbruket [1]. En tidligere undersøkelse viste at plantesykdommer, skadedyr og ugress reduserer verdens planteproduksjon innen åtte av de viktigste kulturene for verdens mat-produksjon; ris, kaffe, bomull, bygg, mais, potet, hvete og soyabønner, med hele 42 % [2].



Figur 1.1-1: Bilde A. Illustrerer sprøyting av eng ved hjelp av traktor. Bilde B. Illustrerer manuell sprøyting av radkultur i drivhus [3, 4].

Hovedhensikten ved å benytte plantevernmidler er å fremme vekst ved å beskytte planten mot skade, forebygge mot sykdom og smitte ved innlandsproduksjon, og ved import av planter, samt regulere planteveksten. Plantevernmidler er med på å sikre en god plantehelse i Norge og gi et konkurransefortrinn med tanke på kvalitet i norsk jordbruksproduksjon [1]. Ved riktig bruk av plantevernmidler antas 15 % forbedring av vekstskvalitet [5]. Plantevernmidler blir kategorisert inn i tre hovedgrupper etter hva de skal beskytte mot. Kategoriene er soppmiddel, skadedyrmiddel og ugressmiddel. Enkelte plantevernmidler er kjemiske blandinger som i tillegg til beskyttelse kan gi planten økt holdbarhet, fremme plantens vekst og øke levetiden til selve plantevernmiddelet etter den er sprøytet på planten [6].

Per dags dato har mattilsynet godkjent 240 kjemiske og mikrobiologiske preparater for yrkesbruk og hobbybruk [7], samt 26 godkjente preparater for økologisk plantevern [8]. Det er i dag ca. 40.000 jordbruksbedrifter i Norge [9], hvor kun fem % av disse drives økologisk [10]. Nedenfor presenteres fordelingen av jordbruksområder oppgitt i dekar. I Norge anses kun tre % av det totale arealet, altså 9,4 millioner dekar som dyrket mark. Av dette arealet utgjør produksjon av korn, oljevekster, frukt og bær til sammen 36 %. De resterende områdene blir benyttet som innmarksbeite, referert til som eng [1].

Tabell 1.1-1: Oversikt over fordelingen av jordbruksvekster i norsk landbruk basert på Areal. Tallene er innhentet fra ulike kilder presentert etter hver type jordbruk.

Type jordbruk	Areal [dekar]
Korn og oljevekster totalt [11]	2 890 000
Bygg	1 380 000
Havre	750 000
Kveite	665 000
Annet	95 000
Frukthager [12]	20 000
Drivhus totalt [13]	2 600
Matproduksjon	206
Golfbane [14]	49 000
Innmarksbeite/ eng [15]	6 400 000
Sum	9 361 600

Nedenfor presenteres oversiktstabeller som illustrerer omfanget av plantevernmidler i Norge, samt hvilken hovedgruppe plantevernmiddelet tilhører. Plantevernmidlene i Tabell 1.1-2 og Tabell 1.1-3 blir hovedsakelig benyttet i det konvensjonelle landbruket.

Tabell 1.1-2: Oversikt over omsatt mengde plantevernmidler i Norge i 2017 målt i tonn [16].

Type middel	Omsatt mengde aktivt stoff [tonn]	Omsatt mengde preparat [tonn]
Soppmiddel	121,9	360,9
Skadedyrmiddel	6,9	151,6
Ugrasmiddel	692,2	2415,7
Andre	62,2	94,6
Sum alle midler:	883,2	3022,8

Tabell 1.1-3: Fordelingen av den totale mengde aktivt stoff blant yrkesbruk og hobbybruk [16].

Fordeling Aktive stoffer	Omsatt mengde [tonn]	Omsatt mengde [%]
Yrkespreparater	750,7	85
Hobbypreparater	132,5	15

Av Tabell 1.1-2 kommer det frem at bruken av ugressmiddel er klart mest utbredt i Norge, både som aktivt stoff og preparat. Av mengden aktivt stoff blir hele 85 % benyttet som et yrkespreparat, altså at man trenger gyldig autorisasjonsbevis for å kunne kjøpe og benytte midlene. I Tabell 1.1-3 er fordelingen av aktive stoffer og preparater presentert. Da plantevernmidler blant annet er beregnet på å utrydde uønsket vegetasjon, samt hindre sopp- og insektangrep, kan avdrift av plantevernmidler utrydde viktige levesteder for organismer med sitt naturlige habitat omkring åkeren. Med avdrift menes plantevernmidler som ikke treffer tiltenkt mål. Plantevernmidler har særlig negative konsekvenser ved kontakt med vannforekomster, da vannmiljøer er svært følsomme for forurensning, samt et viktig miljøelement for alle levende organismer. Avdrift kan altså ha indirekte effekt på det totale nærliggende økosystemet [1].

For å minimere avdrift er det foreslått flere tiltak. Tiltakene er blant annet å benytte lav dysehøyde på maksimalt 400 mm fra dysespiss til plantetopp, sprøytebommen føres med jevn hastighet og benytte dyser som ikke gir for finfordelte dråper. Plantevernmidelforskriften anbefaler vindhastighet opptil tre m/s og en maksimal vindhastighet på fem m/s [17].



Figur 1.1-2: Illustrasjon av dysehøyde på åkersprøyte. h representerer høyden. [18]

Selv om det er et krav om føring av tre ulike journaler ved bruk av plantevernmidler som krever autorisasjonsbevis, er kontrollen av dette satt til et minimum. Det kontrolleres kun at plantevernjournalene føres i tråd med forskriftene, men ikke opp mot faktisk tilstand [19]. Det er heller ikke satt noen standard målemetode for hvordan eller hvor hyppig vind skal måles under sprøyting. Vindens hastighet og retning kan variere mye på kort tid, samt ved endring av måleposisjon. Dette fører til at risikoen for sprøyting ved vindhastighet over den maksimalt tillatte hastigheten er tilstede. Det er derfor hensiktsmessig med et måleapparat som kontinuerlig registrerer vindhastighet og retning under sprøyting. Dette gjelder da særlig om sprøytingen foregår i nærheten av vannforekomster, da plantevernmiddelet kan påvirke vannets miljø, som igjen har vist å gi svært negative ringvirkninger for omkringliggende økosystem.

1.2. Eksisterende teknologi for vindmåling

Vindmåling har vært aktuelt i århundrer, og utallige ulike metoder og teknologier har blitt utviklet for nettopp dette formålet. Nedenfor vil ulike vindmålingsteknologier presenteres kort med tilhørende virkemåte, nisjeområder og eventuelle aktuelle bruksområder, samt grad av presisjon. Teknologiene som presenteres vil enten måle vindhastighet, vindretning eller begge deler.



Figur 1.2-1: Klassisk anemometer [20]

Anemometer viser både retning og vindstyrke. Dette skjer ved at vinden treffer halen på pilen slik at tuppen peker i vindens retning. Propellklokkene sin rotasjonshastighet øker i takt med vindstyrken. Antall rotasjoner per tidsenhet kan summeres, og dermed angi et uttrykk for vindhastigheten. Denne teknologien blir blant annet benyttet ved vindmåling på seilbåt i kombinasjon med en GPS for måling av absolutt hastighet. Noe unøyaktighet ved måling av svært lave vindhastigheter på grunn av oppstartsfriksjon i propellarmene må påberegnes.



Figur 1.2-2: Vindmølle [21]

Vindmølla fungerer svært likt som et klassisk anemometer. En svingarm angir vindretningen og styrer propellene 90° på vindretningen. Antall propellrotasjoner per tidsenhet kan summeres opp, og gir dermed et mål på vindhastigheten. For at vindmøllearmene skal begynne å rotere, kreves en viss vindhastighet for å overvinne oppstartsfriksjonen. Dette kan gi noe unøyaktighet ved svært lave vindhastigheter.

Vindmøller kan benyttes i strømproduksjon, men da er møllene bygget i mye større skala enn for måling av vind.



Figur 1.2-3: Håndholdt vindmåler [22]

Håndholdt vindmåler med illustrasjonsvindu for nøyaktig avlesing av vindens styrke. Måleinstrumentet holdes opp i vinden slik at ikke kroppen skjærer for vindmålingen. Propellene på oversiden av displayet vil da rotere. Høy vindstyrke gir høy rotasjons hastighet på propellbladene. Dette måleinstrumentet benyttes oftest av privatpersoner som selv ønsker å følge med på vindstyrken. Det forutsettes at personen holder måleinstrumentet 90° på vindretningen, hvilket kan gi en relativt stor feilkilde [22].



Figur 1.2-4: Vindhøne med pendel [23]

Vindhøne med pendel som angir både vindretning og vindhastighet. Vindhønens nebb peker mot vinden og angir dermed vindretningen, mens en pendelarm måler styrken på vinden. Vinden vil dytte pendelen bakover, og pendelens utslag angir vindens styrke. Vindstyrken kan leses av ved å sammenlikne pendelutslaget med verdiene markert på hønens kropp [21].



Figur 1.2-5: Vindsokk [24]

Vindsokk illustrer vindretningen og dens hastighet på en enkel og lettlest måte. Vindsokken angir ikke helt nøyaktig verdi for vindstyrken, men gir en god illustrasjon. Sokken blir dratt med vinden, slik at jo nærmere vannrett sokken henger, jo sterkere vind er det. Vinden blåser fra senter ved festestangen mot ytterste hvite sirkel. Vindsokken benyttes ofte på bruer, flyplasser eller andre steder hvor en fører har behov for enkel vindavlesning.



Figur 1.2-6: Vindvimpel [25]

Vindvimpelen viser både vindhastighet og retning, og fungerer på samme måte som en vindsokk. På grunn av vindvimpelens lave egenvekt, vil vimpelen være svært ømfintlig og reagerer på svak vind. Dette gjør vimpelen godt egnet der hvor det stilles høye krav til presisjon, for eksempel skiskytterstadion. Vimpelen fungerer dårlig ved moderat til høy vind da vimpelen vil henge horisontalt, og klarer derfor ikke differensiere vindstyrken [25].



Figur 1.2-7 Sonisk vindmåler, xy-retning [26]

Sonisk anemometer måler luftfuktighet, temperatur, vindhastighet og vindretning i xy-retning. Denne soniske vindmåleren sender svært korte ultralydsekvenser mellom sensorene. Vinden vil påvirke sekvensene. Dette vil sensorene registrere, og kan dermed angi dataen på et display. Denne typen soniske vindmålere har en nøyaktighet på 1-1,5% og måler fra 0-45 m/s [26].



Figur 1.2-8: Sonisk vindmåler, xyz-retning [27]

Sonisk Vindmåler er et presist måleinstrument for vindhastighet og vindretning i xyz-retning, luftfuktighet og temperatur. Dette gjøres ved å sende svært korte ultralydsekvenser mellom sensorene. Vinden vil påvirke sekvensenes bølgelengde, som vil bli avlest av sensorene. Sensorene registrerer hver minste lille endring, hvilket kan benyttes til å angi dataen på et display. Soniske vindmålere for xyz-retning har en nøyaktighet på 1-1,5% og måler fra 0-75m/s [27]. Tre-akset sonisk anemometer er godt egnet for målinger av turbulens [26].



Figur 1.2-9: Termisk vindmåler [28]

Termisk anemometer måler temperatur, vindhastighet og retning ved kontinuerlig registrering av temperaturforskjeller i luften. Målingene blir gjort på den lille klump-liknende sensoren nederst på staven i Figur 1.2-9. Temperaturen vil synke med en gitt faktor ved økt vindhastighet. Denne faktoren kan benyttes til å angi vindens hastighet og retning. Termisk anemometer måler vind i xyz-retning og er spesielt nøyaktig i måleområdet 0-2 m/s. Termisk anemometer er godt egnet for måling av luftstrømmer [28].

1.3. Oppdragsbeskrivelse og fokuspunkter

Oppdraget som skal løses i dette masterprosjektet er å utvikle et testoppsett og komme med anbefalinger til et måleinstrument for kontinuerlig måling av absolutt vindhastighet og vindretning ved sprøyting av utendørs jordbruksareal med åkersprøyte. Instrumentet skal enten være festet på kjøretøyet mens det er i bevegelse, hvilket gjør at retningen og hastigheten til kjøretøyet ikke må påvirke verdiene måleinstrumentet viser, eller plassert på bakken med mulighet for trådløs dataoverføring. Måleinstrumentet må kunne utføre målinger både ved kjøring i rette og svingete partier. Dette krever at måleinstrumentet henger med på retningsendringen. Resultatene skal vises visuelt, være lett synlige fra førersetet i kjøretøyet, samt være enkle å tyde mens sprøytingen pågår. I og med at dagens sprøyter er uten innebygd vindmåler, skal instrumentet være rimelig i pris. Instrumentet må enkelt kunne monteres på og av traktoren ved bruk, samt inneha muligheten for høydejustering.

1.4. Problemstilling

Problemstillingene vil bli lagt frem som en punktvis konkretisering av de hovedspørsmålene som skal besvares gjennom arbeidet med prosjektoppgaven. De aktuelle problemstillingene knyttet til dette masterprosjektet er som følge;

- Hvilke løsninger og utstvarsvarianter for vindmålinger eksisterer allerede, og hvilke av disse er mest aktuelle for tilpasninger til dette formålet med hensyn til kompleksitet, bruksegenskaper og kostander?
- Hvordan bør testoppsettet for utvelgelse og testing av konsepter gjennomføres?
- Hvor bør måleinstrumentet/instrumentene plasseres for et mest mulig stabilt og presist resultat i forbindelse med en maskin og redskap som beveger seg?
- Hvilken utforming/teknisk løsning for vindmåleinstrumentet vil være best egnet for registrering av hastighet og retning på vinden?
- Hvordan kan vindinformasjon best overføres og visualiseres for sprøytemanskap?

1.5. Regelverk, markedsbehov og potensiale

Videre i dette kapitlet vil regelverk, markedsbehov og potensiale drøftes for å sammenligne produktet med utvendige faktorer, samt belyse hvilke muligheter produktet innehar. Forskriftene for sprøyting med plantevernmidler og journalføring vil legges frem med en kort forklaring omkring ordlyden i loven. Markedspotensialet knyttet til omfang for åkersprøyter og tåkesprøyter vil presenteres, samt potensialet til et vindmåleinstrument vil bli drøftet kort.

1.5.1. Regelverk

Det er et stadig økende fokus på plantevernmiddelbruken i det norske og utenlandske landbruket, både fra matvareprodusent og forbruker sin side. 15. Juni 2015 trådte de nye forskriftene som omhandler bruken av plantevernmidler i kraft i Norge [29]. Denne forskriften implementerer EU sine føringer for plantevernmiddelbruk inn i det norske landbruket, og fokuserer særlig på økt bruk av integrert plantevern, IPV, for å minimere bruken av plantevernmidler. Ifølge forskriftene om plantevernmidler som regulerer journalføringen må tre ulike journaler føres som dokumentasjonsbevis ved bruk av plantevernmidler som krever autorisasjonsbevis [30]. Disse skal føres ved hver anledning plantevernmidler benyttes. Sprøytepersonell skal i tillegg følge anvisningene på plantevernmidlets etikett [29]. Plantevernjournalene er et tiltak som skal bevisstgjøre sprøytepersonell på bruken av plantevernmidler og eventuell risiko og konsekvenser. Dersom sprøytepersonell unnviker å føre journal gjentatte ganger, kan mattilsynet gi en skriftlig advarsel. Om forbedringen uteblir, kan autorisasjonsbeviset inndras og dermed vil vedkommende miste tillatelsen til å benytte plantevernmidler [19, 31].

Den første plantevernjournalen skal sikre en bevisst og forsvarlig spredning av plantevernmidler i nærheten av vannforekomster for å minimere risiko mot vannforurensning [19]. Denne journalen er i tråd med § 20. «*Plikt til å redusere risikoen for vannforurensning*» i forskriftene om plantevernmidler [29].

Den andre plantevernjournalen som skal føres ved bruk av yrkespreparater er knyttet til § 26. «*integrert plantevern*» [29]. Her skal det fremgå hvilke vurderinger som er gjort med tanke på faktisk behov for bruk av plantevernmidler, hvilke eventuelle prinsipper for alternativt plantevern som er anvendt, samt en begrunnelse for valgene som er tatt. Denne journalen skal bevisstgjøre sprøytepersonell på den generelle bruken av plantevernmidler, samt muligheten for å prioritere ikke-kjemiske midler og metoder fremfor kjemiske. Plantevernjournalen knyttet til IPV skal oppbevares i minst 3-5 år av sprøytepersonell [19].

I tillegg til disse to plantevernjournalene, skal en sprøytejournal føres. Dette er en rapportering omkring hva som faktisk har blitt gjennomført. Her skal blant annet område, tidspunkt, hvilket middel og dosering rapporteres [19].

1.5.2. Markedsbehov

I dag finnes det om lag 40.000 jordbruksbedrifter i Norge [9]. I Tabell 1.5-1 finnes en oversikt over fordelingen av jordbruksbedrifter i Norge i forhold til veksttype, samt endringen i antall jordbruksbedrifter fra 2015 til 2016 i prosent. I tillegg til veksttypene oppgitt i tabellen, vil det være jordbruksbedrifter med frukt og grønnsaker. Endringene gir en indikasjon på antall jordbruksbedrifter per veksttype i 2018. I Tabell 1.1-2 er det satt opp en oversikt over mengden plantevernmidler som er omsatt i Norge i 2017.

Tabell 1.5-1: Oversikt over fordelingen av jordbruksbedrifter som dyrker ulike typer vekster [32].

Type vekst	Antall jordbruksbedrifter 2016	Prosent endring fra 2015 - 2016
Korn og oljevekster	11 173	- 0,8
Potet	1 875	- 4,0
Eng til slått og beite	32 257	- 2,4

Hver veksttype har en unik utforming, som påvirker påføringen av plantevernmidler, samt hvilke skadegjørere som er aktuelle. For frukttrær og busker benyttes som oftest en tåkesprøyte. Tåkesprøyta sender ut finfordelt dråper med plantevernmiddel, som transporteres frem til målet ved bruk av en vifte [17]. Tåkesprøyta er illustrert i Figur 1.5-1. A. Avstanden fra sprøyte til blad kan være lang, som gjør tåkesprøyta er svært vindavhengig. Sterk vind kan føre sprøyteskyen vekk fra målet. Dette kan gi et ujevnt sprøyteresultat og økt mengde avdrift. Ved sprøyting i åker, eng og lave radkulturer fortrekkes en åkersprøyte, som illustrert i B. i Figur 1.5-1. Her sprøytes plantevernmiddel ut av dysene festet langs undersiden av bommen med en maksimal føringshøyde på 400 mm mellom dyse og vekst. Ved vind vil plantevernmidler også her kunne blåses omkring, og havne litt unna tiltenkt mål, men ikke i like stor grad som ved bruk av tåkesprøyte.



Figur 1.5-1: A. Sprøyting i frukthage med tåkesprøyte [33] B. Sprøyting på eng med åkersprøyte [34].

I dag baserer mye av vindmålingen blant sprøytepersonell seg på nettbaserte offentlige vindmålinger fra for eksempel yr.no, og/eller ved bruk av magefølelsen [19]. Ofte er vinden roligere morgen og kveld grunnet lavest temperaturforskjeller mellom jordoverflaten og havet [35]. Per dags dato er det ikke krav fra mattilsynet sin side at det skal utføres egne vindmålinger før og under sprøytingen. Det er mulig at dette vil bli strengere i fremtiden, hvilket vil gjøre en personlig vindmåler helt essensiell for sprøytepersonellet.

1.5.3. Potensiale

Avdrift kan anses som tap og dermed sløsing av plantevernmidler. Overforbruket av plantevernmidler kan reduseres ved oppsamling og gjenbruk av plantevernmidler eller økt presisjonen under sprøyting slik at plantevernmidlene treffer tiltenkt mål. Sprøytevæske er utvannet plantevernmiddel. Ved økt presisjon kan doseringen optimeres, både når det kommer til blandingsforholdet mellom vann og plantevernmidler, og ved beregning av mengde sprøytevæske som skal blandes for spredning. Økt presisjon kan gi lavere innkjøpsmengde av plantevernmidler.

Avdrift kan reduseres ved sprøyting under de rette forutsetningene med tanke på vind, luftfuktighet og temperatur. Sprøyting sterk vind kan føre plantevernskyen rundt, og inn i traktorhytta. Dette er særlig aktuelt om sommeren da høye temperaturer i kombinasjon med dårlig aircondition inne i traktorhytta gjør det fristende å åpne vinduet for å slippe inn luft. Direkte kontakt med plantevernmidler i for store mengder kan gi uønskede helseplager som etseskader, utslett, sårskader og luftveisproblemer.



Unngå avdrift, altså unngå sløsing, er fordelaktig både økonomisk, for de nærliggende økosystemene og for sprøytepersonellens helse.

1.6. Teknologiske flaskehalsler

De teknologiske flaskehalsene er tekniske og metodiske hindringer som kan oppstå underveis i prosjektarbeidet. Disse utfordringene må løses for å oppnå best mulig resultat i samsvar med produktmålsettingen. Tenkte teknologiske utfordringer knyttet til utviklingen av vindmåleinstrumentet vil være som følger;

- Kjøretøyets kjøreretning og hastighet påvirker vindmålingene.
- Ujevnt underlag, varierende helning og risting i utstyret påvirker måleresultatet.
- Kjøretøyet, eller annet utstyr festet på kjøretøyet, skjermer for vinden.
- Vinden måles i feil høyde over bakken i forhold til hva som er antatt.
- Festemekanismen til måleinstrumentet er for dårlig, slik at instrumentet rister en del, og kan falle av.
- Vanskelig å lese av riktig vindretning og hastighet.
- Ikke tilgjengelige materialer og komponenter for prototyping og testing.
- For mange forenklinger ved utregninger og simuleringer gir feil antagelser i forhold til virkeligheten.
- For store avvik ved målingene, det vil si grenseavvik større enn 5%.



2. PROSJEKTPLAN

Prosjektplanen fastsetter rammeverket omkring selve prosjektoppgaven. Det vil bli redegjort for prosjektmålsettingene, både det overordnede hovedmålet og tilhørende delmål. For et godt sluttresultat er det viktig med en nøye gjennomtenkt arbeidsplan med tilhørende milepæler basert på delmålene. Arbeidsplanen gir en tidlig oversikt over tiltenkt tidsbruk og aktiviteter som skal prioriteres. Det vil også bli presentert en oversikt over hvilke begrensninger som er gjeldene for dette masterprosjektet.

2.1. Prosjektmålsetting

Hovedmålet for denne masteroppgaven er bygget opp av flere delmål. Delmålene er konkrete arbeidsoppgaver for dette masterprosjektet, og danner grunnlaget for arbeidsplanen med tilhørende milepæler. Målsettingen vil være tilpasset realisme og tid i forhold til arbeidsmengde.

2.1.1. Hovedmål

Hovedmålet for masterprosjektet er som følger:

Å utrede, utvikle og designe en potensiell løsning for måling av vindens absolutte hastighet og retning med den hensikt å redusere farene for avdrift ved spredning av plantevernmidler ved bruk av åkersprøyt, samt utforme tekniske beskrivelser og anvisninger.

2.1.2. Delmål

Delmålene som inngår for å nå hovedmålet er som følger:

- Planlegge og beskrive metodisk grunnlag
- Utføre et litteraturstudium
- Utføre teknologiutredning på allerede eksisterende teknologi
- Gjennomføre en produktspesifisering
- Utrede metodebeskrivelse
- Utføre konseptutvikling samt valg av konseptdesign
- Utforme og designe i 3D
- Utforme testplan for videre arbeid i hovedprosjektet
- Utarbeide en produktplan og markedspresentasjon
- Innlevering, presentasjon og forsvaring av masteroppgave

2.2. Arbeidsplan med milepæler

Nedenfor er arbeidsplanen med tilhørende milepæler for prosjektoppgaven presentert som et Gantt-skjema. Arbeidsoppgavene tar utgangspunkt delmålene for prosjektet. De lysegule områdene markerer tidsrammen for arbeid med de ulike arbeidsoppgavene, mens de grå kryssene viser når hvert delmål skal være gjennomført. Eksakt dato for gjennomført milepæl er listet opp i kolonne nummer to. Hver måned er oppført med tilhørende ukenummer i delrad nummer to. Påsken er i år uke 13. Dette er markert med en grønn vertikal stripe. Masteroppgaven skal trykkes mandag 14.04.2018, og leveres innen tirsdag 15.05.2018 klokken 15:00.

Tabell 2.2-1: Arbeidsplan inndelt i uker med tilhørende milepæler, samt sluttdato for milepælene.

	Dato	Januar			Februar				Mars					April				Mai		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Prosjektplanlegging	25.01																			
Litteraturstudie	18.03																			
Eksisterende løsninger	25.02																			
Produktspesifisering	25.02																			
Metodebeskrivelse	04.03																			
Konseptutredning	09.03																			
3D-modellering	16.03																			
Utvikle testopplegg	20.04																			
Markedspresentasjon	02.05																			
Rapportskriving	12.05																			
Innlevering	15.05																			
Presentasjon/forsvaring *	18.06																			

* Presentasjon og forsvaring av master vil være den 18. juni.

2.3. Avgrensninger

Rammebetingelsene for masterarbeidet vil være satt til 4,5 måneder, med et totalt timeantall på 900 timer. Av dette inngår tid til utvikling av konsept, arbeid av rapport, og refleksjon. Underveis i rapporten vil flere begrensninger knyttet til beregningene bli presentert. Disse begrensningene gjelder kun lokalt for de beregningene begrensningene henvises til. Begrensningene for masterarbeidet vil være som følger;

- Det vil ikke bli tatt noen endelige valg av konsept, kun anbefalinger som kan tas med i videre arbeid.
- Det vil ikke bli utviklet en ny vindmålingsteknologi.
- Det vil ikke bli utført en CFD-analyse.
- Det vil ikke bli gått inn på teknologien for overføring av vinddata via kabel, bluetooth eller wifi.
- Det vil ikke bli utredet et konsept for festemekanisme.
- Det vil ikke bli gått nøyaktig inn på plasseringen til vindmåleinstrumentet. Kun den overordnede plasseringen vil presenteres.
- Det vil ikke bli gjort beregninger på om den effektive lengden rundt vimpelhullet er tilstrekkelig.
- Det vil ikke bli gitt forslag til produksjonsmetode av selve vimpelflagget og festeanretningen til kroken.
- Det vill ikke bli kjørt analyser i SolidWorks Flow Simulation for tidligvurdering av vindstrømmer omkring traktoren.
- Det vil ikke bli redegjort for flere alternativer til produksjonsmetode.
- Det vil ikke bli gjort avanserte beregninger og FEM-analyser utover teoretiske beregninger.
- Det vil kun bli gjennomført praktiske tester i den grad tiden strekker til.
- Det vil kun bli gjennomført enkle utregninger av brukspåkjenningene knyttet til vindmåleinstrumentet.
- Det vil kun bli gjennomført en grov økonomisk analyse.

3. METODEBESKRIVELSE

Metodebeskrivelsen er en konkret beskrivelse av hvilke metodiske tilnæringer som vil anvendes i prosjektarbeidet, samt en kort begrunnelse for hvorfor og hvordan disse metodeelementene vil bli anvendt i prosjektoppgaven. Prosesstrinnene for hvordan oppgaven er lagt opp vil illustreres i et prosessdiagram som vil bli diskutert i prosessdiskusjonen. Det vil bli redegjort for aktuelle begreper, definisjoner, symboler og beregningsformler med forklaringer og eventuelle benevninger.

3.1. Terminologi og begreper

Alle benevninger er angitt etter den internasjonale konvensjonen SI, som bygger på det metriske målesystemet. SI benyttes som måleenhet i ISO-standardene, og angir konkrete standarder for produkter og tjenester [36]. I tabellene nedenfor vil symboler, forkortelser, beregningsformler og notasjoner benyttet i prosjektrapporten bli presentert på en oversiktlig og kortfattet måte.

3.1.1. Begreper og definisjoner

Nedenfor vil ulike begreper og forkortelser med tilhørende forklaring benyttet i masterprosjektet presenteres. Begrepsforklaringen vil særlig omfatte fagord knyttet til plantevernmidler, jordbruk og vind, samt omhandler oppklarende begreps-spesifikasjoner fra det norske lovverket.

Tabell 3.1-1: Oversikt over begreper, samt tilhørende forklaringer.

Begrep	Forklaring
Yrkespreparater	Preparater som er beregnet for yrkesbrukere, og som det kreves autorisasjonsbevis for å kjøpe og bruke [29].
Hobbypreparater	Preparater som ikke trenger autorisasjon for å benyttes eller kjøpes [19].
Preparat	Preparat er selve produktet, altså det sammensatte produktet [19].
Aktivt Stoff/ Virkestoff	Virkestoff, også kalt aktivt stoff, er det/ de stoffene i preparatet som fungerer mot sopp/ ugress/ skadedyr eller liknende [19].
Koformulant	I tillegg til virkestoff inneholder alle preparater en del koformulanter som påvirker preparatets egenskaper. For eksempel holdbarhet, antiskum, forbedrer preparatets virkning, klebemiddel, spredemiddel, oppløsningsmiddel [19].
Sprøytevæske	Væsken det faktisk sprøytes med, og som avdriften består av. Sprøyte-væsken består hovedsakelig av vann, og om lag 5% plantevernmidler [30].
Slør	Skyen av sprøytemidler i bakkant av sprøyta.
Konvensjonelt landbruk	Tradisjonelt landbruk. Drives ved bruk av godkjente plantevernmidler.
Plantevernmidler	Stoff eller preparat som blir utgitt for å kunne verne mot eller dempe skadedyr, sopp, bakterier, virus og annet som kan gjøre skade på levende planter, medregnet plantedeler og såvarer, og likeledes stoff eller preparat mot ugras [31].
Pesticider	Internasjonale hovedbetegnelsen for plantevernmidler [6].
Korn og oljevekster	Planter med frukter eller frø som gir olje ved pressing. Eksempler på oljevekster er hamp, lin, raps, rybs, oliven, solsikke og soya [16].
Skifte/ felt	Området plantevernmidler har blitt benyttet eller skal benyttes på [19].
Avrenning	Sprøytevæsken renner av veksten og ned på bakken.
Integrert Plantevern	Ta i bruk alle teknikker og metoder som lar seg forene for å holde mengden skadegjørere under det nivået som gir økonomisk skade [37].

Tabell 3.1-2 forts.: Oversikt over begreper, samt tilhørende forklaringer benyttet masterprosjektet.

Begrep	Forklaring
Sensitivt område	Boligfelt, vannforekomster, sensitive avlinger eller områder med rikt biologisk mangfold [38].
Spredestyr	Alle apparater som er spesifikt beregnet på spredning av plantevern-midler, herunder tilbehør som er nødvendig for apparatets funksjon, f.eks. dyser, manometre, filtre, siler samt utstyr til rengjøring av tankene [29].
Vannforekomster	Avgrenset og betydelig mengde av overflatevann, som for eksempel innsjø, magasin, elv, bekk, kanal, fjord eller kyststrekning, eller deler av disse, eller en avgrenset mengde grunnvann innenfor en eller flere «akviferer» [29].
Habitat	En dyre- eller plantearts foretrukne oppholdssted.
Dekar	Måleenhet for areal. 1 dekar = 1 mål = 1000m ² = 1km ² .
Hektar	Måleenhet for areal. 1 hektar = 10 dekar.
ISO9000	Standard for kvalitetsstyring [39].
ISO128	Offisiell standard for tekniske tegninger og generelle prinsipper for presentasjon [36].
Vindstyrke	Begrep som omfatter både vindhastighet og vindretning.
Uforurenset vind	Nærmest laminær vind hvor vindstrømmen er relativt upåvirket av nærliggende gjenstander.
Operatør	Betegnelse på person som kjører spredningskjøretøyet. Henvises også til som fører, sprøytepersonell og bruker.

For bedre flyt i språket i rapporten vil enkelte ord kun skrives i sin forkortede variant. I Tabell 3.1-3 vil forkortelsene i denne prosjektoppgaven bli presentert.

Tabell 3.1-3: Oversikt over forkortelser som er benyttet i rapporten md tilhørende forklaring.

Forkortelse	Fullstendig ord
IPV	Integrert plantevern
IPD	Integrert produktutvikling
ISO	International Organization for Standardization
NS	Norsk Standard
EN	Europeisk Standard
SI	Systeme International d'Unités
ECU	Engine Control Unit
FEM	Finite Element Method

3.1.2. Symboler og enheter

I rapporten vil det bli benyttet symboler for illustrasjon eller i beregningsformlene. Hvert symbol vil være entydig, og dermed ha en tilhørende benevning fra det metriske målesystemet. Kommentar til de stjernemerkede benevningene finner sted i underkant av tabellen. Tabell 3.1-4 vil være todelt, hvor latinske bokstaver i alfabetisk rekkefølge presenteres øverst. Dermed følger greske symboler benyttet i oppgaven.

Tabell 3.1-4: Symboler med tilhørende beskrivelse og benevning benyttet i rapporten.

Symbol	Beskrivelse	Benevning [SI]
<i>A</i>	Areal	m ²
<i>a</i>	Akselerasjon	m.s ⁻²
<i>b</i>	Bredde	m



Tabell 3.1-5 forts.: Symboler med tilhørende beskrivelse og benevning benyttet i rapporten.

C_D	Dragkoeffisient	<i>Dimensjonsløs</i>
C_W	luftmotstandskoeffisient	<i>Dimensjonsløs</i>
D, d	Diameter. D = ytre/største, d = indre/minste	m
E	E-modul	MPa
E_K	Kinetisk energi	Joule*
E_P	Potensiell energi	Joule*
F	Kraft	N
F_L	Luftmotstand	N
G	Gravitasjonskraften som virker på et legeme	N
g	Tyngdeakselerasjon	m.s ⁻²
H, h	Høyde	m
L, l	Lengde, rørlengde	m
ΔL	Relativ forlengelse	m
K	Klassifiseringsgrense for plantevernmidler	<i>Dimensjonsløs</i>
k	Von Kármán konstant	<i>Dimensjonsløs</i>
M	Hastighet	m.s ⁻¹
m	Masse	Kg
N	Vektprosent for gitt giftstoff i plantevernmiddel	<i>Dimensjonsløs</i>
P	Effekt	W
p	Trykk	MPa**
Q	Volumstrøm	M ³ .s ⁻¹
r	Radius	m
Re	Reynoldstall	<i>Dimensjonsløs</i>
S	Strekning	M
t	Tid	S
V	Volum	m ³
v	Hastighet, strømningshastighet,	m.s ⁻¹
v^*	Friksjonshastighet	m.s ⁻¹
Gresk symbol	Beskrivelse	Benevning [SI]
ρ	Tetthet	Kg.m ⁻³
η	Dynamisk Viskositet	Pa.s
τ	Stress	MPa**
α	Utslagsvinkel	grader
Σ	Strekkspenning	MPa**
ϵ	Tøyning	<i>Dimensjonsløs</i>

1 bar = 100 kPa

*1 J = kg.m².s⁻² = N·m = W·s

** 1 MPa = 1 N.mm⁻²

Det vil bli benyttet notasjoner i beregningsformlene for å gi en bedre oversikt over hva som regnes ut i de ulike utregningene. De retningsforklarende notasjonene, x, y og z, er plassert bakerst ved bruk av flere forklarende notasjoner. Notasjonene som vil bli benyttet i denne prosjektoppgaven presenteres i Tabell 3.1-6 nedenfor. Bokstavene presenteres i alfabetisk rekkefølge. Tallene er listet opp kronologisk.

Tabell 3.1-6: Oversikt over notasjonene benyttet i beregningsformlene.

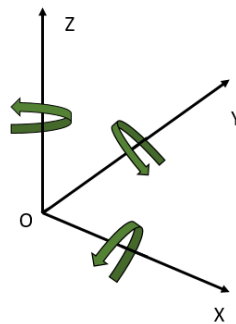
Notasjon	Forklaring
h	Hastighet
L	Luftmotstand

Tabell 3.1-7 forts.: Oversikt over notasjonene benyttet i beregningsformlene.

m	Midlere verdi
max	Maksimal verdi
R	Referanseverdi
tot	Total
T	Giftig – klassifisering av plantevernmiddel
$T+$	Svært giftig – klassifisering av plantevernmiddel
Xn	Helsefarlig – klassifisering av plantevernmiddel
x	X-retning
y	Y-retning
z	Z-retning
Tall	Forklaring
1	Situasjon 1, ofte referert til som start
2	Situasjon 2, ofte referert til som slutt

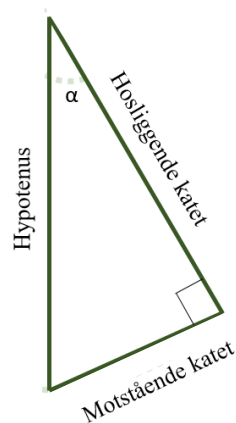
3.1.3. Beregningsformler

Det vil her bli redegjort for beregningsformlene, samt de positive retningene for bevegelse og rotasjon, benyttet i prosjektarbeidet. Enkelte formler vil kun bli definert i delkapittelet de blir benyttet.



Figur 3.1-1: Illustrasjon av de seks frihetsgradene med gjeldende positive retninger.

Koordinatsystemet for produktet som skal utvikles består av et system med totalt seks frihetsgrader. Tre frihetsgrader er knyttet til retning, altså x , y og z , og tre er knyttet til rotasjon. Positiv rotasjonsretning defineres med klokka, og er illustrert med grønne piler. Frihetsgradene er illustrert med positive retninger i Figur 3.1-1. I denne rapport vil dette aksesystemet hovedsakelig benyttes. Figur 3.1-2 illustrerer begrepsdefinisjonen for trekant.



Figur 3.1-2: Begrepsdefinisjon hos trekant.

I Tabell 3.1-8 vil beregningsformlene benyttet i prosjektarbeidet bli presentert sammen med en enkel forklaring og tilhørende indeks. De fleste formlene i tabellen er hentet fra Gieck Engineering Formulas [40]. De resterende formlene er tillært gjennom studiet eller funnet i relevant litteratur innenfor spesielle fagområder.

Tabell 3.1-8; Beregningsformler som er benyttet i rapporten.

Forklaring	Formel	Indeks	Forklaring	Formel	Indeks
Kinetisk Energi	$E_K = \frac{1}{2}mv^2$	3.1	Effekt	$P = v \cdot F$	3.2
Reynoldstall	$Re = \frac{\rho v L}{\eta}$	3.3	Kinematisk stress	$v_*^2 = \left \frac{\tau}{\rho} \right $	3.4
Kinematisk stress	$v_*^2 = C_D M_h^2$	3.5	Dragkoeffisient	$C_D = \frac{k^2}{\ln^2\left(\frac{H_R}{H_0}\right)}$	3.6
Bernoullis likning	$p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 = p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2$	3.7	Volumstrøm	$Q_V = \frac{V}{t}$	3.8
Volum av kule	$V = \frac{4\pi r^3}{3}$	3.9	Tetthet	$\rho = \frac{m}{V}$	3.10
Areal sirkel	$A = \pi r^2$	3.11	Luftmotstand	$F_{Lx} = \frac{1}{2}C_w A \rho v^2$	3.12
Newtons 2. lov	$\sum F = ma$	3.13	Bevegelseslikning	$2aS = v_2^2 - v_1^2$	3.14
Akselerasjon	$a = \frac{dv}{dt}$	3.15	Hastighet	$v = \frac{ds}{dt}$	3.16
Trykk	$\Delta p = \frac{F}{A}$	3.17	Bevegelsesmengde	$p = m \cdot v$	3.18
Potensiell energi	$E_p = mgh$	3.19	Volum kube	$V = b \cdot h \cdot l$	3.20
Strekkspenning	$\sigma = \frac{F}{A}$	3.21	Tøyning	$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$	3.22
Hooks lov	$\sigma = \varepsilon \cdot E$	3.23	Vindhastighet	$M_h = \frac{v_* \times \ln\left(\frac{H_R}{H_0}\right)}{k}$	3.24

3.2. Metodebruk og løsningsverktøy

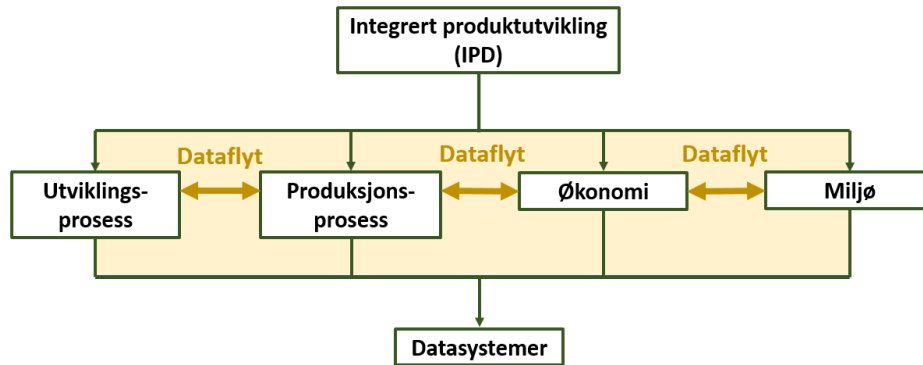
For å oppnå et best mulig sluttresultat for produktutviklingen vil ulike metoder og løsningsverktøy bli benyttet. Hovedtrekkene, samt hvor og hvorfor nettopp disse metodene og løsningsverktøyene har blitt benyttet, vil bli beskrevet i korte trekk nedenfor.

3.2.1. Pughs metodikk

Pughs metodikk er et matematisk datasystem som fungerer som et vektingsverktøy på matrisiform. Målet er å oppnå et objektivt og pålitelig resultat, slik at best egnede løsningen blir valgt [41]. Metoden omfatter også metrisk spesifisering. Den enkleste måten å vekte alternativene på er ved verdiene -1, 0, +1 eller i form av prosentandel. Høye summer er å foretrekke. Pughs metode sin største styrke er at matrisen kan omfatte komplekse vektninger, samt et stort mangfold av kriterier. Etter en vurderingsrunde oppnås enkelt et bilde av hvilken løsning som egner seg best, da løsningen kommer ut med høyest sluttpoengsum [41].

3.2.2. Integrrert produktutvikling (IPD)

Integrrert produktutvikling er en metode for å sette produktutvikling i system. Metoden fungerer som veiledning til et koordinert utviklingsløp for å sikre kvalitet i prosessen på tvers av fagområder ved fokus på dataintegrasjon. Selve hensikten er å øke effektiviteten, oppnå en lavere gjennomløpsti samt gi større læringseffekt i industrielle produktutviklingsprosjekter. Dette er en produktutviklingsmetode som egner seg godt for både store og små prosjekter og organisasjoner [42].



Figur 3.2-1: Illustrasjon av de ulike hovedelementene i IPD, samt hvordan disse henger sammen. De gule områdene viser dataflyt i produktutviklingen.

Integrrert produktutvikling skiller seg fra den tradisjonelle, ingeniørmessige tilnærmingen til produktutvikling, ved at IPD fokuserer mer på maksimal utnyttelse av ressursene i hver enkelt utviklingsoppgave gjennom en tverrfaglig tilnærming. Dette skaper en optimal industriell økologi. Industriell økologi er et begrep som benyttes om energi- og ressursflyten i industrielle systemer. Som pilene i Figur 3.2-1 indikerer, handler IPD om å innføre ulike datasytemer for å skape tverrfaglighet, samt et større faglig samspill mellom de ulike avdelingene. Dette gjøres ved å innføre rutiner og prosedyrer for organisering og arbeidsplanlegging, som underbygges av moderne datateknologi. Dataflyt er nøkkelen for optimal informasjonsflyt. Moderne teknologi blir benyttet for å oppnå et koordinert og effektivt utviklingsløp, hvor målet er å gjøre de riktige tingene til riktig tid. Opprinnelig er ikke «Miljø» et hovedelement i IPD slik som vist i Figur 3.2-1. Da dette er en svært miljørelevant oppgave ved universitet for miljø- og biovitenskap, ansees det som et viktig element for oppgaven. Det velges derfor å inkludere «Miljø» som et hovedelement i produktutviklingen [42].

3.2.3. SCAMPER

Osbornes SCAMPER er et kreativitetsverktøy og et hjelpemiddel for å komme opp med flere løsningsalternativer, og fungerer som en huskeliste med metoder man kan benytte for å åpne opp for nye løsninger [43]. Dette vil forbedre produktet, og vil være et viktig verktøy i funksjonsanalysen. Det er mulig å kombinere flere av punktene i SCAMPER for å komme frem til enda mer originale alternativer.

S	Substitute something	Erstatte noe
C	Combine it with something else	Kombinere noe med noe annet
A	Adapt something to it	Tilpasse noe til det
M	Modify or Magnify it	Endre eller forstørre noe
P	Put it to some other use	Bruk det til noe annet
E	Eliminate something	Eliminere noe
R	Rearrange or Reverse it	Vende om eller omorganiser det

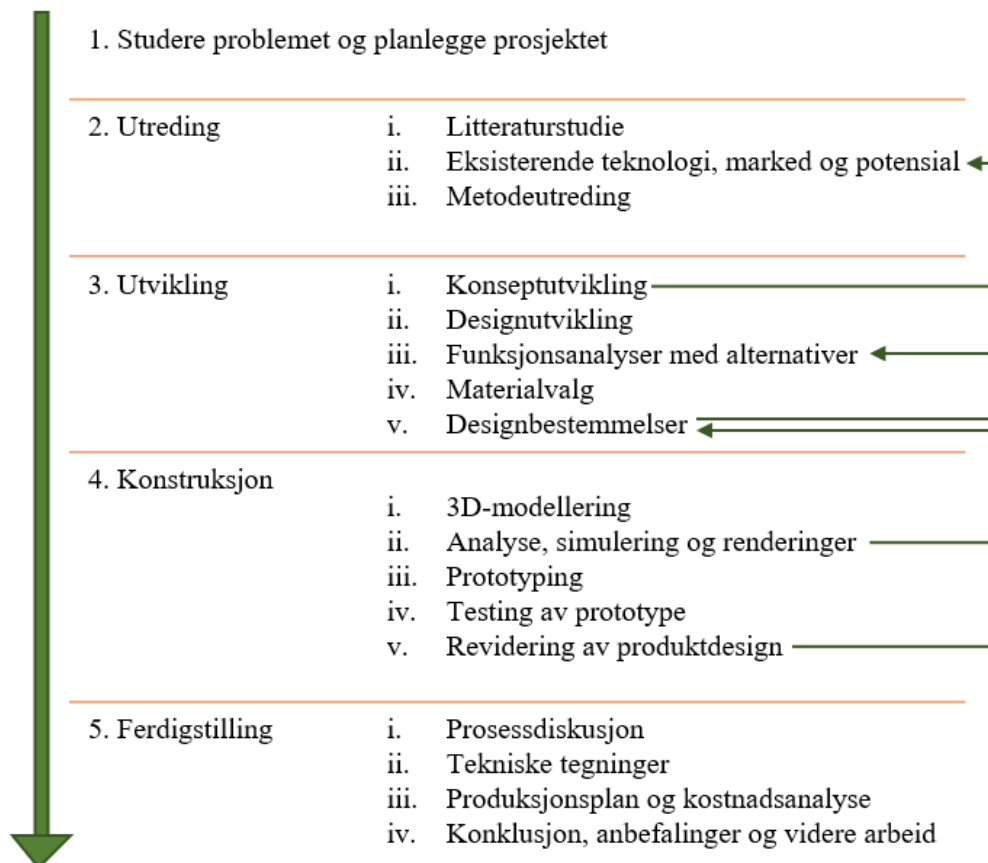
3.2.4. Programvare

De ulike programvarene som vil bli benyttet i dette prosjektarbeidet er som følger:

- Microsoft Excel 2016 - Office 365 - for diagrammer, tabeller og utregninger
- Microsoft PowerPoint 2016 - Office 365 - for å lage kollasjer og sette sammen bilder
- Dassault Systèmes - DAC 2017 - SolidWorks for 3D modellering og miljøanalyser
- EndNote X8 2016 - for kildehenvisning
- CES EduPack 2017 - for materialelegenskaper

3.3. Prosesstrinn

Utviklingsprosessen for masterprosjektet er et kontinuerlig forbedringsløp med mulighet for å bevege seg bakover ved behov, eller dersom tilleggsinformasjon legges til i løpet av perioden. Nedenfor finnes en visualisering av prosesstrinnene som illustrerer hvordan arbeidet med de ulike arbeidsoppgavene knyttet til masterprosjektet vil være. Prosesdiagrammet er bygget opp av fem hovedgrupper med tilhørende arbeidsoppgaver ordnet i kronologisk rekkefølge. Prosesdiagrammet vil bli benyttet som en del av bakgrunnen for prosessdiskusjonen og som evalueringsgrunnlag for prosjektets helhet.



Figur 3.3-1: Prosesstrinnene for masterprosjektet presentert i et prosesdiagram. Pilene på høyre side illustrere muligheten for å gå tilbake i prosjektarbeidet.



3.4. Kvalitetssikring og standarder

I denne rapporten vil det norske lovverket, norske og internasjonale standarder, dialoger med ekspertpersoner og forskrifter om plantevernmidler bli benyttet. Kvalitetsstyringen vil skje i henhold til NS-EN-ISO 9000 og ISO 9001 - standarden, tekniske tegninger vil følge NS-ISO 128-standarden og oppføring av størrelser og enheter vil følge ISO 31.

Hovedvekten av fysiske formler i rapporten vil være hentet fra skrevne kilder og teknologiske artikler, hvor formler fra Gieck Håndboken foretrekkes [40]. Generelt vil skrevne kilder foretrekkes fremfor nettkilder. Kildene som benyttes vil bli henvist til underveis i oppgaven. Ekspertpersoner vil bli benyttet underveis i oppgaven for konsultasjon.

Det vil bli tatt hensyn til tenkelige feilkilder i prosjektarbeidet. Disse vil bli omtalt underveis i rapporten. Tidlige tenkelige utfordringer presenteres i kapitlet «1.6. Teknologiske flaskehalsen». Da denne oppgaven omhandler måleinstrumenter, vil kalibrering av utstyret tas hensyn til. Måleresultatene vil være normalfordelt, hvilket gir måleresultatene et standardavvik.

4. TEORI OG TEKNOLOGI

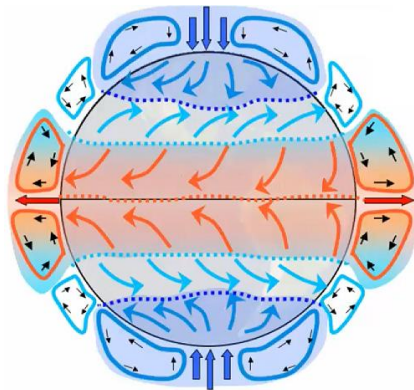
I dette kapitlet vil teorien omkring vind og dens bevegelse samt bevegelsesenergi diskuteres. Det vil bli sett på hvordan vinden påvirker graden av avdrift i landbruket, samt hvilke konsekvenser avdrift gir for omkringliggende økosystemer, vekstresultat, samt sprøytepersonell med tanke på økonomi og fysisk helse. Det vil i tillegg bli gjennomgått teknologier knyttet til visualisering av måleresultater, simuleringer av vindstrømning omkring kjøretøy og eksisterende konkurrerende løsninger.

4.1. Vind

De globale vindforholdene omfatter vindenes generelle og overordnede adferd grunnet jordens rotasjon og avstand til ekvator, mens de lokale vindforholdene omhandler påvirkningen av topografi og lokale høytrykk og lavtrykkforskjeller.

4.1.1. Globale vindforhold

Vind er luft i atmosfæren i bevegelse, som oppstår grunnet trykkforskjell mellom to luftmasser [35, 44]. Trykkforskjellen skyldes en kombinasjon av gravitasjonskraften, jordrotasjon og solas oppvarming av jordoverflaten. Sola avgir energi som varmer opp jordoverflaten. Som et resultat vil temperaturen i lufta øke og den varme lufta vil stige i atmosfæren. Det dannes da et lavtrykksområde langs bakkenivå. Kald luft er tyngre enn varm luft, hvilket fører til at tyngdekraften trekker den kalde luften ned mot jordoverflaten, og det oppstår et høytrykksområde langs bakkenivå. Vind oppstår som et resultat av at trykkforskjellene forsøkes å jevnes ut. Luftmolekyler sirkulerer fra overskuddsområder, høytrykk, til underskuddsområder, lavtrykk [35]. Det er ofte større temperaturforskjeller gjennom vinterhalvåret enn sommerhalvåret. Vinden vil derfor være kraftigere om vinteren enn om sommeren. Det samme gjelder for høylandet versus lavlandet.

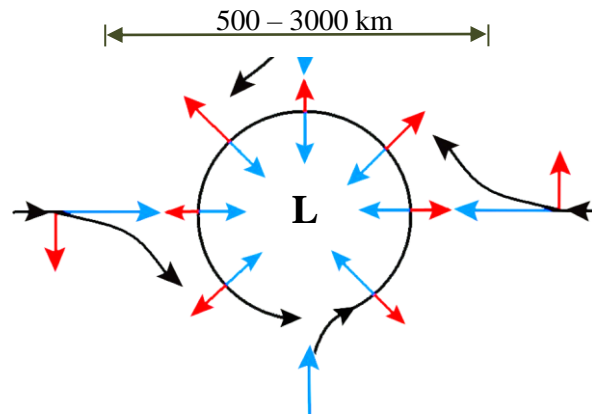


Figur 4.1-1: Enkel illustrasjon av det globale vindsystemet. De blå områdene med tilhørende blå piler er områder med kald luft, de oransje områdene med tilhørende oransje piler er områder med varm luft [45].

Vind beveger seg hovedsakelig fra høytrykksområder mot lavtrykksområder, men blir også påvirket av Corioliseffekten, friksjon fra jordoverflaten, lufttrykket, sentripetalakselerasjon og andre nærliggende lavtrykksstrømmer.

Corioliskraften skyldes effekten av jordrotasjonen, og virker på alle legemer på jordoverflaten som er i bevegelse. Da jorden snurrer om sin egen akse, vil et område nær ekvator snurre med betydelig høyere hastighet enn et område lenger nord eller sør. Rotasjonshastigheten på Nord- og Sør- polen vil være lik null. Da vind blåser fra lavtrykksområder mot høytrykksområder, vil farten på jordkloden gi vinden en retningsendring mot høyre på nordlige halvkule, og venstre på den sydlige halvkule [46]. Corioliskraften

er lik null langs ekvator, og størst ved polene, altså motsatt av rotasjonshastigheten. Corioliseffekten påvirker også i stor grad elver og havstrømmer [47]. Nedenfor, i Figur 4.1-2, illustreres samspillet mellom de ulike kreftene som påvirker vindens globale bane i et forenklet system.



Figur 4.1-2: Illustrasjon av vindens sirkulære bevegelsesmønster, samt påvirkende krefter. Blå piler illustrerer lufttrykket, røde piler er Corioliseffekten og sentripetalakselerasjonen, mens de sorte pilene er vindens bevegelsesretning [47].

I Figur 4.1-2 illustreres vind som blåser inn mot et lavtrykksområde fra alle kanter. Lavtrykksområder, slik som illustrert ovenfor opptrer ofte som fronter, og kan strekke seg fra 500 – 3000 km [48]. Når vinden nærmer seg lavtrykkskjernen bøyes vinden av slik at den sirkulerer rundt med lavtrykkskjernen i sentrum [46]. Dersom vinden innehar en viss hastighet vil Corioliseffekten og lufttrykket være like sterke og motsatt rettet. På grunn av sirkuleringen omkring lavtrykket vil sentripetalakselerasjonen forsøke å dra vinden ut av sirkelbanen [47]. Corioliskraften er avhengig av breddegradene, og vindens hastighet vil derfor reguleres avhengig av breddegradene slik at det skapes en trykkraft tilsvarende Corioliskraften og sentripetalakselerasjonen. I tillegg vil vinden oppleve en ekstern friksjonskraft grunnet ujevnheter på jordoverflaten. Friksjonskraften vil virke i motsatt retning av vindens bevegelsesretning, og være sterkest nærmest jordoverflaten [35].

4.1.2. Lokale vindforhold

De lokale vindforholdene er i stor grad preget av lokale høytrykk og lavtrykk, samt omkringliggende topografi. Topografien for typiske jordbruksområder i Norge er svært varierende. Jæren er relativt kupert sammenlignet med Østlandet som er flatere i utformingen. Vindforholdene vil derfor variere avhengig av hvor man befinner seg.

Den største energien, altså den sterkeste vindhastigheten, opptrer som oftest langs kysten. Dette skyldes solens påvirkning av jordoverflaten. På dagtid vil solen varme opp jordoverflaten slik at luften på land stiger og det skapes et lokalt lavtrykk. Luft fra høytrykksområder, ofte havet, vil strømme mot lavtrykksområdene på land for å jevne ut trykkforskjellene. Samtidig vil den oppvarmede luften bli gradvis nedkjølt og synke ned igjen over havet. Denne sirkulasjonscellen av luft kalles pålandsvind, og forklarer hvorfor det ofte blåser mer på dagtid enn på morgen og kveld. Om natten vil det motsatte skje, altså at det oppstår fralandsvind. Temperaturen over havet vil være høyere enn temperaturen på land. Luften over havet vil stige, mens kald luft fra land vil strømme mot lavtrykksområdene på havet for å utjevne trykkforskjellene.

Ujevn oppvarming og topografi er drivkraften for fjellbris og dalbris. Dalbris skyldes solens gradvise oppvarming fra toppen av fjellet og nedover dalsiden. Den oppvarmede luften vil stige, og kald luft fra



dalbunnen vil bevege seg oppover dalsiden for å jevne ut lavtrykksområdene oppover fjellsiden. Utover dagen blir dalene varmet opp av solen og denne oppvarmede luften vil stige opp i atmosfæren. Avkjølt luft fra toppen strømmes så ned i dalen for å jevne ut trykkforskjellene, samt at den kalde, tunge luften blir dratt nedover av gravitasjonskraften.

4.1.3. Ruhet og dragkoeffisient

Aller nærmest bakken er vindstyrken lik null. Hvor høyt det vindstille beltet er, avhenger av type vegetasjon. Områder med høy og tett vegetasjon har større grad av aerodynamisk ruhetslengde, og dermed høyere vindstille sone enn for eksempel et frossent vann. Det er viktig å merke seg at høyden på den vindstille sonen ikke tilsvarer høyden på elementene som utgjøre ruheten, altså er det ikke vindstille opp til og med tretoppene i en skog [49]. Nedenfor i Tabell 4.1-1 er noen verdier for aerodynamisk ruhetslengde (H_0) og tilhørende dragkoeffisient (C_D) oppgitt. Dragkoeffisienten er dimensjonsløs.

Tabell 4.1-1: Ruhetsverdi (H_0) for ulike typer landskap oversatt fra *Practical Meteorology* [49].

H_0 [m]	Klassifisering	C_D	Eksempler på type landskap
0,0002	Hav	0,0014	Sjø, snødekte flate områder, myk ørken, flislagte områder.
0,005	Mykt	0,0028	Strenger, pakkis, myr, sump, snødekte områder.
0,03	Åpent	0,0047	Eng, prærier, bar åker, tundra, flyplasser, lyng.
0,1	Åpent, enkelte hindringer	0,0075	Kultiverte områder med lave avlinger eller spredte hindringer som for eksempel små busker.
0,25	Røft	0,012	Høye avlinger eller avlinger med varierende høyde, spredte større hindringer som trær, vingårder eller hekker.
0,5	Veldig røft	0,018	Miksedde åkre, små skogholt, spredte bygninger og frukthager.
1,0	lukket	0,030	Generell dekning med større hindringer for eksempel sub-urbane hus, små landsbyer, forfalt skog.
≥ 2	Kaotisk	$\geq 0,062$	Middels og store byer, skog med lite klaringer.

Friksjonskraften mellom to objekter, for eksempel luften og bakken kalles drag (C). Drag kan kvantifiseres ved å måle den nødvendige kraften for å dytte et objekt langs en overflate. Mengden friksjonskraft per enhet kalles stress (τ). Stress oppleves likt for begge objektene som sklir mot hverandre og virker parallelt på begge overflatene. Da luft ofte opptrer som væske, kan luftens kinematiske stress (v_*^2) uttrykkes som absoluttverdien av stress per tetthet, vist i formelen nedenfor. ρ angir luftens tetthet med verdien $1,23\text{kg/m}^3$. Friksjonshastigheten kalles v_* .

$$v_*^2 = \left| \frac{\tau}{\rho} \right| \quad (3.4)$$

Den dimensjonsløse dragskoeffisienten (C_D) relaterer kinematisk stress til vindhastigheten ved referanse høyde. Ved metrologiske målestasjoner er denne høyden (h) ti meter over bakkenivå. Her er det lite uforurenset vind og en mer laminær vindstrøm som gir relativt korrekte måleresultater.

$$v_*^2 = C_D M_h^2 \quad (3.5)$$

Ved statisk nøytral luftstrøm, vil sammenhengen mellom dragkoeffisienten og den aerodynamiske ruhetslengden kunne uttrykkes som i formelen 3.6. nedenfor. k er Von Kármán konstanten som er angitt med verdien 0,4. H_R er standard referanse høyde for vindmåling med anemometer, ofte satt til ti meter. Standardverdier for H_0 er oppgitt i Tabell 4.1-1.



$$C_D = \frac{k^2}{\ln^2\left(\frac{H_R}{H_0}\right)} \quad (3.6)$$

Dersom det ikke er noe turbulent drag, har den laminære vinden en tendens til å blåse parallelt med de isobare linjene eller landskapets høydekontur dog disse linjene er kurvede. Dette inntreffer ofte på områder med relativt lav grad av ruhet slik som vidder, isbreer og liknende.

4.1.4. Porøsitet

Porøsitet i vindsammenheng er et mål på hvor enkelt luft kan trenge gjennom gitterliknende struktur [50]. Optisk porøsitet, også kalt aerodynamisk porøsitet, angir tettheten til gitteret, altså forholdet mellom gitterstruktur og åpne områder. Jo høyere grad av aerodynamisk porøsitet, dess større grad av åpenhet er det i gitterstrukturen.

Tabell 4.1-2: Sammenhengen mellom optisk porøsitet og reduksjon i vindhastighet [50].

Porøsitetsintervall [%]	Reduksjon vindhastighet [%]	Kommentar
0 - 40	Opptil 90 %	Stor grad av turbulens i bakkant av gitteret, samt noe turbulens foran gitteret.
40 - 60	20 – 70	Noe gjennomstrømning gjennom gitterstrukturen hvilket reduserer graden av turbulensen i bakkant og fremfor gitterstrukturen.
60 - 100	~ 0	Liten til svært liten grad av turbulens i forkant og bakkant av gitterstrukturen. Vindhastigheten i bakkant kan eventuelt øke noe avhengig av gitterstrukturen.

Ved åpen gitterstruktur, 60 – 100 % porøsitet, kan vindhastigheten øke noe. Dette skyldes luftens inkompressibelitet. Tettheten til fluidet er konstant, samt at en reduksjon i strømningsareal vil øke strømningshastigheten. Dette kommer frem av likning (3.8) for volumstrøm (Q), som angir forholdet mellom areal og fart.

$$Q_V = Av = \frac{A\Delta x}{\Delta t} = \frac{V}{t} \quad (3.8)$$

Benytter formel (3.8) og setter $Q_{v1} = Q_{v2}$. Dette gir uttrykket:

$$A_2v_2 = A_1v_1$$

Bernoullis likning er aktuell når vinden møter hindringer med svært lav aerodynamisk porøsitet, altså relativt tett gitterstruktur, for eksempel bygninger. Vinden blir tvunget til å passere rundt eller over hindringen, istedenfor gjennom, hvilket kan gi svært lokal endring i lufttrykk (p) og vindhastighet (v). Lufttrykkets endring vil ikke påvirke omkringliggende høytrykk og lavtrykk.

$$p_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 = p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 \quad (3.7)$$

4.1.5. Vindenergi

Vindkraft er en av de mest miljøvennlige energikildene for kraftproduksjon, da vindkraft er en 100 % fornybar og utslippsfri energikilde. Vind er også den mest kostnadseffektive måten å produsere en kilowatt strøm på sammenlignet med vannkraft, solkraft, olje og gass. Da vind er masse (m) satt i

bevegelse med en viss hastighet (v) kan vindenergi kategoriseres som bevegelsesenergi, nærmere bestemt kinetisk energi (E_K) på formen;

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3.1)$$

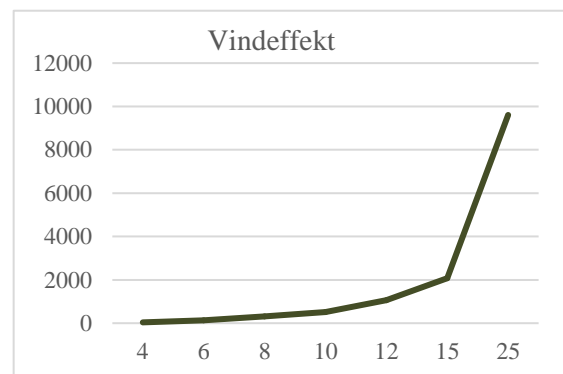
Den kinetiske energien i luft som strømmer gjennom et tenkt areal med en hastighet er gitt med uttrykket nedenfor. Dette kan også sees på som vindens effekt. ρ angir lufttettheten med verdien $1,23\text{kg/m}^3$.

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(A\rho) \times v^2 = \frac{1}{2}A\rho v^2 \quad (3.1)$$

Vindens hastighet har svært mye å si for avgitt vindeffekt, da hastighetsvariabelen er opphøyd i tredje potens. Dette er illustrert i Tabell 4.1-3 nedenfor, hvor en tredobling i vindhastighet fra 4 - 12 m/s gir en åttedobling i vindeffekt.

Tabell 4.1-3: Oversikt over forholdet mellom vindhastighet og vindeffekt ut ifra formelen 3.2.

Vindhastighet [m/s]	Beauforts vindskala	Vindeffekt [W/m^2]
4	Lett bris	39
6	Laber Bris	133
8	Frisk Bris	315
10	Frisk Bris	515
12	Liten Kuling	1063
15	Stiv Kuling	2076
25	Full Storm	9609



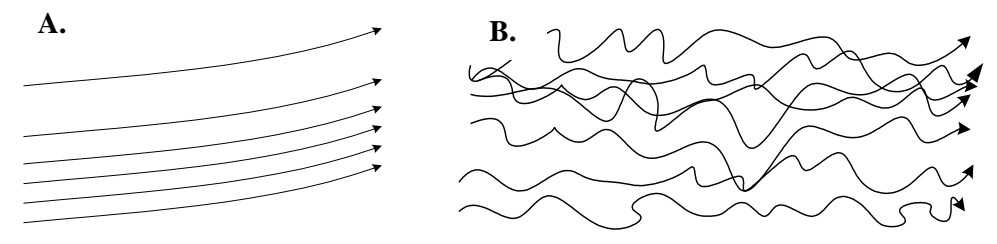
4.1.6. Laminær og turbulent luftstrøm

Med laminær strøm menes en lagvis strømming som består av jevne, glatte strømningsbaner. På grunn av den lagvise tilnærmingen vil det være svært lite blanding av væske- og gasspartikler på tvers av strømlinjene [51]. Ved turbulent strøm vil partiklene i væsken eller gassen bevege seg i uordnede og tilfeldige bevegelser. Ved turbulens er det umulig å forutsi partiklenes bane eller hastighet, da partiklenes hastighet er satt sammen av to faktorer; en gjennomsnittlig hastighet og en tilfeldig varierende hastighet. Det vil være en stor grad av partiklene i blandingen ved turbulens.

$$v = \bar{v} + v'$$

\bar{v} = gjennomsnittlig hastighet

v' = tilfeldig varierende hastighet

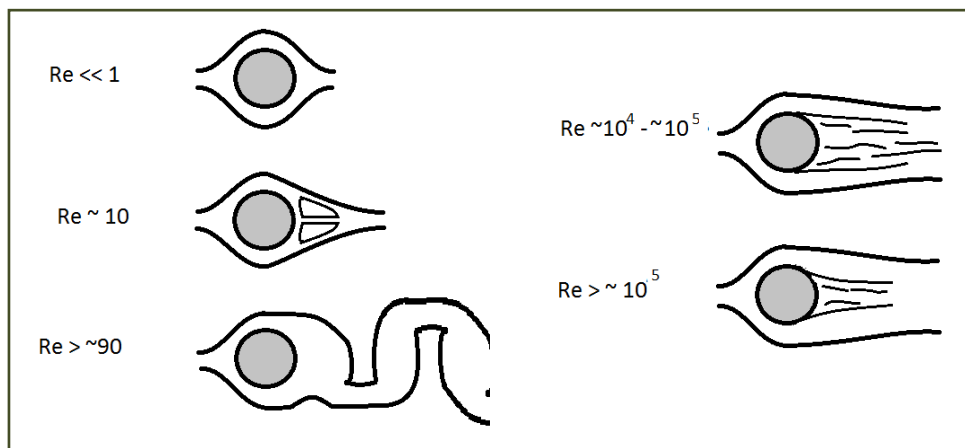


Figur 4.1-3: Grov illustrasjon av partikkelbanene ved A. laminær strøm og B. turbulens.

Av Figur 4.1-3 illustreres partikkelbanene for laminær strøm og turbulens. Den turbulente strømmingen innehar en høyere bevegelsesmengde enn den laminære, da den turbulente strømmingen beveger seg mer sporadisk grunnet de tilfeldige hastighetsvariasjonene enn den rette laminære strømmingen. Vind er en blanding av laminær og turbulent strømming.

Reynoldstallet til en væske eller gass beskriver strømmingen ved ulike hastigheter ved å se på forholdet mellom inerte krefter og viskøse krefter, altså mellom den kinetiske energien og det indre friksjonsarbeidet [52]. Ved en viss verdi for Reynoldstall, ofte når Reynoldstallet passerer $10^4 - 10^5$, se Figur 4.1-4, vil strømmingen gå fra å være laminær til å bli mer turbulent [53]. Ved denne overgangen, kalt den kritiske hastigheten, vil den interne friksjonene i væska eller gassen øke til det mangedoble, samt noe av drivkraften forsvinne [52].

Andre faktorer som spiller inn på strømmingens utforming er overflateruhet, trykkgradienten i strømmingen, varmeovergang til fluidet og fluktuasjoner i den innkommende strømmingen. Ved vindstrømmer med sprøytevæskedråper som møter en hindring, vil tregheten, altså massen, til dråpa bestemme om dråpa blir med vindstrømmen rundt hindringen, eller ikke. For stor masse vil gjøre at dråpa stopper opp i forkant av hindringen.



Figur 4.1-4: Grov illustrasjon av strømmingen til en gass eller væske ved ulike Reynoldstall. V.S. Strømming ved hastighet lavere enn kritisk hastighet. H.S. Strømming ved hastighet over kritisk verdi.

$$Re = \frac{\frac{\rho v^2}{L}}{\frac{\mu v}{L^2}} = \frac{\rho v L}{\mu} = \frac{\rho v d}{\eta} \quad (3.2)$$

Figur 4.1-4 er en grov illustrasjon av strømmingene i en væske eller gass ved ulike Reynoldstall. Ved lave Reynoldstall vil strømmingen være tilnærmet laminær. Ved økende Reynoldstall vil mengden turbulens i strømmingen øke. Formelen (3.2) angir Reynoldstallet for gasser og væsker med ulik kinetisk energi. L i formelen ovenfor indikerer en linear dimensjon. Det vil si enten hvor langt væsken eller gassen beveger seg eller den hydrauliske diameteren til røret. μ er viskositeten til væsken eller gassen og v er væskens eller gassens hastighet.

Ved strømminger omkring et objekt eller inne i et rør/kanal kombinert med Reynoldstall omkring 90, kan virvler oppstå. Se $Re > \sim 90$ i Figur 4.1-4 ovenfor og Figur 4.1-5 nedenfor. Disse virvlene gir en trykkpendling på tvers av vindretningen, og kan være med på å gi uønskede vibrasjoner i rør, effekttap og liknende. Dette fenomenet kalles Kármánsk virvelgate og er oppkalt etter fysikeren Theodore von Kármán [54].



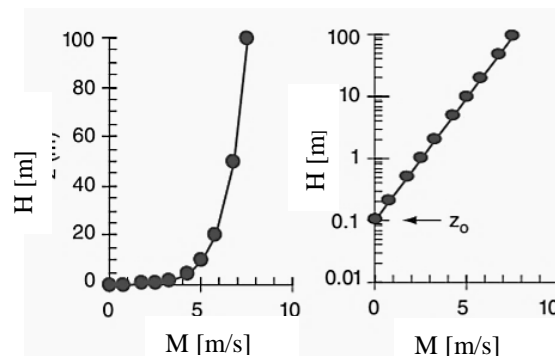
Figur 4.1-5: Illustrasjon av Kármánsk virvelgate. Oppstarten på virvelgaten er markert med rødt [54].

4.1.7. Logaritmisk vindprofil

Vindens hastighet i forhold til høyde over bakken følger en logaritmisk vindprofil. Et uttrykk for hastigheten i vindprofilen kan angis ved å sette sammen formlene (3.5) og (3.6) anvist i (3.24)

$$M_h = \frac{v_* \times \ln\left(\frac{H_R}{H_0}\right)}{k} \quad (3.24)$$

Vindprofilen nedenfor angir vindhastigheten ved en ruhetsverdi lik 0,1 og referansehøyde (H_R) på ti meter fra 0 - 100 meter over bakken. Illustrasjonen viser at vindens hastighet øker med en eksponentiell vekst, med en relativ liten økning i fart over 20 meters høyde.



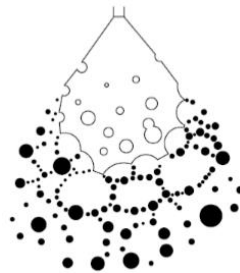
Figur 4.1-6: Omarbeidet illustrasjon av vindprofilen ved en ruhetsverdi lik 0,1, og referansehøyde på 10 meter. V.S lineært plott, H.S. logaritmisk plott [49].

4.2. Sprøyteprosessen

Plantevernmidler er kjemiske midler eller preparater som benyttes med den hensikt å bekjempe ulike skadegjørere som ugress, skadedyr, sopp og plantesykdommer, eller fremme plantens vekst. Plantevernmidlene er ofte sammensetninger av flere handelspreparater for å øke virkningsgrad mot tiltenkt skadegjørere, eller kombinere egenskaper. Hvilke preparater plantevernmidlet er satt sammen av skal oppgis på etiketten. Under enhver form for sprøyting er det påbudt å benytte verneutstyr som anbefalt på plantevernmidlets etikett. I Norge er den maksimale anbefalte vindhastigheten ved sprøyting fem m/s. Ved større vindhastighet enn dette, anbefales det ikke å sprøyte med plantevernmidler da dysenes bestemmelse av utgangshastighet for dråpene og dråpestørrelse er basert på maksimalt fem m/s. Faren for avdrift øker betraktelig ved sprøyting i for sterk vind.

I Norge blir det meste av sprøytearbeidet gjort ved bruk av åkersprøyte. Væsken pumpes ut av dysene med et trykk på 1 - 5 bar, hvilket gir dråpene en utgangshastighet på omkring 20 m/s. Dråpestørrelsen

og spredningen varierer med valg av dysetype. Dysene omgjør væsken til finfordelte dråper, hvor midlere dråpestørrelse innenfor 100 - 400 μm anses som optimalt. Dråpene fordeles utover sprøytearealet ved en dusjliknende sprøytestråle illustrert i Figur 4.2-1 [2]. Valg av dråpestørrelse er svært avgjørende for resultatet. Ved dråpestørrelse over 400 μm kan dråpene lett renne av blader, strå og liknende. Dråpestørrelse under 100 μm anses som avdriftsfarlig. For dysene oppgis den midlere verdien. Denne verdien forteller ingenting om fordelingen av dråpestørrelsen, kun snittet. En del av dråpene vil derfor i praksis være større og mindre enn oppgitt størrelse. Det er ønskelig med dyser som gir lite avvik fra middelverdien. De største dråpene vil falle først, og sette omkringliggende luft i bevegelse. Dernest vil mindre og mindre dråper følge etter, da omkringliggende luft allerede er satt i bevegelse og vil dra med seg de mindre dråpene. De aller minste dråpene er svært ømfintlige for vind, og kan lett drive av gårde eller fordampe.



Figur 4.2-1: Forenklet illustrasjon av sprøytevæsken som sprøytes ut av en dyse [55].

Gjennomføring av sprøyting kan vær programmert, altså planlagt, eller behovsstyrt. Ved programmert sprøyting følger operatør en grov tidsplan som omhandler ca. tidspunkt, type plantevernmiddel, dosering og tiltenkt område. Hyppigheten og doseringen kan variere svært mye, fra områder som ikke sprøytes, til områder med intensiv sprøyting [56]. Intensiv sprøyting vil si sprøyting en eller flere ganger årlig med sterke konsentrasjoner av plantevernmidler. Regelmessig sprøyting vil si årlig sprøyting med lave til moderate konsentrasjoner av middels sterke plantevernmidler. Dersom det oppstår uplanlagte hendelser, for eksempel mer ugress enn først antatt, gode vekstvilkår for sopp eller liknende, kan operatør se det nødvendig å avvike fra planen og sprøyte etter behov.

Behovsstyrt sprøyting vil si sprøyting kun dersom det er behov. Sprøytingen kan omfatte hele feltet, eller sporadisk sprøyting på enkelte soner eller flekker i feltet. Dette kan foregå ved for eksempel punktsprøyting og pensling av busker og andre vekster. Behovsstyrt sprøyting gir mulighet for å tilpasse doseringen individuelt i feltet etter hvor mye skadegjørere som oppstår i ulike områder. Sprøyting etter behov anses som best, da dette gir minst forbruk av plantevernmidler.

4.2.1. Overordnet sprøyteprosedyre

Sprøytevæske er utvannet plantevernmiddel. Blandingsforholdet mellom vann og plantevernmidler varierer fra middel til middel. Det er derfor viktig å følge anvisningen som er angitt på tilhørende etikett. Ved bruk av flytende plantevernmidler vil tilmålingen skje ved bruk av gradert forpakning eller måleglass. Granulert plantevernmiddel og pulver blir dosert ved bruk av vekt. Ved arbeid med plantevernmidler i konsentrert form, skal verneutstyr benyttes i samsvar med etiketten. Angitt maksimal dosering skal ikke overskrides, og åkersprøyta skal stilles inn etter anvisningene på etiketten. Hvordan sprøyta blir innstilt og brukt avgjør mengden avsatt væske og har dermed direkte innvirkning på avdriften. Det er også et krav om at det alltid skal vær tilgang til rent vann ved sprøyting.

Ved endt sprøyting er det svært viktig med en grundig rengjøringsprosedyre av alle komponentene på sprøyta for å unngå uønsket forurensning og sprøyteskade ved senere bruk. Dette er særs viktig ved sprøyting av ulike kulturer og/eller med ulike typer plantevernmidler, samt ved overlaging av sprøyta. Avsetninger i siler eller bend kan være vanskelige å løsne opp, samtidig som de kan gi ødeleggende

følgeskader i ømfintlige kulturer. All rengjøring skal skje på områder uten risiko for avrenning til sensitive områder, og da særlig vannforekomster.

4.2.2. Dyser



Figur 4.2-2: Illustrasjon av flatdyse som typisk benyttes ved åkersprøyte [57].

Det finnes svært mange forskjellige typer dyser med ulik utforming tilpasset bruken. For åkersprøyter vil ofte en vanlig flatdyse med trekantet væskedusj og trekantet væskefordeling foretrekkes [17]. Dysenes spredebilde vil være trekantet, og egner seg derfor godt på en sprøytbom med flere dyserekker i bredden. Flatdysen vil gi en god fordeling, uten særlig stor grad av overlapping og dermed overdosering av sprøytevæske. Spredevinkelen til dysene kan variere, men de mest vanlige vinklene ligger mellom 110 – 120 ° [17].

Når det ikke er optimale værforhold, eller sprøytingen ikke kan utsettes, kan en avdriftsreducerende dyse benyttes. Avdriftsreducerende dyser øker dråpestørrelsen på sprøytevæsken slik at dråpene ikke blir like mye påvirket av vær og vind. Økt dråpestørrelse kan gå på bekostning av dekkevidden ved bruk av lik mengde sprøytevæske. De avdriftsreducerende dysene kan fungere på ulike måter, for eksempel ved å strupe dyseåpningen eller blande luft med sprøytevæsken (injet dyse). Avdriftsreducerende utstyr kan begrense avdriften med opptil 90 % av avdriften sammenlignet med originale dysetyper.

Dysene kan utsettes for både slitasje, tiltetting og støtskade fra for eksempel harde gjenstander som stein. Ved slitasje vil dyseåpningens areal økes, hvilket vil føre til økt væskemengde og overdosering. Ved ujevn slitasje vil presisjonen gå ned da dråpebildet og væskefordelingen vil variere på lokal basis og kan gi et ujevnt sprøyteresultat. Ved tiltetting av dyseåpningen fra for eksempel et belegg av plantevernmidler, kan dyseåpningen reduseres. Dette kan føre til reduksjon av væskemengde og underdosering.

4.2.3. Sprøytevæske

Sprøytevæske har en konsentrasjon på omkring 5 % plantevernmiddel og resterende mengde vann. Blandingsforholdet vil variere avhengig av type plantevernmiddel. Dette er henvisning til på etiketten. Konsentrert plantevernmiddel består av ulike kjemiske sammensetninger som enten skal fremme plantes vekstvilkår eller virke hemmende på mikroorganismer skadegjørere eller konkurrerende planteslag. Sprøytevæske, også kalt pesticider, deles ofte inn etter hvilke organismegrupper det har giftvirkning på; Ugrasmiddel (herbicide), plantevernmiddel også kalt insektgift (insekticide) og soppmiddel (fungicide).

Plantevernmidlene deles inn i tre fareklasser (Xn: helseskadelig, T: giftig og T+: meget giftig) etter hvor giftig plantevernmidlet er [58]. T+ er den mest giftige, og kan være dødelig ved direkte kontakt eller overdose gjennom luftveiene. Det antas også at T+ kan ha negativ påvirkning på foster og svangerskap, samt inneha en viss risiko for kreft ved utstrakt bruk. Stoffe eller stoffblandinger i klasse T+ skal markeres med faresymbolet «dødninghode» samt farebetegnelsen «meget giftig». Plantevernmidler i T-klassen skal også markeres med faresymbolet «dødninghode», og inneha farebetegnelsen «giftig» godt synlig på etiketten. Plantevernmidler i denne klassen kan gi sterke helseplager og i verste fall død ved for store doser i direkte kontakt med kroppen eller inhalering. Helseskadelige stoffer og stoffblandinger,

Xn, skal markeres med faresymbolet «Andreaskors» og farebetegnelsen «Helseskadelig». Dog disse stoffene ikke anses som dødelige, kan direkte kroppskontakt gi store og uønskede helseplager som eksem og kløe, hodepine og etseskader.



Figur 4.2-3: V.S. Illustrasjon av faresymbolet «Andreaskors». H.S. Illustrasjon av faresymbolet «dødninghode» [59].

Stoffblandingen klassifiseres ved hjelp formler tilpasset hver klasse:

Meget giftig (T+):

$$\sum \left(\frac{N_{T+}}{K_{T+}} \right) \geq 1 \quad (4.2.1)$$

Giftig (T):

$$\sum \left(\left(\frac{N_{T+}}{K_T} \right) + \left(\frac{N_T}{K_T} \right) \right) \geq 1 \quad (4.2.2)$$

Helseskadelig (Xn):

$$\sum \left(\left(\frac{N_{T+}}{K_{Xn}} \right) + \left(\frac{N_T}{K_{Xn}} \right) + \left(\frac{N_{Xn}}{K_{Xn}} \right) \right) \geq 1 \quad (4.2.3)$$

I formlene ovenfor er N vektprosenten av hvert stoff i stoffblandingen. K er klassifiseringsgrensen for hver klassifisering av stoffet. Klassifiseringsgrensen er spesifisert for hvert enkelt stoff i stoffblandingen. Standardverdi for K dersom ingenting spesifikt er oppgitt er presentert i Tabell 4.2-1:

Tabell 4.2-1: Standarder for klassifiseringsgrensen (K) for beregning av giftklasse [58].

		Meget giftig (T+) [%]	Giftig (T) [%]	Helseskadelig (Xn) [%]
Meget giftig	K_{T+}	7	-	-
Giftig	K_T	1	25	-
Helseskadelig	K_{Xn}	0,1	3	25

4.3. Avdrift

Avdrift kan sees på som mengden plantevernmidler som ikke treffer tiltenkt mål. Selve avsetningen bestemmes av kjørehastighet i horisontal retning, masseflux i vertikal retning og selve objektet altså dråpens sammensetning og dråpens massestørrelse. Samtidig er samspillet mellom allerede eksisterende dråper i lufta og dråpene i dusjen avgjørende for avsetningen. Enkeltdråper kan lett fordampe, særlig ved tørr luft, mens stort sprøytetrykk og store dråper gir redusert dekningssevne og fare for avrenning. Bladet eller gressets utforming har mye å si for hvor godt dråpen fester seg. Ved vokslignende blader har væsken lettere for å gli av enn dersom det er hår eller en grov struktur på bladet eller gresset.

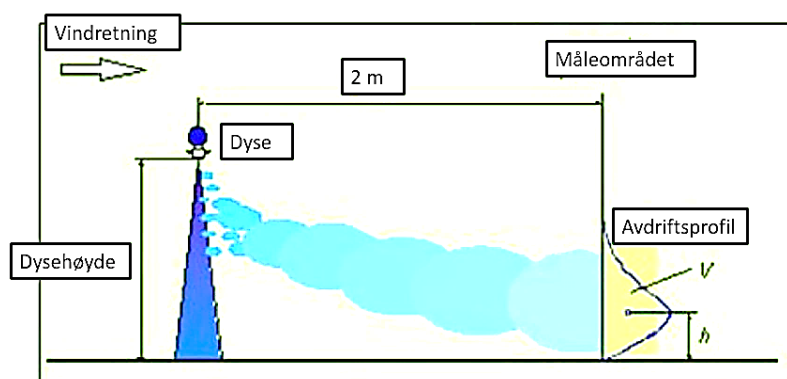
Hvilke forhold som ansees som optimale, avhenger av hvor og hvilken type anlegg sprøytingen skal foregå ved. Ved sprøyting i veksthus kan dråpestørrelsen reduseres i forhold til grøntanlegg. Praktiske årsaker som forårsaker avdrift kan for eksempel være feil valg av dråpestørrelse, avrenning, ikke optimale sprøyteforhold som leder til mye fordamping av sprøytevæske eller at sprøyteskyen blåses bort og liknende. For måling av avdrift, utstyr som skal benyttes ved måling og sprøyting, samt klassifisering av sprøyteutstyr er det fire standarder som skal følges. Standardene som benyttes i Norge er relativt like standardene som blir fulgt i de andre nordiske landene, og er i tråd med de internasjonale standardene.

- ISO 22369-1 EN: Avdriftsreducerende utstyr - klassifisering av sprøyteutstyr, klasser.
- ISO 22369-2 EN: Avdriftsreducerende utstyr - Klassifisering av sprøyteutstyr, feltmåling.
- ISO 22856 EN: Metoder for målinger av avdrift i laboratorier - Vindtunneler.
- ISO 22866 EN: Vekstbeskyttelse - metoder for måling av avdrift i felt.

4.3.1. Måling av avdrift

Ved måling av avdrift fanges og registreres volumet av væskedråper som passerer gjennom et areal en gitt distanse unna spredningsutstyret. Målingene av avdrift kan relateres til spredning utover i det horisontale planet for eksempel grunnet ugunstige værforhold eller avrenning av blader, strå og gress. Avdrift i det horisontale planet utgjør en risiko for unødvendig forurensning av sensitive områder, lokalt jordsmonn og omkringliggende økosystemer. Avdrift i det vertikale planet, også kalt luftbåren avdrift, kan være et helseskadelig problem ved inhalering eller utgjøre en risiko for forurensning av frukter ved spraying av lavtliggende objekter slik som rot og stilk.

Det finnes i hovedsak to forskjellige metoder for måling av avdrift; ved bruk av passive eller aktive objekter. Begge variantene har muligheter for måling i det horisontale og det vertikale planet. Ofte gjennomføres forsøk på den potensielle avdriften se forenklet illustrasjon i Figur 4.3-1. Dette gjøres ved å registrere avdrift som passerer gjennom et vindu i nærheten av sprøyta. Dette gir ikke et helt riktig bilde på den totale mengde avsatt plantevernmiddel, men gir en god indikasjon. En av fordelene ved å måle potensiell avdrift er kort gjennomføringstid. Testene trenger ikke ta mer enn rundt 1 minutt å gjennomføre per parameter. Dette gir muligheten til å teste mange ulike sprøyteinnstillinger under relativt like værkondisjoner.



Figur 4.3-1: Omarbeidet illustrasjon av hvordan potensiell avdrift måles hentet fra TOPPS [38].

Passive objekter

For avdrift i det vertikale planet måles avsetning dirket på de passive objektet ved å studere bevegelsesenergien og treggheten til dråpene fra 0 - 20 meter over bakken. Trådene bindes fast i master i ulik høyde. Oppsamlingen av dråper er avhengig av sylindrens størrelse, overflatestruktur og dråpens kollisjon mot sylindrefiberne. Tilbakeholdelsen av dråpene og avvik fra den opprinnelige strømlinjen registreres og

gir et mål på avsatt mengde per areal. Gjennom tidene har det blitt gjort flere undersøkelser på trådsammensetning for måling av oppsamlet væske. Herbst og Molnar kom i 2002 etter en omfattende studie frem til at to mm i diameter tynne strenger med en myk og veldefinert overflate var det optimale alternativet for måling av væske slik som vann [55]. Eksempler på velegnet materiale er ull, nylon og andre materialer med en diameter på to mm.

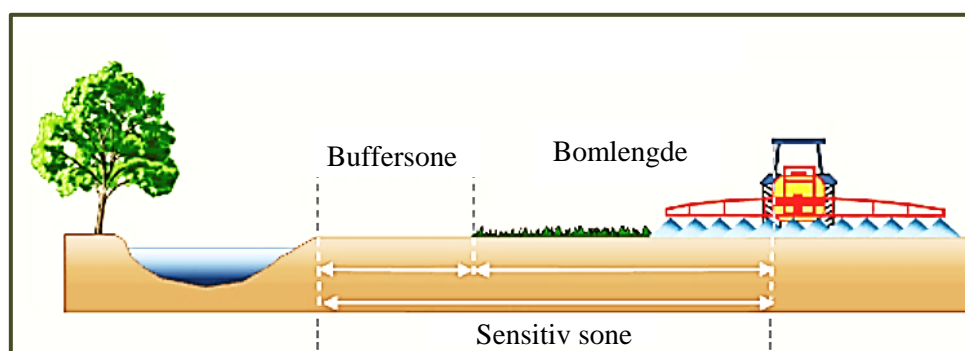
For avdrift i det horisontale planet kan oppsamlingen gjøres ved å benytte «horisontale nedfallslaken» som dekker et område fra 0 - 100 meter unna sprøyteutstyret [55] eller ved å sette ut petriskåler i ulik avstand fra sprøyta. Dråpene som er store nok til å bevege seg mot bakken vil danne markeringer på nedfallslakenet eller havne i petriskålene. I etterkant kan dråpene registreres og gi et mål på spredningsavstand, samt mengden avdrift. Bruk av passive objekter for måling av avdrift er den mest foretrukne og mest benyttede metoden grunnet raske målinger og bedre muligheter for å direkte relatere forskjeller knyttet til sprøyteutstyr.

Aktive objekter

Måling av avdrift ved bruk av aktive objekter vil si ved bruk av aktive instrumenter som eksempelvis sugepumpe med filter. Luft dras gjennom filteret i en spesifisert hastighet. Mengden sprøytevæske blir så bestemt analytisk for å gi et mål på mengden avgitt avdrift. Typisk blir et 175 mm i diameter papirfilter påsatt en konstant gjennomstrømhastighet på ti L/min [55]. Sugepumpen kan plasseres etter ønske både i vertikal og horisontal retning. Ofte gjøres målinger i intervallet 0 - 20 meter i vertikal retning, og 0 - 100 meter i horisontal retning med sprøyteutstyret i senter.

4.3.2. Buffersone

Buffersone er definert som området mellom sprøyteområdet og det sensitive området henviser til som sensitiv sone i Figur 4.3-2 nedenfor. Buffersoner fungerer som et vern mot faren for at avdrift fra plantevernmidler havner i et sensitivt område. Buffersonen varierer i forhold til type sensitivt område, hvor avstanden er spesifisert i forskriftene for plantevernmidler [29]. Som oftest er buffersonen på 3 - 5 meter, men ved omkringliggende drikkevann eller vanntransport som fører direkte til drikkevann er avstanden minimum 50 meter [29].



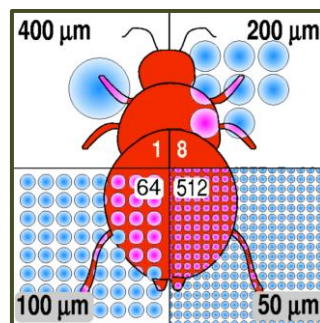
Figur 4.3-2: Omarbeidet illustrasjon av avstanden mellom buffersoner, sprøytebom og sensitivt område (her vann-forekomst) med utgangspunkt i Topps [60].

4.3.3. Forhold som påvirker avdrift

Mengden av avdrift kan variere ut i fra faktorer knyttet til metrologi og vegetasjon, hvor kombinasjonen av faktorer er avgjørende for mengden avdrift og dermed den nødvendige buffersonen. Påvirkende naturlige faktorer for avdrift [60];

- **Vindretning:** Vinden vil påvirke retning på avdriften, og er den mest kritiske faktoren knyttet til spredning av plantevernmidler i nærheten av vannforekomster, hus og liknende. Ved vindretning mot eller parallelt med et sensitivt område, er vil faren for avdrift til dette området være tilstede. Dette er avhengig av vindhastigheten.
- **Vindhastighet:** Økt vindhastighet gir økt mengde avdrift, da vinden vil drive plantevernmiddel-dråpene med seg.
- **Temperatur i luft:** Jo lavere temperatur, dess mindre avdrift. Dette skyldes at økt temperatur gir økt mengde fordampet sprøytevæske. Under 25 °C, helst under 15 °C er derfor å foretrekke.
- **Luftfuktighet:** jo høyere luftfuktighet, jo lavere mengde avdrift.
- **Åkervegetasjon:** Avdriften er størst ved helt bar jord og ved en vegetasjonshøyde høyere enn 0,5m. Den minste mengde avdrift er å regne ved åkervegetasjonshøyde på omkring 50 – 100 mm.

I tillegg til naturlige faktorer, kan arbeidstrykket i sprøyta, dråpestørrelse, dysehøyde, dysevalg og kjørehastighet påvirke mengde avdrift [61]. Ved å justere de overnevnte faktorene kan mengden avdrift reguleres i forhold til de naturlige faktorene, og avdrift kan holdes til et minimum.



Figur 4.3-3: Illustrasjon av forholdet mellom antall dråper og midlere dråpestørrelse i mikrometer hentet fra Mattilsynet og Bioforsk sitt autorisasjonskurs for sprøyting med plantevernmidler [61].

Av Figur 4.3-3 kommer det frem at antall dråper øker svært mye ved reduksjon i midlere dråpestørrelse ved bruk av lik væskemengde. Ved å redusere midlere dråpestørrelsen 8 ganger, vil antall dråper være over 500 ganger så mange. Finfordelte dråper egner seg godt dersom sprøytemidlet skal dekke store overflater, for eksempel ved sprøyting av blader på frukttrær. Dog er faren for avdrift høyere ved finfordelte dråper enn ved store dråper grunnet at disse lettere fordampes eller blir tatt av vinden. Dråpestørrelsen er derfor avgjørende for mengden avdrift. For sprøyting av grøntanlegg vil midlere dråpestørrelse være 400 – 100 µm. 50 µm kan benyttes egner seg kun ved sprøyting i veksthus.

Traktorens kjørehastighet anbefales å være maksimalt åtte km/t og dysehastigheten maksimalt 400 mm over veksten [17, 61]. De minste dråpene vil henge i luften etter sprøyta grunnet vinden fra kjøring i bakkant av sprøyten bøyer av sprøytespruten. Valg av dyser har mye å si for størrelsen på dråpene, spredevinkelen og føringen av dråpene. Dysevalg varierer også med tanke på type vekst og plantevernmidler. Dysene som benyttes skal følge ISO sin standard for dyseutforming [61].

4.4. Konkurrerende løsninger og teknologi

I dag finnes det allerede flere løsninger og teknologier for absolutt vindmåling hvor selve vindmåleren er i bevegelse. Fellestrekkene går ut på å kombinere kontinuerlig forflytning via GPS og vinddata fra vindmåleren. Nedenfor er tre konkurrerende løsninger og teknologier beskrevet med bruksområde, benyttet teknologi og plassering.

4.4.1. Vindmåling på seilbåt

Ved seiling av seilbåt er føreren avhengig av vind for fremdrift. Kontinuerlig måling av vindens absolutte hastighet gir føreren mulighet til å justere retningen på seilene for seiling i ønsket hastighet og retning. Det finnes ulike måleinstrumenter for vindmåling på seilbåt, hvor de mest populære alternativene består av et klassisk anemometer vist i Figur 1.2-1: Klassisk anemometer [20], samt et display som angir absoluttverdiene. Overføringen av vinddata kan skje både trådløst via bluetooth eller direkte via kabel. Displayet og eventuelt den trådløse overføringsanretningen går på batteri.



Figur 4.4-1: Typisk trådløs vindmåler for seilbåt med anemometer A., trådløs overføringsanretning B. og display for anvisning av vindens retning og hastighet C. [62]. Størrelsene på delene ovenfor er ikke proporsjonale.

Plasseringen av anemometeret må være horisontal i toppen av masta. Dog båten beveger seg med bølgene, vil ikke dette påvirke vindmålingene. Ved å plassere måleinstrumentet unna skjermende objekter på seilbåten, vil vinden være relativt laminær og uforurenset, og dermed gi forholdsvis virkelighetsnære måleresultater.

4.4.2. Vindmåling på sprøytetog

Nesten all sprøyting langs jernbanelinjene blir utført av sprøytetog. Dette er en billig og effektiv metode for rydding og vedlikehold av vegetasjon omkring jernbanesporene. Da toget kjører i relativt høy hastighet, vil det oppstå turbulens i bakkant av toget. Dette kombinert med lokal vind vil påvirke spredningen av sprøytevæske.

Ved passering av sensitive områder slik som boligområder, områder med lett gjennomtrengelig jord eller grunn, spor med tykt pukklag og vannforekomster skal sprøytene skrus av for å unngå sprøytevæske på avveie. Det er derfor svært viktig med et system som kombinerer vinddata, spredningsdata og GPS-koordinater slik at sprøytene skrus av til nøyaktig tid. Spredningsutstyret skal kontrolleres årlig med henhold til driftssikkerhet, væskeforbruk og arbeidsmiljøforhold.

4.4.3. AMAZON WindControl og ArgusTwin

AMAZON WindControl benytter en høyfrekvent sonisk sensor til å overvåke vinden kontinuerlig for så å sende resultatene til maskinens ECU. En datamaskin samkjører resultatene i monitorsystemet ArgusTwin, for så å regulere spredningshastigheten automatisk. Operatøren kan enkelt følge med på vindens retning og hastighet på et display inne i kjøretøyet. Ved sidevind vil spredningen på den vindfulle siden økes, samtidig som spredningen på motsatt side reduseres. På denne måten vil vindens påvirkning automatisk bli kompensert for, og en optimal lateral distribusjon sikres.



Figur 4.4-2: AMAZON WindControl. Sonisk vindmåler for automatisk spredningsjustering [63].

I Figur 4.4-2 er AMAZON WindControl avbildet. Vindmåleren vil automatisk justere høyden. Ved bruk vil sensorene være høyere enn traktoren, ellers vil den være lav slik som i Figur 4.4-2. På denne måten vil ikke vinden påvirkes av traktoren ved vindmåling, mens ved transport eller oppbevaring vil ikke sensorene skades. Ved å automatisk kunne justere spredningen, kan spredning nærmere sensitive områder, samt muligheten for spredning ved en høyere vindhastighet enn fem m/s diskuteres.

4.5. ISOBUS hos traktor

Dagens traktorer er godt teknologisk utstyrt med kontrollsystem for å øke presisjonen og kvaliteten i landbruket. Elektriske systemer anses som nøkkelen for innovasjon innenfor agrikultur. Tidligere var det mangel på standardiserte løsninger, da hver produsent ønsket å fremme sitt produkt [64]. Dette resulterte i at applikasjoner ikke samhandlet eller samhandlet svært dårlig, samt at hver traktor trengte en individuell terminal for kommunikasjon, dataoverføring og maskinkontroll. Det ble derfor utviklet et felles system kalt ISOBUS.

ISOBUS er en felles kommunikasjonsplattform som gir muligheten til en praktisk og oversiktlig styring av redskapene, samt forenklet dataoverføring fra redskap til skjerm ved hjelp av et standardisert system. Monitoren, altså skjermen, i traktoren mottar data om alle tilkoblede redskaper fra en boks koblet på en såkalt ISOBUS-kontakt [65]. Denne kontakten er en standardisert nine-pine plug som gjør det enkelt å koble sammen ulike komponenter. Monitoren fungerer som en felles terminal for implementering av maskiner og redskaper uavhengig av leverandør. ISOBUS skal konstrueres i tråd med den internasjonale standarden ISO-11783.

Alle redskaper kan styres via monitoren gjennom et felles kontrollsystem. Data kan overføres mellom terminalen i traktoren og en PC plassert for eksempel hjemme på gården. Bruk av ISOBUS kan gi økt effektivitet ved optimering av timing og presisjon i landbruket. ISOBUS kan benyttes ved presisjonslandbruk.



Figur 4.5-1: Forenklet illustrasjon av ISOBUS sin sammenkobling av traktor og sprøyte [66].

5. PRODUKTSPEISIFISERING

Produktspeisifiseringen vil ta for seg rammebetingelsene for sluttproduktet. Av dette inngår produktmålsetting, metriske grensespeisifikasjoner, rangering av produkttegenskaper og en tidlig kostnadsvurdering. Dette gjøres for å kartlegge krav, ønskede produkttegenskaper og andre speisifiseringer for tenkt sluttprodukt.

5.1. Produktmålsetting (Customers needs)

Produktmålsettingen omhandler de overordnede produktkravene som tenkt sluttprodukt skal inneha for å tilfredsstille brukerkravene. Produktets delmål skal bygge oppunder produktmålet og fungerer som speisifiserte krav for sluttproduktet.

5.1.1. Produktmål

Produktmålsettingen for tenkt produkt er som følger:

Produktet skal fungere som et som kontinuerlig måleinstrument for vindstyrke og vindretning mens kjøretøyet er i bevegelse. Vindens hastighet og retning skal enkelt kunne leses av fra førersetet i kjøretøyet for å kunne optimere spredningen av plantevernmidler.

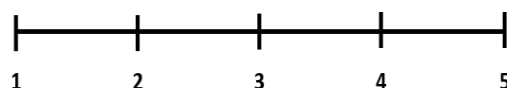
5.1.2. Delmål

Delmålene som inngår for måloppnåelse er som følger:

- Måle absolutt vindretning og vindhastighet presist med en maksimal feilmargin på 2 % av vindhastigheten innenfor intervallet 0 - 5 m/s.
- Måleresultatene skal være upåvirket av kjøreretning, underlagets helning og røffhet.
- Optimal plassering av vindmåleinstrumentet for målinger med mest mulig uforurenset vind.
- Mulighet for visuell nøyaktig visning av vindhastighet og retningen.
- Høy brukervennlighet ved avlesning, montering og under bruk.
- Måleinstrumentet skal være enkelt å frakte med seg til spredningsområdet, samt oppbevare utenfor sesong.
- Lav kompleksitet og enkel utforming.

5.2. Rangering av produkttegenskaper

Produktegenskaper som anses nødvendige for et gjennomtenkt og kvalitetssikkert sluttprodukt i tråd med produktmålsettingen, er listet opp nedenfor. Produktegenskapene representerer brukerkravene til tenkt sluttprodukt, og skal blant annet sikre høy grad av brukervennlighet, pålitelig måling og visning av resultater, samt et robust design som tåler utendørsbruk og diverse lagringsmiljøer.



Figur 5.2-1: Illustrasjon av vektingsmatrisen med karakterskala fra 1 - 5. Homogen avstand mellom intervallene.

I Tabell 5.2-1 er produkttegenskaper for et vindmåleinstrument listet opp og vektet etter Pughs metodikk. Karakterskalaen som er benyttet går fra 1 - 5, med homogen avstand mellom hvert karakterintervall, slik som vist i Figur 5.2-1. Produkttegenskaper som tildeles karakter «5» ansees som helt essensielle for måleinstrumentet, og er fetet ut i tabellen. Karakteren «1» tilsier at kriteriet er nærmest uviktig og relativt uvesentlig for sluttresultatet.

Måling:

Kvalitet i målingene er svært viktig for optimal spredning av plantevernmidler. «Måling» er et hovedkriterium som kan knyttes direkte mot produktmålsettingen. Produkttegenskaper som faller under «måling» omhandler målingenes nøyaktighet av vindhastighet og vindretning, samt at måleresultatene ikke påvirkes av kjøring i ulik helning eller på ujevnt underlag. Enkel eller ingen kalibrering foretrekkes, samt at instrumentet har muligheten for å angi tilleggsinformasjon om luftfuktighet og temperatur.

Avlesing:

Det skal være enkelt for sprøytepersonell å lese av korrekt vindhastighet og vindretning under sprøyting. Det forutsettes derfor at den visuelle visningsanretningen plasseres innen synsvidde fra fører sete, samt at risting ved kjøring på ujevnt underlag ikke kompliserer vindavlesningen.

Design:

Måleinstrumentets design skal være brukervennlig og ryddig. Instrumentet med tilhørende ekstrautstyr skal være enkelt å frakte med seg tur/retur spredningsområdet, eventuelt være mulig å montere før avreise. Lav pris er å foretrekke.

Tabell 5.2-1: Oversikt over tenkelige produkttegenskaper for et vindmåleinstrument, samt karaktersetting etter Pughs metodikk ved bruk av en skala med karakterer fra 1-5.

Kategori	Produkttegenskap	Karakter
Måling		
	Presis/Nøyaktig måling	5
	Presis ved svært lav vindhastighet	3
	Tåler humpete underlag - stabilitet	4
	Måling uavhengig av helning	4
	Enkel/ingen kalibrering før bruk	3
	Måler tilleggsinformasjon som luftfuktighet og temperatur	2
	Kjøretøyet skjermer ikke for måleinstrumentet	5
	Mulighet for høydejustering	3
Avlesing		
	Viser nøyaktig hastighet	5
	Viser nøyaktig retning	5
	Stabil avlesning uten risting	3
	Plassering innen synsvidde	2
	Mulighet for overførsel av vinddata til display	3
Design		
	Brukervennlig	4
	Pris	5
	Enkel å frakte tur/retur spredningsområde	4

I tillegg til produkttegenskapene lagt frem i Tabell 5.2-1 forutsettes det at produktet er robust og tåler diverse påkjenninger fra generell utendørs bruk. Særlige utfordringer vil være knyttet til fuktskader, korrosjon av metalldeleer ved kontakt med oksygen, slitasjeskader grunnet ultrafiolettstråling og varme, samt kjemisk påvirkning av syrer og baser fra plantevernskyen omkring spredningsstyret.



5.3. Metriske grensespesifikasjoner

Metriske grensespesifikasjonene vil omhandle de ytterste grenseverdiene for hva som kan tolereres av mål på måleinstrumentet. Utgangspunktet for maksimums og minimums-størrelsene er hentet fra allerede eksisterende teknologi. Dersom visningsmuligheten er adskilt fra måleinstrumentet, for eksempel ved bruk av eksternt display, vil ikke dette inngå som en del av grensespesifikasjonene. Det har blitt tatt høyde for at måleinstrumentet manuelt skal kunne festes på kjøretøyet eller tilbehøret til kjøretøyet. Dette setter krav til en maksimal vekt på ti kg. Høyden må kunne justeres opp til et minimum på tre meter over bakkenivå for å kunne gi relativt uforurensete vindmålinger for både retning og hastighet.

Tabell 5.3-1: Grensespesifikasjonene for vindmåleinstrumentet.

	Minimum [mm]	Maksimum [mm]	Optimal [mm]
Bredde	50	500	50
Lengde	50	500	50
Høyde	100	3500	100

Den optimale høyden er avhengig av foretrukket løsningsalternativ, men foretrekkes å være så liten som mulig. Derfor er de optimale grensespesifikasjonene samsvarende med minimumsverdiene.

5.4. Tidlig kostnadsvurdering

Prisen på allerede eksisterende vindmålingsteknologi ligger i området 350 - 1.500 NOK for kun vindmåleinstrumentet. Soniske vindmålere er en del dyrere og koster rundt 15.000 - 150.000 NOK avhengig av om det er et to-akset eller tre-akset system samt grad av nøyaktighet. Komplette vindmålingssett med vindmåler for både retning og hastighet, overføringsmulighet enten trådløst eller via kabel og display til seilbåt koster mellom 3.500 - 5.500 NOK.

Kostnadsnivået for det enkleste vindmåleinstrumentet, hvor visningsmuligheten er integrert i produktet, tilpasset åkersprøyte må derfor koste omkring 400 NOK for å være konkurransedyktig. Ved et komplett vindmålingssystem vil kostnaden eknyttet til overføringsteknologien dra prisen betydelig opp. En tidlig kostnadsvurdering for komplett vindmålingssystem vil være 4.000 NOK. Den konkurransedyktige prisen ansees å kunne være noe høyere enn rimeligste alternativ, grunn at det i dag ikke finnes et vindmåleinstrument spesielt tilpasset landbruket og åkersprøyting.

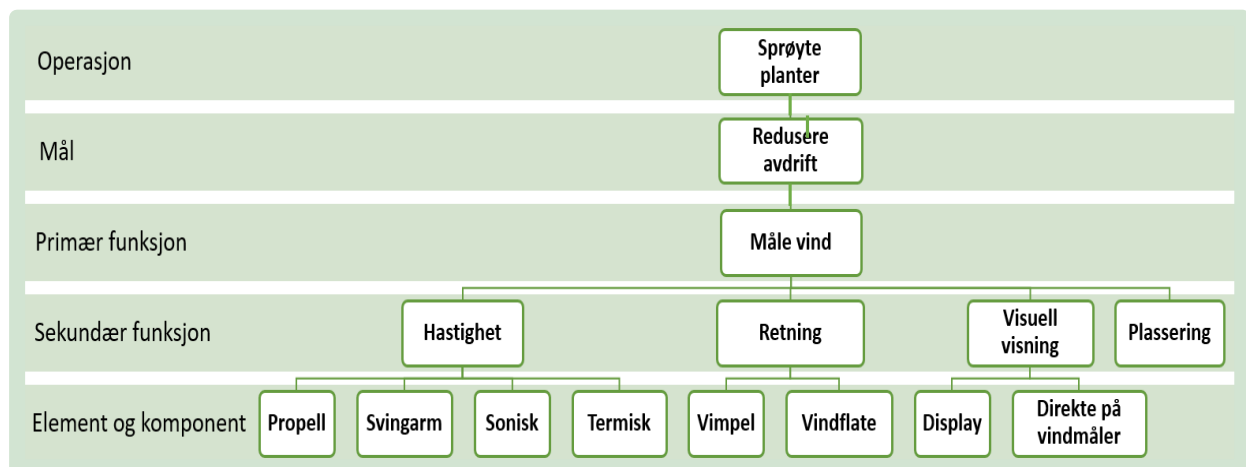
6. KONSEPTGENERERING

Når man skal fatte en beslutning er det lett å opptre satisfierende. Mennesket har lett for å velge det første alternativet som er godt nok, uten å lete videre etter bedre alternativer. Dette skyldes menneskets begrensede rasjonalitet [67]. For å unngå satisfiering, gjennomføres en grundig funksjonsanalyse hvor den overordnede operasjonen brytes ned til alternative elementer og komponenter. De ulike funksjonsalternativene presenteres og diskuteres, før det gjennomføres en tidligvurdering av brukspåkjenninger og bruksbetingelser for vindmåleinstrumentet.

6.1. Funksjonsanalyse for produkttypen

Måleinstrumentet skal først og fremst fungere som et hjelpende verktøy for å optimere sprøytingen av åker og eng ved å redusere avdriftsmengden. Ved å kontinuerlig måle vindens hastighet og retning kan sprøytingens presisjon økes. Dette kan gi flere fordeler, da for eksempel sprøyting nærmere sensitive områder kan vurderes, samt benyttet mengde plantevernmidler kan reduseres.

Nedenfor er en rangert funksjonsanalyse for vindmåleinstrumentet satt opp. Rangementene er listet opp på venstre side i Figur 6.1-1. Funksjonsanalysen er delt opp i fem nivåer, som tilsammen omfatter hele prosessen fra den overordnede operasjonen øverst, til konkrete løsningsalternativer i elementer og komponenter nederst. Funksjonsanalysen danner grunnlag for oppsett av funksjonsalternativene før egen konseptscreening.



Figur 6.1-1: Funksjonsanalysetre for vindmåleinstrumentet. De ulike sekundærfunksjonene vil tas med videre i seleksjonene av hovedkonseptet.

I funksjonsanalysen er visuell visning og plassering plassert som en sekundærfunksjon, sammen med hastighet og retning. Visuell visning og plassering kunne utgått da de ikke ansees å ha en naturlig plassering i analysen, men for å oppnå et best mulig sluttresultat vil disse punktene inkluderes. Både visuell visning og plassering danner utgangspunkt for utviklingen av produktet, og krever derfor drøfting og refleksjon omkring løsningsalternativer.

6.2. Funksjonsalternativer med skisser

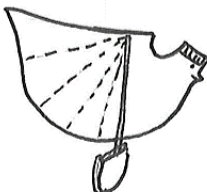

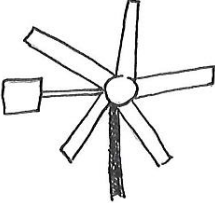
En av de mest essensielle problemstillingene er knyttet til måling av absolutt vindhastighet og vindretning når kjøretøyet er i bevegelse. Ved sprøyting av åker og eng vil kjøreretningen ofte endres underveis i sprøyteprosessen, hvilket gjør at vindmåleren raskt må innstille seg etter retnings-

forandringer. Det forutsettes at alle funksjonsalternativene er robuste og beregnet til å tåle påkjenningene fra utendørsbruk. Det forutsettes også at det finnes gode og gjennomtenkte lagringsmuligheter for oppbevaring utenom sesong for alle funksjonsalternativene. Funksjonsalternativene genereres ved bruk av kreativitetsverktøyet SCAMPER, samt studie av eksisterende vindmåleteknologi. Nedenfor vil ulike funksjonsalternativer for de sekundære funksjonene i Figur 6.1-1 presenteres.


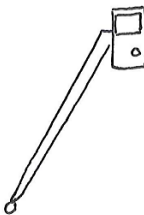

6.2.1. Måle vindens hastighet og retning

Da måling av vindens hastighet og retning henger nøye sammen for å oppnå et komplett produkt, er disse to sekundærfunksjonene vurdert samlet. For måling av vindstyrken vil allerede eksisterende vindmålingsteknologi presentert i delkapittel 1.2 benyttes. Det er plukket ut seks teknologier som angir både vindhastighet og retning, og som ansees å være aktuelle for videre vurderinger. Alternativene med sokk og vimpel er utelatt grunnet en vurdering om for upresise målinger av vindhastighet. Tre-akset sonisk vindmåler er også utelatt da vindens hastighet og retning i det horisontale planet anses som tilstrekkelig informasjon for sprøytepersonellet. Rekkefølgen på alternativene i Tabell 6.2-1 er vilkårlig.

Tabell 6.2-1: Funksjonsalternativer for måling av vindens hastighet og retning med tilhørende fordeler og ulemper. Alternativene presenteres i vilkårlig rekkefølge.

Illustrasjon	Fordeler	Ulemper
A. Vindhøne 	<ul style="list-style-type: none"> + Billig + Enkelt og brukervennlig konsept + Enkelt design + Krever ingen kalibrering før start + Gir kontinuerlig måleresultater + Krever ingen spesiallagring utenfor sesong + Robust utforming som tåler skitt, slag og liknende påkjenninger 	<ul style="list-style-type: none"> - Krever øyekontakt med måleinstrumentet fra førerretet - Målingene kan påvirkes av ujevnt underlag og helning - Gir ingen tilleggsinformasjon - Noe startfriksjon kan gi unøyaktig måling - Måler ikke vertikal vind
B. Klassisk anemometer 	<ul style="list-style-type: none"> + Billig og enkelt å få tak i + Brukervennlig konsept + Målingene påvirkes lite av underlag og helning + Relativt presise målinger + Vinddata kan sendes til display + Krever ingen kalibrering + Rotasjon av skålene er uavhengig av vindretning + Krever ingen spesiallagring utenfor sesong 	<ul style="list-style-type: none"> - Gir ingen tilleggsinformasjon - Noe startfriksjon kan gi unøyaktig måling ved svært lave vindhastigheter - Måler ikke vertikal vind
C. Vindmølle 	<ul style="list-style-type: none"> + Billig og enkelt å få tak i + Brukervennlig konsept + Målingene påvirkes lite av underlag og helning + Vinddata kan sendes til display + Krever ingen kalibrering + Krever ingen spesiallagring utenfor sesong + Svært robust utforming 	<ul style="list-style-type: none"> - Korrekt rotasjon av propellarmene er avhengig av å stå 90° på vindretningen. Krever derfor at propellarmene kontinuerlig dreies etter vinden - Gir ingen tilleggsinformasjon - Noe startfriksjon - Måler ikke vertikal vind

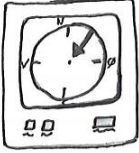


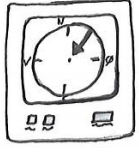

Tabell 6.2-2 forts.: Funksjonsalternativer for måling av vindens hastighet og retning med tilhørende fordeler og ulemper. Alternativene presenteres i vilkårlig rekkefølge.

Illustrasjon	Fordeler	Ulemper
<p>D. Håndholdt</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Billig og enkelt å få tak i + Brukervennlig konsept + Målingene påvirkes ikke av kjøring på ujevnt underlag og i helning + Krever ingen kalibrering + Ikke avhengig av å vite kjørehastighet for beregning av absolutt vindstyrke + Krever ingen spesiellagring utenfor sesong + Liten i størrelse gjør den enkel å frakte tur/retur felt 	<ul style="list-style-type: none"> - Korrekt rotasjon av propellarmene er avhengig av å stå 90° på vindretningen - Krever unødvendig stopping av sprøytingen for å foreta måling - Gir ingen tilleggsinformasjon - Noe startfriksjon - Måler ikke vertikal vind - Krever strømtilførsel eller batteri
<p>E. Termisk</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Svært enkel avlesning av vinddata + Påvirkes ikke av kjøring på ujevnt underlag og i helning + Relativt rimelig i pris + Svært presis vindmåling + Vinddata kan sendes til display + Gir kontinuerlig måleresultater + Gir tilleggsinformasjon + Ingen startfriksjon, gir presise målinger ved lav hastighet 	<ul style="list-style-type: none"> - Krever kalibrering - Krever optimal oppbevaring når instrumentet ikke er i bruk - Kan være noe avansert i bruk - Krever optimal oppbevaring når instrumentet ikke er i bruk - Kan lett skades av søle, slag fra greiner, osv. - Krever strømtilførsel eller batteri
<p>F. Sonisk</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Svært enkel avlesning av vinddata + Påvirkes ikke av kjøring på ujevnt underlag og i helning + Svært presis vindmåling + Vinddata kan sendes til display + Gir kontinuerlig måleresultater + Gir tilleggsinformasjon + Ingen startfriksjon gir presise målinger ved svært lav hastighet 	<ul style="list-style-type: none"> - Dyr i pris - Krever kalibrering - Krever optimal oppbevaring når instrumentet ikke er i bruk - Kan være noe avansert i bruk - Kan lett skades av søle, slag fra greiner, osv. - Krever strømtilførsel eller batteri

6.2.2. Visualisering

Visualiseringsalternativene vil være inspirert av allerede eksisterende vindmålingsteknologi. Visualiseringen av måleresultatene avhenger av hvilken plassering måleinstrumentet skal ha, samt hvilken måleteknologi som benyttes. Dersom måleinstrumentet plasseres utenfor synsvidden vil føreren være avhengig av dataoverføring til et display. Ved plassering innenfor synsrekkevidde kan i tillegg vimpel- og svingarmløsninger vurderes. Da det er ulike funksjonsalternativer for visning av vindens hastighet og retning, har det blitt valgt å splitte visualiseringen inn i to separerte deler i tabellen. Ved valg av funksjonsalternativ som omhandler display, vil det være et behov for dataoverføring. Dette kan gjøres via kabelløsning, bluetooth eller wifi.

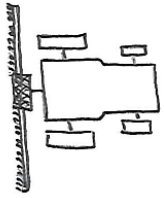

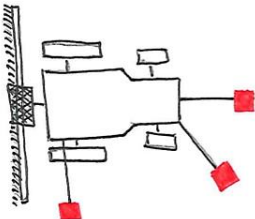
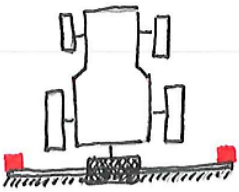

Tabell 6.2-3: Funksjonsalternativer for visualisering av vindhastighet og vindretning med tilhørende fordeler og ulemper. Alternativene presenteres i vilkårlig rekkefølge.

Illustrasjon	Fordeler	Ulemper
Vindretning		
A. Display 	<ul style="list-style-type: none"> + Fri plassering av måleinstrumentet + Svært presis og enkel avlesning + Kan plasseres på dashbordet i kjøretøyet som fremmer kontinuerlig overvåkning + Moderne 	<ul style="list-style-type: none"> - Kan gi noe økte kostnader - Krever gode oppbevaringsmuligheter utenom bruk - Overføring med bluetooth har begrenset rekkevidde - Kan være noe avansert i bruk - Går på strøm eller batterier
B. Vindhane 	<ul style="list-style-type: none"> + Rimelig + Brukervennlig + Utseende som appellerer til gårdsbruk 	<ul style="list-style-type: none"> - Avhengig av plassering for avlesning - Noe unøyaktig avlesning - Kan kun kombineres med vindhønealternativet - Stor overflate krever større vind for å rotere vindhanen i riktig retning
C. Styrepil 	<ul style="list-style-type: none"> + Kan kombineres med nesten alle vindmålingsalternativene + Rimelig + Brukervennlig 	<ul style="list-style-type: none"> - Avhengig av plassering for avlesning - Noe unøyaktig avlesning - Enkelt å ignorere
Vindhastighet		
A. Display 	<ul style="list-style-type: none"> + Fri plassering av måleinstrument + Presis avlesning + Kan plasseres på kjøretøyets dashbord + Rask oppdatering av vinddata + Lett å lese av selv små endringer 	<ul style="list-style-type: none"> - Kan gi noe økte kostnader - Bluetooth har begrenset rekkevidde - Krever gode oppbevaringsmuligheter utenom bruk
B. Svingarm 	<ul style="list-style-type: none"> + Rimelig + Svært brukervennlig + Krever ingen kalibrering 	<ul style="list-style-type: none"> - Noe unøyaktig avlesning - Krever plassering innen synsvidde - Påvirkes lett av kjøretøyets fremdrift - Kan påvirkes noe av luftfuktighet, temperatur og liknende faktorer

6.2.3. Plassering av måleinstrument

Plasseringen til vindmåleinstrumentet er svært avgjørende for måleresultatets presisjon og totalvurderingen av sluttresultatet. Det er viktig at traktoren ikke skjærer for eller påvirker vindens hastighet og/eller retning. Måleresultatene fra metrologiske institutt gjennomføres ti meter over bakkenivå for å unngå friksjon, turbulens og annen forurensning. For å oppnå mer presise målinger vil det derfor være mulighet å kunne justere høyden på måleinstrumentet, samt vurdere å benytte flere måleinstrumenter. Disse utviklingsmulighetene kan diskuteres i videre arbeid. Alternativene er presentert i Tabell 6.2-4.

Tabell 6.2-4: Funksjonsalternativer for plassering av måleinstrument. Positiv kjøreretning mot høyre.

Illustrasjon	Fordeler	Ulemper
<p>A. Separert fra kjøretøyet</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Forenklet vindmåling ved måling av absolutt vindhastighet + Traktorens hastighet, helning og underlag påvirker ikke vindmålingen + Uforurenset vindmåling + Trenger kun et vindmåleinstrument + Måleinstrumentet tar liten plass hvilket forenkler oppbevaringen + Enkelt å feste manuelt 	<ul style="list-style-type: none"> - Avhengig av trådløs dataoverføring til kjøretøyet med lang nok rekkevidde - Vinden ved måleinstrumentet og ved traktorens plassering kan være forskjellig
<p>B. Kjøretøyets tak</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Mest likt metrologisk institutt sine målemetoder + Relativt uforurenset vind + Måleinstrumentet tar liten plass hvilket forenkler oppbevaringen 	<ul style="list-style-type: none"> - Avhengig av dataoverføring enten trådløst eller via kabel - Måleinstrumentet kan slås av eller ødelegges ved kjøring nær lavt hengende greiner og liknende - Vanskelig å feste manuelt
<p>C. Ekstern bom ut fra kjøretøyet</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Måle vind direkte i aktuell høyde hvor dysene sitter. + Føreren har klar sikt direkte på måleinstrumentet. Åpner opp for flere visualiseringsmuligheter + Plasseringen passer alle typer vindmålingsteknologi 	<ul style="list-style-type: none"> - Tungvint å frakte en lang bom - Humpete underlag kan gi unødvendig forstyrrelser og vibrasjon på vindmåleinstrumentet - Kjøretøyet kan skjerme for måleinstrumentet - Vanskeligheter ved konstruksjon av universell festemekanisme - Ekstra materialkostnader - Større krav til oppvaring grunnet størrelse
<p>D. På sprøytebommen</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Utnytter sprøytebommens stabilitet og arm + Måler vind i aktuell høyde. + Måleinstrumentet kan ta liten plass hvilket forenkler oppbevaringen + Føreren har klar sikt direkte på måleinstrumentet + Mulighet for høydejusteringer + Plasseringen passer alle typer vindmålingsteknologi + Enkelt å feste manuelt 	<ul style="list-style-type: none"> - Kjøretøyet kan skjerme noe for måleinstrumentet - Kan komplisere sammenslåingen av bommene - Avhengig av enten to instrumenter eller mulighet for høydejustering
<p>E. På panseret</p> 	<ul style="list-style-type: none"> + Klar sikt fra førerhus til vindmåler + Måleinstrumentet kan ta liten plass, hvilket forenkler oppbevaringen + Mulighet for høydejustering + Plasseringen er egnet for de enkleste måleinstrumentene + Enkelt å feste manuelt 	<ul style="list-style-type: none"> - Kjøretøyet kan skjerme noe for måleinstrumentet - Noe utsatt posisjon ved kjøring - Krever høydejusteringsmulighet for å unngå forurensninger i vinden



6.3. Tidligvurdering av bruksbetingelser

En tidlig vurdering av bruksbetingelser gjøres for å kartlegge hvilke forutsetninger utviklingen av produktet må baseres på med tanke på dråpespredning. Det ansees som hensiktsmessig å beregne spredningsavstand ved maksimale tillatte vindforhold på fem m/s målt ti meter over bakken, da dette kan gi et overblikk over avdriftens spredningsomfang. For utregningene av bruksbetingelsene er det gjort enkle forutsetninger og lokale begrensninger. Disse er som følger:

- Sprøytingen foregår i oppholdsvær.
- Det tas ikke hensyn til luftfuktighet.
- Forutsetter laminær vind.
- Temperaturpåvirkningen er neglisjert, altså tas det ikke hensyn til eventuell fordampning.

6.3.1. Vindhastighet ved ulik høyde.

Metrologiske institutt foretar målinger ved ti meters høyde over bakkenivå. Verdien de angir er en gjennomsnittsverdi for vinden i intervaller på ti minutter [68]. Da vinden følger en logaritmisk vindprofil er det mulig å beregne hva vindstyrke målt på tre meters høyde vil tilsvare ved ti meters høyde, ved å utnytte uttrykket for friksjonshastigheten til vinden [49]. Maksimalt tillatte vindhastighet ved sprøyting er satt til fem m/s ved ti meters høyde. Benytter denne verdien som utgangspunkt for beregning av maksimal vindhastighet for tillatt sprøyting for utmerkede høyder presentert punktvis nedenfor, samt en grafisk fremstilling av vindhastighetens utvikling i høydeintervallet 0 - 1,5 meter.

- 3,0 meter over bakken: Takhøyde på en gjennomsnittlig traktor.
- 0,7 meter over bakken: Plassering på 0,3 meter tykk bom, ved 0,4 meter over bakken.
- 0,4 meter: Vindhastighet ved dysetupp.

Formelen 3.24 benyttes til å beregne friksjonshastigheten. Aerodynamisk ruhetsverdi (H_0) for åpent område, eng og åker er angitt med en verdi på 0,03 meter. Von Kármán konstanten (k) er 0,4.

$$v_* = \frac{kM_h}{\ln\left(\frac{H_R}{H_0}\right)} \quad (3.24)$$

Setter inn verdiene for ti meter over bakken inn i formelen.

$$v_* = \frac{0,4M_{10}}{\ln\left(\frac{10}{0,03}\right)}$$

Beregner friksjonshastigheten (v_*) for 3, 0,7 og 4 meter. Verdiene er listet opp i Tabell 6.3-1.

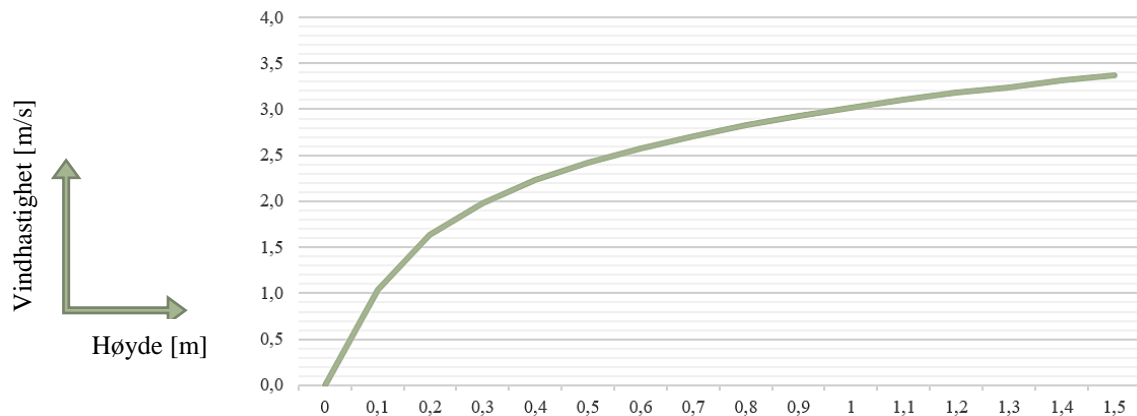
Tabell 6.3-1: Beregningsverdier for ulike høyder ved en registrert vindhastighet på fem m/s ved ti meter over bakken.

Høyde [m]	v_* [m/s]	Sammenheng	M [m/s]
10	$0,069 M_{10}$	-	5
3	$0,087 M_3$	$M_{10}=1,261M_3$	3,964
0,7	$0,127 M_{0,7}$	$M_3=1,462 M_{0,7}$	2,711
0,4	$0,154 M_{0,4}$	$M_3=1,778 M_{0,4}$	2,230

Grafen nedenfor viser forholdet mellom vindhastighet og høyde over bakken i intervallet 0 – 1,5 meter over bakken. Det kommer frem av grafen at vindhastigheten er null nærmest bakken. Komplette vind-

stillhet langs bakkenivå skyldes underlagets ruhet som bremses opp vinden totalt. Ruhetsverdien er avhengig av type vegetasjon, og øker ved høyere og tettere vegetasjonstype.

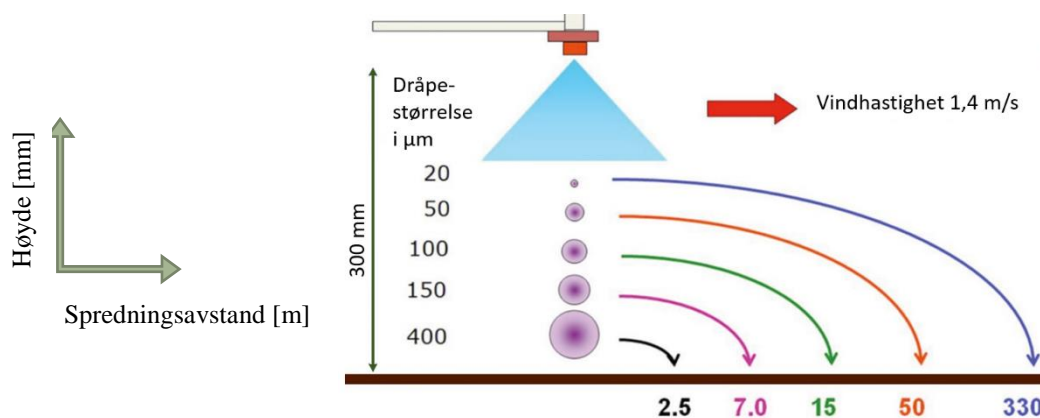
Vindhastigheten øker med en naturlig logaritmisk vekst per høydeenhet. Grafen nedenfor er trukket opp til 1,5 meter grunnet veksthøyde for ulike vekster som potet, korn og liknende. Ved høyere vekster vil aerodynamisk ruhetsverdi (H_0) endre seg.



Figur 6.3-1: Grafisk illustrasjon av vindhastigheten mellom 0 og 1,5 meter.

6.3.2. Maksimalt dråpeutslag ved fem m/s vindhastighet

Beregning av den maksimale avstanden en dråpe kan transporteres ved vindhastighet på fem m/s vil bli gjennomført for å kartlegge spredningsavstanden. Da vind ikke nødvendigvis blåser med konstant hastighet, kan spredningsavstanden i korte tidsrom øke betydelig. I Figur 6.3-2 er dråpenes spredningsavstand ved spredning fra 300 mm høyde over bar bakke med påført vindhastighet på 1,4 m/s. I figuren kommer det frem at de største dråpene har minst spredningsavstand, mens de minste spres langt. De aller minste dråpene vil enkelt fordampe eller bli tatt av vinden, og kan spres mange hundre meter unna sprøyteutstyret.

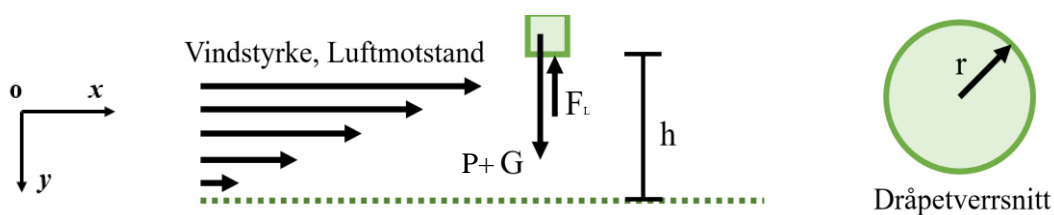


Figur 6.3-2: Omarbeidet illustrasjon av sprøyteudstyret som sprøytes ut av dysene ved en vindstyrke på 1,4 m/s ved en høyde på 300 mm.

Det vil bli gjennomført noen enkle beregninger for spredningsavstand ved påvirkning fra en ekvivalent sidevind med maksimal vindhastighet på fem m/s. Den analytiske metoden som blir benyttet for beregning av spredningsavstand ved er som følger; Setter opp likninger for tiden dråpen bruker på å

oppnå hastighet i vertikal og i horisontal retning. Deretter settes varierende verdier for tiden (t) inn i likningene for å finne de samhørende hastighetene i x- og y-retning ved samme tidspunkt. Benytter de samhørende hastighetene for å finne tilbakelagt strekning i horisontal og vertikal retning. For fullstendig tabell med verdier for tid, hastighet og strekning, se vedlegg A.

I beregningene nedenfor tas det utgangspunkt i at dråpen har en utgangshøyde på 400 mm over bar bakke. Da beregning av spredningsavstand er relativt komplekst grunnet ulike påvirkningsfaktorer, samt hvordan dråpedusjen oppfører seg, har det er blitt gjort noen forenklinger og antagelser i utregningene. Ved sprøyting vil det normalt sendes ut en sprøytedusj som samlet spres utover feltet. Ved utregningene nedenfor vil det kun bli gjort beregninger for en enkelt dråpe. Det vil kun bli sett på vindens påvirkning, altså luftmotstand i horisontalt og vertikalt plan, et gjennomsnittlig sprøyetrykk (P) i dysene og dråpens egenvekt. Andre faktorer knyttet til omgivelsen, for eksempel fordampingsgrad er neglisjert.



Figur 6.3-3: Forenklet oversikt over kreftene som virker på en dråpe når den faller fra høyden h med positive retninger for utregningene nedenfor. Sirkelen til høyre illustrerer forenklet dråpetverrsnitt.

Figur 6.3-3 er en forenklet oversikt over hvilke krefter som påvirker en dråpe (grønt kvadrat) når den sprøytes ut av dysene med en starthastighet på 20 m/s. Starthastigheten skyldes dysetrykket P. Sprøytespruten har vanligvis en utsprengningsvinkel på mellom 110 - 120 grader. For beregningene nedenfor antas det kun utgangshastighet i y-retning. Kreftene som virker på dråpen i y-retning er tyngdekraften (G) og sprøyetrykket (P). Luftmotstanden i y-retning er neglisjert grunnet dråpens form, samt at kraften minimal i forhold til tyngdekraften som virker motsatt vei. Positiv y-retning er snudd i forhold til referanseretning for utregningene nedenfor, for å gi positive verdier i svaret.

I x-retning er kun vindstyrken, altså luftmotstand i positiv x-retning, tatt med. Det forutsettes laminær vind som anvist i Figur 6.3-3. Turbulensen i bakkant av traktor og bom er neglisjert, da porøsiteten til bommen ansees å være over 60 %. Den grønne sirkelen til høyre i Figur 6.3-3 illustrerer forenklet dråpetverrsnitt. Dråperadiusen er anvist med en sort pil.

Dråpeutslag i X-retning

Beregner volum av en dråpe. Benytter dråpestørrelse 200 μm da dette er en relativt liten midlere dråpestørrelse ved spredning av sprøytevæske, og antageligvis lett vil bli påvirket av vinden. Antar sirkulært tverrsnitt ved volum og arealberegninger.

$$V = \frac{4\pi r^3}{3} \quad (3.9)$$

$$V = \frac{4\pi(1 \cdot 10^{-4})^3}{3} = 5,236 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$$

Beregner massen til en dråpe. Antar at plantevernmiddel og vann har lik tetthet på 1000 kg/m^3 .

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.10)$$



$$m = \rho V = 1000 \cdot 5,236 \cdot 10^{-12} = 5,236 \cdot 10^{-9} \text{ kg}$$

Som nevnt innledningsvis antas det at det kun er luftmotstand, altså vinden, som virker i det horisontale planet, og at dråpen sprøytes ut av dysen kun i x-retning, hvilket tilsier at startfarten (v_i) i y-retning er lik null. Kjøretøyets fremdrift kan være med på å øke og senke spredningsavstanden avhengig av kjøreretning og vindretning. Antar at dråpene som faller vil falle med dråpeform. Dette gir luftmotstandskoeffisienten (C_w) for dråpeform lik 0,15. Tettheten til luft er satt til $1,23 \text{ kg/m}^3$.

$$A = \pi r^2 \quad (3.11)$$

$$F_{Lx} = \frac{1}{2} C_w \cdot A \cdot \rho \cdot v_x^2 \quad (3.12)$$

$$F_{Lx} = \frac{1}{2} \cdot 0,15 \cdot \pi \cdot (1 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 1,23 \cdot v^2$$

F_{Lx} oppgitt som en funksjon av vindhastigheten.

$$F_{Lx} = 2,898 \cdot 10^{-9} \cdot v^2$$

$$F_{L,tot,x} = 2,898 \cdot 10^{-9} (4 - v_x^2)$$

Benytter Newtons 2. lov til finne akselerasjonen til dråpa i x-retning.

$$\sum F = m \cdot a \quad (3.13)$$

$$\sum F_{L,tot,x} = m \cdot a_x$$

$$a_x = \frac{F_{L,tot,x}}{m} = \frac{2,898 \cdot 10^{-9} (4 - v_x^2)}{5,236 \cdot 10^{-9}} = 0,553 (4 - v_x^2)$$

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (3.15)$$

Setter likningene for akselerasjon i x-retning sammen.

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 0,553 \cdot (4 - v_x^2)$$

$$dt = \frac{dv}{0,553 \cdot (4 - v_x^2)} = 1,808 \cdot \frac{dv}{(4 - v_x^2)}$$

Benytter integrasjon og følgende integrasjonsregel for å løse uttrykket ovenfor. a er en konstant. x er variabel. C er ukjent, og neglisjeres ved videre utregninger.

$$\int \frac{dx}{a^2 - x^2} = \frac{1}{2 \cdot a} \cdot \ln \left| \frac{x + a}{x - a} \right| + C$$

$$\int dt = 1,808 \int_0^{v_x} \frac{1}{(4 - v_x^2)} dv$$



$$t = \frac{1,808}{2 \cdot 2} \cdot \ln \left[\left| \frac{v_x + 2}{v_x - 2} \right| - \left| \frac{0 + 2}{0 - 2} \right| \right] = [\text{sekunder}]$$

Løser ut formelen med hensyn på farten i x-retning. Dette gir en funksjon av farten i x-retning med hensyn på tiden (t).

$$v_x = \frac{4 + (2 \cdot 0,452 \sqrt{e^t})}{0,452 \sqrt{e^t}}$$

Benytter formel 3.16. for å få et uttrykk for spredningsavstanden (s) til dråpa.

$$dt = \frac{ds}{v} \tag{3.16}$$

$$ds_x = 1,808 \cdot \frac{v_x \cdot dv}{(4 - v_x^2)}$$

$$\int ds_x = 1,808 \int_0^{v_2} \frac{v_x \cdot dv}{(4 - v_x^2)}$$

Benytter følgende integrasjonsregel for å løse uttrykket ovenfor.

$$\int \frac{x \cdot dx}{b - ax^2} = \frac{-1}{2a} \cdot \ln(b - ax^2) + C$$

$$S_x = \frac{-1,808}{2 \cdot 1} [\ln(4 - v_x^2) - \ln(4 - 0)] = [\text{meter}]$$

Dråpeutslag i Y-retning

$$F_{Ly} = \frac{1}{2} C_w \cdot A \cdot \rho \cdot v_y^2 \tag{3.12}$$

$$F_{Ly} = \frac{1}{2} \cdot 0,15 \cdot \pi \cdot (1 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 1,23 \cdot v_y^2$$

F_{Ly} oppgitt som en funksjon av vindhastigheten.

$$F_{Ly} = 2,898 \cdot 10^{-9} \cdot v_y^2$$

Benytter Newtons 2. lov til finne akselerasjonen til dråpen i y-retning.

$$\sum F = m \cdot a \tag{3.13}$$

$$G - F_{Ly} = m \cdot a_y$$

$$a_y = g - \frac{F_{Ly}}{m} = 9,81 - \frac{2,898 \cdot 10^{-9} \cdot v_y^2}{5,236 \cdot 10^{-9}} = 9,81 - 0,553 \cdot v_y^2$$

$$a_y = 0,553(17,74 - v_y^2)$$



Benytter formelen for akselerasjon for å finne et uttrykk for farten (v_y) i y-retning og et uttrykk for den tilhørende tiden t.

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} \quad (3.15)$$

$$dt = 1,808 \frac{dv_y}{(17,74 - v_y^2)} \quad (I)$$

$$\int dt = 1,808 \int_{20}^{v_y} \frac{dv_y}{(17,74 - v_y^2)}$$

$$\int \frac{dx}{a^2 - x^2} = \frac{1}{2 \cdot a} \cdot \ln \left| \frac{x + a}{x - a} \right| + C$$

$$t = \frac{1,808}{2 \cdot 4,212} \cdot \left[\ln \left| \frac{v_y + 4,212}{v_y - 4,212} \right| - \ln \left| \frac{20 + 4,212}{20 - 4,212} \right| \right] = [\text{sekunder}]$$

Løser ut uttrykket (I) ovenfor. Dette gir en funksjon av farten i y-retning med hensyn på tid (t).

$$v_y = \frac{2,678 + (4,212 \cdot {}^{0,215}\sqrt{e^t})}{{}^{0,215}\sqrt{e^t} - 1}$$

$$dt = \frac{ds}{v} \quad (3.16)$$

$$ds_y = 1,808 \cdot \frac{v_y \cdot dv_y}{17,74 - v_y^2}$$

$$\int \frac{x \cdot dx}{b - ax^2} = \frac{-1}{2a} \cdot \ln(b - ax^2) + C$$

$$S_y = \frac{-1,808}{2 \cdot 1} \cdot [\ln(17,74 - v_y^2) - \ln(17,74 - 20)] = [\text{meter}]$$

Regner ut verdiene for tilbakelagt strekning i y-retning (S_y).

Tabell 6.3-2: Utdrag fra Tabell 0-1 som illustrerer samhørende tid, hastighet og tilbakelagt strekning i horisontalt og vertikalt plan.

t [s]	S _x [m]	S _y [mm]	v _x [m/s]	v _y [m/s]
0,27	33,181	52,034	0,245	22,511
0,28	35,684	26,546	0,254	22,594

Av utdraget fra Tabell 6.3-2 kommer det fram at en dråpe vil bruke mellom 0,27 og 0,28 sekunder på å falle 400 mm, altså maksimalt tillatt avstand fra sprøytebom til vekststupp. Dette vil gi en spredningsavstand i vertikal retning på omkring 35 meter. Denne avstanden er langt over hva som er tillatt spredningsavstand, men stemmer godt overens med spredningsavstandene illustrert i Figur 6.3-2. Hovedgrunnen avviket mellom håndberegningene og faktisk spredning kan antas at det kun har blitt regnet på en enkelt dråpe, og ikke den faktiske sprøytedusjen som sprøytes ut av dysene. For å få mer presise beregninger må det regnes på massefluxen som sprøytes ut. Dette vil vise en differensiering i



dråpestørrelser ved utsprøyting hvor de største dråpene vil falle kortere, fortere og i forkant av de små dråpene, samt sette omkringliggende luft i bevegelse. Luftstrømmen fra de foregående dråpene vil lede de mindre dråpene i samme retning som de større, noe som vil minske avdriften. Det har også blitt gjort en del antagelser og forenklinger underveis som kan spille en stor rolle for utfallet av beregningene, samt at dråpestørrelsen som er benyttet er svært liten, og regnes som avdriftsfarlig ved åkersprøyting.

6.4. Tidligvurdering av brukspåkjenninger

En tidligvurdering av brukspåkjenninger omhandler en enkel gjennomgåelse av hvilke påkjenninger instrumentet minimum må tåle under bruk. For vindmåleren vil brukspåkjenningene i stor grad være knyttet til festemekanismen på kjøretøyet. Det er der kreftene fra vind, luftmotstand, egenvekt, vibrasjoner og tilfeldige slag ved kjøring vil bli tatt opp. Utregninger av den absolutte vindhastigheten vil bli gjennomgått.

6.4.1. Festemekanisme

I Norge er størrelsen på sprøytefeltene variert. Derfor vil et måleinstrument som enten er plagsomt å kjøre med, eller må tas av og på mellom bruk, ikke ansees å være særlig optimalt eller brukervennlig. Det betraktes derfor som hensiktsmessig med en festemekanisme for installasjon og avinstallasjon av vindmåleinstrumentet som kan monteres før sprøyteprosessen starter, samt tåle belastninger ved kjøring på og tur/retur felt, svinger, opp og nedslåing av sprøytebom og liknende.

Det er ønskelig med et robust produkt som har en levetid på minimum ti år. Dette gjelder da også for festemekanismen. Anslår 25 installasjoner per sesong, hvilket gir minimum 250 installasjoner. Antallet installasjoner vil variere med tanke på størrelse og type jordbruk. Det forutsettes at festemekanismen holder vindmåleinstrumentet stabilt ved transport så vel som ved spredning. Festemekanismen skal minimum tåle kjøring i 45 km/t samt åtte m/s horisontal motvind. Antar at de metriske grensespesifikasjonene gjelder. Dette gir en maksimal vekt på ti kg. For enkelhetsskyld antas et kvadratisk måleinstrument med målene 500 x 500 mm.

$$F_{Lx} = \frac{1}{2} C_w A \rho v^2 \quad (3.12)$$

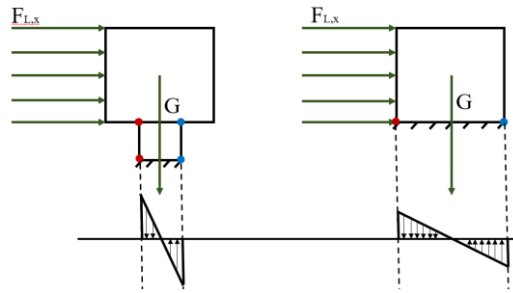
$$v = \frac{45}{3,6} + 8 = 20,5 \text{ m/s}$$

$$A = 0,5 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ m}^2$$

Tettheten til luft er satt til 1,23 kg/m³ og verdien til C_w ved kvadratisk tverrsnitt antas å være ca. 0,3.

$$F_{Lx} = \frac{1}{2} \cdot 0,3 \cdot 0,25 \cdot 1,23 \cdot 20,5^2 = 19,385 \text{ N}$$

Videre varierer brukspåkjenningene svært mye avhengig av utformingen på festemekanismen. To ulike utforminger er presentert i Figur 6.4-1. Til venstre er et eksempel på måleinstrument med høydejustering. Her vil det dannes et moment i festemekanismen, noe som kan gi lokal spenningskonsentrasjon, hvilket kan lede til sprøbrudd eller deformering. Ved mulighet for høydejustering må forholdet mellom lengde og tykkelse, altså knekkelengden vurderes. Til høyre er måleinstrumentet festet direkte på underlaget. Dette er en mer sikker måte å feste på da spenningene er mindre, men gir ingen mulighet for høydejustering.



Figur 6.4-1: Grov illustrasjon av vindmåleinstrumentet festet på stang (V.S.) versus festet direkte på overflate (H.S.). Røde prikker angir områder med strekk, blå prikker angir områder med trykk. Inkludert tilhørende spenningsprofil under hver figur.

Grensespesifikasjonene angir en maksimal vekt på ti kilo. Dette gir en gravitasjonskraft (G) på;

$$G = m \cdot g = 10 \cdot 9,81 = 98,1 \text{ N}$$

Gravitasjonskraften virker i vindmåleinstrumentets massesentrum. Antar symmetriske vindmålingsinstrumenter, hvilket gir koordinatene for massesentrum i senter av måleinstrumentet. Vindkraften ($F_{L,x}$) antas å virke rett på vindmåleinstrumentet som anvist i den grove illustrasjonen i Figur 6.4-1. Dette gir spenningsprofilene som illustrert i underkant. I tillegg til kreftene som er illustrert vil det virke en vertikal oscillerende kraft fra kjøring på røft underlag. Det antas at denne er relativt liten, og kan dermed neglisjeres.

6.4.2. Absolutt vindhastighet

Den absolute vindhastigheten er vindhastigheten det faktisk blåser med. Ved kjøring vil luftmotstanden virke på vimpelen og dytte den i samme retning som kjøreretningen. Dette vil påvirke avlesningen med en faktor.

$$\Sigma \vec{v} = \vec{v}_{vind,x} + \vec{v}_{kjøre,x} + \vec{v}_{vind,y} + \vec{v}_{kjøre,y}$$

I Tabell 6.4-1 vil de oppgitte vindhastigheten på den visuelle visningsanretningen oppgis. Positiv verdi defineres som med kjøreretningen, negativ verdi er mot kjøreretningen. Ved vind skrått fra siden, vil det være nødvendig med dekomponering av vindens retning i det horisontale planet.

Tabell 6.4-1: Enkel oversikt over noen oppgitte vindhastigheter ved visuell visning.

Kommentar	Absolutt vindhastighet [m/s]	Kjørehastighet [km/h]	Oppgitt vindhastighet [m/s]
Medvind + maks kjøre	5	8	7,22
Null vind + maks kjøre	0	8	2,22
Motvind + maks kjøre	-5	8	-2,78
Sidevind 90°	5	8	5 (sideveis)

6.4.3. Oppbevaring

Spredningssesongen er hovedsakelig vår og sommer. Det vil si at måleinstrumentet ligger ubrukt store deler av året. Typiske lagringslokasjoner er garasje, låve, bryggerhus og liknende. Måleinstrumentet trenger derfor en form for beskyttelse, som særlig verner mot fukt og deformasjon. Dersom måleinstrumentet monteres før kjøring til spredningsområdet og avinstalleres ved hjemkomst, er det fare for



at gjørme fra dekkene, steinsprut, grener, kvist og liknende kan treffe måleinstrumentet. Det vil derfor være hensiktsmessig med en slags hette som beskytter instrumentet ved transport.

6.4.4. Utskiftbare komponenter

Produkt kan lett bli ødelagt ved hensynsløs overlaging, kjøring i skog eller annen utmark og likende. Dersom det skulle oppstå skade på vindmåleren vil det være ønskelig med en enkel metode for utskifting av enkelte komponenter fremfor å kjøpe et helt nytt utstyr. Dette fremmer miljøet ved at levetiden totalt sett øker, samt vil være positivt økonomisk for brukeren. Av sikkerhetsmessige årsaker vil vindvimpelen være skrus fast, slik at vimpelen ikke plutselig hektes av og treffer omkringliggende objekter, eller mister sin funksjon.

6.5. Materialvalg

For å oppnå et optimalt produkt er materialvalg en avgjørende faktor. Produktet skal stå til de forventningene kunden har, hvor særlig levetid er en avgjørende faktor. Da selve vindmåleteknologien vil bli bestilt fra ekstern leverandør, omfatter materialvalget hovedsakelig festemekanismen og høydestativet som skal holde vindmålingsteknologien på plass. Faktorer som særlig vil påvirke levetiden er knyttet produktets brukperiode. Ved overlaging antas det at produktet ligger i ro uten påkjenninger fra ytre faktorer.

De viktigste ytre faktorene stativet og festemekanismen vil bli utsatt for, antas å være påvirkning av kjemiske stoffer fra plantevernkyen omkring kjøretøyet, ultrafiolett stråling fra solen og fuktighet fra omgivelsene. Temperaturen i lufta anses ikke å være en avgjørende faktor, men ved høy eksponering fra solen, kan lokale området oppleve svært høy temperatur. Festemekanismen og stativet vil også oppleve noe risting og vibrasjoner fra kjøring på ujevnt underlag som kan føre til sprekker og sprø eller duktile brudd. Brudd grunnet vibrasjoner ansees som lite sannsynlig grunnet lav frekvens på ristingen og små krefter involvert. Likevel kan feil i materialet eller feil ved monteringen danne grunnlag for sprekkevekst.

Det er ønskelig med så lav enhetspris som mulig. Materialkostnadene ikke vil påvirke sluttprisen i særlig stor grad dersom det benyttes materialer som rustfritt stål, aluminium eller ulike plastmaterialer. Robuste materialer som tåler mange lastsykler foretrekkes derfor fremfor faktorer som lav egenvekt og lav pris. Hooks lov innen fasthetslære angir spenningen (σ) i materialet som en funksjon av elastisitetsmodulen (E) og tøyning (ϵ).

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (3.23)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.21)$$

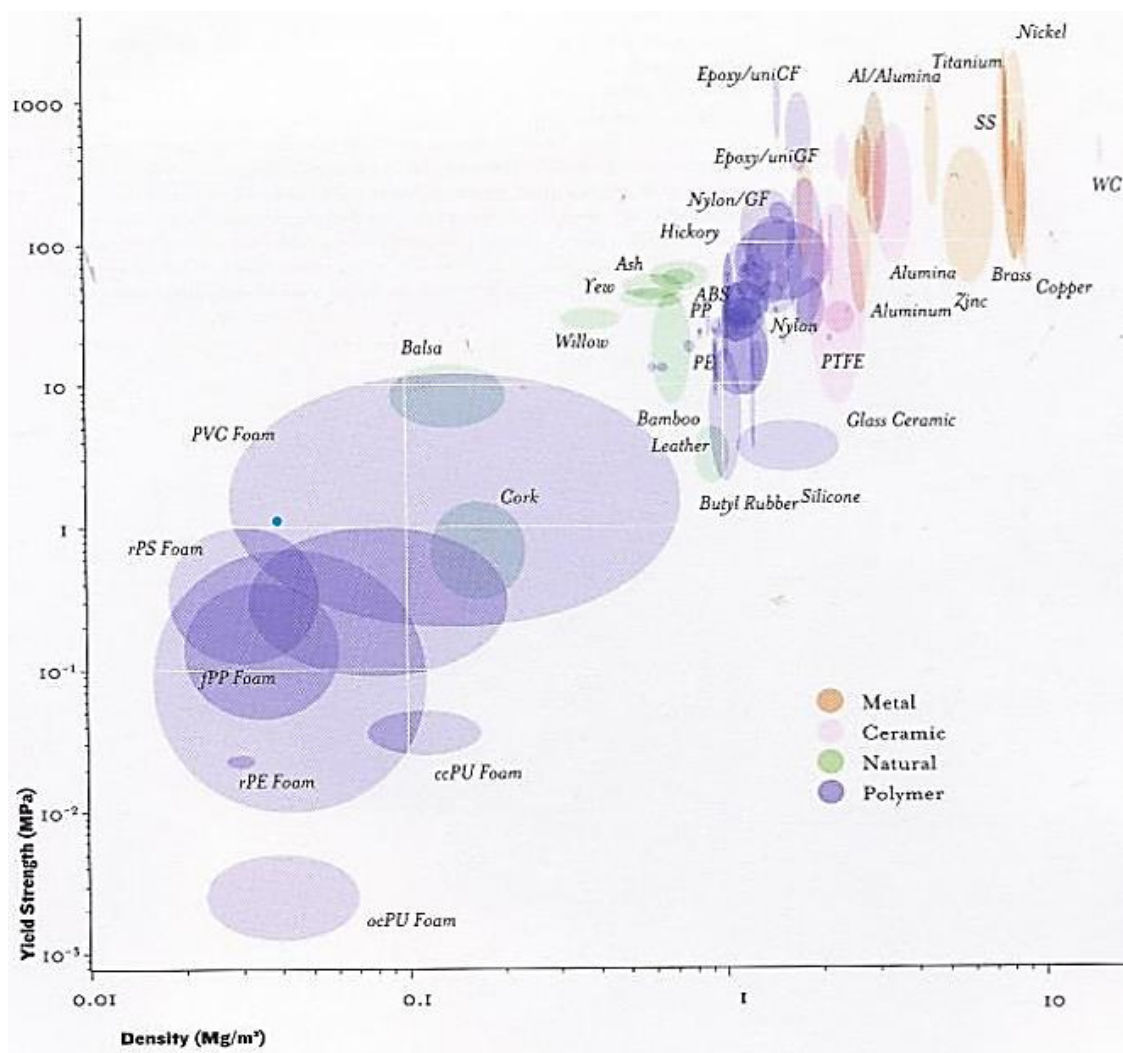
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (3.22)$$

Den relative forlengelsen (ΔL) angir hvor mye et materiale vil strekke seg eller trykke seg sammen ved påført kraft. ΔL kan uttrykkes ved å kombinere Hooks lov (3.23), den generelle formelen for spenning (3.21) og formelen for tøyning (3.22).

$$\Delta L = \frac{F \cdot L}{A \cdot E}$$

Elastisitetsmodulen (E), forkortet til E-modul, lyder også under navnet Youngs modul, og er et mål på forholdet mellom fasthet og forlengelse i et materiale. Høy E-modul kategoriserer et stivt materiale, med stor grad av motstandsevne mot elastisk deformasjon. Elastisk deformasjon vil si at materialet går tilbake til sin opprinnelige form dersom belastningen fjernes. Ved plastisk deformasjon har det skjedd en varig forandring av materialets form. E-modulen uttrykkes ofte ved bruk av Hooks lov i formel 3.23.

I Figur 6.5-1 er en oversikt forholdet mellom tettheten på x-aksen og strekkfastheten på y-aksen til polymerer altså plast, naturmaterialer, keramene og metaller. Av oversikten kommer det frem en ganske klar trend om at styrken stiger lineært med tettheten. Høy tetthet indikerer høy grad av styrke. For stativet og festemekanismen foretrekkes et sterkt og robust materiale, hvilket favoriserer metallene fremfor plast og naturmaterialene. Keramene innehar høy styrke kombinert med lavere tetthet enn flere av metallene, men vil være svært sprø og porøse hvilket gjør keramene lite egnede i omgivelser med risting og støt fra kjøring.



Figur 6.5-1: Oversikt over sammenhengen mellom tetthet og strekkfasthet til ulike materialer [69].

7. EGENSCREENING OG KONSEPTVALG

Konseptvalget baseres på en egen konseptscreening av løsningsalternativene presentert i kapittel 6.1. Screeningen vil baseres på Tabell 5.2-1 som angir en rangering av tenkelige produkttegenskaper knyttet til et vindmåleinstrument, tidligere drøftet teori, materialvalg, form- og estetikkalternativer og produktmålsettingen. Resultatet av egencreeningen vil danne grunnlag for endelig konseptvalg som vil bli tatt med videre til testing.

7.1. Utvikling av seleksjonsmatrise

Konseptscreeningen følger Pughs metodikk sin seleksjonsmatrise hvor hver produkttegenskap multipliseres med tilhørende faktor hentet direkte fra Tabell 5.2-1, samt en objektiv karaktersetting fra 1-5. Intervallene mellom 1 - 5 er likt fordelt slik som anvist i Figur 5.2-1. er fem høyeste poengsum og tilsier at funksjonsalternativet innehar denne egenskapen i aller høyeste grad. Multipliseringsfaktoren viser til grad av viktighet hvert kriterium innehar på generell basis. Seleksjonsmatrisen vil gi hvert funksjonsalternativ en objektiv poengsum, hvor alternativet med høyest sum foretrekkes. Denne poengsummen er uthevet med en sterkere grønnfarge. Da ikke alle kombinasjoner av funksjonsalternativer er mulige, vil kombinasjonen av alternativer med høyest poengsum foretrekkes som endelig løsning.

7.2. Egen konseptscreening

Konseptscreeningen er basert på funksjonsalternativene presentert i kapittel 6.1 og produkttegenskapene i Tabell 5.2-1 med tilhørende karakter. Kriteriene knyttet til hver enkelt seleksjonsmatrise varierer, hvilket gjør matrisene spesielt tilpasset hver enkelt funksjon.

7.2.1. Måling av vindens hastighet og retning

Måling av vindens hastighet og retning er den mest essensielle sekundærfunksjonen måleinstrumentet innehar. Hvilken vindmålingsteknologi som velges har derfor svært stor betydning for sluttresultatet, og vil ligge til grunn for valg av andre sekundærfunksjoner dersom flere funksjonsalternativer scorer oppnår lik poengsum.

Tabell 7.2-1: Seleksjonsmatrise etter Pughs modell med karaktersetting fra 1 - 5 for måling av vind.

Kriterium	Vekting [faktor]	A. Vindhøne	B. klassisk anemometer	C. Vindmølle	D. Håndholdt	E. Termisk	F. Sonisk
Presis måling	5	2	4	3	2	5	5
Registrerer svært svak vind	3	2	4	3	3	5	5
Må kalibreres	3	5	5	5	5	2	3
Måler hastighet	5	3	4	4	3	5	5
Måler retning	5	3	4	4	2	4	5
Angir tilleggsfunksjoner	2	1	1	1	1	3	5
Brukervennlig	4	5	5	5	3	3	3
Pris	5	5	5	5	5	3	2
Dataoverføring	3	1	5	5	3	5	5
Sum		96	149	126	92	139	146

Av Tabell 7.2-1 er det to funksjonsalternativer som skiller seg positivt ut. Dette er klassisk anemometer og sonisk vindmåler. Den soniske vindmåleren kan gi mer presise og troverdige måleresultater, selv ved svært lave vindhastigheter, men er dyrere i pris og kan være noe mindre brukervennlige enn det klassiske anemometeret.

7.2.2. Visuell visning av vinddata

Den visuelle visningen av vinddata er splittet opp i to separerte tabeller for å kunne vurdere hvilket funksjonsalternativ som utgjør den beste løsningen totalt sett for både visualisering av vindhastighet og vindretning. Kriteriene i de to tabellene er nærmest identiske.

Tabell 7.2-2: Seleksjonsmatrise etter Pughs modell for visuell visning av vindretning.

Kriterium	Vekting [%]	A. Display	B. Vindhane	C. Styrepil
Nøyaktig visning	5	5	2	3
Stabilt ved humpete underlag/helning	4	5	3	4
Viser vindretning	5	4	3	3
Stabil avlesning	4	5	3	3
Plassering i synsvidde	2	5	3	3
Brukervennlig	4	3	5	5
Pris	2	1	5	5
Sum:		109	85	94

Tabell 7.2-3: Seleksjonsmatrise etter Pughs modell for visuell visning av vindhastighet.

Kriterium	Vekting [%]	A. Display	B. Svingarm
Nøyaktig visning	5	5	2
Stabilt ved humpete underlag/helning	4	5	2
Viser vindhastighet	5	5	3
Stabil avlesning	4	5	2
Plassering i synsvidde	2	5	3
Brukervennlig	4	3	5
Pris	2	1	5
Sum:		114	77

Av de to tabellene ovenfor kommer det frem at funksjonsalternativet for display kommer klart best ut for både visualisering av vindretning og vindhastighet. For å kunne bruke denne visualiseringsmetoden forutsettes det at vindmåleteknologien støtter dataoverføring, enten trådløst eller via kabel til et display plassert på dashbordet til føreren. Løsningen med display scorer særs godt på stabile og nøyaktige visninger da displayet ikke påvirkes av unødvendig risting ved kjøring. Muligheten for korrekt avlesning er essensielt ved sprøyting nær sensitive soner. Det er ikke nødvendig å følge med på vindmåleren konstant, men ved en i øyenfallende plassering, vil vindmåleinstrumentet benyttes hyppigere og dermed være mer til nytte ved sprøyting.

Visningen av vinddata på et display kan utformes på ulike måter. Tre mulige løsningsforslag er presentert i Tabell 7.2-4. Visningen av vindretning holdes lik for de tre løsningsalternativene, mens visningen av vindhastighet kan presenteres analogt (A.), digitalt (B.) og ved bruk av søyler (C.). For søyleløsningen kan søylene gå både vertikalt og horisontalt som vist i figur C. Om ønskelig er det mulighet for kombinasjon av de tre visningsforslagene. Visning av vindretning fungerer som et kompass, hvor kjøretøyets kjøreretning alltid presenteres oppover. Vindretningen vises ved bruk av en

pil-løsning, som enkelt oppgir vindretning i forhold til kjøreretning. Valget løsning for displayutforming er basert på personlig preferanse for avlesning, samt tanker omkring hva som kan gi den mest ryddige og oversiktlige avlesningen av vinddata.

Tabell 7.2-4: Illustrasjon av tre mulige utforminger av displayløsningen for anvisning av både vindretning og vindhastighet.

	Analog visning	Digital Visning	Søyler
A.		B.	
			C.

Både løsningsalternativ A. og C. har klare markeringer for tillatt maksimal vindhastighet, hvilket teller positivt for brukervennligheten. Alternativ B. sin største styrke er entydig avlesning, samt at anvisningen tar svært liten plass. Ved overførsel av vinddata til for eksempel ISOBUS sitt visningsdisplay, er liten plass å foretrekke.

Basert på personlige preferanser favoriseres alternativ B. med en enkelt horisontal søyle hentet hos alternativ C. På den måten kombineres et ryddig og oversiktlig design med en konkret avlesningsverdi. Både søylen og den digitale visningen kan presenteres tett inntil hverandre, hvilket ikke vil øke den totale opptatte plassen særlig mye.

7.2.3. Plassering av måleinstrument

Plasseringen av måleinstrumentet er avgjørende for en stabil og troverdig måling. Det er ønskelig med plassering av vindmåleinstrumentet i et område med så uforurenset vind som mulig, samt kort avstand mellom måleinstrument og display, da dette funksjonsalternativet kom klart best ut i den foregående egenscreeningen.

Tabell 7.2-5: Seleksjonsmatrise etter Pughs modell for plassering av måleinstrument.

Kriterium	Vekting [%]	A. Bakke	B. Taket	C. Ekstern bom	D. Sprøytebom	E. Panser
Presis måling	5	5	4	3	4	4
Kjøretøyet skjerner ikke for målingene	5	5	5	3	4	3
Gir stabile målinger	4	5	4	2	4	4
Plassering i synsvidden	2	1	3	5	4	5
Kort nok avstand for dataoverføring	3	1	5	4	5	5
Enkelt å frakte	4	3	4	1	4	5
Trengs flere instrumenter for presis måling	3	5	5	2	3	3
Mulighet for høydejustering	2	2	3	2	3	4
Sum		106	119	74	113	113

Løsningen med å plassere måleinstrumentet på taket ser ut i fra Tabell 7.2-5 ut til å være det beste alternativet for vindmåling. Ved målinger i denne høyden er det lite forurenset vind hvilket gir presise målinger og kort avstand for dataoverføring til et eventuelt display på dashbordet. Av de konkurrerende løsningene er en sonisk vindmåler plassert på midten av sprøytebommen med mulighet for høyde-



justering omtalt. Det ser derfor ut til at plassering på sprøytebommen også er et godt alternativ, hvilket støttes av en høy poengsum i egenscreeningen ovenfor.

7.3. Foretrukne løsningsalternativer

Den foretrukne løsningen er den kombinasjonen av funksjonsalternativer som samlet oppnår høyest poengsum. Ikke alle kombinasjoner går an å kombinere, grunnet vindmålingsteknologi og plassering. Det vil derfor bli sett på høyest mulig totale sum for mulige løsningskombinasjoner.

De teknologiske funksjonsalternativene som kom best ut var soniske vindmåler og klassisk anemometer. Mellom disse alternativene skilte det svært få poeng, hvilket gjør at begge ansees som aktuelle teknologier. Løsningen med display skilte seg klart best ut som ønsket løsning for visualisering. Begge de to overnevnte teknologiene støtter displayløsningen, både med kabel og som en trådløs variant. Det samme gjør plasseringen av vindmåleinstrumentet på taket.

Det settes derfor opp to foretrukne løsningsalternativer for komplette vindmålingssystemer, hvor de to vindmålingsteknologiene vil utgjøre forskjellen da alle foretrukne løsningsalternativer består av display for visuell visning av vinddata og en plassering på taket.

- Alternativ 1: Sonisk vindmåler
- Alternativ 2: Klassisk anemometer



8. PROTOTYPEUTVIKLING

Tidligere har foretrukne løsningsalternativer blitt valgt gjennom en konseptscreening. For å få et inntrykk av om disse løsningene er verdt å vurdere videre, vil det bli laget prototyper som så vil bli testet ved videre arbeid med utvikling av et vindmålesystem. Resultatet av testingen avgjør om konseptet er verdt å videreutvikle, eller ikke. I tillegg til de allerede eksisterende teknologiene er det interessant å undersøke hvordan en helt enkel vindmåler basert på vimpelløsningen vil fungere i forhold til de tre foretrukne løsningsalternativene med tanke på nøyaktighet og brukervennlighet. Vindvimpelen ble tidligere ansett som for unøyaktig og for lett påvirkelig ved kjøring i helning og på humpete underlag til å bli vurdert i konseptgenereringen.

8.1. Prototypens design

Prototypens design angir et forslag for hvordan selve utformingen av prototypene kan se ut ved videre arbeid. Designet for den valgte løsningen vil ta utgangspunkt i konklusjonene fra konseptvalg. Da de foretrukne løsningene kun fremstår som anbefalinger for videre arbeid og ingen endelig beslutning er tatt, vil designet avhenge helt av valgt vindmålingsteknologi. Videre design for valgt løsning, enten sonisk vindmåler eller anemometer, vil derfor presenteres som en sort boks. Designprosessen for den alternative, forenklete løsningen vil holdes forholdsvis enkel, hvor anbefalt utforming vil komme frem via drøfting og inspirasjon, samt ta utgangspunkt i eksisterende vimpelløsninger som er illustrert i Figur 1.2-6. Designet vil modifiseres noe, for et bedre egnet sluttprodukt tilpasset vindmåling på et kjøretøy i bevegelse.

8.1.1. Alternativer fra konseptvalg

Fra egenscreeningen skilte to alternative vindmålingsteknologier seg positivt ut. Dette var anemometer og sonisk vindmåler. Disse to alternativene er eksisterende teknologier som kan bestilles via ulike nettsider fra utallige leverandører, eller kjøpe i spesialforretninger. Designet på prototypen for den anbefalte vindmålingsanretningen vil derfor være bestemt av ekstern leverandør.

Festemekanismen til prototypen vil være svært enkel, da tiden setter begrensninger for utvikling og design av festemekanisme. For testingen er det viktig at vindmåleinstrumentet holdes stabilt, selv ved noe røft underlag. Festemekanismen vil være engangsbruk. Den visuelle visningen vil være via et display. Både den soniske vindmåleren og det klassiske anemometeret har muligheten for dataoverføring til et nettbrett eller en smarttelefon.

8.1.2. Alternativ, forenklet løsning

Prototypens design for den alternative, forenklete løsningen vil komme frem via en forenklet konseptgenerering med tilhørende konseptvalg og utgangspunkt i allerede eksisterende vimpelløsninger. Designet vil bli vurdert i to deler; materialvalg og form- og estetikkvalg. Materialvalg vil omhandle valg av materialer for stativ og vimpel i to separate deler. Homogene materialer foretrekkes for begge de to komponentene. Form- og estetikkvalg vil omhandle oppsett av selve stativet med detaljpresentasjoner der det ansees som hensiktsmessig. Da den alternative, forenklete løsningen kun ansees som en tilleggstest vil, det ikke legges vekt på å utforme flere alternative løsninger.

Materialvalg - Vimpelflagg

Vimpelens utslag vil gi en lesbar verdi for vindens styrke. Utslaget kan beregnes ved bruk av formelen for bevegelsesmengde (3.18). Det antas at bevaringslovene for bevegelsesmengde gjelder. Støtet kan



betraktes som et fullstendig uelastisk støt. Verdiene for utregningene er satt inn i Tabell 8.1-1. Tettheten [70] og typisk tekstiltykkelse [71] blir benyttet for å finne massen og volumet til de alternative vimpeltekstilene.

$$V = b \cdot h \cdot l \quad (3.20)$$

$$m = \rho \cdot V \quad (3.10)$$

$$p = m \cdot v \quad (3.18)$$

$$(m_{Luft} \cdot v_{Luft}) + (m_{vimpel} \cdot v_{vimpel}) = (m_{vimpel} + m_{Luft}) \cdot v_{tot}$$

$$v_{tot} = \frac{(m_{Luft} \cdot v_{Luft})}{m_{Luft} + m_{vind}}$$

Bevaringsloven for mekanisk energi tilsier at summen av den potensielle og den kinetiske energien er bevart gjennom støtet. Dette gir likningen nedenfor satt sammen av formel 3.1 og 3.19.

$$E_{tot} = E_{kinetisk} + E_{potensiell}$$

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

$$h = \frac{1 \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

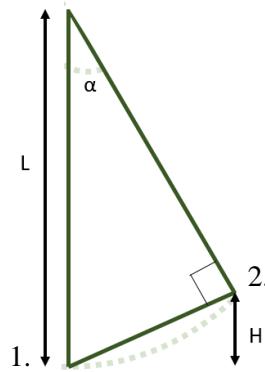
Tabell 8.1-1: Oversikt over utregningene som gir utslagshøyden i mm for utvalgte tekstiler.

Materiale	Tetthet [kg/m ³]	Masse [kg]	Fart kjøre [m/s]	Fart + motvind [m/s]	Fart + medvind [m/s]	Høyde kjøre [mm]	Høyde motvind [mm]	Høyde medvind [mm]
Polyester	1300	5,77E-03	0,45	-0,57	1,47	10,44	-16,31	110,25
Bomull	1545	8,90E-03	0,33	-0,40	1,03	5,09	-7,96	53,81
Viskose	1530	5,88E-03	0,45	-0,56	1,45	10,15	-15,85	107,18
Silke	1417	0,005	0,47	-0,59	1,54	11,46	-17,91	121,04
Nylon	1135	0,005	0,50	-0,63	1,64	12,92	-20,18	136,44

Høyden og farten ved kjøring i motvind er negativ grunnet definert positiv retning med traktorens kjøreretning. Utslagsvinkelen (α) til vimpelen kan uttrykkes ved formel 8.1 nedenfor, hvor lengden (L) fra opplagerpunkt til vimpelenden vist i Figur 8.1-1. Uttrykket kan skrives som en funksjon av utslagshøyden (h).

$$\cos(\alpha) = \frac{\text{Hosliggende katet}}{\text{Hypotenus}} \quad (8.1)$$

$$\cos(\alpha) = \frac{L - h}{L}$$



Figur 8.1-1: Illustrasjon av forflytningen fra 1. til 2. til vimpelen via den lysegrønne, stiplede linjen med påvirkning av vind fra venstre mot høyre. Regnes som positiv utslagsvinkel.

Tabell 8.1-2: Oversikt over utslagsvinkel for utvalgte tekstiler.

Materiale	Utslagsvinkel kjøre [grader]	Utslagsvinkel kjøre + motvind [grader]	Utslagsvinkel kjøre + medvind [grader]
Polyester	15,16	-18,98	50,77
Bomull	10,57	-13,23	34,85
Viskose	14,94	-18,71	50,00
Silke	15,89	-19,89	53,38
Nylon	16,88	-21,14	56,96

Av

Tabell 8.1-2 kommer det fram at bomullsvimpelen gir generelt minst utslag, mens nylon gir noe mer utslag enn polyester. Silke og viskose er relativt like. Grunnet lavest utslag innenfor aktuelt vindhastighetsområde vil en bomullsvimpel være lite aktuelt sammenliknet med de andre tekstilene, da stor utslagsvimpel øker presisjonen ved avlesning. Viskose, nylon og silke er naturfibre som lett tar til seg fuktighet fra omgivelsene. Dette gjelder da særlig for viskose og silke. Økt fuktighet i materialet kan påvirke vekten til vimpelen, og oppgi noe lave vindhastighet enn faktisk tilfelle. Polyester er et plastmateriale, og tar derfor ikke til seg fuktighet på samme måte som naturfiberne.

Allerede eksisterende vimpler er ofte laget av vannavstøtende nylon. Nylon viser seg å gi størst utslagsvinkel sammenliknet med de resterende tekstilene ovenfor, med en maksimalt tillatt utslagsvinkel på 57 grader. Da presis avlesning er å foretrekke vil en nylonvimpel foretrekkes.

Materialvalg - vimpelstang

Selv om den forenklete vimpelløsningen kun ansees som en testløsning, vil materialvalget ta utgangspunkt i at vimpelen skal tåle sesongvis utendørsbruk over en periode på ti år. Vimpelstativet vil blant annet bli utsatt for UV-stråling og fuktighet under bruk. Det er derfor viktig å finne et materiale som selv er motstandsdyktig mot slike påkjenninger, eventuelt kan lakkeres eller legeres. Vimpelstativet må tåle kjøring i en hastighet på 45 km/t kombinert med vindkast på opp mot åtte m/s, samt noe vibrasjoner, rykk og slag fra objekter som treffes ved kjøring i utmark, under lavhengende bomber, og liknende.

I Tabell 8.1-3 er materialegenskaper for noen utvalgte materialer listet opp. Materialene som er plukket ut er velegnet i fuktige omgivelser og kan enkelt resirkuleres etter endt levetid. Materialdataen i Tabell 8.1-3 er oppgitt som middelerverdier hentet fra dataprogrammet CES EduPack 2017. Enkelte verdier kan

varierte endel grunnet ulike legeringer og bearbeidingsmetoder. Da vimpelstativet skal plasseres i nærheten av sprøyta, kan sprøyteskyen omringe stativet og dråper med sprøytevæske feste seg på stativet. Det er derfor viktig at materialet tåler kjemiske angrep, både fra syrer og baser.

Tabell 8.1-3: Materialelegenskaper for utvalgte materialer til vimpelstativ hentet fra CES EduPack.

Material	Tetthet [kg/m ³]	Flytegrense [MPa]	Strekkfasthet [MPa]	E-modul [MPa]	Kjemisk motstandsdyktighet	Pris [NOK/kg]
Aluminium	2700	180	280	69	God	13
Rustfritt stål	7800	215	505	198	Svært god	48
Polyetylen	939	17,9	20,7	621	Middels	22
Polypropylen	946	35	45	1400	Nokså god	17

Aluminium ansees som et godt alternativ til stålvariantene. Aluminium har en tre ganger så lav E-modul som stål, noe som gjør aluminium til et mer fleksibelt og elastisk materiale [72]. Dette kan være positivt ved kjøring på ujevnt underlag, men er mindre egnet ved slagpåkjenninger da aluminium deformeres plastisk ved lavere påkjenninger enn for eksempel stål. Egenvekten ansees som lav i forhold til andre metaller. Aluminium har en god kjemisk motstandsdyktighet mot syrer. Ved kontakt med baser kan det dannes noe eksplosiv hydrogengass [73]. Noen typer plantevernmidler, og da særlig de næringsgivende virkestoff, kan være basiske løsninger.

Rustfritt stål ansees som et godt alternativ for vimpelstativet. Materialet innehar svært god motstandsdyktighet mot kjemiske angrep, samt en høy strekkfasthet som gir en stiv struktur og høy motstandsdyktighet mot slitasje sammenlignet med de andre utvalgte materialene. Motstandsevne mot slitasje er en vurdering på hvor mange sykluser produktet tåler uten å bli nevneverdig slitt. Stål fungerer godt ved ulike legeringer, for eksempel ved legering med krom og nikkel [74]. Rustfritt stål har en svært høy egenvekt sammenlignet med de andre alternativene. Dette vil øke egenvekten til produktet sammenlignet med bruk av aluminium eller polypropylen. Rustfritt stål foretrekkes fremfor aluminium og plastikk variantene.

Plastikkvariantene scorer dårlig på kjemisk motstandsdyktighet sammenlignet med metallene, samt at både strekkfastheten og flytegrensa er relativt lav. Det kan dermed lett oppstå varige deformasjoner som vil ødelegge vimpelstativets funksjon. Plastikkalternativene ansees derfor ikke som tilstrekkelige for vimpelstativet.

Form- og estetikkvalg for prototypen

Alt rundt oss har en form, som består av de tre naturlige grunnformene; firkant, trekant og sirkel. Disse danner grunnlaget for absolutt alle mulige former. Ved å enten kombinere to eller flere grunnformer eller endre størrelser på enkelte områder på objektet kan alle mulige former dannes.



Figur 8.1-2: Illustrasjon av de tre grunnformene; trekant, sirkel og firkant.

Det er vanlig å dele formvalget opp i to kategorier; organisk og geometrisk. Organiske former kjenne-tegnes ved snirklede, myke former, hvor det ofte skapes et snilt og usymmetriske inntrykk av produktet. En av hovedfordelene ved organiske former er at det i stor grad unngås unødvendig store spennings-

konsentrasjoner, da produktet hovedsakelig består av avrundede overganger. Geometriske former, også kalt uorganiske former, karakteriseres ved skarpe kanter, hjørner og rette linjer. Dette gir et mer symmetrisk og aggressivt, men samtidig ryddig utseende. To av hovedfordelene ved en uorganisk utforming er ofte enkel produksjonsmessig, samt forholdsvis enkelt å utføre styrkeberegninger. Spenningskonsentrasjoner kan oppstå i hjørner eller spisser.

Da den alternative løsningen skal fremstå som en forenklet versjon, vil et nett og rent uttrykk foretrekkes fremfor et mer skulpturelt og overdådig design. Designet vil ha fokus på funksjonalitet fremfor estetikk. Ekstra bruk av materialer vil ansees som overflødig. Likevel er det viktig at vindmåleinstrumentet tåler de belastningene som påføres, og at designet står i stil med de landlige bruksomgivelsene. I og med at vindvimpelens bruksområder primært er generell utendørsbruk, vil en naturlig inspirasjonskilde for designet være elementer hentet fra naturen. En vimpel kan enkelt sammenlignes med et tre som vaier i vinden, se Figur 8.1-3. De begge har en form for festemekanisme som holder treet/ vimpelstativet fast til underlaget. Både bladene og vimpelen vil begynne å bevege seg med påkjenninger fra vinden.



Figur 8.1-3: Forenklet illustrasjon av vimpelens design med tilhørende hovedinspirasjonskilde.

De naturlige grunnformene man finner igjen både hos et tre og i vimpelstativet er illustrert i Figur 8.1-3. Designmessig kan en typisk trestamme ansees som relativt uorganisk og rett, mens krona kan kategoriseres som organisk og mer kaotisk. Et typisk tre gir et enkelt og elegant uttrykk hvilket designet på vindmåleinstrumentet formmessig vil etterape. Vimpelen skal kunne følge vindens retning uavhengig av hvilken vei det blåser eller kjøretøyet beveger seg. Det er derfor hensiktsmessig med en vimpelbom som kan snurre fritt omkring sin egen akse. Vimpelstativet vil holdes så enkelt og nøytralt som mulig uten at det går på bekostning av stabilitet og levetid. De kostnadmessige aspektene for produktet er svært viktige å fokusere på, for å oppnå en så lav enhetspris som mulig. Alle overflødige deler vil bli kuttet bort. Selve vimpelflagget vil kunne variere fargemessig, men hovedhensikten vil være et mest mulig synlig vimpelflag for operatøren. Fargen på eksisterende vimpler er gjerne rød. Selv om flere mennesker er rød/grønn fargeblind, ser det ikke ut til at en rød vimpel er spesielt problematisk. Rødt er en svært karakteristisk farge som står i kontrast til naturens grønn-, gul- og brunfarger.

Vindmålerens målgruppe er hovedsakelig voksne mennesker i arbeidsfør alder, altså mellom 25 – 70 år. Da vindmåleren kun skal monteres fast på kjøretøyet før sprøytingen foregår, trengs det ikke å ta høyde for ergonomiske forhold tilpasset selve bruken av vindvimpelen. Ved installasjon og avinstallasjon vil utformingen av festemekanismen og vimpelstativet være i tråd med de antropometriske forholdene til voksne kvinner og menn.

Tabell 8.1-4: Antropometriske gjennomsnittsverdiene for en hånd [75].

	Voksen kvinne	Voksen mann
Bredde hånd [mm]	82	96
Lengde hånd [mm]	178	205

Prototypens design

Selve designet er basert på allerede eksisterende vimpelløsning. Endelig design for den alternative løsningen er presentert i Figur 8.1-4. Den øvre bommen skal kunne snurre fritt omkring stangen for å tydeligere kunne angi vindretningen. Vimpelen skal enkelt kunne festes på tuppen av bommen med en utskiftbar M6-skrue med krok. Selve vimpelstangen er støttet opp av fire støttepilarer for økt stabilitet ved kjøring på ujevnt underlag og ved rykk og napp. Det velges å benytte et rødt vimpelflagg.



Figur 8.1-4: Illustrasjon av endelig design for vimpelstativet, som utgjør den forenklede, alternative løsningen.

8.2. Prototyping

Prototypingen vil kun omhandle utviklingen av den forenklede, alternative løsningen samt festemekanisme for de to resterende vindmåleteknologiene. Selve vindmåleteknologien for sonisk vindmåler og anemometer finnes allerede på markedet og er nærmest klare til bruk. Prototypingen vil bli gjennomført på NMBU sitt verksted og på ideverkstedet Eik med hjelp fra NMBU sine ansatte. Hvilke teknikker som skal benyttes vil bestemmes etter konsultasjon med verkstedsjef på NMBU. Standardkomponenter og selve vimpelflagget vil kjøpes inn eksternt.

9. EKSPERTTESTING

For å få inn eksterne innspill fra aktuelle brukere og ekspertpersoner vil det bli gjennomført en eksperttesting. På denne måten kan potensielt marked avdekkes, undersøke hvilket forhold brukeren har til produktet og dets bruksområder, samt avdekke eventuelle forbedringer knyttet til produktet.

9.1. Målsetting for testing

Målet med denne testingen er å få et innblikk i brukerens perspektiv, samt hvilke kvaliteter brukeren anser som essensielle for et vellykket produkt. Spørreundersøkelsen vil avdekke om det faktisk er behov for et slikt vindmåleinstrument, og hvordan rutinene til brukerne er omkring avdrift, konsekvenser og avdriftsreducerende tiltak.

9.2. Oppsett av spørreundersøkelse

Hovedfokuset for oppsettet av spørreundersøkelsen vil være enkelhet. Brukeren skal forstå spørsmålene, og samtidig kunne utdype meninger og synspunkter. Da brukeren innehar erfaring og kunnskap omkring sprøyting, er det både hensiktsmessig og fordelaktig å fokusere på åpne spørsmål, fremfor ja/nei-spørsmål. Lengden på spørreundersøkelsen ønskes å være kort, slik at brukeren forhåpentligvis tar seg tid til å gi utfyllende svar på spørsmålene. Spørreundersøkelsen kan leses i vedlegg.

Spørreundersøkelsen er grovt sett delt inn i tre deler. Spørsmål 1 – 3 er kartleggende spørsmål for å få frem mangfoldet i spørreundersøkelsen med tanke på gårdsdrift og sprøyting. Spørsmål fire er rettet mot selve bruken av avdriftsreducerende utstyr, og er med på å avdekke hvor viktig ekspertpersonene syntes avdrift og reduksjon av avdrift er. Den siste delen består av spørsmålene fem og seks. Disse to spørsmålene går direkte inn utviklingen av vindmåleinstrument for måling av avdrift, og kan kategoriseres som en enkel markedsundersøkelse. Spørsmål fire, fem og seks ansees som aktuelle for utviklingen av vindmåleinstrumentet, og vil derfor diskuteres nærmere i kapittel 9.4, som omhandler eksperttestings resultater.

9.3. Presentasjon av ekspertpersoner

Spørreundersøkelsen er rettet mot kunden og ekspertpersoner innenfor vindmåling og agrikultur. Ekspertpersonene vil hovedsakelig bestå av bønder med ulik type gårdsdrift og bakgrunn eller en teknologisk bakgrunn og tilknytning til NMBU. For vindmåleinstrumentet vil den typiske kunden være bønder som benytter plantevernmidler i sin drift, eller hobbybrukere med spesiell interesse for vekster og groforhold. I denne spørreundersøkelsen vil følgende ekspertpersoner bli spurt:

Tabell 9.3-1: Oversikt over personer benyttet i spørreundersøkelsen.

Navn	Yrke	Alderstrinn	Hvorfor aktuell
Lars Vassend	Bonde	50 - 60	Driver stort innenfor melk og storfe. Lang erfaring med sprøyting av åker og eng.
Jon Asper	Avdelingsingeniør NMBU	50 - 60	Teknologisk bakgrunn kombinert med forståelse for landbruk og sprøyting. Hobbybruker.
Roar Meen	Bonde	60 - 70	Lang erfaring med sprøyting av poteter og andre grønnsaker, samt åker og eng.
Olav Tveit	Prosjektleder entreprenørfirma og gårdbruker	50 - 60	Produksjon innenfor høy og korn. Ingen tilknytning til produktet hvilket vil gi en mest mulig objektiv tilbakemelding.

9.4. Resultater fra eksperttesting

For produktutviklingen er særlig spørsmål fire, fem og seks i spørreundersøkelsen aktuelle. Validiteten i svarene vil ikke etterprøves eller vurderes. De svarene som blir oppgitt av ekspertpersonen, vil ansees som faktisk tilfelle. Da denne spørreundersøkelsen belyser temaene avdrift og vind, er det en risiko for at enkelte av svarene er noe mer rettet mot disse temaene enn hva som faktisk er tilfellet. Av den grunn vil forsøksresultatene kun benyttes som veiledning, og positive innspill for utvikling av produktet. Nedenfor vil spørsmålene med tilhørende svar presenteres i grønne bokser. Kommentarer til svarene vil presenteres nedenfor.

Spørsmål 4: Hvilke avdriftsreduserende tiltak benytter du?

Svar: Lavt dysetrykk. Funksjonstesting av sprøyta. Sprøyter når det er lite vind.

Svar: Tar hensyn til vær og vind, stopper å sprøyte når vinden øker, har brukt spesielle dyser i 20år

Svar: Sprøyter oftest seint på kvelden når vind og insekter har lagt seg.

Svar: Følgende tiltak:

- Traktor med kullfilter i hytta
- Velger dyse med mindre forstøvning dersom jeg må kjøre når det er fare for vinddrift
- Holder større avstand til vassdrag / nabo kultur dersom fare for avdrift
- Utsette sprøyting til mere gunstige tider

Spørsmål fire avdekker hvor opptatt den typiske bonden, uavhengig av type gårdsdrift, er av avdriftsreduserende tiltak, samt hvilke tiltak som hver enkelt bonde vanligvis gjennomfører ved sprøyting. Her kommer det frem at alle ekspertpersonene bedriver noen form avdriftsreduserende tiltak, men graden av tiltak er varierende. Alle ekspertpersonene ser ut til å være opptatt av vind, og forsøker å sprøyte under optimale vindforhold dersom det lar seg gjøre. Tre av fire er bevisste på valg og føring av dyser. Disse to faktorene ansees som svært viktige forutsetninger for å minimere avdriftsmengden.

Spørsmål 5: Hvor nødvendig anser du en vindmåler som kontinuerlig måler og angir vindens hastighet og retning mens du sprøyter? Begrunn gjerne svaret

Svar: Høres kjekt ut å få vindretning og oppadgående/nedadgående vindhastighet

Svar: Det blir viktigere framover for å dokumentere produksjon. Har muligheten til å avbryte arbeidet ved ugunstige forhold.

Svar: Lite nødvendig, vurderer vegetasjon og ser på evt. sprøytetåke om jeg bør fortsette eller ei.

Svar: Ikke behov for vindmåler. Den vurderingen tar jeg før jeg starter.

Spørsmål fem er med på å kartlegge behovet for et vindmåleinstrument innenfor landbruket. Ut i fra resultatene ser det ut til av bøndene er noe uenige om dette er et nødvendig produkt eller ikke. Halvparten av ekspertpersonene svarer at dette høres ut som et kjekt produkt for sikker vurdering av vinden, mens to av ekspertpersonene gir uttrykk for at produktet ikke ansees som en nødvendighet for sprøyting.

Ut ifra besvarelsen, kan det trekkes slutninger om at flere rett og slett ikke ser fordelene med en vindmåler. Å lese naturen er noe som alltid har blitt gjort, og det kan lett tenkes at dette er godt nok. Kun avlesning av naturen er en relativt vag målemetode, hvilket lett kan gi feil verdier, og faren for spredning ved for høye vindhastigheter er tilstede.



Spørsmål 6: Hvordan og hvor ville du helst lest av verdiene for vindstyrke mens du kjører?

Svar: få det inn på GPS.

Svar: På iPad i traktoren. Med tallverdi i farger etter vindstyrke og piler som viser retning. Verdiene bør kunne overføres til skifteplan eller andre.

Svar: For traktormonterte sprøyter burde målingene kunne avleses kontinuerlig i traktoren.

Måler på traktoren eller sprøyta som automatisk ble korrigert for kjørehastighet og -retning

Svar: Mener det er for sent når du allerede har kjørt ut i åkeren, jeg ser på bevegelse i plantekulturen

Spørsmål seks omhandler hvordan ekspertpersonene optimalt ville lest av vinddataen om produktet hadde vært en realitet. Det kommer frem at avlesningen foretrekke digitalt på enten iPad eller på en annen anretning inne i traktoren, samt at vindhastighet, kjørehastighet, og dyser ble korrigert i forhold til hverandre for optimal spredning av plantevernmidler.

Alt i alt virker det som det er et marked for produktet, selv om to av fire svarer de i dag ikke anser vindmåleinstrumentet som en nødvendighet. Det kan antas at ekspertpersonene ikke ser behovet, da de allerede har sine egne metoder for vindavlesning. Dersom produktet uansett hadde vært installert på kjøretøyet, ville dette trolig vært ansett som en sølvfølge, grunnet full kontroll over omgivelsene som kan gi økt presisjon ved sprøyting. Et digitalt vindmåleinstrument kunne også gitt muligheten til bedre loggføring av vindstyrke og en mer korrekt føring av sprøytejournal.



10. OPPSETT FOR VIDERE FORSØK OG TESTING

Oppsett for videre forsøk og testing er en stor del av videre arbeid. Dette forprosjektet legges opp slik at prototyping og testing kan skje nærmest umiddelbart etter oppstart av hovedprosjektet for utvikling av vindmåleinstrumentet. Ved viderearbeid av dette forprosjektet anbefales det en full gjennomlesning av rapporten, samt at vedkommende setter seg inn i funksjonsalternativene og egenscreeningen. Da det er forsøkt å gjøre egenscreeningen så objektiv som mulig, vil det likevel være et personlig preg på karaktersettingen.

10.1. Forsøksmål

Det overordnede forsøksmålet er å komme frem til en ideell totalløsning for et vindmålesystem for sprøyting med åkersprøyte, der hovedhensikten er å redusere avdriftsmengden. Vindmålesystemet inkluderer optimalt valg av vindmåleteknologi kombinert med plassering og visuell visning av vinddata for sprøytepersonell.

Av egenscreening kom sonisk vindmåler og klassisk anemometeret best ut, hvor begge hadde en plassering på taket og en visuell visning av vinddata via et display. I tillegg vil den alternative, forenklete vimpelløsningen vurderes opp mot de to anbefalte løsningsalternativene, for å undersøke differansen i nøyaktighet og gi en vurdering på hvor egnet vimpelløsninger er for dagens og morgendagens landbruk. Ved videre arbeid vil en funksjonsalternativer og egenscreening for valg av festemekanisme være aktuelt.

10.2. Utstyr

Nødvendig utstyr for å gjennomføre forsøkene er listet opp i vilkårlig rekkefølge nedenfor. I tillegg til listen vil det være nødvendig med data eller penne og papir for å loggføre alle måleresultatene kontinuerlig gjennom arbeidet.

- Traktor med korrekt speedometer
- Sonisk vindmåler med mulighet for dataoverføring til smarttelefon eller nettbrett
- Anemometer, gjerne skålanemometer, med dataoverføring til smarttelefon eller nettbrett
- Prototype av vimpelløsningen
- Nettbrett eller smarttelefon
- Gaffateip som alternativ festemekanisme kun for festing under forsøkene
- GPS-klokke med kontinuerlig logging av hastighet

10.3. Forsøksledd

Forsøksleddene knyttet til testing av de ulike anbefalte vindmålesystemene, er beskrevet i Tabell 10.3-1. Her er tre forsøksledd, altså de tre ønske vindmåleteknologiene listet opp. For å sikre best mulig resultater, reduseres feilkilder ved å undersøke hvor stor innvirkning valg av plassering og kjørehastighet har for vindmålingen. Hvert forsøksledd vil derfor testes ved stillstand, 0 m/s, og maks anbefalte kjørehastighet ved sprøyting på 8 km/t, altså 2,22 m/s. Antall gjentak er satt til tre ganger per for hver kombinasjon av parametere.

Vimpelløsningen vil kun testes på panseret, fordi den visuelle visningen skjer ved bruk av vimpel. Dette krever klar sikt fra førersetet i traktoren.

Tabell 10.3-1: Forsøksledd for videre testing av ulike vindmåleinstrumenter knyttet til de to parameterne plassering og kjørehastighet.

Forsøksledd	Plassering	Forsøkshastighet [km/t]	Gjentak [antall]
Sonisk vindmåler	Tak	8	3
		0	3
	Panser	8	3
		0	3
Skålanemometer	Tak	8	3
		0	3
	Panser	8	3
		0	3
Vimpelløsning	Panser	8	3
		0	3

10.4. Forsøksplan

For å kunne avdekke hvilket konsept som er best egnet for vindmåling på traktor ved utendørs bruk, vil de to valgte konseptene fra konseptgenereringen, samt den alternative forenklede løsningen testes mot hverandre og dernest videreutvikles. Testingen vil følge en enkel forsøksplan som i kombinasjon med forsøksleddene omhandler alle trinn i forsøksprosessen.

Rammebetingelsene for testingen setter krav til omgivelser, hvilke referanseinstrumenter som skal benyttes, samt en anbefaling omkring antall personer som kreves for gjennomføring av forsøk. All testingen vil foregå utendørs, da sluttproduktet skal være tilpasset de naturlige vindstrømmene som finner sted utendørs. Kjøringen vil foregå på noe ujevnt underlag, for eksempel gressplen. Kjørehastigheten vil kontrolleres ved å både benytte speedometeret i traktoren, samt hastigheten anvist på en GPS-klokke. Under selve testtidspunktet forutsettes det en gjennomsnittlig vindhastighet på 3 - 5 m/s. Målingene vil skje i samarbeid med den metrologiske målestasjonen til NMBU. Vindmåle-instrumentet til NMBU følger de metrologiske forskriftene for måling av vindstyrke, og vil fungere som et referansesenter for forsøkene. Det anbefales å være to personer som utfører forsøkene. Dette gir muligheten til nøyaktig avlesning av både referanseverdi og målt verdi.

Før testingen kan begynne, må en prototype av den alternative, forenklede løsningen utvikles. Hvordan prototypen av vimpelstativet skal konstrueres, vil bli bestemt etter konsultasjon med verkstedsjef på NMBU. Vimpelflagg og M6-skrue med krok bestilles eksternt, og monteres på verksted i forkant av testperioden.

Forsøksplanen er som følger:

1. Les gjennom forsøksplanen.
2. Utfør noen testmålinger for å sammenligne vindverdiene målt på anemometer, vimpelløsning og sonisk vindmåler mot vindverdiene målt på NMBU sin målestasjon. Dette gjøres til testpersonell føler seg kjent med instrumentene og avlesningsmulighetene.
3. Skrive ned vindverdien for NMBU sin målestasjon og verdien på yr.no for hver 30 minutt av forsøket i en egen kolonne.
4. Montere utstyret på traktoren og gjennomføre forsøkene i tråd med forsøksleddene vist i Tabell 10.3-1. Resultatene noteres oversiktlig ned etter hvert gjentak.
5. Utstyret ryddes på plass.
6. Resultattolkningen påbegynnes.



10.5. Resultatbehandling

Resultatene vil behandles statistisk ved å studere kvadratsummen, basert på minst kvadraters metode, hos de ulike parameterne. Dette gir en tilpasset linje (y) på formen $y = bx + a$, hvor a er konstant, b er en faktor som multipliseres med variabelen x . Da det har blitt gjennomført et blokkforsøk, vil resultatene per parametersammensetning analyseres for seg. Det vil beregnes standardavvik mellom målt verdi og referanseverdi for hver påvirkende parameter, som så vil bli sammenlignet og analysert opp mot hverandre. De ulike resultatanalysene som vil bli gjort for å avgjøre hvilket vindmålekonsept som egner seg best er som følger:

- Internt mellom hvert gjentak
- Plasseringsalternativenes påvirkning
- Kjørehastighetens påvirkning
- Hvilken vindmåleteknologi som har de minste standardavvikene
- Forskjellen mellom lokal vindmåling og yr.no sin oppgitte vindstyrke

De overnevnte resultatanalysene vil gi et godt bilde av hvilket vindmålesystem som egner seg best, samt hvilke faktorer som er avgjørende for vindmålingen, samt hvilke som ikke spiller inn på resultatet. Andre resultatanalyser som omfatter festemekanisme, displayutforming og liknende kan utprøves ved videre forsøk.



11. MILJØ, RESIRKULERING OG VEDLIKHOLD

I dag er det et økende fokus på miljøet, hvilket gjør at kunden selv blir mer bevisste på resirkulering, gjenbruk, energisparing og bærekraftighet. For å oppnå et produkt kunden selv føler står til ønsket kvalitet, er det flere faktorer som må tilfredsstilles utover de mekaniske egenskapene. Nedenfor vil miljøfaktorer, samt mulighet for resirkulering og vedlikehold presenteres, sammen med en enkel miljøanalyse som belyser forbruk av energi og produktets CO₂-avtrykk.

11.1. Materialeegenskaper

Fra den tidlige vurderingen av materialvalg omtalt i kapittel 8 ble stål og aluminium tatt med videre i prosessen. Plast-materialene ble ansett som for svake hvilket kunne resultere i uønsket plastisk deformasjon. Hovedforskjellen mellom aluminium og stål er forholdet mellom styrke og vekt. Aluminium veier kun 1/3 av stål, men har kun 1/3 av styrken. Vimpelstativets utforming vil bli relativt slankt, hvilket gir en lav egenvekt uavhengig materialvalg. Grunnet ønske om en robust anretning, vil materialets styrke ansees som en viktigere faktor enn vekt.

Det aktuelle temperaturområdet ligger mellom 3 - 30 °C. Begge metallene vil fungere godt innenfor dette intervallet. Vindmåleinstrumentet vil mest sannsynlig sveises til festemekanismen. Ved sveising vil stål foretrekkes fremfor aluminium, da stål er lettere å bearbeide, samt gir et bedre sveiseresultat enn aluminium. Da stativmaterialet kan bli berørt av sprøyteskyen, er det essensielt at materialet tåler både sure og basiske løsninger. Aluminium kan ved kontakt med baser danne hydrogengass, som er svært eksplosiv [73]. Dog mengdene er små, vil risikoen for dannelse av knallgass virke inn på valget. Prisen er generelt noe dyrere for stål enn aluminium. Likevel foretrekkes rustfritt stål fremfor aluminium grunnet høyere styrke og bedre motstandsdyktighet mot kjemiske reaksjoner.

11.2. Vedlikehold og overflatebehandling

Det har blitt valgt å benytte rustfritt stål. Dette er en stålvariant som har større motstandskrefter mot korrosjon ved fuktig omgivelser og kjemiske angrep, enn andre jernlegeringer. For å oppnå rustfritt stål vil stålet legeres med krom. Krom beskytter stålet mot videre oksidasjon, ved å danne en tynn hinne med kromoksid, Cr₂O₃, omkring stålet. Rustfritt stål krever nærmest ingen form for vedlikehold. Derfor egner det seg godt for dette produktet som har en antatt levetid på ti år.

11.3. Miljøkrav og resirkulering

Det blir stadig mer fokus på miljø og resirkulering, både på land og i vann. Forsøpling er et økende problem på verdensbasis, og muligheten for resirkulering er dermed helt essensiell for utvikling av morgendagens produkter. Dersom avfall ikke resirkuleres, vil det kunne føre til drastiske konsekvenser. Smittefare for dødelige sykdommer vil øke, mer forurensning av drikkevann og områder hvor folk ellers kunne bodd eller dyrket vil bli ubrukelige. Alle disse faktorene kombinert med en global oppvarming, samt en stadig befolkningsvekst vil gi fatale konsekvenser. For å unngå slike konsekvenser er resirkulering essensielt. Derfor vil det være et stort miljøfokus omkring produktet. Ikke bare når det kommer til bruksområder, men også når det kommer til gjenvinning av for selve produktet, samt emballasjen og bruksanvisningen.

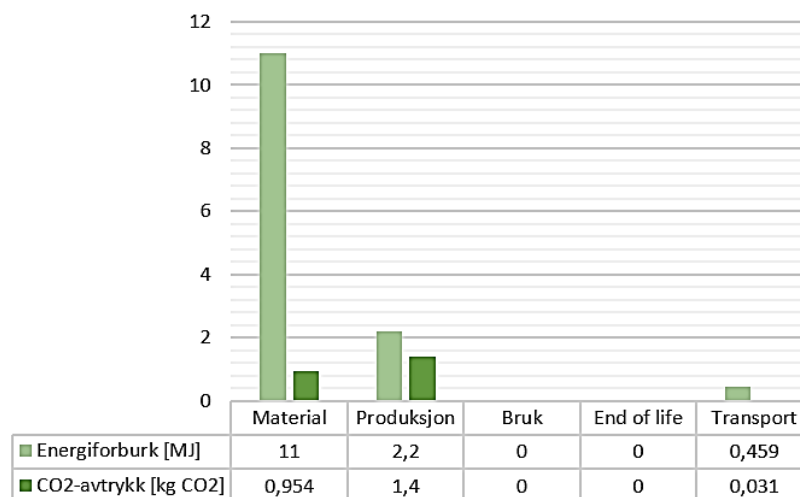
Stål er svært energikrevende å fremstille og produsere, samtidig regnes stål som en begrenset ressurs [74]. Hvert år resirkuleres det omkring 650 millioner tonn med stål. Dette fører til en årlig reduksjon i råmaterial- og energiforbruk, samt en utslippsreduksjon på 900 millioner tonn CO₂. Ved resirkulering spares naturen for uthenting av nytt råstoff. Stål er et magnetisk materiale, hvilket er en stor fordel ved

utskillelse av stål fra generelle avfallsstrømmer bestående av metall. Det vil kun bli satset på en produksjon bestående av resirkulerte stål. Stål er 100 % resirkulerbart, og kan gjenbrukes i det uendelige uten at det påvirker egenskapene i særlig stor grad [74].

Hele vindmålingsstativet vil bli produsert i rent stål. De innkjøpte delene vil nødvendigvis ikke bestå av rent stål, men det vil fokuseres på å benytte produkter som kan resirkuleres. Ved å kun benytte seg av resirkulerbare materialer vil man fremme en bærekraftig utvikling av metallindustrien i forhold til miljøet. Produktets hoveddeler skal markeres med tilhørende resirkuleringssymboler.

11.4. Miljøanalyse

Det har blitt gjennomført en livsløpsanalyse i SolidWorks Sustainability 2017. I analysen har det blitt tatt utgangspunkt i produksjon og salg i Norge. Transportavstanden er derfor satt til 400 kilometer med en 14-tonn lastebil. Materialet som har blitt valgt er stål med tilsetninger av nikkel og krom. Det har blitt tatt utgangspunkt i at produktet består av 100 % resirkulerbare materialer, og at det resirkuleres 100 % igjen. Levetiden er satt til ti år.



Figur 11.4-1: Miljøanalyse for vimpelstativet simulert i SolidWorks Sustainability 2017.

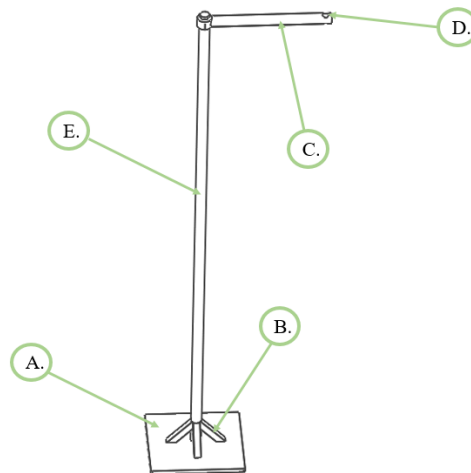
Figur 11.4-1 viser at særlig materialene, og i noen grad produksjon, vil ha klart størst energiforbruk. CO₂-avtrykket vil være noe høyere for produksjon enn for materialutvinning. Transportavstanden på 400 km vil kun påvirke totalen med tre % av energiforbruket og en % av CO₂-avtrykket. Selve bruken av produktet vil ikke slippe ut noe CO₂, eller trenge noen form for tilførsel av energi.

12. PRODUKTARKITEKTUR OG KONSEPTDESIGN

Produktarkitekturen er basert på eksisterende teknologi, samt konklusjonene fra form- og estetikkvalgene for den alternative, forenklede løsningen som i hovedsak fremmer et geometrisk, nett og tidløst design. Produktet vil designes i 3D-verktøyet SolidWorks 2017. Dette simuleringsprogrammet gir mulighet for videre miljø- og kostnadsanalyser, enkel simulering av produktets utforming og materialbestemmelser, tilpasning til standardkomponenter, samt eventuelle designmessige forbedringer.

12.1. Sammenstilling

For å få en grov oversikt over de ulike komponentene som inngår i produktets endelige design, fremvises en sammenstillingstegning i Figur 12.1-1. Tegningen fungerer som en oversiktig fremstilling av hvordan hovedelementene er satt sammen, og hvilke eksterne standardprofiler produktet består av. De viktigste komponentene er presentert i Tabell 12.1-1, med tilhørende forklaring og navnsetting av hovedkomponentene.



Figur 12.1-1: Sammenstillingstegning av den endelige utformingen til vimpelstativet. Merkingen i boblene illustrerer hovedkomponentene stativet er satt sammen av. Vimpelflagget ansees som en av hovedkomponentene for det endelige produktet.

Tabell 12.1-1: Navnsetting og forklaring av hovedkomponentene merket i Figur 12.1-1.

Merking	Komponent	Forklaring
A.	Bunnplate	Bunnplaten benyttes for festing til kjøretøyet, samt tilfører produktet ekstra stabilitet.
B.	Støttestøtter	Støttestøttene, også kalt støttene, er med på å øke stabiliteten i vimpelstangen, minimere vibrasjoner ved kjøring, samt minimere spenningskonsentrasjonene mellom bunnplaten og høydestanga.
C.	Vimpelbom	Vimpelbommen, også referert til som bare bommen, holder selve vimpel ut for måling i mest mulig uforurenset vind.
D.	Vimpelhull	Vimpelhullet er gjenget og tilpasset en M6-skrue.
E.	Høydestang	Høydestangen heve vimpelen opp fra kjøretøyet for måling i mest mulig uforurenset vind, samt plassere vimpelen godt innenfor synsvidden til føreren.

12.2. Design av hovedelementer



Figur 12.2-1: Illustrasjon av designet til det endelige, sammensatte vimpelstativet.

Hovedkomponentene som utgjør vimpelstativet til den alternative, forenklete løsningen vil presenteres nedenfor. Komponenten refereres til med bokstavmerking fra Tabell 12.1-1. Dette gjøres for å få en bedre oversikt over produktets oppbygning, samt hvilke egenskaper og funksjon komponentene innehar.

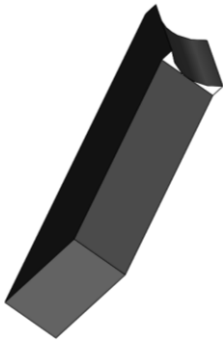
A.



Bunnplaten til vimpelstativet fungerer som en ekstra stabilitet for selve vimpelstativet ved kjøring på ujevnt underlag, samt ved rykk og napp. Platen fungerer godt som base i en universal festemekanisme for ulike typer kjøretøy, da den enten kan festes i en ferdig montert festeanretning, boltes fast i kjøretøyet eller liknende.

Figur 12.2-2: Bunnplate.

B.



Da sluttproduktet består av en høy, tynn stang støpt fast i bunnplata, vil det ved kjøring være fare for høye spenningskonsentrasjoner i overgang mellom høydestang og bunnplaten. Høy spenning kombinert med noe vibrasjon, rykk og støt kan føre til sprekkevekst, og senere utmattingsbrudd. For økt levetid, samt et mer robust produkt er høydestangen støttet opp av fire støttepilare plassert symmetrisk rundt høydestangen. Støttepilarene er også med på å minimere vibrasjon og stabilisere hele stativet. Dette vil gi en mer nøyaktig og presis måling og avlesning av vinddata.

Figur 12.2-3: Støttepilar.

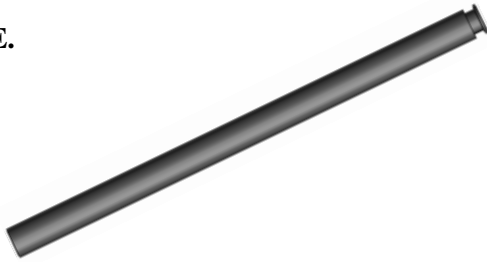
C.



Vimpelbommen, også kalt bommen, kan snurre fritt omkring høydestangen for enklere å kunne angi riktig vindretning. Vinden tar tak i vimpelen som henger ned på tuppen av bommen, og drar med seg vimpel samt bom slik at de henger i vindretningen. Ved å plassere vimpelen på en utstikkende bom, vil vimpelen påvirkes av noe mer uforurenset vind, og dermed gi mer korrekt vindmåling. Risikoen for at vimpelen krasjer i høydestangen blir minimert, samt at vimpel på en utstikkende bom forenkler avlesningen av vindstyrke.

Figur 12.2-4: Vimpelbom.

E.

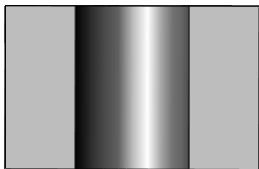


Høydestangen løfter hele vimpelen opp i en mer egnet høyde både for avlesning og presis vindmåling. Vimpelen vil danse fritt i en øyenfallende høyde som fremmer kontinuerlig observasjon av vimpelen, uten at vimpelen skjærer nevneverdig for viktige detaljer fremfor kjøretøyet. Vinden som vimpelen påvirkes av vil være mindre forurenset jo høyere vimpelen er.

Figur 12.2-5: Høydestang.

12.3. Design av komponenter

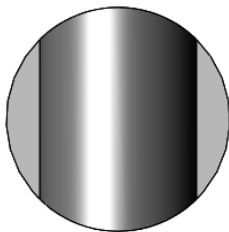
For å forbedre designet arkitekturmessig samt optimere funksjonaliteten har det blitt gjort flere valg og bestemmelser. Valgene er tatt med hensyn på brukerkrav og designpreferanser, samt holde en rød tråd gjennom utformingen av alle komponentene til vindvimpelstativet.



Figur 12.3-1: Tverrsnitt bom-øyet.

Vimpelbom

Tverrsnitt av øyet som kobler vimpelbommen sammen med høydestangen. Den innvendige åpningen er glatt og jevn, slik at vimpelbommen kan roteres med vindens retning, selv ved svært lave vindhastigheter. Tverrsnittdifferansen mellom øyet og den tynneste delen av høydestangen er 1 mm. Toleransen er $\pm 0,2$ mm.



Figur 12.3-2: Tverrsnitt vimpelhull.

Vimpelbom

Tverrsnittet av vimpelhullet. Vimpelhullet er gjenget med tilpasning til å passe en M6-bolt. Gjengene fremgår ikke i Figur 12.3-2 som kun illustrer en glatt overflate.

Den effektive lengden stålmaterialiet har på hver side av vimpelhullet kan bli noe mager ved ekstremtilfeller, men ved en beregnet vindstyrke på fem m/s samt kjørehastighet på åtte km/t, ansees vimpelbommen som tilstrekkelig.

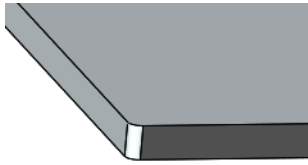


Figur 12.3-3: Rotert visning av vimpelhull.

Vimpelbom

Rendrert fremstilling av enden på vimpelbommen, hvor vimpelhullet står i fokus. Vimpelbommen er avbildet fra tre ulike retninger, for å gi best mulig overblikk over designet.

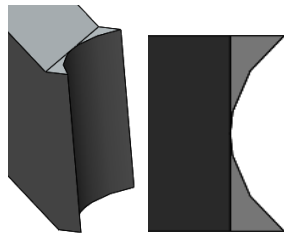
Det øverste utsnittet er sett skrått ovenfra. Utsnittet i midten er sett rett fra siden. Da vimpelstangen har et sirkulært tverrsnitt, vil utskjæringen av vimpelhullet gi to symmetriske nedsenkninger på hver side av stangen. Det nederste utsnittet er sett skrått nedenifra.



Bunnplate

Hjørnene på bunnplaten er avrundet for å gjøre produktet mer sikkert for brukeren ved installasjon og avinstallasjon. Avrundede og slippede kanter kan forebygge dype kutt og sårskader, og vil derfor foretrekkes for hele produktets utforming.

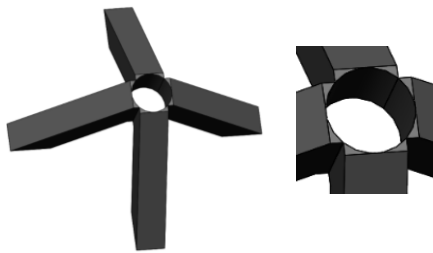
Figur 12.3-4: Hjørne på bunnplate.



Støttepilar

Figuren illustrerer et utklipp fra en av fire identiske støttepilarer. Støttepilaren har en halvmåneformet overgang til høydestangen, som er tilpasset stangens tverrsnittdiameter. Halvmånen er bygget noe ut av selve støttepilaren for å fullt ut kunne dekke stangens overflate, og dermed gi maksimal støtte, nærmest uavhengig av retningen påkjenningen virker i.

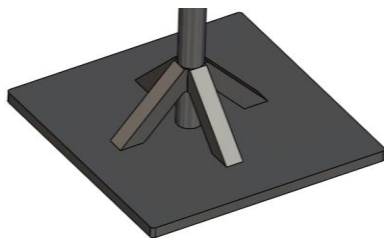
Figur 12.3-5: Utsnitt av støttepilar.



Støttepilar

Sammenstilling av de fire støttepilarene som utgjør hovedstabilitetsmomentet til vimpelstativet. Til venstre fremstilles et fullstendig bilde av støttepilarene. Vinkelen mellom støtten og bunnplaten er satt til 45° , da det har vist seg at denne vinkelen gir maksimal støtte. Til høyre er et utsnitt som fremviser overgangen mellom de fire pilarene tilpasset høydestangens tverrsnitt.

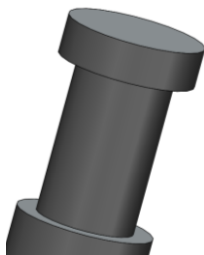
Figur 12.3-6: Sammenstilling av de fire støttepilarene.



Støttepilar

Utsnitt som presenterer den nedre delen av det endelige designet til vimpelstativet. Her blir samspillet mellom stabilitetskomponentene, altså de fire støttepilarene og bunnplaten, illustrert.

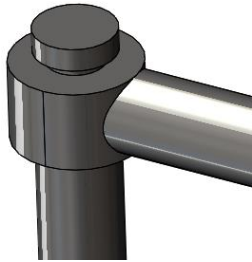
Figur 12.3-7: Bunnplate med støttepilarer og høydestang



Høydestang

Høydestangens øverste ende har et smalere parti tilpasset tverrsnittet til vimpelbommens øye. Ved en noe smalere overgangen enn resten av staven, holdes vimpelbommen stabilt rett ut til siden med en vinkel tilnærmet lik 90° , uten at det er fare for at vimpelbommen hopper av høydestangen ved kjøring på ujevnt underlag, rykk eller vibrasjoner.

Figur 12.3-8: Toppen av høydestang



Figur 12.3-9: Festet mellom høydestang og vimpelbom.

Høydestang

Utsnitt av det endelige designet til vimpelstativet som presenterer samspillet mellom høydestang og vimpelbom. Det smale partiet på høydestangen er tre mm lenger høyden på bom-øyet, slik at vimpelbommen kan snurre fritt rundt stangen og ikke være låst fast.

12.4. Standardkomponenter

For et komplett sluttprodukt for den alternative, forenklede vimpelløsningen kan det kjøpes inn standardkomponenter fra ekstern leverandør. Komponentene er presentert nedenfor med kort forklaring omkring kjøpested og eventuell tilvirkning.



Figur 12.4-1: M6-skrue med krok [76].

M6-skrue med krok

Klassisk M6-skrue med krok. Total lengde fra gjengetupp til enden av krok er 30 mm. Kan fås kjøpt svært rimelig på de aller fleste forretninger som selger skruer, bolter og liknende. Viktig at kroken består av en lukket sirkel slik at ikke vimpelen blåser av ved kjøring.



Figur 12.4-2: Rødt vimpelflagg [25].

Vimpelflagg

Kan bestilles hos ulike vimpelleverandører, eller lages selv. For produksjon av prototype vil et rødt vimpelflagg kjøpes inn eksternt. Ved serieproduksjon ansees det som mer lønnsomt å konstruere vimpel-flagget av rødt, vevet nylonstoff med tilhørende metallstøtte selv.

13. FRAMSTILLING, KOSTNADER OG RISIKO

For å utvikling av et produkt kunden føler står til ønsket kvalitet, er det flere faktorer som må tilfredsstilles utover de mekaniske. Dette omhandler blant annet miljøfaktorer og resirkulerings-mulighet, overflatebehandling og vedlikehold. Det vil bli gjort en økonomisk analyse for å anslå økonomiske aspekter ved produktet, samt gi en vurdering omkring produktet ansees som lønnsomt. For å avdekke eventuell risiko, samt vurdering av produktet i forhold til markedet, vil det gjennomføres en rekke analyser, deriblant SWOT-analyse, risikoanalyse og systemanalyse.

13.1. Produksjonsmetode for stativ

Produksjonsmetodene som blir overveid vil kun gjelde for tappene, altså ikke for tilleggsutstyr og emballasje. Pakningen er en standardprofil, og vil derfor ikke bli vurdert her. Det vil bli benyttet ulike produksjonsteknikker for prototypeproduksjon og serieproduksjon, da det kan være relativt store engangskostnader knyttet til en serieproduksjon. Prototypen vil bli frest ved bruk av en CNC-maskin. Dette er en god og svært rimelige teknikk ved produksjon et fåtall eksemplarer. Ved produksjon i et større antall som krever serieproduksjon vil støpning benyttes.

Det er svært mange bedrifter som i dag har spesialisert seg på innovative, mer miljøvennlige og kostnadseffektive produksjonsmetoder. Norge har kommet langt på dette området, og det vil derfor bli satset på norske leverandører, som benytter elektrisk energi fra vannkraft i omformingsprosessen. Det vil kun bli benyttet resirkulerte materialer i produksjonen av de komponenter som skal produseres. For komponenter som kjøpes inn eksternt gjelder ikke de samme rammevilkårene for produksjon.

For å skille resirkulert stål fra andre metaller, benyttes en kraftig magnet. På grunn av jernets magnetiske egenskaper vil stålet feste seg til magneten. Stålet varmes opp til flytende form, før det tilsettes krom- og nikkellioner. Det vil dannes en tynn kromoksidfilm når stålet reagerer med oksygenet i lufta. Dette vil gjøre produktet blankt, og det trenges ikke å polere stålet i etterkant. Produktet kommer ut i standard blokkform som er lett å transportere. Blokken med rustfritt stål varmes så opp igjen og vales til tynne, elastiske plater som kan tvinnes til store coiler. Platykkelsen blir bestemt etter kundens ønske.

For å bedre egenskapene til stålet vil det først bli vasket rent, slik at man unngår uønskede forurensninger i materialet. Deretter forekommer en herdeprosess hvor stålet varmes opp etterfulgt av langsom nedkjøling. Denne herdingen endrer krystallstrukturen i stålet ved å gå fra austenitt, en kubisk flatesentrert struktur, til en martensitt, en tetragonal flatesentrert struktur. Dette blokkerer dislokasjoner i gitterstrukturen, hvilket øker hardheten, flytegrensen og strekkfastheten [77]. Høy grad av hardhet vil gi høy motstandskraft mot plastisk deformasjon, og stativet vil tåle slag og skader fra lavhengende grener, ledninger og liknende bedre [78]. Deretter benyttes kaldvalsing for å lukke porer i metallet for å oppnå en jevnere og mer skinnende overflate. Kaldvalsing, altså valsing ved en temperatur lavere enn rekrySTALLISERINGSTEMPERATUREN, vil gi en glattere og mer nøyaktig overflate enn varmvalsing. Tilslutt går stålet gjennom en ny vaskeprosess, for å fjerne skitt og smuss som har kommet til underveis i de ulike prosessene. Stålet har nå en bedre beskyttet overflate mot korrosjon, det har fått en økt styrke og det er enklere å forme videre til et ferdig produkt [78]. Denne forbedringsprosessen blir gjennomført av underleverandører, og må derfor kvalitetssikres før bruk.

Ved produksjon av prototype vil hver komponent utvikles og formes på NMBU sitt verksted. Her finnes alle nødvendige maskiner for utformingen og sammensetting av de forskjellige komponentene. Hvilke metoder som er best egnet for utvikling av prototypen vil diskuteres med ansatte på verkstedet. Materialvalg vil være rustfritt stål. Den eksakte kjemiske sammensetning av rustfritt stål for prototypen vil ikke tas hensyn til, da dette ikke vil påvirke måleresultatene nevneverdig. Materialet til vindvimpelen vil kjøpes inn eksternt fra en tekstilforhandler.

For å utforme produktet på en effektiv og billig måte ved serieproduksjon vil støpning benyttes. Engangskostnadene ved å lage en støpeform er relativt høye. Støpning er derfor en produksjonsform som passer godt til serieproduksjon, da prisen per enhet vil minke i takt med antallet som blir produsert. Det rustfrie stålet varmes opp til flytende form, for så å helles over i form hvor stålet størkner etter støpeformens fasong. Støpeformene blir laget etter figuren tegnet i CAD programmet SolidWorks 2017. Da støpning gir muligheter for å lage kompliserte geometriske utførelser, vil nærmest hele stativet; bunnplate, støttepilare og høydestang, bli støpt i en og samme form. Dette reduserer kostnadene knyttet til montering og lagerplass, samt at effektiviteten øker.

13.2. Kostnadskalkyle for prototype

Kostnadene forbundet med å konstruere en prototype av vimpelstativet i videre arbeid, har blitt satt opp i en kostnadskalkyle. Kalkylen fungerer som en tidlig kostnadsvurdering basert på et estimat omkring forbrukte timer på prosjektarbeid, samt informasjon omkring priser hentet fra norske leverandører. For konseptutvikling og forsøksutvikling er brutto timeantall oppsatt. Ved brutto timer mens all tid benyttet til tankearbeid, drøfting og innhenting av data regnes med i timeantallet.

Konseptutviklingen og forsøksutviklingen er en tidsvurdering basert på egen innsats. Timeantallet knyttet til de ulike postene kan derfor avvike noe fra virkeligheten, men det totale brutto timeantallet vil stemme relativt godt med faktisk benyttet tid. Materialer og arbeidskostnader er et estimat på fremtidig utvikling av prototype, basert på priser fra norske leverandører. Priser fra ulike materialkataloger og hjemmesider er sammenlignet. Det beste alternativet med tanke på pris og antatt kvalitet fra anerkjente leverandører er valgt. Under materialer og komponenter er rustfritt, kaldvalset stål benyttet. Oppført kvantum inneholder både materialer benyttet for vimpelstativ (0,278 kg), samt materialer for festemekanismen til både anemometer og sonisk vindmåler (2 x 0,209 kg). Mengden benyttet material for konstruksjon av festemekanismen estimeres til 75 % av mengden som utgjør vimpelstativet.

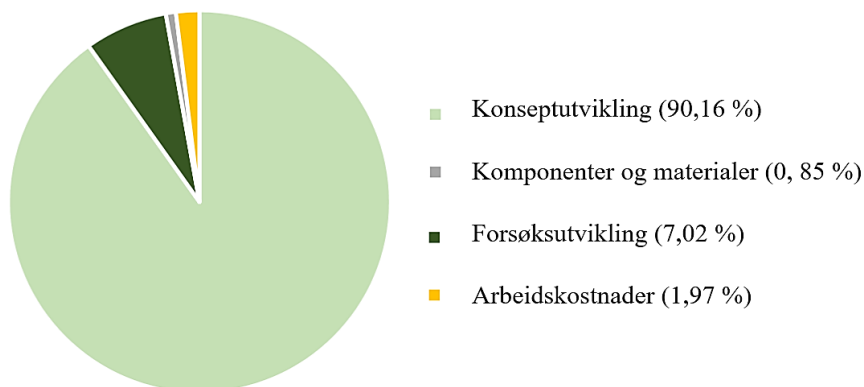
Tabell 13.2-1: Estimert kostnadskalkyle for utviklingen av alle komponenter knyttet til fremtidige forsøk. Av dette inngår prototyping av vindmålestativ, innkjøp av aktuelle vindmålere, samt arbeidstimer.

Konseptutvikling og forundersøkelser	Timer [Antall]	Kvantum	Pris [NOK]	Sum [NOK]
Utredningsarbeid	185		450	83 250
Formgivning og design	125		450	56 250
Konstruksjonstegninger	60		450	27 000
3D-Fremstilling	50		450	22 500
Beregninger	100		450	45 000
Analyser	80		450	36 000
Prosjektrapport	185		450	83 250
Delsum	835			375 750
Forsøksutvikling	Timer [Antall]	Kvantum	Pris [NOK]	Sum [NOK]
Konstruksjonstegninger	20		450	9 000
3D-modellering	20		450	9 000
Forsøksplanlegging	25		450	11 250
Delsum	65			29 250
Materialer og komponenter	Timer [Antall]	Kvantum	Pris [NOK]	Sum [NOK]
Materialer, Kaldvalset rustfritt stål [79]		0,695 kg	90,75	63,1
M6 skrue med krok [76]		1 stk.	2,49	2,5
Vimpelflagg [80]		0,024 m ²	89,6	2
Sonisk Vindmåler [81]		1 stk.	3 000	3 000
Anemometer [21]		1 stk.	500	500

Tabell 13.2-2 forts.: Estimert kostnadskalkyle for utviklingen av alle komponenter knyttet til fremtidige forsøk. Av dette inngår prototyping av vindmålestativ, innkjøp av aktuelle vindmålere, samt arbeidstimer.

Delsum				3 567,6
Arbeidskostnader	Timer [Antall]	Kvantum	Pris [NOK]	Sum [NOK]
Verkstedtimer	15		550	8250
Delsum	15			8250
TOTALKOSTNAD				416 817,5

Kostnadskalkylen i Tabell 13.2-1 viser en oversikt over de totale kostnadene knyttet til utviklingen av en fremtidig prototype basert på arbeidstimer og materialkostnader, samt kostnadene knyttet til utviklingsarbeidet. De absolutt største kostnadene er knyttet til personlige arbeidstimer i forbindelse med utviklingen av forprosjektet i form av eventuelt utbetalt lønn. For å lettere kunne se hvor store de ulike kostnadspostene konseptutvikling, forsøksutvikling, arbeidskostnader, samt komponenter og materialer er i forhold til hverandre, vil det i tillegg settes opp et sektordiagram.



Figur 13.2-1: Sektordiagram som angir forholdet mellom de ulike kostnadspostene i kostnadskalkylen.

Figur 13.2-1 viser forholdet mellom de ulike kostnadspostene i kostnadskalkylen knyttet til arbeidet frem imot fremtidige forsøk. Det kommer frem av sektordiagrammet at konseptutvikling og forsøksutvikling utgjør til sammen hele 97,18 % av de totale kostnadene. Dette skyldes den omfattende utviklingsprosessen, samt at kostnadene knyttet til innkjøp av materialer holdes forholdsvis rimelige. Kostnadene knyttet til utvikling er like uavhengig om produksjonene foregår i serie, eller kun produksjon av en prototype. Denne prosentandelen vil derfor minske drastisk ved økt produksjonsmengde. Kostnader knyttet til selve forsøket, altså materialkostnader og eksterne arbeidskostnader utgjør kun 2,82 % av de totale kostnadene. Dette er kostnader forbundet med utvikling av prototyper og arbeid knyttet til maskinkjøring på verkstedet.

Både konseptutviklingen og prototyping er kostnadsposter som støttes av lånekassen da dette vil være knyttet til masterarbeid ved NMBU. Dersom disse kostnadene neglisjeres, vil prototypingen totalt koste 11 817,6 NOK. Av dette er fordelingen 70 % verkstedtimer, og 30 % materialkostnader.

13.3. Kostnadsanalyse for serieproduksjon

For å finne en gunstig utsalgspris for produktet, må kostnadene knyttet til serieproduksjon beregnes. De variable enhetskostnadene er de mest avgjørende ved produksjon av store kvantum, mens de totale faste kostnadene er mest utslagsgivende ved produksjon av små kvantum. I kalkylen nedenfor har det ikke

blitt tatt hensyn til administrative kostnader, kostnader knyttet til lokale, samt vedlikehold- og maskinkostnader som påvirker enhetskostnadene. I praksis vil derfor de totale kostnadene være høyere enn angitt i Tabell 13.3-1. For å utjevne dette vil totalkostnaden multipliseres med en tenkt faktor på 1,25.

Tabell 13.3-1: Kostnadsanalyse for serieproduksjon av vimpelstativet.

Engangskostnader	Timer [Antall]	Kvantum	Pris [NOK]	Sum [NOK]
Utredningsarbeid	835		450	375 750
Forsøksutvikling	65		450	29 250
Produksjonsverktøy		1	10 000	10 000
Prototype vimpel		1	33,8	33,8
Prototype anemometer		1	500	500
Prototype sonisk		1	3 000	3 000
Delsum				418 533,8
Arbeidskostnader	Timer [Antall]	Kvantum	Pris [NOK]	Sum [NOK]
Produksjon	0,33		60	19,8
Delsum				19,8
TOTALKOSTNAD				418 553,6
TOTALKOSTNAD INKLUDERT FAKTOR FOR FASTE KOSTNADER				523 192

Engangskostnadene som inngår i produksjonen av en prototype er de absolutt høyeste. Som nevnt tidligere vil disse kostnadene støttes av lånekassen, og dermed ikke være en reell kostnad. De har likevel blitt valgt å ta med konseptutviklingskostnadene videre i analysen, da de påvirker helhetsvurderingen av prosjektet i forhold til lønnsomhet.

Formel 13.1 er en funksjon av antall enheter for å beregne tilhørende enhetskostnad. Tallverdiene for enhetskostnadene er listet opp i Tabell 13.3-2.

$$\text{Enhetskostnad} = \frac{(\text{Engangskost} + \text{Material og komponent} + \text{Arbeidskost})}{\text{Antall enheter}} \quad (13.3.1)$$

Materialkostnadene knyttet til produksjon av ett vimpelstativ er presentert i utregningen nedenfor ved bruk av formel 13.2. Disse beregningene er uten kostnader knyttet til emballasje, ekstrautstyr. Enhetskostnadene vil derfor være noe høyere enn utregnet i Tabell 13.3-2.

$$\text{Materialkost} = \text{kostnad stål} + \text{kostnad vimpelflagg} + \text{kostnad skrue med krok} \quad (13.3.2)$$

$$\text{Materialkost} = (0,278 \cdot 90,75) + (0,024 \cdot 89,6) + 2,49$$

$$\text{Materialkost} = 29,87 \text{ NOK}$$

Tabell 13.3-2: Enhetskostnad oppgitt i norske kroner ved ulike produksjonsmengde av vimpelstativet.

Antall enheter	1	1 000	10 000	1 000 000	1 000 000 000
Faste kostnader	523 192	523 192	523 192	523 192	523 192
Materialkost	29,87	29 870	298 700	29 870 000	29 870 000 000
Arbeidskostnad	19,8	19 900	199 000	19 900 000	19 900 000 000
Sum	523 242	573 962	1 030 892	51 293 192	50 770 523 192
Enhetskostnad	523 242	573,96	103,09	51,29	50,77

I Tabell 13.3-2 er enhetskostnadene knyttet til produksjon av ulikt antall enheter fra 1 - 1 000 000 000. Jo større produksjonsmengde, dess mindre vil de faste kostnadene påvirke enhetskostnaden. De variable kostnadene knyttet til materialer og arbeidsmengde vil dermed hovedsakelig utgjøre den totale enhetskostnaden. Denne kostnaden ansees som variabel da særlig prisene på materialer vil variere overtid avhengig av markedet og underleverandører.

13.4. Break-even analyse

Ut ifra de tidlige kostnadsvurderingene kom det fram at antatt konkurransedyktig utsalgspris per produkt skulle ligge omkring 400 NOK for de enkleste løsningene, og 3000 NOK for mer avansert måleteknologi. Vimpelløsningen er endel enklere enn antatt. Forsøk og vurdering omkring denne løsningen er tilstrekkelig nøyaktig må gjennomføres, før mulig videreutvikling. Dersom vimpelløsningen ansees som tilstrekkelig, vil en mulig utsalgspris være 135 NOK. Dette er noe høyere enn enhetskostnadene ved 10 000 produserte enheter grunnet kostnader knyttet til blant annet markedsføring, oppstartskost og endringer i materialkostnader. 135 NOK er en mye lavere utsalgspris enn andre eksisterende vimpelløsninger på markedet, samt mye lavere utsalgspris enn den tidlige kostnadsvurderingen antydte. Lavest mulig pris er å foretrekke, da mulig å treffe en større markedsandel, samt fremme bevisstgjørelse omkring vindforhold ved spredning av plantevernmidler.

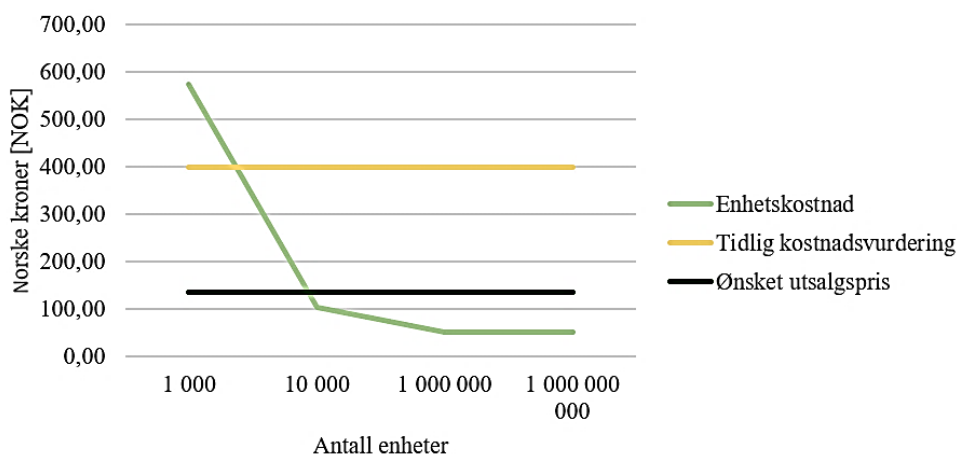
- VEK - Variabel enhetskostnad: 19,8 NOK
- TFK - Totale faste kostnader: 416 817,5 NOK
- P - Utsalgspris: 135 NOK

Dette gir break - even point (BEP) på:

$$BEP_{stål} = \frac{TFK}{(P-VEK)} \quad (13.4.1)$$

$$BEP_{stål} = \frac{416\,817,5}{(135 - 19,8)} \approx 3619 \text{ enheter}$$

Set må produseres 3619 enheter av vimpelstativet før virksomheten blir lønnsom med en utsalgspris på 135 NOK. Tas tilleggsutstyr, emballasje og logistikk med i beregningene, må det produseres et større volum. Trolig vil en produksjon på mellom 6 000 og 10 000 enheter være lønnsom. Antall enheter er forholdsvis høyt, og man er avhengig av at kunden ser produktets behov for å lykkes på markedet.



Figur 13.4-1: Graf for illustrasjon av Break even point for den tidlige kostnadsvurderingen og ønsket utsalgspris.

Grafen i Figur 13.4-1 startes det på 1000 enheter da kostnadsspranget fra 1 - 1000 enheter er svært høyt, og dermed vil gjøre det vanskelig å lese av korrekte verdier på y-aksen. Dersom produksjonen settes i gang, vil et tenkt opplag på omkring 1 000 enheter være en reell start.

13.5. Konkurrentanalyse

Utsalgsprisen til produktet finner man ved å multiplisere enhetskostnadene med en faktor på 4,2 [82]. Det antas at det selges omkring 10 000 enheter. 10 000 enheter vil ca. ¼ av alle jordbruksbedrifter i Norge.

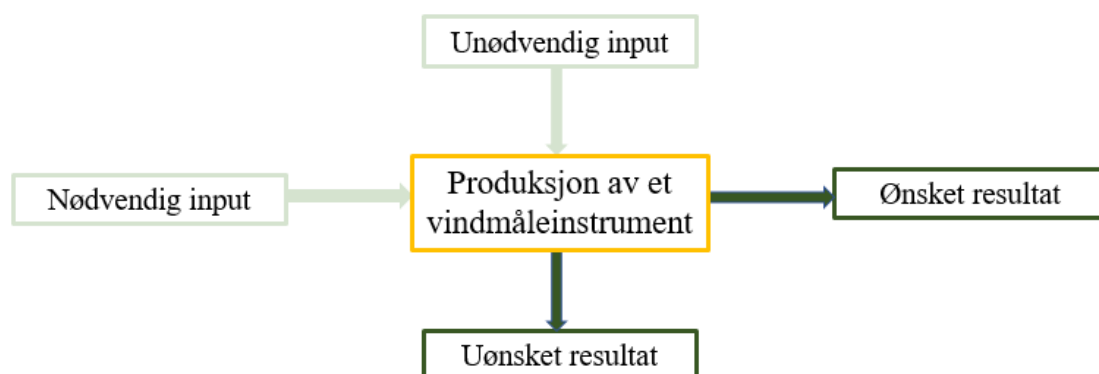
$$P_{Utsalg} = 4,2 \cdot 103,09 = 432,98 \text{ NOK}$$

Utsalgsprisen basert på kostnadene til produktet er ca. tre ganger så høye som den ønskede utsalgsprisen på 135 NOK for vimpelstativet. Sammenlignet med den tidlige kostnadsvurderingen på 400 NOK er dette ganske lovende. Det er mulig å kutte noe på materialkostnadene dersom man får til en bedre avtale med underleverandør, eller ved å optimere designet. De største kuttemulighetene ligger i de variable kostnadene knyttet til produktets fremstilling. Ved å optimere utstyret og den interne logistikken i bedriften vil det være mulig å redusere kostnadene betraktelig, kombinert med en mer effektiv produksjon. For å nå målet om utsalgspris på 135 NOK må enhetskostnaden til produktet være på maksimalt 32,14 NOK.

Det er ingen direkte konkurrenter på dagens marked, derfor styres utsalgsprisen av to faktorer; produksjonskostnader og hva kunden er villig til å betale for produktet på bakgrunn av tiltenkt nytteverdi. Utsalgsprisen skal reflektere produktets forventede kvalitet, samtidig være innenfor et prisområde kunden er komfortabel med.

13.6. Systemanalyse

Systemet for denne rapporten er Norge, og systemgrensene vil være satt til de geografiske, økonomiske, ressurs- og teknologiske faktorene for produktet. Tidshorizonten kan være både lang og svært kort. Det er umulig å spå om produktet i det hele tatt vil slå gjennom. Dersom produktet tar markedet, vil livsløpet være helt til en nye og bedre løsning inntreffer. Det er derfor satt opp en input/output-modell for å se nærmere på utfordringer vindmåleinstrumentet møter, mulige resultater og hvilke ressurser produktet krever.



Figur 13.6-1: Illustrasjon av oppbygningen til systemanalysen ved bruk av en input/output-modell.

Tabell 13.6-1: Faktorene som inngår i systemanalysen.

Nødvendig input	Unødvendig input	Ønsket resultat	Uønsket resultat
Personell	Ubrukelig eller gammel teknologi	Redusere bruken av plantevernmidler	Liten eller ingen interesse fra kunder
Investeringer	Høye produksjonskostnader	Brukervennlig produkt	Lav brukervennlighet
Materialer og standarder	Økt kostnadsnivå på standraddeler og materialer	Gi kontinuerlig oversikt over vindstyrken	Ingen reduksjon i avdrift ved bruk av produktet
Moderne teknologi	Lang fremstillingstid	Øke fokus på avdriftsreduserende tiltak	Produksjonsbedrifter ser ikke mulighet for et nytt marked
Markedsføring		Mindre giftstoffer på mat og i økosystemer	Andre aktører stjeler konseptet
Kunder		Stor interesse fra kunden	Klager og reklamasjoner

13.7. Risikoanalyse

Det vil alltid være risiko knyttet til et prosjekt da prosjektets utvikling kan endres underveis i forhold til den opprinnelige planen. Risikoanalysen benyttes som et verktøy for å belyse fremtidige problemer som kan oppstå. Det er satt opp en enkel risikoanalyse. Risikoen er knyttet opp mot to parametere; sannsynligheten for at hendelsen skal inntreffe og virkningen av hendelsen. Sannsynligheten for at scenarier inntreffer, virkningen dette gir og risikoen er en generell personlig vurdering. Sannsynligheten vurderes i prosent på en skala fra 0 - 1 hvor 1 er 100%. Virkningen vurderes etter en skala fra 1 - 5. Figur 5.2-1 illustrerer en lik vektingsfordeling mellom de ulike verdiene.

Tabell 13.7-1: Risikoanalyse for vindmåleinstrumentet. Verdiene er basert på personlig vurdering.

Nr.	Scenarier	Sannsynlighet	Virkning	Risiko
1	Ingen miljøfordeler	0,10	3	0,30
2	Ingen reduksjon i mengden giftstoffer på plantene	0,40	1	0,40
3	For høye priser på ferdigstilt produkt	0,25	5	1,25
4	Produktet blir ikke benyttet	0,40	3	1,20
5	Ikke lønnsom produksjon for produksjonsbedriftene	0,10	5	0,50
6	Eksisterende teknologien er ikke egnet for bruken	0,05	3	0,15
7	Kunden ser ikke behovet for produktet	0,40	3	1,20
8	Mangel på etterspørsel	0,40	4	1,60
9	Ikke kapasitet til å dekke etterspørsel	0,10	2	0,2
10	Konkurrenter kommer i forkjøpet	0,50	5	2,5
11	Produktet fungerer ikke som det skal	0,25	5	1,25
12	Produktets levetid er kortere enn antatt	0,30	2	0,6
13	Produktet er for avansert for brukeren	0,10	3	0,3

13.8. SWOT-analyse

SWOT-analysen ser på de muligheter, trusler, styrker og svakheter som produktet innehar. Dette verktøyet er et strategisk planleggings- og kartleggingsverktøy som kan benyttes for å avdekke interne og eksterne faktorer som kan true eller hjelpe produktet i å nå sin målsetting. Denne SWOT-analysen er



omfatter to hovedgrupper: kunder og generelt. Vindmåle-instrumentet er avhengig av kunder som kjøper produktet, samt generelle faktorer knyttet til produktet.

Tabell 13.8-1: SWOT-analyse for vindmåleinstrumentet.

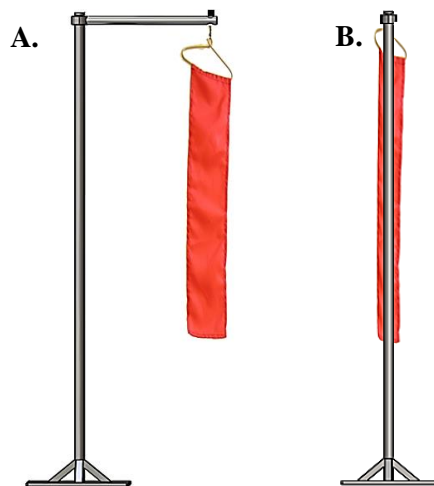
Styrker	Svakheter
<ul style="list-style-type: none"> ○ Robust utforming gir en levetid på minimum ti år. ○ Resirkulerbart materiale ○ Svært brukervennlig avlesning, slev ved sprøyting ○ Kan enkelt bytte vimpelflagg ○ Nett utforming hindrer ikke for sikten ○ Rimelig i pris 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Avlesningen kan lett bli for unøyaktig ○ Må monteres/avinstalleres mellom bruk ○ Traktorhuset kan skjerme for vinden, og dermed vise feil vindhastighet og vindretning ○ Kan være vanskelig for eldre å montere og avinstallere ○ Må installere en festemekanisme fast på traktoren
Muligheter	Trusler
<ul style="list-style-type: none"> ○ Kan benyttes av hobbybrukere så vel som profesjonelle ○ Kan benyttes ved bruk av andre sprøytetyper, for eksempel tåkesprøyte ○ Kan endre utformingen av vimpelflagget for å gjøre den moderne, passende til traktorfargen eller generelt mer i øyenfallende. ○ Kan redusere mengden avdrift av plantevernmidler ○ Kan redusere innkjøpsmengden av plantevernmidler ○ Kan bli pålagt med vindmåleinstrument på traktor i fremtiden 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Eldre er redde for å kjøpe og lære seg nye verktøy. ○ Kunder ser ikke nytten ved et slikt produkt. ○ Påkjørsler grunnet vimpelen er i veien for sikten ○ Andre bedrifter kopierer produktet og det blir for høy konkurranse. ○ Høye materialkostnader fra underleverandørene for produksjon av tappen.

14. MARKEDSPRESENTASJON

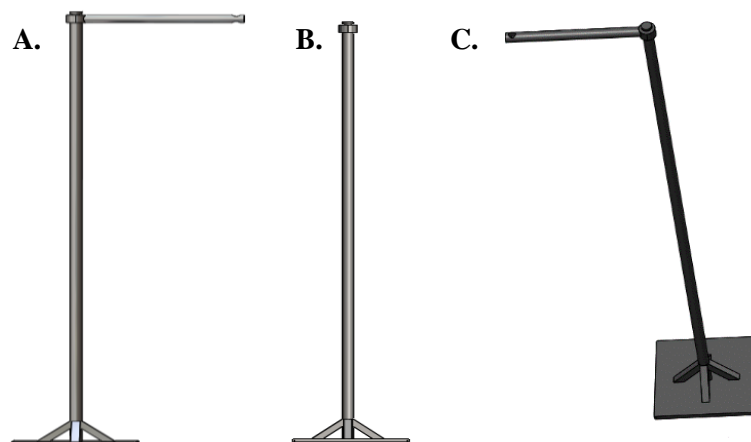
Markedspresentasjonen belyser hvordan brukeren vil oppfatte og håndtere sluttproduktet. Dette inkluderer rendrert fremstilling av den alternative, forenklede løsningen, en teknisk beskrivelse av sluttproduktet, samt hvordan produktet presenteres på markedet. Produktet skal være appellerende for kunden ved innkjøp. Dette krever et vell gjennomtenkt produktnavn og et tidløst varemerke.

14.1. Rendrert fremstilling

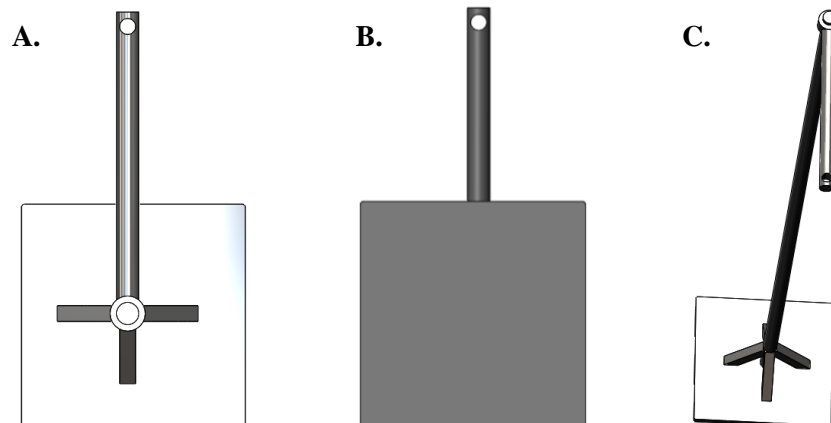
Rendrerte fremstillinger av produktet gir en oversiktlig og overordnet oversikt over sluttproduktets sammenstilling sett fra ulike vinkler. Sluttproduktet for den alternative, forenklede løsningen består av et vimpelstativ, en vindvimpel og en skrue med full krok. Komplette løsninger presenteres i Figur 14.1-1. De resterende illustrasjonene i den rendrerte sammenstillingen vil kun bestå av vimpelstativet, da vindvimpelen vil skjule for hovedkomponentene vimpelstativet er sammensatt av, samt at vindvimpelen og M6-skruen hentes inn fra ekstern leverandør, og vil monteres separat i etterkant.



Figur 14.1-1: Rendrert fremstilling av komplett vimpelløsning. A. sett rett fra siden. B. Sett fra baksiden.



Figur 14.1-2: Rendrert fremstilling av vimpelstativet sett rett fra siden A., sett bakfra B., og sett skrått fra siden C.



Figur 14.1-3: Rendrert fremstilling av vimpelstativet sett ovenfra A., Sett fra undersiden B. og sett skrått ovenfra C.

Ovenfor ble det endelige sluttproduktet vist fra forskjellige vinkler. Det er tydelig at designet har blitt holdt enkelt, uten at det skal påvirke funksjonaliteten til produktet. Særlig i Figur 14.1-2 A. og B. kommer den naturlige tre-liknende inspirasjonskilden frem med en enkel kropp og en mer kompleks festemekanisme.

Selve vimpelstativet kan produseres i en rekke ulike farger og mønster. Dette er en billig og enkel metode for å gjøre produktet mer spennende og attraktivt for kunden ved innkjøp, men kan være med på å ta fokuset bort fra vimpelflagget som burde være sluttproduktets hovedfokus ved bruk. Det er viktig at det totale inntrykket til produktet er tilpasset målgruppen og bruksområdet. En mulighet for å øke produktuttrykkets eksklusivitet uten å flytte fokus på vimpelen, er å endre vimpelstativets overflateuttrykk. Dette kan for eksempel omhandle sliping for en ru overflate, matt lakkering eller liknende. Prisen kan reguleres etter eksklusivitet, og lønnsomheten økes.



Figur 14.1-4: A. Illustrasjon av komplett vimpelløsning plassert på panseret. B. Illustrasjon av sonisk vindmåler eller anemometer fremstilt som en sort boks med plassering på kjøretøyets tak. C. Illustrasjon av foretrukket displayløsning for dataoverføring.

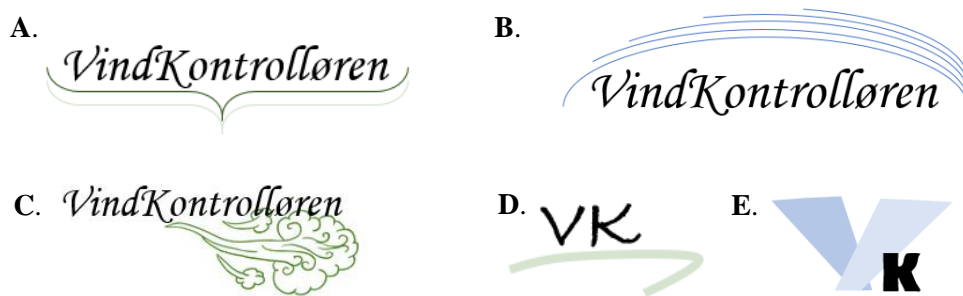
I Figur 14.1-4 er det endelige sluttproduktet med tilhørende plassering på kjøretøyet avbildet på en tilfeldig valgt traktor. Til venstre, figur A., er den alternative, forenklede løsningen med plassering på panseret. Til høyre, figur B., er den soniske vindmåleren eller anemometeret avbildet som en sort boks med foretrukket plassering på taket til traktoren.

14.2. Produktnavn

Navnet på produktet er bestemt til «Vindkontrolløren». Produktnavnet anses som svært beskrivende for ferdig utviklet produkt, samtidig som navnet har potensiale til å bli et fellesbegrep for liknende produkter i fremtiden. «Vindkontrolløren» ansees som et navn med god klang som lett kan innarbeides hos kunden, da valgt produktnavn kan minne om allerede eksisterende navn, for eksempel «Traktøren» og «Montøren». Det er tenkt at produktet først og fremst skal benyttes i Norge, da vindmåleinstrumentet er utviklet etter norske standarder og forskrifter. Selv om ordet «Vindkontrolløren» er svært norsk, vil ulike forkortelser fungere godt ved internasjonalt gjennombrudd.

14.3. Varemerke

Valg av varemerke baseres på en idemyldringsfase hvor en rekke forslag for varemerkedeign vil presenteres. Utformingen av varemerket skal stå i stil til produktet og helst fungere som en forlengelse av designkonseptet til den alternative, forenklete vimpelløsningen. Ideene som ble generert i idemyldringsfasen med tilhørende fargeforslag er presentert i Figur 14.3-1.



Figur 14.3-1: Oversikt over de ulike designforslagene for varemerket.

Det vil bli benyttet en vektet seleksjonsmatrise basert på Pughs metodikk for valg av varemerke. Her vil kun selve utformingen av varemerket bedømmes. Da enkelte av kriteriene ansees som mer essensielle enn andre, vil en enkel vektingsverdi multipliseres med tildelt karakter. Karaktersettingen består av kun tre verdier: -1, 0 og 1. Designforslaget som får høyest total poengsum blir med videre for fargebestemmelser.

Tabell 14.3-1: Seleksjonsmatrise basert på Pughs metodikk for valg av varemerke for sluttproduktet basert på alternativene i Figur 14.3-1.. Karaktersettingen består av tre mulige karakterer: -1, 0 og 1.

Kriterium	Vekting	A.	B.	C.	D.	E.
Originalitet	2	0	1	0	0	1
Står i stil til produktet	2	0	1	1	-1	0
Helhetsinntrykk	2	1	1	0	1	1
Enkelhet	1	1	-1	-1	1	1
Fremmer navnet	1	1	1	-1	-1	-1
Fremmer produktegenskaper	1	-1	1	1	-1	0
Lett gjenkjennelig	1	-1	0	0	0	1
Tidløst design	1	1	0	-1	1	1
Fungerer internasjonalt	1	-1	-1	-1	1	1
SUM		2	6	-1	1	7

Ut i fra vektingsmatrisen kommer alternativ E. knepent best ut med syv poeng totalt. Alternativet er enkelt og originalt, antas å fungere godt på det internasjonale markedet og er lett gjenkjennelig. Det enkle designet passer godt til designkonseptet for vimpelstativet. Fargevalg for varemerket vil være en personlig vurdering. Kriterier som benyttes ved vurdering er fargenes symbolikk, kombinasjonen av farger, og personlig favoritt. K'en holdes svart og nøytral for alle alternativene.

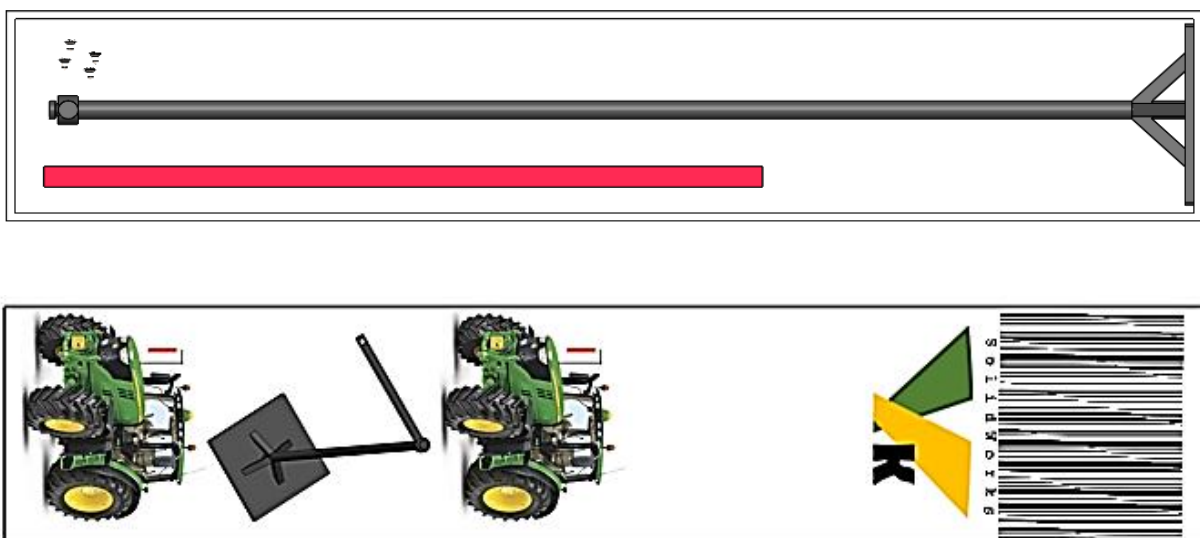


Figur 14.3-2: Presentasjon av fargevalg for valgt varemerke.

Da sluttproduktets bruksområde er innenfor landbruk favoriseres alternativ E. Dette alternativet består av den naturlige fargekombinasjonen grønt og gult, som appellerer til fargene på ulike veksttyper, for eksempel gyllent korn klart til høsting eller friskt, grønt gress. Gult kan ofte forbindes med solens varme som symboliserer lys, energi og glede, mens grønt er naturens farge og signaliserer likevekt og balanse. Da gul er en kraftfull farge, er grønt det motsatt og ansees som fargen for hvile og ro. Kombinasjonen av gult og grønt ansees derfor som en spennende miks, som spiller på flere følelser samtidig, noe som gjør logoen interessant og mangfoldig.

14.4. Utsalg og emballasje

Emballasjen består av to pappesker som monteres oppi hverandre som vist i Figur 14.4-1. Dette gir ekstra tykke sidevegger, slik at det kan stables flere produkter i høyden ved transport. Dette sparer miljøet og minker transportkostnader knyttet til salg. Designet på emballasjen holdes enkelt og nøytralt for å fremme varemerket, samt de gode, illustrerende bildene av produktets utseende og bruksområder. Det er plassert et resirkuleringsmerke på venstre langsiden av etuiet. Emballasjens materiale er kartong, med en skinnende plastfilm på utsiden for ekstra styrke og et mer eksklusivt uttrykk. På innsiden av emballasjeveggene vil det være et tynt lag voks for en sikker transport av produktet, samt gjøre emballasjen vanntett for å en bedre oppbevaring utenfor sesong.



Figur 14.4-1: Illustrasjon av framsiden på etuiet, samt hvordan fullstendig produkt presenteres for kunden i etuiet ved innkjøp.



14.5. Teknisk beskrivelse

Den tekniske beskrivelsen av produktet fungerer som en nummerert bruksanvisning for tenkt vindmåleinstrument. Den tekniske beskrivelsen blir noe vag, da flere faktorer ikke er endelig bestemt i dette forprosjektet, og først vil bestemmes etter endte forsøksperiode.

1. Åpne etuiet ved å løfte lokket av boksen.
2. Ta vindmåleinstrumentet varsomt ut.
3. Monter del 1, bunnen, fast til kjøretøyets endelige plassering.
4. Ta selve vindmåleinstrumentet ut, og monter dette til bunnen av festemekanismen.
5. Skru på vindmåleren.
6. Ved trådløs dataoverføring, par måleinstrumentet med displayet.
7. Ved bruk av sonisk vindmåler, kalibrer vindmåleren før bruk.
8. Trykk start for å begynne vindmålingen, samt logge vinddata.
9. Verdien for absolutt vindretning og vindhastighet vises på displayet.

Ved endt vindmåleperiode

10. Trykk på stopp for å stanse vindmåleinstrumentet samt avslutte loggingen.
11. Avinstaller selve vindmåleinstrumentet fra bunnen på festemekanismen.
12. Legge vindmåleren tilbake i etuiet, og sett på lokket på boksen for sikker lagring til neste sesjon.

15. PROSESSEVALUERING OG DISKUSJON

Selve konseptutviklingsarbeidet av forprosjektet for vindmåleinstrumentet har vært en omfattende utviklingsprosess, som har bestått av flere utfordringer underveis. Disse momentene vil bli diskutert i en prosessdiskusjon. Prosessdiskusjonene omfatter metodebruk, forbedringspotensialer for problemløsning eller unngåelse av problemene som har oppstått underveis. Gjennom evaluering og diskusjon av egeninnsats og arbeidsprosess, vil økt erfaring og kunnskap omkring prosjektrapportering og produktutviklingsprosesser tilegnes. Prosessevalueringen deles inn i konseptutviklingsarbeid, forbedringer samt designrevisjon, produksjon og kostnadsrevisjon.

15.1. Konseptutviklingsarbeidet

Konseptutviklingsarbeidet har vært en kontinuerlig arbeidsprosess som har omhandlet bearbeidingen fra en enkel ide til et forprosjekt klart for forsøk og videreutvikling av konseptet. Arbeidsprosessen har omfattet planlegging, strukturering og organisering av arbeidet oppført i et prosessdiagram. Det blitt gjort flere evalueringer og valg underveis knyttet til produktet og det generelle prosjektarbeidet. De ulike hovedgruppene med tilhørende arbeidsoppgaver i prosessdiagrammet ligger til grunn for en systematisk arbeidsprosessevaluering. Prosessdiagrammet er presentert i Figur 3.3-1, med følgende hovedgrupper: studere problemet og planlegge prosjektet, utredning, utvikling, konstruksjon og ferdigstilling.

Oppgaven kom til meg gjennom konsultasjon med min nåværende hovedveileder Nils Bjugstad. Selve problemstillingen og målsettingen for arbeidet med masteroppgaven ble derfor satt tidlig. Erfaringer fra tidligere prosjektoppgaver har lært meg viktigheten av grundig og realistisk prosjektplanlegging, som setter tidsrammer og begrensninger for de ulike arbeidsoppgavene. Prosjektplanen for arbeidet ble tidlig ferdigstilt, og forsøkt fulgt gjennom hele arbeidsprosessen. Litteraturstudiet ble påbegynt tidlig, men var mer tidkrevende enn først antatt. Ved økt kunnskap om teamet, dukket det stadig opp flere interessante teoriområder knyttet til vindmåleinstrumentet, sprøyting og plantevernmidler. Teori- og teknologiutredningen burde optimalt blitt ferdigstilt tidligere enn hva som skjedde i praksis.

Konseptutredningen ble gjennomført ved bruk av utredningsmetodene SCAMPER og Pughs metodikk. Integrrert produktutvikling ble praktisert gjennom hele utviklingsfasen av vindemålekonseptet. Utvikling av konseptet var svært åpen, da rammene for utformingen av endelig ønsket produkt var relativt frie. Flere av foreleserne ved NMBU med kunnskap om vind, vindmåling og måleteknologi ble derfor kontaktet for konsultasjon. Deres kunnskap og råd var nyttige ved gjennomføring av konseptgenerering, egenscreening og konseptvalg. Det ble også gjennomført en ekstern eksperttesting som inkluderte markedsevaluering for et tenkt sluttprodukt. Innspillene ble tatt hensyn til ved designutredningen og er innbakt i brukerkravene knyttet til ønskede produkt egenskaper. Valg av konsept ble gjort ved bruk av Pughs metodikk, hvilket gjorde arbeidet med konseptutvelgelse raskere enn først antatt. For en bedre produktutvikling, burde flere aspekter ved produktet, for eksempel forslag til festemekanisme og utformingen av skjermbildet på displayalternativet bli vurdert. Dette er noe som nå føres over til videre arbeid. Den ekstra tiden som ble spart ved en rask egenscreeningprosess åpnet opp muligheten for en enkel utredning av vimpelløsningen, som vil bli nøyere planlagt og tatt med i videre testing. Vimpelløsningen ansees som et positivt og rimelig tilskudd til testingen, men krever en grundigere utredning for å optimere løsningen.

Det har blitt gjennomført beregninger knyttet til spredningsavstand ved sprøyting underveis i rapporten som har vært mer tidkrevende enn først antatt, uten at resultatene har gitt spesiell betydning for produktutviklingen. Likevel ansees det i etterkant som relevant for å belyse spredningsavstanden ved små dråper, og hvordan vindhastigheten påvirker avdriftsmengden. De resterende beregningene har blitt holdt forholdsvis enkle, da det ansees som naturlig og nødvendig å kjøre en rekke FEM-analyser i videre arbeid. Dette hadde tatt for lang tid å gjennomføre innenfor de tidsrammene som er satt.

Miljøanalysen for vimpelstativet er svært overfladisk da den kun er gjort i SolidWorks Sustainability. For mer informasjon om de miljømessige aspektene burde miljøanalysene blitt kjørt i et mer omfattende program. SolidWorks er et simuleringsprogram som har blitt mye benyttet gjennom studietiden, noe som gjør simuleringer i svært tidsbesparende kontra å skulle lære seg et nytt program i masterperioden. Materialeegenskapene og produksjonsmetode er nøye beskrevet, da materialets kvalitet ansees som viktig. Informasjonen i kostnadskalkylene er hentet fra personlig estimat av timeantall, og timespris noe lavere enn en normal sivilingeniørlønn. Den er valgt å settes noe lavere grunnet bruk av brutto timeantall. Materialkostnadene er knyttet til materialpriser fra flere norsk leverandører. For et bedre estimat burde flere leverandører bli kontaktet direkte for spesifikke tilbud.

15.2. Forbedringspotensialer

Gjennom prosjektarbeidsperioden har det skjedd en kontinuerlig utviklingsprosess. Ved nærmest endt arbeidsperiode for dette forprosjektet, vil det være hensiktsmessig med en evaluering av eventuelle forbedringer knyttet til både valgt konseptdesign og utførelse av prosjektarbeidet. Evalueringen kan avdekke forbedringspotensialer knyttet til produktet og prosjektarbeidet, samt være nyttig for videre utvikling av et endelig produkt. Forbedringspotensialet for utviklingen av dette forprosjektet vil bli drøftet ved en punktvis konkretisering.

- Ved å kjøre FEM-analyse kunne det blitt sett nærmere om produktet hadde tålt belastningene, optimere konseptdesignet, samt undersøke hvordan vind oppfører seg ved møte med hindringer.
- Det burde blitt kjørt noen enkle, tidlige forsøk ved bruk av enkel vindmåleteknologi for å undersøke stabilitet ved kjøring, rekkevidde for trådløs overføring og differansen mellom måleinstrumentet og nettbaserte vindverdier oppgitt hos for eksempel yr.no.
- Burde blitt 3D-printet en svært enkel prototype av den forenklete, alternative løsningen for enkel testing. Dette kunne gitt en bedre virkelighetsoppfattelse av hvordan vind virker på vimpelløsningen og hvordan vimpelen beveger seg ved kjøring.
- Det har blitt brukt unødvendig mye tid på utviklingen av funksjonsanalysen, egenscreeningen, samt teknologi- og teoriutredningen. Dette arbeidet kunne vært effektivisert for mer tid på forsøksplanleggingen.
- Ekstern hjelp fra fagfolk burde vært benyttet noe tidligere i utviklingsprosessen. Dette kunne vært generelt tidsbesparende, gitt en mer dekkende funksjonsanalyse, samt en større trygghet omkring beregningsarbeidet som har blitt gjort.
- Eksperttesten burde vært gjennomført allerede før funksjonsanalysen ble gjort. Kunne eventuelt kjørt to tester. En test før funksjonsanalysen for å samle inn informasjon om eventuelle kritiske faktorer, samt kartleggende spørsmål omkring avdrift og avdriftsreducerende tiltak, og en test etter konseptdesignet ble bestemt for å inndra ulike tilbakemeldinger og forslag til eventuelle forbedringer.
- Milepælplanen ble ikke fulgt godt nok mot slutten av arbeidsperioden, noe som ført til mye jobb nær innleveringsfristen. Dette kan muligens ha påvirket resultat negativt da flere av avgjørelsene er tatt basert på antagelser, da vurderingsgrunnlaget ikke har vært tilstrekkelig. Dette påvirket tiden til forsøk og testing.

Noe som går igjen i punktene ovenfor er mangel på praktisk test og undersøkelser tidlig i arbeidsperioden. Det burde blitt gjennomført en tidlig ekstern testing og et tidlig forenklet forsøk for å fastslå hvilke brukspåkjenninger som er tilstede og i hvilken grad disse er avgjørende for sluttproduktet. Arbeidsplanen med milepæler burde inneholdt et punkt med «tidlig testing» som burde bli gjennomført mot slutten av februar. Da ville tidlig være med på å danne seg et bedre bilde av potensialet til produktet, både i forhold til marked og bruk, samt hvilke påkjenninger som er viktige å ta hensyn til.



15.3. Designrevisjon, produksjon og kostnadsreduksjon

Designrevisjon

- Det kunne blitt gjort en enda dypere utredning av de ulike vindmålingsteknologiene enn det som har blitt gjort. Valg av vindmåleteknologi er svært avgjørende for sluttproduktets kvalitet.
- Det kunne blitt sett på en mer konkret utforming av festemekanismen til vimpelstativet. Ved endt forprosjekt er festemekanismen designet som en plate som kan ta opp krefter i alle retninger, samt gi en god base for videreutvikling av festemekanisme.
- Kunne gjort en mer omfattende vurdering av størrelsesforholdet til vimpelstativet. Særlig høyden burde blitt vurdert mer kritisk.
- Det kunne blitt sett på ulike konseptforslag for hvordan vimpelbommen skal kunne snurre fritt omkring høydestangen, eller annen metode for å angi vindretning.
- For vimpelløsningen er det nå ingen anretning for visning av maksimal tillatt vindhastighet på fem m/s. Dette er noe som burde utvikles for et mer brukervennlig produkt.
- Det burde kjøres FEM-analyser for optimering av designet, og utvikle et mer i øyenfallende produkt som ikke går på bekostning av funksjon og ønsket om et nett design.
- Utformingen av vimpelhullet kunne vært noe mer gjennomtenkt. En gjenget hull-løsning gir muligheten for enkelt skifte av vimpel, men svekker styrken på tuppen av bommen betraktelig. Burde også bli kjørt noen analyser på om den effektive lengden omkring hullet er tilstrekkelig.
- Det burde blitt kjørt en varemerketesting for å sjekke om produktets navn og varemerke fungerer hos kundene.
- Burde blitt utført flere berginger på kneklengde for både vimpelstativet og vimpelbommen. Særlig vimpelstativet har en høy og slang utforming som kan risikere knekking.
- Materialvalget burde vært undersøkt bedre. Se på muligheten for å konstruere en løsning hvor forskjellige materialer benyttes for å optimere vimpelstativet.

Produksjon og kostnadsreduksjon

- Optimalisere interne prosesser i bedriften ved å automatisere deler av produksjonen. Dette kutter ned produksjonstid, lønnskostnader og menneskelige feil som blir gjort.
- Alle komponenter er kjøpt av ulike underleverandører. Det burde vært gjort en grundig undersøkelse angående priser, materialer osv. for å oppnå de beste avtalene. Det er ønskelig med så få underleverandører som mulig, for å oppnå bedre avtaler omkring priser og kvaliteten på materialet. Ved å ha få, sikre underleverandører kan man dele på kostnadene knyttet til kvalitetskontroll.
- Vurdere muligheten for å outsource deler av produksjonen til land som har billigere arbeidskraft, og vurdere opp imot miljømessige konsekvenser. Økt transport vil gi større transportkostnader generelt, samt energibruken og CO₂-utslippet ved både produksjon og transport øker.
- Arbeide mot en lean produksjon, for å unngå sløsing og stadig jobbe mot forbedringer innad i produksjonen. Ved bruk av lean kuttes lagerkostnadene, det oppnås økt effektivitet, raskere beslutningstaking, færre produksjonsfeil grunnet hyppigere kontroll av produkter, osv. Det stilles dog større krav til gode avtaler med underleverandører.

16. KONKLUSJON

For å samle trådene etter en omfattende produktutviklingsperiode som omfatter flere resultater og bestemmelser, skal det hele samles i en felles konklusjon for prosjektet. Produktutviklingsprosessen er dokumentert i denne rapporten. Prosjekt målet for dette masterarbeidet er å utrede og utvikle et vindmåleinstrument tilpasset sprøyting med åkersprøyte for å mulig kunne redusere avdriftsmengden med plantevernmidler. Fokuselementene var knyttet til å måle vindens absolutte hastighet og retning, samt videreformidle vinddataen til brukeren på en oversiktlig og brukervennlig måte. Det er lagt stor vekt på kvalitet i utviklingsarbeidet av den alternative forenklete løsningen, med den hensikt å oppnå en brukervennlig konstruksjon til lavest mulig kostnad. Dagens teknologi innenfor agrikultur er på fremmarsj, og traktorene blir stadig mer avanserte, automatiske og selvstendige. Digital vindmåler kunne fungere som et supplement for en stadig bedre drift av landbruket, også ved annen bearbeiding av åkeren, ved for eksempel spredning av møkk.

Prosjektarbeidet har resultert i tre anbefalte konseptforslag for vindmåleinstrument. Konseptforslagene er sonisk vindmåler og klassisk skålanemometer med plassering på kjøretøyets tak og dataoverføring til display, samt en alternativ, forenklet løsning inspirert av vindvimplteknologien med plassering på kjøretøyets panser. Den alternative løsningen er konseptualisert i 3D med tilhørende konstruksjonstegninger og rendrert fremstilling. De tre konseptalternativene er vurdert til å være tilpasset sine brukeromgivelser, samt inneha de mest essensielle produkttegenskapene basert på brukerkrav og gitte spesifikasjoner. Hvilket konsept som ansees som best egnet vil fremgå i videre arbeid basert på forsøk planlagt i dette forprosjektet.

Utviklingen av et vindmålekonsept er et resultat av et litteraturstudium, der kunnskap om vind, vindmåleteknologi, sprøyting med åkersprøyte og metoder for dimensjonering er tilegnet gjennom arbeidsperioden. En rekke funksjonsalternativer for viktige funksjonselementer og komponenter har blitt evaluert. Det har blitt tatt valg ut ifra personlige preferanser og objektive vektingsmatriser ved ulike screeninger. Produkttegenskaper som utpeker seg som særlig viktige er lav pris, presis og nøyaktig måling av vindstyrke og kjøretøyet ikke skjærer for vindmålingen. Prosjektets mål og oppdragsbeskrivelser ansees som godt besvart.

16.1. Resultater

Det finnes ingen direkte konkurrenter på dagens marked, og det er derfor vanskelig å anslå om prisen er konkurransedyktig. Vindmåleinstrument tilpasset sprøyting av åker og eng er ikke et produkt brukeren nødvendigvis tjener på å eie, men et produkt som kan være med på å redusere avdriftsmengden og dermed minimere risikoen for plantevernmidler på avveie. Brukere trenger ikke lenger gjette på vindstyrken, hvilket gir brukeren muligheten til å sprøyte en større del av feltet, og på den måten øke den totale vekst kvaliteten. Utviklingsarbeidet av forprosjektet har gitt resultater basert på design-evaluering, økonomiske analyser, og tiltenkte produkttegenskaper.

- Ved produksjon av 10 000 enheter, vil enhetskostnadene for produktet være 103,09 NOK.
- Samlet vekt for vimpelstativet er 0,278 kg.
- Prototypene vil ifølge kostnadskalkylen koste 416 817,5 NOK å fremstille.
- Vimpelstativet vil ha en total størrelsesramme på 400 x 70 x 131,5 mm.
- Det har blitt utviklet en testplan med forslag til forsøksoppsett, forsøksledd og fremgangsmåte
- Det har blitt valgt to anbefalte vindmålekonsepter basert på eksisterende teknologi, samt en anbefalt testløsning basert på en forenklet vindmåleteknologi.
- Designmessig har det vært fokus på enkelhet, geometriske figurer og praktiske løsninger fremfor et estetisk design.



- Vimpelbommen anviser vindretninger ved å rotere vimpelbommen i det horisontale planet i samsvar med vindens retning.
- Vimpelflagget anviser vindhastigheten ved å bevege seg i det vertikale planet. Høy vind gir store utslag.
- Vimpelen er utskiftbar ved bruk av gjenget vimpelhull tilpasset en klassisk M6-bolt.
- Valgt plassering på taket vil gi relativt uforurensede vindmålinger.
- Materialvalget for metallvarianten er rustfritt stål med tilsetninger av nikkel og krom.
- Produktet kan oppbevares i emballasjen som følger med produktet utenfor bruksperioden.
- Det vil følge med en hette for beskyttelse av vindmåleinstrumentet ved kjøring tur/retur felt.

16.2. Videre arbeid

Tidsrammen for prosjektarbeidet setter begrensninger og rammer i forhold til hva som er realistisk å gjennomføre. I videre arbeid vil arbeidsoppgaver som ikke har blitt rukket å gjennomføre, eller gjort grundig nok, bli listet opp. Da denne rapporten fungerer som et forprosjekt, vil det være behov for flere utredninger og optimering av ulike komponenter før produktet kan realiseres. Flere av oppgavene listet opp nedenfor vil utgjøre videre prosjektarbeid. Oppgavene er listet opp i vilkårlig rekkefølge.

- Konstruere en prototype av metall på verksted.
- Gjennomføre en omfattende testperiode som omhandler testing av ønskede funksjoner og brukspåkjenninger for de ulike vindmåleinstrumentene.
- Utføre fullstendige FEM-analyser på de mest kritiske delene.
- Undersøke hvilken overføringsmulighet for vinddata som er optimal.
- Undersøke hvilke blandinger av krom og nikkel som vil gi best produktegenskaper knyttet til bruksbetingelsene.
- Etterprøve beregningene som er gjort, og rette opp om feil.
- Gjøre ytterligere beregninger på dråpeavstand ved ulike kondisjoner, færre begrensninger og antagelser og flere midlere dråpestørrelser.
- Utføre nøyaktige beregninger for produktet, for å sikre at produktet ikke knekker eller deformeres varig ved bruk.
- Undersøke om det er andre materialer som vil fungere bedre enn rustfritt stål.
- Jobbe med å senke kostnadene ved å minimere produktet.
- Utføre grundigere markedsundersøkelser for andre bruksområder.
- Jobbe med å oppnå gode avtaler med underleverandører.
- Se på muligheten for å høydejustering hos vindmåleinstrumentet, samt se på muligheten for å ha flere vindmåleinstrumenter for mer presise måleresultater.
- Utvikle et datasystem som viser vinddata på display.
- Optimere nøyaktig plassering av vindmåleinstrumentet på panseret og på taket til kjøretøyet.
- Oppdatere den tekniske beskrivelsen
- Innhente nøyaktige priser, og gjennomføre en detaljert, utvidet kostnadsanalyse.
- Undersøke patentregisteret i Norge og EU for å se at ikke dette er et konsept som allerede finnes fra før.
- Produktet må CE-godkjennes før det kan selges.

16.3. Anbefalinger

Følgende anbefalinger vil foreligge ved videre systemutvikling for vindmåleinstrumentet:

- Videreutvikle forsøksplanen og nøye gjennomføre testoppsettet.
- Gjøre FEM-beregninger på stabiliteten til den alternative, forenklete løsningen.
- Undersøke kostnadene ved å selv produsere et skålanemometer.



- Utvikle en universal festemekanisme.

16.4. Videreutviklingsmuligheter

Utviklingsprosessen omhandler utviklingen av kun et enkelt vindmålekonsept. Ved å analysere mulighetene produktet innehar, har det kommet frem noen videre utviklingsideer for å øke produktets potensial. Videreutviklingsmulighetene vil bli presentert punktvis nedenfor.

- Se på muligheten for å legge til en fjær eller liknende mekanisme for bedre å stå imot slag og skader fra lavhengende grener, bjelker og liknende.
- Se på muligheten for løsningsstativ med høydejustering for de tre anbefalte konseptene.
- Koble sammen åkersprøyta og vindmåleren for automatisk og optimal spredning av plantevernmidler.
- Benytte felles skjerm for ISOBUS og vinddata for enklere å holde styr på vindmålingene.
- Gjøre vindmåleren robust nok til å tåle kontinuerlig kjøring, altså aldri måtte avinstallere vindmåleinstrumentet.
- Logge vinddata kontinuerlig. Vinddataen kan brukes til videre forskning på avdrift og spredning.

17. KILDER

Kildene som er benyttet i rapporten er som følger;

Skriftlige kilder

39. Standardization, I.O.f., *ISO9000 International Standards for Quality Management*. 3rd edition ed. 1993, Genève Switzerland: Case postale 56. S. 489 samt vedlegg.
40. Gieck, K.G.R., *Gieck Engineering formulas eight edititon*. 2006, Germany: McGraw-Hill Companies. S 580.
41. Pugh, S., *Totalt Design, Integreated methods for successful product engineering*. 1990, University of Strathclyde: Prentice Hall. S. 278.
42. Magarb, E.B., *Integrated Product and Process Design abd Development. The Product Realization Process*. 1997, United States of America, New York: CRC Press LCL S. 304.
43. Tomovic, M.M.W., S. , *Product Realization. A Comprehensive Approach*. 2009, United States of America, New York Springer. S. 220.
49. Stull, R., *Practical Meteorology: An Algebra-based Survey of Atmospherich Science*. 2017, Canada, Vancouver S. 940.
55. Nuyttens, D., *Drift from field crop sprayers: The influence of spray application technology determined using indirect and direct drift assessment means 2007*, Katholieke Universiteit Leuven Leuven. p. S. 290.
61. Blæstad, P, S.G., *Sprøyteutstyr - innstillinger og bruk*. 2013.
67. Kaufmann, G, K.A., *Psykologi i Organisasjon*. Fifth edition ed. 2015, Norway, Bergen: Fagbokforlaget. S. 116.
69. Ashby, M., Johnson, K. , *Materials and Design* 2002, England, Oxford: Elsevies Ltd. S. 336.
75. Panero, J.Z.M., *Human dimension & interior space*. 1979, Great Britain, London: Crown Publishing Group. S. 320.
82. Bøe, J.K., *Konsept- og produktrealisering*. 2016: Norway, Ås, NMBU. p. S. 195.

Nettkilder

1. Bondelag, N. *Mat og Produksjon*. 2018 09.05.2018]; Available from: <https://www.bondelaget.no>.
2. Hofsvang, T. *Plantevernmidler*. 2009 29.03.2018]; Available from: <https://snl.no>.
5. Arbeidstilsynet. *Plantevernmidler*. 2018 06.02.2018]; Available from: www.arbeidstilsynet.no.
6. Mattilsynet. *Hva er plantevermiddel?* 2013 03.02.2018]; Available from: www.mattilsynet.no.
7. Mattilsynet. *Godkjente kjemiske og mikrobiologiske preparater*. 2018 03.02.2018]; Available from: www.mattilsynet.no.
8. Mattilsynet. *Preparater som kan tillates brukt i økologisk landbruk*. 2018 04.02.2018]; Available from: www.mattilsynet.no.
9. Christensen, A.R. *Nesten 1000 gårdsbruk ble lagt ned i fjor*. 2017 03.02.2018]; Available from: www.nationen.no.
10. Landbruksdirektoratet, *Produksjon og omsetning av økologiske landbruksvarer*. 2017.
11. Sentralbyrå, S. *Auke i kornarealet*. 2017 03.02.2018]; Available from: www.ssb.no.
12. Bjørnå, F., *Fruktdyrking*. 2015.
13. Sentralbyrå, S. *Plantevern*. 2016 03.03.2018]; Available from: www.ssb.no.
15. Valberg, G.K., R. *Hva er eng og hva er beite?* 2017 06.03.2017 28.03.2018]; Available from: <https://ndla.no/>.
16. Mattilsynet, *Omsetningsstatistikk for plantevernmidler 2010-2014*. 2015, Mattilsynet. p. S. 69.
17. Bjugstad, N., *Grøntanlegg - Sprøytetekisk del*. 2004, Norges Landbrukshøyskole, NLH.
22. Windmate, *Speedtech WM-350*. 2018.



-
23. Skaar, E., *Måling av vær og vind*. 2001.
 29. Matloven. *Forskrift om plantevernmidler*. 2015 01.01.2016]; Available from: <https://lovdata.no>.
 30. Landbruksrådgivning, N., *NY FORSKRIFT FRA 1/6/2015. Tema: Plantevern*. 2015.
 31. Bioforsk, *Autorisasjonskurs Plantevernmidler*. 2005.
 32. Bjørlo, B., B.A., S., *Strukturen i jordbruket*. 2017.
 35. Vindportalen. *Hva er vind?* . 2018 12.02.2018]; Available from: www.vindportalen.no.
 36. Norge, S. *ISO-Standarder*. 2018 03.05.2018]; Available from: www.standard.no.
 37. Landbruksrådgivning, N. *Integrert Plantevern sesongen 2017*. 2018 20.02.2018]; Available from: <https://www.nlr.no>.
 38. TOPPS. *Reduction of spray drift*. 2018 28.02.2018]; Available from: <http://www.topps-life.org>.
 44. Sivle, A.D. *Vind*. 2017 12.02.2018]; Available from: <https://snl.no>.
 46. Aksnes, K. *Corioliskraften*. 2015.
 47. Hassel, F. *Derfor "snurrer" lavtrykkene*. 2012 16.02.2018]; Available from: <http://www.yr.no>.
 48. Pley, H. *Vær og vind*. 2017 05.04.2018]; Available from: <http://www.hpleym.no>.
 50. Gardiner, B.P., H. Hislop, M., *The Principles of Using Woods for Shelter*. 2006: p. 8.
 51. Bergen, H.i. *Laminær og turbulent strømning*. 2015 16.02.2018]; Available from: www.home.hib.no.
 52. Pedersen, B. *Reynolds' tall*. 2012 16.02.2018]; Available from: <https://snl.no>.
 53. Oslo, U.i. *Reynoldstall*. 2018 16.02.2018]; Available from: www.mn.uio.no.
 54. Imster, E. *These are von Kármán vortices*. 2015 12.03.2018]; Available from: <http://earthsky.org>.
 56. Artsdatabanken. *Sprøyting*. 2018 29.03.2018]; Available from: <https://artsdatabanken.no>.
 58. Miljøverndepartementet, A.-o.i.o.J.-o.p. *Forskrift om endring i forskrift om klassifisering, merking mv. av farlige kjemikalier*. 2009 22.04.2009 30.03.2018]; Available from: <https://lovdata.no/>.
 60. TOPPS. *10 clicks towards responsible use of plant protection products*. 2018 23.02.2018]; Available from: <http://topps-drift.org>.
 64. Elektronik, M. *ISOBUS*. 2018 30.03.2018]; Available from: <https://www.mueller-elektronik.de>.
 65. Bjørås, E.F., K. K., *ISOBUS - redskapsstyring på traktor*. 2009. p. 21.
 68. institutt, M. *Måling av vind*. 2018 17.03.2018]; Available from: <https://www.met.no/>.
 70. apparel, F. *Most important Textile Fibers and Their Densities*. 2016 11.04.2018]; Available from: <http://fashion2apparel.blogspot.com>.
 71. Babus' Haq, R., M. Hiasat, and S. Probert, *Thermally insulating behaviour of single and multiple layers of textiles under wind assault*. Applied energy, 1996. **54**(4): p. 375-391.
 72. Meccanica. *Fasthetslære*. 2018 11.04.2018 11.04.2018]; Available from: <https://site.uit.no>.
 73. Oslo, U.i., *Hydrogen*. 2011.
 74. Christensen, N., A.N. *Stål*. 2017 27.04.2018]; Available from: www.snl.no.
 77. SINTEF, *Metallproduksjon*. 2016.
 78. *stainless steel production*. 2015: YouTube.
 79. Stål, N., *Prisliste - Mai 2018*. 2018, webbook.
 80. Stoff&Stil. *Bevernylon Rød*. 2018 05.05.2018]; Available from: www.stoffogstil.no.

Personlige meddelelser

14. Melbye, P. *Golfbaner, areal og plantevernmidler* 2018.
19. Gislrud, T.M., *Senior rådgiver, Mattilsynet region øst*. 2018.
81. Sollie, B.C., *Soniske Vindmålere*. 2018.

Figurer



3. Finstad, D., *Norges Grønne Fagskole, Vea*. 2018.
4. Rivedal, E, B.A., *Status Glyfosat*. 2018.
18. Kverneland, *Ixter A*. 2018.
20. innnr, *Vindmåler*. 2018.
21. Storyblocks, *Old anemometer and and wind vane with clouds in background*. 2018.
24. LoggaWiggler, *Vindsokk*. 2018.
25. Landro, *Vindvimpel Skiskyting Komplett inkl.justerbart jordspyd*. 2018.
26. instrumenter, H.L.o., *Windsonic M*. 2018.
27. instrumenter, H.L.o., *Windobserver 75*. 2018.
28. Finisterra, *TESTO 405-VI TERMISK VINDMÅLER*. 2018.
33. Nobili, *Sprayers - GEO - T*. 2017.
34. Dynamica, A., *Åkersprøyta UNIA LUX 812 XL*. 2017.
45. Faaborg, C, G., *Globale vindsystem*. 2016: YouTube.
57. Kramp, *Overrissling med flatdyse, Speedfit*. 2018.
59. Leksikon, S.M., *Faresymboler*. 2018.
62. NASA, *Clipper Wind trådløs - komplet sæt*. 2018.
63. 19, L.S., *AMAZONE 2G-TS 10001*. 2018.
66. company, L.-t.a., *ISOBUS*. 2018.
76. Ohlson, C., *Krok og øye*. 2018.

Tabelloversikt

Tabell 1.1-1: Oversikt over fordelingen av jordbruksvekster i norsk landbruk basert på Areal. Tallene er innhentet fra ulike kilder presentert etter hver type jordbruk.....	2
Tabell 1.1-2: Oversikt over omsatt mengde plantevernmidler i Norge i 2017 målt i tonn [16].....	2
Tabell 1.1-3: Fordelingen av den totale mengde aktivt stoff blant yrkesbruk og hobbybruk [16].....	2
Tabell 1.5-1: Oversikt over fordelingen av jordbruksbedrifter som dyrker ulike typer vekster [32].....	7
Tabell 2.2-1: Arbeidsplan inndelt i uker med tilhørende milepæler, samt sluttdato for milepælene. ...	10
Tabell 3.1-1: Oversikt over begreper, samt tilhørende forklaringer.....	11
Tabell 3.1-2 forts.: Oversikt over begreper, samt tilhørende forklaringer benyttet masterprosjektet. ..	12
Tabell 3.1-3: Oversikt over forkortelser som er benyttet i rapporten md tilhørende forklaring.....	12
Tabell 3.1-4: Symboler med tilhørende beskrivelse og benevning benyttet i rapporten.....	12
Tabell 3.1-5 forts.: Symboler med tilhørende beskrivelse og benevning benyttet i rapporten.....	13
Tabell 3.1-6: Oversikt over notasjonene benyttet i beregningsformlene.....	13
Tabell 3.1-7 forts.: Oversikt over notasjonene benyttet i beregningsformlene.	14
Tabell 3.1-8; Beregningsformler som er benyttet i rapporten.	15
Tabell 4.1-1: Ruhetsverdi (H_0) for ulike typer landskap oversatt fra Practical Meteorolgy [49].	21
Tabell 4.1-2: Sammenhengen mellom optisk porøsitet og reduksjon i vindhastighet [50].	22
Tabell 4.1-3: Oversikt over forholdet mellom vindhastighet og vindeffekt ut ifra formelen 3.2.....	23
Tabell 4.2-1: Standarder for klassifiseringsgrensen (K) for beregning av giftklasse [58].	28
Tabell 5.2-1: Oversikt over tenkelige produktgenskaper for et vindmåleinstrument, samt karakter- setting etter Pughs metodikk ved bruk av en skala med karakterer fra 1-5.....	35
Tabell 5.3-1: Grensespesifikasjonene for vindmåleinstrumentet.	36
Tabell 6.2-1: Funksjonsalternativer for måling av vindens hastighet og retning med tilhørende fordeler og ulemper. Alternativene presenteres i vilkårlig rekkefølge.....	38
Tabell 6.2-2 forts.: Funksjonsalternativer for måling av vindens hastighet og retning med tilhørende fordeler og ulemper. Alternativene presenteres i vilkårlig rekkefølge.....	39
Tabell 6.2-3: Funksjonsalternativer for visualisering av vindhastighet og vindretning med tilhørende fordeler og ulemper. Alternativene presenteres i vilkårlig rekkefølge.....	40
Tabell 6.2-4: Funksjonsalternativer for plassering av måleinstrument. Positiv kjøreretning mot høyre.	41

Tabell 6.3-1: Beregningsverdier for ulike høyder ved en registrert vindhastighet på 5 m/s ved 10 meter over bakken.	42
Tabell 6.3-2: Utdrag fra Tabell 0-1 som illustrerer samhørende tid, hastighet og tilbakelagt strekning i horisontalt og vertikalt plan.	47
Tabell 6.4-1: Enkel oversikt over noen oppgitte vindhastigheter ved visuell visning.	49
Tabell 7.2-1: Seleksjonsmatrise etter Pughs modell med karaktersetting fra 1-5 for måling av vind... ..	52
Tabell 7.2-2: Seleksjonsmatrise etter Pughs modell for visuell visning av vindretning.	53
Tabell 7.2-3: Seleksjonsmatrise etter Pughs modell for visuell visning av vindhastighet.	53
Tabell 7.2-4: Illustrasjon av tre mulige utforminger av displayløsningen for anvisning av både vindretning og vindhastighet.	54
Tabell 7.2-5: Seleksjonsmatrise etter Pughs modell for plassering av måleinstrument.	54
Tabell 8.1-1: Oversikt over utregningene som gir utslagshøyden i mm for utvalgte tekstiler.	57
Tabell 8.1-2: Oversikt over utslagsvinkel for utvalgte tekstiler.	58
Tabell 8.1-3: Materialelegenskaper for utvalgte materialer til vimpelstativ hentet fra CES EduPack.	59
Tabell 8.1-4: Antropometriske gjennomsnittsverdiene for en hånd. KILDE boka til Stine.	60
Tabell 9.3-1: Oversikt over personer benyttet i spørreundersøkelsen.	62
Tabell 10.3-1: Forsøksledd for videre testing av ulike vindmåleinstrumenter knyttet til det to parameterne plassering og kjørehastighet.	66
Tabell 12.1-1: Navnsetting og forklaring av hovedkomponentene merket i Figur 12.1-1.	70
Tabell 13.2-1: Estimert kostnadskalkyle for utviklingen av alle komponenter knyttet til fremtidige forsøk. Av dette inngår prototyping av vindmålestativ, innkjøp av aktuelle vindmålere, samt arbeidstimer.	76
Tabell 13.2-2 forts.: Estimert kostnadskalkyle for utviklingen av alle komponenter knyttet til fremtidige forsøk. Av dette inngår prototyping av vindmålestativ, innkjøp av aktuelle vindmålere, samt arbeidstimer.	77
Tabell 13.3-1: Kostnadsanalyse for serieproduksjon av vimpelstativet.	78
Tabell 13.3-2: Enhetskostnad oppgitt i norske kroner ved ulik produksjonsmengde av vimpelstativet.	78
Tabell 13.6-1: Faktorene som inngår i systemanalysen.	81
Tabell 13.7-1: Risikoanalyse for vindmåleinstrumentet. Verdiene er baser på personlig vurdering. ...	81
Tabell 13.8-1: SWOT-analyse for vindmåleinstrumentet.	82
Tabell 14.3-1: Seleksjonsmatrise basert på Pughs metodikk for valg av varemerke for sluttproduktet basert på alternativene i Figur 14.3-1.. Karaktersettingen består av tre mulige karakterer: -1, 0 og 1..	85
Tabell 0-1: Fullstendig tabell med tallverdier for dråpeutslag og dråpehastighet i x- og y-retning. ...	100

Figurliste

Figur 1.1-1: Bilde A. Illustrerer sprøyting av eng ved hjelp av traktor. Bilde B. Illustrerer manuell sprøyting av radkultur i drivhus [3, 4].	1
Figur 1.1-2: Illustrasjon av dysehøyde på åkersprøyte. h representerer høyden. [18].	3
Figur 1.2-1: Klassisk anemometer [20]	3
Figur 1.2-2: Vindmølle [21]	3
Figur 1.2-3: Håndholdt vindmåler [22]	4
Figur 1.2-4: Vindhøne med pendel [23]	4
Figur 1.2-5: Vindsokk [24].	4
Figur 1.2-6: Vindvimpel [25]	4
Figur 1.2-7 Sonisk vindmåler, xy-retning [26].	4
Figur 1.2-8: Sonisk vindmåler, xyz-retning [27].	5
Figur 1.2-9: Termisk vindmåler [28].	5
Figur 1.5-1: B. Sprøyting i frukthage med tåkesprøyte [33] B. Sprøyting på eng med åkersprøyte [34].	7
Figur 3.1-1: Illustrasjon av de seks frihetsgradene med gjeldende positive retninger.	14

Figur 3.1-2: Begrepsdefinisjon hos trekant.	14
Figur 3.2-1: Illustrasjon av de ulike hovedelementene i IPD, samt hvordan disse henger sammen. De gule områdene viser dataflyt i produktutviklingen.....	16
Figur 3.3-1: Prosesstrinnene for masterprosjektet presentert i et prosessdiagram. Pilene på høyre side illustrere muligheten for å gå tilbake i prosjektarbeidet.	17
Figur 4.1-1: Enkel illustrasjon av det globale vindsystemet. De blå områdene med tilhørende blå piler er områder med kald luft, de oransje områdene med tilhørende oransje piler er områder med varm luft [45].	19
Figur 4.1-2: Illustrasjon av vindens sirkulære bevegelsesmønster, samt påvirkende krefter. Blå piler illustrerer lufttrykket, røde piler er Corioliseffekten og sentripetalakselerasjonen, mens de sorte pilene er vindens bevegelsesretning [47].	20
Figur 4.1-3: Grov illustrasjon av partikkelbanene ved A. laminær strøm og B. turbulens.	23
Figur 4.1-4: Grov illustrasjon av strømmingen til en gass eller væske ved ulike Reynoldstall. V.S. Strømning ved hastighet lavere enn kritisk hastighet. H.S. Strømning ved hastighet over kritisk verdi.	24
Figur 4.1-5: Illustrasjon av Kármánsk virvelgate. Oppstarten på virvelgaten er markert med rødt [54].	25
Figur 4.1-6: Omarbeidet illustrasjon av vindprofilen ved en ruhetsverdi lik 0,1, og referansehøyde på 10 meter. V.S lineært plott, H.S. logaritmisk plott [49].	25
Figur 4.2-1: Forenklet illustrasjon av sprøytevæsken som sprøytes ut av en dyse [55].	26
Figur 4.2-2: Illustrasjon av flatdyse som typisk benyttes ved åkersprøyte [57].	27
Figur 4.2-3: V.S. Illustrasjon av faresymbolet «Andreaskors». H.S. Illustrasjon av faresymbolet «dødninghode» [59].	28
Figur 4.3-1: Omarbeidet illustrasjon av hvordan potensiell avdrift måles hentet fra TOPPS [38].	29
Figur 4.3-2: Omarbeidet illustrasjon av avstanden mellom buffersoner, sprøytebom og sensitivt område (her vann-forekomst) med utgangspunkt i Topps [60].	30
Figur 4.3-3: Illustrasjon av forholdet mellom antall dråper og midlere dråpestørrelse i mikrometer hentet fra Mattilsynet og Bioforsk sitt autorisasjonskurs for sprøyting med plantevernmidler [61].	31
Figur 4.4-1: Typisk trådløs vindmåler for seilbåt med anemometer A., trådløs overføringsanretning B. og display for anvisning av vindens retning og hastighet C. [62]. Størrelsene på delene ovenfor er ikke proporsjonale.	32
Figur 4.4-2: AMAZON WindControl. Sonisk Vindmåler for automatisk spredningsjustering [63]. ...	33
Figur 4.5-1: Forenklet illustrasjon av ISOBUS sin sammenkobling av traktor og sprøyte [66].	33
Figur 5.2-1: Illustrasjon av vektingsmatrisen med karakterskala fra 1-5. Homogen avstand mellom intervallene.	34
Figur 6.1-1: Funksjonsanalysetre for vindmåleinstrumentet. De ulike sekundærfunksjonene vil tas med videre i seleksjonene av hovedkonseptet.	37
Figur 6.3-1: Grafisk illustrasjon av vindhastigheten mellom 0 og 1,5 meter.	43
Figur 6.3-2: Omarbeidet illustrasjon av sprøytedusjen som sprøytes ut av dysene ved en vindstyrke på 1,4 m/s ved en høyde på 300 mm.	43
Figur 6.3-3: Forenklet oversikt over kreftene som virker på en dråpe når den faller fra høyden h med positive retninger for utregningene nedenfor. Sirkelen til høyre illustrerer forenklet dråpetverrsnitt. .	44
Figur 6.4-1: Grov illustrasjon av vindmåleinstrumentet festet på stang (V.S.) versus festet direkte på overflate (H.S). Røde prikker angir områder med strekk, blå prikker angir områder med trykk. Inkludert tilhørende spenningsprofil under hver figur.	49
Figur 6.5-1: Oversikt over sammenhengen mellom tetthet og strekkfasthet til ulike materialer [69]...	51
Figur 8.1-1: Illustrasjon av forflytningen fra 1. til 2. til vimpelen via den lysegrønne, stiplede linjen med påvirkning av vind fra venstre mot høyre. Regnes som positiv utslagsvinkel.	58
Figur 8.1-2: Illustrasjon av de tre grunnformene; trekant, sirkel og firkant.	59
Figur 8.1-3: Forenklet illustrasjon av vimpelens design med tilhørende hovedinspirasjonskilde.....	60
Figur 8.1-4: Illustrasjon av endelig design for vimpelstativet, som utgjør den forenklete, alternative løsningen.	61

Figur 11.4-1: Miljøanalyse for vimpelstativet simulert i SolidWorks Sustainability 2017.....	69
Figur 12.1-1: Sammenstillingstegning av den endelige utformingen til vimpelstativet. Merkingen i boblene illustrerer hovedkomponentene stativet er satt sammen av. Vimpelflagget ansees som en av hovedkomponentene for det endelige produktet.	70
Figur 12.2-1: Illustrasjon av designet til det endelige, sammensatte vimpelstativet.	71
Figur 12.2-2: Bunnplate.	71
Figur 12.2-3: Støttepilar.	71
Figur 12.2-4: Vimpelbom.	71
Figur 12.2-5: Høydestang.	72
Figur 12.3-1: Tverrsnitt bom-øyet.	72
Figur 12.3-2: Tverrsnitt vimpelhull.	72
Figur 12.3-3: Rotert visning av vimpelhull.	72
Figur 12.3-4: Hjørne på bunnplate.	73
Figur 12.3-5: Utsnitt av støttepilar.	73
Figur 12.3-6: Sammenstilling av de fire støttepilarene.	73
Figur 12.3-7: Bunnplate med støttepilarer og høydestang.	73
Figur 12.3-8.	73
Figur 12.3-9: Festet mellom høydestang og vimpelbom.	74
Figur 12.4-1: M6-skrue med krok [75].	74
Figur 12.4-2: Rødt vimpelflagg [25].	74
Figur 13.2-1: Sektordiagram som angir forholdet mellom de ulike kostnadspostene i kostnadskalkylen.	77
Figur 13.4-1: Graf for illustrasjon av Break even point for den tidlige kostnadsvurderingen og ønsket utsalgspris.	79
Figur 13.6-1: Illustrasjon av oppbygningen til systemanalysen ved bruk av en input/output-modell... ..	80
Figur 14.1-1: Rendrert fremstilling av komplett vimpelløsning. A. sett rett fra siden. B. Sett fra baksiden.	83
Figur 14.1-2: Rendrert fremstilling av vimpelstativet sett rett fra siden A., sett bakfra B., og sett skrått fra siden C.	83
Figur 14.1-3: Rendrert fremstilling av vimpelstativet sett ovenfra A., Sett fra undersiden B. og sett skrått ovenfra C.	84
Figur 14.1-4: A. Illustrasjon av komplett vimpelløsning plassert på panseret. B. Illustrasjon av sonisk vindmåler eller anemometer fremstilt som en sort boks med plassering på kjøretøyets tak.	84
Figur 14.3-1: Oversikt over de ulike designforslagene for varemerket.	85
Figur 14.3-2: Presentasjon av fargevalg for valgt varemerke.	86
Figur 14.4-1: Illustrasjon av framsiden på etuiet, samt hvordan fullstendig produkt presenteres for kunden i etuiet ved innkjøp.	86
Figur 0-1: Materialeegenskaper for valgt stål med legering av nikkel og krom.	106
Figur 0-2: Utklipp fra SolidWorks 2017. Alle komponentene som utgjør vimpelstativet er satt sammen, og tilegnet materialeegenskapene til rustfritt stål med nikkel- og kromlegering.	106

VEDLEGG

Liste med vedleggene for dette masterarbeidet er som følger:

- A. Utregnede verdier for dråpeutslag ved 5 m/s vindhastighet
- B. Spørreundersøkelse
- C. Svar på spørreundersøkelsen fra ekspertpersoner
- D. Sammenstillingstegning for alternativ, forenklet løsning
- E. Mekaniske produktenskaper for vimpelstativet

A: Tabell kapittel 6.3.2. Maksimalt dråpeutslag ved 5 m/s vindhastighet

Tabell 0-1: Fullstendig tabell med tallverdier for dråpeutslag og dråpehastighet i x- og y-retning.

t [sek]	S _x [m]	S _y [mm]	v _x [m/s]	v _y [m/s]
0	0	0	0	20
0,01	0,014	399,934	0,005	20,098
0,02	0,178	398,039	0,018	20,196
0,03	0,400	395,584	0,027	20,294
0,04	0,711	392,144	0,036	20,392
0,05	1,161	387,762	0,046	20,489
0,06	1,660	382,344	0,055	20,587
0,07	2,248	375,992	0,064	20,684
0,08	2,926	368,729	0,073	20,78
0,09	3,692	360,392	0,082	20,877
0,1	4,548	351,144	0,091	20,973
0,11	5,493	341,002	0,1	21,068
0,12	6,528	329,740	0,109	21,164
0,13	7,652	317,710	0,118	21,258
0,14	9,007	304,672	0,128	21,352
0,15	10,321	290,609	0,137	21,446
0,16	11,726	275,666	0,146	21,539
0,17	13,220	259,858	0,155	21,631
0,18	14,806	243,196	0,164	21,722
0,19	16,482	225,291	0,173	21,814
0,2	18,248	205,871	0,182	21,908
0,21	20,106	187,305	0,191	21,993
0,22	22,055	167,053	0,2	22,081
0,23	24,096	145,725	0,209	22,169
0,24	26,229	123,552	0,218	22,256
0,25	28,454	100,542	0,227	22,342
0,26	30,771	76,701	0,236	22,427
0,27	33,181	52,034	0,245	22,511
0,28	35,684	26,546	0,254	22,594
0,29	38,280	0,244	0,263	22,676
0,30	40,970	0	0,272	22,756



B. Spørreundersøkelse

Spørsmål 1: Hvor ofte og hvor mange dekar totalt sprøyter du i løpet av et år?

Svar:

Spørsmål 2: Hva slags type drift driver du?

Svar:

Spørsmål 3: Hvor viktig er reduksjon av avdrift for deg og tenker du mye på konsekvensene avdrift kan føre til? Begrunn gjerne svaret

Svar:

Spørsmål 4: Hvilke avdriftsreduserende tiltak benytter du?

Svar:

Spørsmål 5: Hvor nødvendig anser du en vindmåler som kontinuerlig måler og angir vindens hastighet og retning mens du sprøyter? Begrunn gjerne svaret

Svar:

Spørsmål 6: Hvordan og hvor ville du helst lest av verdiene for vindstyrke mens du kjører?

Svar:



C. Svar spørreundersøkelse

Ekspertperson: Lars Vassend

Spørsmål 1: Hvor ofte og hvor mange dekar totalt sprøyter du i løpet av et år?

Svar: Ugress-sprøyting av gjenlegg. Ugross-sprøyting etablert eng. Nedsviing av gammel eng. Totalt ca. 300 da/år

Spørsmål 2: Hva slags type drift har du?

Svar: Gras og forproduksjon.

Spørsmål 3: Hvor viktig er reduksjon av avdrift for deg, og tenker du mye på konsekvensene avdrift kan føre til? Begrunn gjerne svaret

Svar: Viktig i forhold til Fisk og annet i vann og skader på nabo arealer med andre vekster. Eller avdrift inn i hager. Tenker en del på det når det gjelder økonomisk erstatning.

Spørsmål 4: Hvilke avdriftsreducerende tiltak benytter du?

Svar: Lavt dysetrykk. Funksjonstesting av sprøyta. Sprøyter når det er lite vind.

Spørsmål 5: Hvor nødvendig anser du en vindmåler som kontinuerlig måler og angir vindens hastighet og retning mens du sprøyter? Begrunn svaret

Svar: Det blir viktigere framover for å dokumentere produksjon. Har muligheten til å avbryte arbeidet ved ugunstige forhold.

Spørsmål 6: Hvordan og hvor ville du helst lest av verdiene for vindstyrke mens du kjører?

Svar: På iPad i traktoren. Med tallverdi i farger etter vindstyrke og piler som viser retning. Verdiene bør kunne overføres til skifteplan eller andre.

Ekspertperson: Roar Meen

Spørsmål 1: Hvor ofte og hvor mange dekar totalt sprøyter du i løpet av et år?

Svar: 3000

Spørsmål 2: Hva slags type drift har du?

Svar: Potet/korn

Spørsmål 3: Hvor viktig er reduksjon av avdrift for deg, og tenker du mye på konsekvensene avdrift kan føre til? Begrunn svaret

Svar: Veldig viktig, for miljø, naboen, og lommebok

Spørsmål 4: Hvilke avdriftsreducerende tiltak benytter du?

Svar: Tar hensyn til vær og vind, stopper å sprøyte når vinden øker, har brukt spesielle dyser i 20 år

Spørsmål 5: Hvor nødvendig anser du en vindmåler som kontinuerlig måler og angir vindens hastighet og retning mens du sprøyter? Begrunn gjerne svaret

Svar: Høres kjekt ut, å få vindretning og oppadgående/nedadgående vindhastighet

Spørsmål 6: Hvordan og hvor ville du helst lest av verdiene for vindstyrke mens du kjører?

Svar: få det inn på GPS.

Ekspertperson: Jon Asper



Spørsmål 1: Hvor ofte og hvor mange dekar totalt sprøyter du i løpet av et år?

Svar: sprøyter kun i egen hage, og nesten bare frukttrær mot sopp og lav.

Spørsmål 2: Hva slags type drift har du?

Svar: Regner med bare vindavdrift.

Spørsmål 3: Hvor viktig er reduksjon av avdrift for deg, og tenker du mye på konsekvensene avdrift kan føre til? Begrunn gjerne svaret

Svar: Ser det som viktig, for følsomme planter (inkl. naboens) pluss insekter (og dosering).

Spørsmål 4: Hvilke avdriftsreducerende tiltak benytter du?

Svar: Sprøyter oftest seint på kvelden når vind og insekter har lagt seg.

Spørsmål 5: Hvor nødvendig anser du en vindmåler som kontinuerlig måler og angir vindens hastighet og retning mens du sprøyter? Begrunn gjerne svaret

Svar: Lite nødvendig, vurderer vegetasjon og ser på evt. sprøytetåke om jeg bør fortsette eller ei.

Spørsmål 6: Hvordan og hvor ville du helst lest av verdiene for vindstyrke mens du kjører?

Svar: For traktormonterte sprøyter burde målingene kunne avleses kontinuerlig i traktoren. Måler på traktoren eller sprøyta som automatisk ble korrigert for kjørehastighet og -retning

Ekspertperson: Olav Tveit

Spørsmål 1: Hvor ofte og hvor mange dekar totalt sprøyter du i løpet av et år?

Svar: 600 da i snitt 2 – 3 kjøring /sesong

Spørsmål 2: Hva slags type drift har du?

Svar: Kornproduksjon og Høyproduksjon

Spørsmål 3: Hvor viktig er reduksjon av avdrift for deg, og tenker du mye på konsekvensene avdrift kan føre til? Begrunn gjerne svaret

Svar:

- Tenker på det hele tiden prøver og unngå kjøring når det er vind.
- Traktor med kullfilter i hytta
- Velger dyse med mindre forstøving dersom jeg må kjøre når det er fare for vinddrift
- Holder større avstand til vassdrag / nabo kultur dersom fare for avdrift

Spørsmål 4: Hvilke avdriftsreducerende tiltak benytter du?

Svar:

- Traktor med kullfilter i hytta
- Velger dyse med mindre forstøving dersom jeg må kjøre når det er fare for vinddrift
- Holder større avstand til vassdrag / nabo kultur dersom fare for avdrift
- Utsette sprøyting til mere gunstige tider

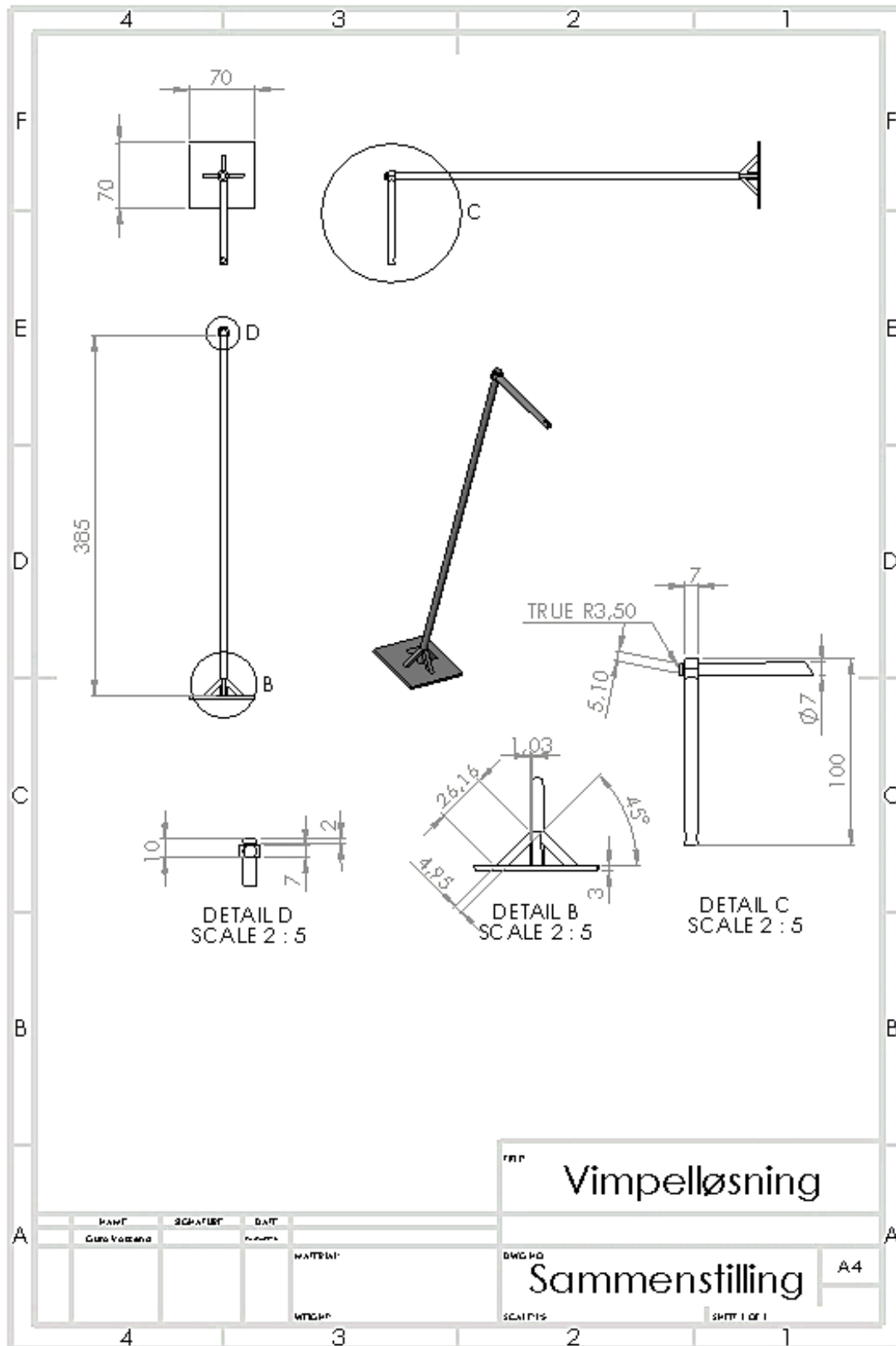
Spørsmål 5: Hvor nødvendig anser du en vindmåler som kontinuerlig måler og angir vindens hastighet og retning mens du sprøyter? Begrunn gjerne svaret

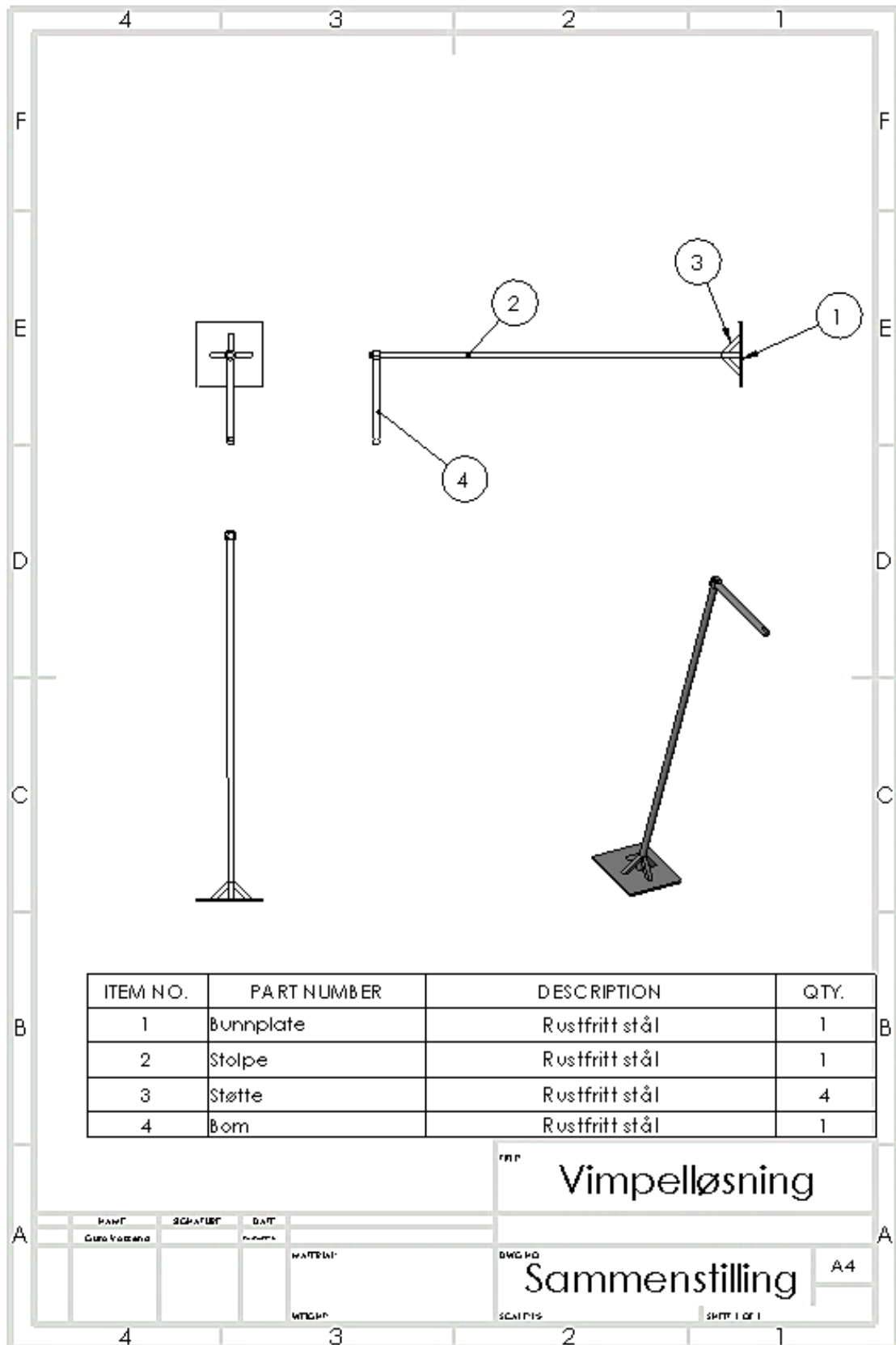
Svar: Ikke behov for vindmåler det vurderingen tar jeg før jeg starter.

Spørsmål 6: Hvordan og hvor ville du helst lest av verdiene for vindstyrke mens du kjører?

Svar: Mener det er for sent når du allerede har kjørt ut i åkeren, jeg ser på bevegelse i plantekulturen.

D. Sammenstilling vimpelstang





Vimpelløsning

DWG NO: **Sammenstilling** A4

SCALING: 1:1



E. Mekaniske egenskaper for vimpelstativ

Property	Value	Units
Mass Density	7800	kg/m ³
Tensile Strength	413.613	N/mm ²
Compressive Strength		N/mm ²
Yield Strength	172.339	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	1.1e-005	/K
Thermal Conductivity	18	W/(m·K)
Specific Heat	460	J/(kg·K)
Material Damping Ratio		N/A

Figur 0-1: Materialegenskaper for valgt stål med legering av nikkel og krom.

Mass Properties

Sammenstilling.SLDASM

Options...

Override Mass Properties... Recalculate

Include hidden bodies/components

Create Center of Mass feature

Show weld bead mass

Report coordinate values relative to: -- default --

Mass properties of Sammenstilling
Configuration: Default
Coordinate system: -- default --

Mass = 278.52 grams

Volume = 35707.28 cubic millimeters

Surface area = 23949.12 square millimeters

Center of mass: (millimeters)
X = 16.32
Y = 31.83
Z = -67.31

Principal axes of inertia and principal moments of inertia: (grams * square millimeters)
Taken at the center of mass.
I_x = (0.00, 0.06, 1.00) P_x = 149608.63
I_y = (0.01, -1.00, 0.06) P_y = 6290323.44
I_z = (1.00, 0.01, 0.00) P_z = 6342790.30

Moments of inertia: (grams * square millimeters)
Taken at the center of mass and aligned with the output coordinate system.
L_{xx} = 6342678.19 L_{xy} = 1010.72 L_{xz} = 25920.87
L_{yx} = 1010.72 L_{yy} = 6271452.74 L_{yz} = 339915.86
L_{zx} = 25920.87 L_{zy} = 339915.86 L_{zz} = 168591.45

Moments of inertia: (grams * square millimeters)
Taken at the output coordinate system.
I_{xx} = 7886519.66 I_{xy} = 145685.62 I_{xz} = -280011.80
I_{yx} = 145685.62 I_{yy} = 7607322.32 I_{yz} = -256733.38
I_{zx} = -280011.80 I_{zy} = -256733.38 I_{zz} = 524927.84

Figur 0-2: Utklipp fra SolidWorks 2017. Alle komponentene som utgjør vimpelstativet er satt sammen, og tilegnet materialeegenskapene til rustfritt stål med nikkel- og kromlegering.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway