

Automatisering av råvarupåfyllning

Niklas Gröning

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Maskin- och produktionsteknik

Hangö 2023

EXAMENSARBETE

Författare: Niklas Gröning

Utbildning och ort: Maskin- och produktionsteknik, Vasa

Inriktning: Maskinkonstruktion

Handledare: Stefan Råfså, Kaj Rintanen

Titel: Automatisering av råvarupåfyllning

Datum: 11.5.2023 Sidantal: 29

Abstrakt

Detta examensarbete har gjorts för sprängämnestillverkaren Forcit Ab i Hangö.

Syftet var att planera en lösning för att automatisera påfyllningen av sprängämnesmassornas blandningskärl. Påfyllningen skulle förbättras med tanke på ergonomi och påfyllningshastighet.

Problemet var att produktionsanläggningen inte blivit planerad för den kapacitet som idag krävs. Produktionen innehåller många manuella arbetskedan som är arbetsdryga och oergonomiska.

Arbetet utfördes genom att först följa med produktionen och bekanta sig med råvarorna som används. Teori om råvarutransport och dosering studerades och lämpliga metoder för arbetets ändamål valdes. Till slut gjordes en tredimensionell sammanställningsritning upp i Solidworks med nödvändiga komponenter från olika tillverkare.

Resultatet blev två olika lösningar och för båda konstruerades en sammanställning i Solidworks. Uppvägningen och doseringen av råvarorna sker automatiskt och den manuella delen som återstår har underlättats.

Språk: svenska

Nyckelord: sprängämne, råvara, automatisering

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Niklas Gröning

Koulutus ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa

Suuntautumisvaihtoehto: Koneen suunnittelu

Ohjaaja(t): Stefan Råfså, Kaj Rintanen

Nimike: Raaka-aineen täytön automatisointi

Päivämäärä: 11.5.2023

Sivumäärä: 29

Tiivistelmä

Tämä opinnäytetyö on tehty Hangossa räjähdemassojen valmistaja Forcit Oy:lle.

Tarkoituksena oli suunnitella ratkaisu räjähdemassojen sekoitusastian täytön automatisoimiseksi. Täyttö voitaisiin parantaa ergonomian ja täyttönopeuden suhteen.

Ongelmana oli, että tuotantolaitosta ei ollut suunniteltu nykyiselle tuotantomäärälle. Tuotanto sisältää monta vaihetta, jotka tehdään käsin ja ne ovat vaativia sekä epäergonomisia.

Työ suoritettiin seuraamalla ensin tuotantoa ja tutustumalla käytettyihin raaka-aineisiin. Tutkittiin erilaisia menetelmiä raaka-aineen kuljetukseen ja annosteluun ja valittiin työn tarkoitukseen sopivat.

Lopuksi tehtiin Solidworksissä kolmiulotteinen kokoonpanopiirustus tarvittavilla komponenteilla eri valmistajilta.

Tuloksena oli kaksi erilaista ratkaisua ja molemmille tehtiin kokoonpano Solidworksissä. Raaka-aineiden punnitus ja annostelu tapahtuu automaattisesti ja jäljelle jäävä käsin tehtävä työ on helpotettu.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: räjähde, raaka-aine, automatisointi

BACHELOR'S THESIS

Author: Niklas Gröning

Degree Programme: Mechanical and Production Engineering, Vaasa

Specialisation: Mechanical Construction

Supervisor(s): Stefan Råfså, Kaj Rintanen

Title: Automation of Raw Material Filling

Date: 11.5.2023

Number of pages: 29

Abstract

This thesis has been done for the explosives manufacturer Forcit Ab in Hangö.

The purpose was to provide a solution for the automation of the filling of a mixing vessel for explosive masses. The filling process could be improved in terms of ergonomics and filling speed.

The problem was that the production facility had not been planned for the capacity that is required today. The production includes many manual work steps that are labor-intensive and unergonomic.

The work was carried out by first following the production and becoming familiar with the raw materials used. Theory of raw material transport and dosing was studied and suitable methods for the purposes of the work were chosen. Finally, a three-dimensional assembly drawing was made in Solidworks with the necessary components from different manufacturers.

The result was two different solutions and for both a compilation was constructed in Solidworks. The weighing and dosing of the raw materials takes place automatically and the manual part that remains has been made easier.

Language: Swedish

Key words: explosive, raw material, automatization

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Mål.....	1
1.4	Avgränsning.....	1
1.5	Företagsbeskrivning	2
2	Teori.....	3
2.1	Processutveckling	3
2.1.1	Designkrav.....	3
2.1.2	Ergonomi.....	4
2.1.3	Konceptgenerering	4
2.1.4	Konceptval.....	5
2.2	Råvaror.....	6
2.2.1	Ammoniumperklorat	6
2.2.2	RDX.....	7
2.2.3	Pentyl.....	8
2.3	Transportmetoder	8
2.3.1	Skruvtransportör	8
2.3.2	Band.....	9
2.3.3	Pneumatiska transportörer	9
2.4	Matnings- och doseringsmetoder	13
2.4.1	Cellmatare	13
2.4.2	Skruvmatare	14
2.4.3	Lastceller.....	15
3	Metodik	17
3.1	Krav.....	17
3.2	3d-modellering.....	19
4	Resultat	21
4.1	Påfyllning.....	21
4.2	Val av transportmetod.....	22
4.3	Val av doseringsmetod.....	23
4.4	Utlopp	27
5	Diskussion.....	28
6	Källförteckning.....	29

1 Inledning

Detta examensarbete har blivit utfört åt Forcit vid en av deras fabriker i Hangö. Produktionen av sprängämnen på FPX-avdelningen ,Forcit Plastic Explosives, har ökat avsevärt sedan den ursprungligen konstruerades och hanteringen av råvarorna borde förbättras. Avdelningen tillverkar sprängämnen och olika produkter för militärt bruk, till exempel PENO C ett plastiskt sprängämne. Processen börjar med blandningen av sprängämnesmassorna och påfyllningen av detta kärl är fokus i examensarbetet.

1.1 Bakgrund

Kapacitetskraven kommer att fortsätta öka kommande år och den nuvarande påfyllningsmetoden är inte längre lämplig. Påfyllningen av torra råvaror sker för tillfället nästan fullständigt manuellt och blandningssatserna har blivit stora. Då råvarorna måste för hand lyftas upp för att fylla blandningskärl är arbetet väldigt otympligt. Även uppvägningen av råvarorna sker för hand och är ett arbetsdrygt steg i processen.

1.2 Syfte

Det huvudsakliga syftet med arbetet var att planera en lösning för att automatisera påfyllningen av blandningskärl. Utredda vilka komponenter som kunde utnyttjas och hur systemet kunde placeras in i utrymmet som finns till förfogande.

1.3 Mål

Målet med arbetet var att få en uppfattning om hur påfyllningsprocessen skulle kunna automatiseras. Lämpliga metoder för råvarornas transport, dosering och uppvägning samt lämpliga komponenter för dessa ändamål skall utredas. Med dessa komponenter skall en tredimensionell sammanställningsritning konstrueras för att ge en översikt av lösningen

1.4 Avgränsning

Arbetet har avgränsats till planeringen av påfyllningen av blandningskärl. Sprängämnesmassorna består av många olika ingredienser men detta arbete fokuserar endast på de torra råvarorna. Detta omfattar val av metod för transporter, dosering och uppvägning av råvarorna. Lämpliga komponenter väljs även och en sammanställningsritning av hela systemet görs i Solidworks 3d-modelleringsprogrammet.

1.5 Företagsbeskrivning

Forcit är ett finskt företag som grundades år 1893 på grund av stor efterfrågan för sprängämnen. Ursprungligen hette företaget Finska Forcit-Dynamit Aktiebolaget men 1981 förkortades det till Oy Forcit Ab. De tillverkar en mängd olika civila sprängämnen för bygg- och brytningsindustrin men även olika produkter för militärt bruk. Forcit har verksamhet på flera orter i Norden och antalet anställda vid dagens läge är dryga 500. Namnet kommer från det belgiska företaget Compagnie de la Forcite-Dynamite. På grund av dess ypperliga läge vid kusten byggdes fabriken vid Hangö där det även fanns en tågstation. Huvudkontoret blev klart 1937 och befinner sig fortfarande i Hangö.

Forcit Group består av tre olika affärsområden. Forcit Explosives producerar civila sprängämnen och erbjuder olika tjänster relaterade till detta. Forcit Consulting som erbjuder expertis, tjänster och utbildning för bygg- och brytningsindustrin. Forcit Defence samarbetar med Försvarsmakten och erbjuder försvarssystem till en global marknad.

Då Moskvafreden tecknades mellan Finland och Sovjetunionen år 1940 fick Forcit 10 dagar på sig att evakuera Hangö. Verksamheten flyttades då till Karleby och Vasa ända tills 1942 då produktionen delvis återupptogs vid Hangö. Under fortsättningskriget var åtgången av produkter stor och under krigens gång utvecklades nya produkter till exempel sjöminor. År 1946 var all produktion tillbaka vid Hangöfabriken och då kriget var slut och det var tid för att återuppbygga var behovet av sprängämnen stor. Den första produktionsavdelningen för okänslig ammunition för militär användning byggdes 1993. De polymerbundna sprängämnen som tillverkas vid avdelningen är grunden för Forcits Defence försvarssystem. Forcit fick en ny fabrik i Vihtavuori då Patria's produktionsavdelning för civila sprängämnen köptes år 1998. Fabriken hade länge konkurrerat med Forcit och köpet gav en kunnig personal. På 2000-talet valde Forcit att utvidga sin verksamhet i Norden och 2009 grundades dotterbolaget Forcit Sweden Ab som fokuserar på civila sprängämnen. (Forcit, u.d.).

2 Teori

Det här kapitlet behandlar teori som har utnyttjats i examensarbetet. Teorin tar upp vad som är viktigt vid processutveckling samt olika metoder för transport, matning och dosering.

2.1 Processutveckling

Design av en process innebär skapandet av en lösning till ett problem. Problemet kan vara någonting som aldrig förr lösts eller en ny lösning till ett gammalt problem.

2.1.1 Designkrav

Det första kravet på en process är att det har en tillräcklig prestanda. Med processens prestanda menas både dess funktion och beteende. Det finns funktionella prestandakrav och kompletterande prestandakrav av vilka den först nämnda kategorin gäller mått på kapacitet som till exempel flöde eller kraft. Till samma kategori hör också processens noggrannhet och effektivitet. Kompletterande prestanda behandlar processens livslängd, pålitlighet och servicevänlighet. Processen måste även uppfylla alla lagstadgade krav.

Förutom prestandakrav finns även många andra krav som är viktiga att ta i beaktande vid processens design.

Fysiska krav är bland annat utrymme, vikt och form.

Miljökrav är förhållanden som processens komponenter utsätts för gällande temperatur, korrosion, vibrationer och slitage i olika former till exempel abrasion. Miljökrav innebär också krav på processen att vara ”grön” det vill säga miljövänlig och stöda hållbar utveckling.

Estetiska krav dikterar utseendet, vilket omfattar färg, form, textur med mera. Den estetiska delen av design utförs ofta av en skild industridesigner i stället för konstruktören.

I många fall är det viktigaste kravet kostnad. Designen måste vara kostnadseffektiv, annars går projektet aldrig vidare från planeringsskedet. Till kostnaden bidrar bland annat processutvecklingen, driftskostnader, servicekostnader och besparingar. (Siddiqui & Singh, 2008, ss. 294-295)

2.1.2 Ergonomi

Någonting som är viktigt att ta i beaktande vid processens design är interaktionen mellan människan och processens komponenter. Då människan interagerar med processen sker det både fysiskt och mentalt.

Det kan finnas stora variationer mellan olika människor, de flesta är mellan 1,5 och 1,85 meter långa, men vissa kan vara betydligt längre. Processen måste vara gjord så att även den kortaste personen har allt som kräver hantering inom räckhåll. På grund av variationen i till exempel storlek, vikt och kraft har mycket data om människokroppens dimensioner samlats inom läran som kallas antropometri.

För att underlätta för operatören bör alla brytare göras så att de är vid samma läge då de är påslagna. Informationsskärmar placeras så att operatören lätt kan övervaka dem och mätare installeras så de pekar mot samma riktning vid vanlig operation, vilket gör att en avvikelse lätt kan upptäckas. Spakar placeras på lämplig plats och spakarnas längd dimensioneras så att tillräcklig kraft för att operera spaken kan åstadkommas. (Siddiqui & Singh, 2008, s. 297).

2.1.3 Konceptgenerering

Ett koncept är en grov beskrivning av processen, vilka komponenter den utnyttjar och hur den är upplagd. Konceptet kan beskrivas med text och illustreras med hjälp av en skiss eller en 3d-modell. Detta skede av processutvecklingen kräver mycket kreativitet och samordning inom företaget. Ett bra koncept är viktigt för ett lyckat projekt och det lönar sig att lägga tid på konceptgenereringen.

Ett sätt att utföra konceptgenereringen är att dela upp den i fem olika steg.

Första steget går ut på att förstå problemen. Målet är att klart definiera vad som krävs för att uppfylla alla krav på lösningen. Invecklade problem kan delas upp i mindre beståndsdelar och sedan kan fokuseras på delarna som anses svårast att lösa först. (Siddiqui & Singh, 2008, s. 296).

Det andra steget går ut på att försöka hitta färdiga lösningar till problemen som identifierats. Det kan åstadkommas till exempel genom att konsultera experter inom området. Experter kan vara svåra att hitta men ett sätt är att vara i kontakt med komponenttillverkare. Tillverkare har mycket erfarenhet inom området och är ofta villiga

att hjälpa då det kan leda till köp av deras produkter. Information kan även hittas i böcker och annan liknande litteratur. Också på nätet finns mycket nyttig information, det svåra är att lista ut rätt sökord för att hitta det.

Det tredje steget som kan utnyttjas är *brainstorming*. Metoden utförs ofta i grupp och går ut på att generera så många idéer som möjligt, även om de verkar orimliga. Ingen kritik är välkommen vid detta skede då det kan hindra personer från att komma med idéer. Det kan även vara bra att skapa enkla skisser av idéerna.

Steg fyra går ut på att organisera och utforska alla lösningar som kommit fram till. Detta sker genom att dela upp problemen i olika träd och lösningarna till dessa i grenar. Sedan bestäms vilka grenar det lönar sig att fokusera på och ifall någon gren kan väljas bort.

Det sista steget går ut på att reflektera över konceptgenereringsprocessen och lösningarna som uppstått. (Ulrich, Eppinger, & Yang, 2020, ss. 121-147).

2.1.4 Konceptval

Denna del av processutvecklingen går ut på att välja vilket koncept skall gå vidare i utvecklingsprocessen. Valet kan utföras på många sätt, till exempel genom att hålla en omröstning eller göra upp en lista med för- och nackdelar. Konceptvalet kan också göras enbart med intuition, genom att välja det som känns rätt. Om antalet koncept är få kan prototyper skapas och testas.

Ett annat bra sätt är att skapa en beslutsmatris med koncept och olika krav som skall uppfyllas. Det fungerar så att ett koncept väljs som referens och de andra koncepten bedöms med plus, noll eller minus; beroende på om de uppfyller kravet bättre, jämbördigt eller sämre. Sedan räknas alla plus och minus ihop för att ge konceptet ett poängtal. Konceptet med flest poäng kan då tänkas vara det lämpligaste men det lönar sig ändå att studera de andra koncepten. Det går möjligtvis att kombinera två koncept med olika svagheter för att skapa ett bättre koncept. Det kan också vara att ett generellt bra koncept har en enskild svaghet som kunde lösas.

Dessa nya koncept kan åter läggas in i beslutsmatrisen för att poängsättas. Om det inte vid detta skede uppstår en märkvärdig skillnad i poängantalet mellan koncepten kan en

beslutsmatrix med viktbelagda krav utnyttjas. Poängsättningen kan också ändras för att få högre resolution. Den kan vara till exempel mellan ett och fem, där tre motsvarar referenskonceptet och högre tal är bättre. I tabell 1 kan ses en beslutsmatrix med viktbelagda krav. (Ulrich, Eppinger, & Yang, 2020, ss. 150-161).

Tabell 1. Exempel på en beslutsmatrix

Krav	Vikt	Koncept							
		A		B		C		D	
		Poäng	Betyg	Poäng	Betyg	Poäng	Betyg	Poäng	Betyg
Krav 1	0,1	3	0,3	5	0,5	3	0,3	3	0,3
Krav 2	0,15	2	0,3	4	0,6	3	0,45	5	0,75
Krav 3	0,3	5	1,5	4	1,2	3	0,9	1	0,3
Krav 4	0,2	4	0,8	2	0,4	4	0,8	2	0,4
Krav 5	0,15	3	0,45	1	0,15	2	0,3	3	0,45
Krav 6	0,1	2	0,2	3	0,3	5	0,5	3	0,3
	Totalt	3,55		3,15		3,25		2,5	
	Resultat	1		3		2		4	

2.2 Råvaror

I detta kapitel presenteras råvarorna som skall hanteras.

2.2.1 Ammoniumperklorat

Ammoniumperklorat är ett kraftigt oxiderande oorganiskt ämne i formen av vita kristaller. Ämnet har en densitet på 1,95 kg/L och är mycket vattenlösligt, 205,9 g/L. Det skapades första gången 1832 av den tyska kemisten E.Mitscherlich. (DEPARTMENT OF THE ARMY, 1984, s. 13) På grund av dess oxiderande egenskaper bör det inte blandas med organiska ämnen som till exempel oljor eller bränslen. Inte heller med reducerande ämnen som till exempel metallpulver eftersom blandningen blir mycket känslig och kan explodera.

AP är inte antändbart men vid uppvärmning över 150 C börjar det undergå nedbrytning. Nedbrytningen leder till att det bildas olika gaser, främst ammoniak, syre, kväveoxider och väteklorid.

Upprepad kontakt med AP kan innebära en hälsorisk. Hypertyreos, en sjukdom som påverkar sköldkörteln har upptäckts i däggdjur men inte hos människor. (Safran Herakles, 2013).

2.2.2 RDX

Skapades 1899 för medicinska ändamål, kallas även hexogen. (DEPARTMENT OF THE ARMY, 1984, s. 16) Består av färglösa kristaller har en densitet på 1,82 kg/L och smälter vid 204 °C. Det löses dåligt i vatten och har hårdheten 2,5 på Moh's hårdhetsskala.

Detonationshastigheten är över 8000 m/s. Används ofta för att tillverka blandsprängämnet hexotol och som boostersprängämne. (Sejlitz, s. 113) (DEPARTMENT OF THE ARMY, 1984, s. 117; 255).

RDX är mycket mindre känsligt för elektrisk gnista i jämförelse med TNT och pentyl. Vid 12 300 volt antänds det inte alls men vid 14 950 volt sker delvis antändning, dock ingen explosion. (DEPARTMENT OF THE ARMY, 1984, s. 122).

Det är osannolikt att RDX skulle absorberas via huden på grund av dess dåliga lipidlöslighet. Det är däremot viktigt att undvika inandning eller förtäring av RDX då det kan orsaka många symptom. Huvudvärk, illamående, kräkning, epileptiska anfall, medvetlöshet och flera andra är vanliga vid RDX-förgiftning. Återhämtning kan ta mellan några dagar upp till tre månader. Trots allvarliga symptom har dock inga permanenta men upptäckts. (DEPARTMENT OF THE ARMY, 1984, s. 266).

RDX är en aning korroderande för svart stål, mässing och koppar. Om det dessutom innehåller en del fukt kan det svagt korrodera även nickel och zink. Rostfritt stål och aluminium korroderas inte, även om det är fuktigt. (DEPARTMENT OF THE ARMY, 1984, s. 124).

2.2.3 Pentyl

Pentyl består av vita kristaller och har en smältpunkt på 141 C. Vid 210 C börjar det kraftigt nedbrytas och efter det finns en risk för att det detonerar. Ämnet har en densitet på 1,75 kg/L och en extremt hög detonationshastighet som ligger över 8000 m/s. (Sejlitz, s. 110) Hårdheten enligt Mohs hårdhetsskala är låg, aningen under 2.

Torr pentyl reagerar inte med aluminium, stål eller andra vanliga metaller. Våt pentyl däremot påverkar många metaller, även nickel och zink belagda stål. Rostfritt stål är ett material som förblir opåverkat och aluminium endast efter långtidsförvaring.

(DEPARTMENT OF THE ARMY, 1984, s. 104).

Eftersom pentyl har mycket dålig vattenlöslighet, 0,0043 gram per 100 gram vid 25C, kan det inte sannolikt absorberas via hudkontakt. Hälsorisker innebär nedsatt blodtryck vid små doser och vid stora doser andnöd och kramp. (DEPARTMENT OF THE ARMY, 1984, s. 103; 265).

Pentyl är ett av de känsligaste militära sprängämnen som används. Stötkänsligheten är högre än för RDX och betydligt högre än för tetryl men lägre än för nitroglycerin. I pendulumtestet visar pentyl dock en lägre känslighet än RDX. (DEPARTMENT OF THE ARMY, 1984, ss. 106-107).

2.3 Transportmetoder

Det finns flera olika typer av mekaniska transportörer för förflyttning av granulat. Transportsträckan kan vara upp till flera kilometer då de används vid till exempel gruvor och mängden kan vara upp till flera hundra ton i timmen. I detta kapitel presenteras olika transportmetoder och vilka användningsområden de har.

2.3.1 Skruvtransportör

Skruvtransportörer har haft nuvarande form i ungefär 100 år. Påfyllningen, diametern, längden och hastigheten kan göras optimal för det specifika material som skall transporteras. I sin simplaste form har skruvtransportören en stigning motsvarande diametern. För olika ändamål används olika stigning. Ju brantare granulatet skall transporteras, desto tätare görs stigningen. Till och med vertikala lyft kan åstadkommas i vissa fall. En normal konstruktion

med stigning motsvarande diameter sjunker drastiskt vid lyft brantare än 8 grader. Det finns även flexibla skruvtransportörer som lämpar sig bra för material som är svåra att hantera. Konstruktionen på dessa är simpel och de kräver inte lika mycket utrymme. Skruvtransportör används främst vid distanser under 45 meter, sedan börjar mekaniska begränsningar komma emot. (Couper, 2012, ss. 69-73).

2.3.2 Band

Bandtransportörer lämpar sig bäst för horisontal eller svagt lutande transport. Starkaste möjliga lutning ligger oftast kring 5 – 25 grader lägre än rasvinkeln för materialet. En vanlig bandtransportör består av några få komponenter, band, drivrulle, svansrulle, tomgångsrullar och en ramkonstruktion. Drivrullen som namnet antyder driver bandet och får sin kraft från en elmotor. Ytan på rullen måste ha bra fäste då den driver bandet genom att vara i kontakt med det. Drivrullen sitter vid slutet av bandet där materialet förs bort från bandet. Längs med bandet finns tomgångsrullarna, vars primära uppgift är att stöda bandet. De kan också ha som uppgift att styra bandet och putsa material som fastnat på vägen tillbaka. Höga krav ställs på bandet, det måste klara av belastningen av att föra fram materialet samtidigt som det måste vara tillräckligt styvt för att stöda materialet. Det kan vara tillverkat av bland annat gummi, tyg eller stål. Stålbånd används främst då det finns ett krav på värmebeständighet. Även matindustrin ställer noggranna krav på materialet som kommer i kontakt med maten. Den bärande ytan på bandet kan vara jämn eller mönstrad för olika ändamål. Bandet kan fyllas på för hand med spade eller från en överliggande behållare. Tömningen av bandet sker genom att materialet slungas bort vid slutet av transportlinjen. (Couper, 2012, s. 73; Industrial quick search, u.d.).

2.3.3 Pneumatiska transportörer

Pulver och granulat går bra att transportera med hjälp av lufttryck. I vissa applikationer kan transportsträckan vara över en kilometer. Det går att utnyttja tryck eller vakuum, båda metoderna har olika fördelar. Vakuumtransport används främst för korta sträckor med en destination, medan tryck används då destinationerna är flera och sträckorna längre. Hur effektivt ett pneumatiskt transportsystem är beror på flera olika faktorer. Några av de mest relevanta är det förflyttande materialets densitet, partikelstorlek, partikelform och kinetisk friktionskoefficient.

Vakuumentransportörer används inom många olika branscher för att förflytta pulver och granulat. Vakuumentransportörer kan användas för vertikala lyft och lämpar sig på grund av detta bra då utrymmet är begränsat. En annan fördel är att hela transportsystemet är slutet vilket betyder att det inte finns någon risk för främmande föremål att ta sig med bland produkten. (Couper, 2012, ss. 63-65).

Det som har störst inverkan på ett pneumatiskt transportsystem är transportluftens hastighet. Det vill säga, luften i systemet som för fram materialet som skall transporteras. Om hastigheten är för hög kommer systemet att vara dyrt att operera samtidigt som det uppstår mycket onödigt slitage. Tvärtom är hastigheten för låg kommer inte systemet att fungera alls och mycket möjligt stockas.

Pneumatisk transport är mycket svår att förutspå och det enda som går att pålitligt att ta reda på matematiskt är att analysera tryckfallet som uppstår då man tillägger material i ett beräknat luftflöde genom rörverket. För övrigt får man utnyttja erfarenhet och experimentera sig fram. Tryckfallet kan räknas ut med Darcy-ekvationen:

$$\Delta p = \frac{4fL}{d} \times \frac{\rho C^2}{2} \quad (1)$$

Där

f är friktionsfaktorn, L är rörets längd, d är rörets diameter, ρ är fluidens densitet C är medelhastigheten för flödet

Märkvärt i ekvationen är att hastigheten är i kvadrat och därav har en stor inverkan på flödet.

En annan viktig variabel i pneumatiska transportsystem är *slip velocity*. Den är ett mått på skillnaden mellan transportluftens hastighet och transportmaterialets hastighet. Om skillnaden blir allt för stor kommer inte partikelhastigheten längre att vara tillräckligt hög, vilket leder till att materialpartiklarna faller ur luften

När materialet först introduceras in i luftflödet har det så gott som ingen hastighet. Det är därför viktigt att rörsystemet inte har några branta krökar tidigt i systemet förrän materialet har accelererats till en tillräcklig hastighet. Längden som krävs för det är beroende av variabler som partikelstorlek och materialets densitet men är i allmänhet några meter. En stor del av systemets tryckfall, Δp_{acc} , uppstår vid denna acceleration och kan bedömas med hjälp av ekvationen:

$$\Delta p_{acc} = (1 + \emptyset) \frac{\rho_2 C_2^2}{200} \quad (2)$$

Där \emptyset är fasta partiklarnas förhållande, ρ_2 är luftdensiteten vid slutet av rörverket och C_2 lufthastigheten vid slutet.

Rörverkets uppbyggnad har en stor inverkan på hur lätt materialet hålls med i luftströmmen. I horisontala rör vill materialet samlas längs med nedre delen av röret och hoppa fram. Om materialet är abrasivt kan detta i längden leda till mycket slitage. Vid ännu lägre hastigheter börjar materialet samlas längs med botten. Det orsakar en förminskning av rörets area, vilket ger upphov till att luftströmmen ökar hastighet och en del material kan komma tillbaka i suspension och åka vidare. Delvis fortsätter materialet även åka fram längs röret i form av små högar som vid en krök uppåt lätt orsakar stock i röret.

I vertikala rör uppåt finns en viss fördel jämfört med horisontala. Materialet har samma tendens att falla nedåt men i detta fall finns det ingenstans för materialet att ligga kvar så det sugas återigen med i luftströmmen. Är dock luftströmmens hastighet mycket låg kan materialet falla enda ned och stocka röret. Flödet nedåt i vertikala rör sker utan problem och kan i vissa fall, då materialet är fördelat i fint pulver, ge en tryckökning.

Rör med en sluttning uppåt kräver en högre hastighet på luftströmmen än horisontella eller vertikala. Materialets partiklar kolliderar mycket med rörets väggar och sänker hastigheten på dessa mera än i de andra fallen. Är sluttningen långt in på ett rör då partikelhastigheten blivit tillräckligt hög ställer detta inte till med större problem. Sluttningar nedåt är också problemfria.

Krökar i rörverket orsakar också tryckfall i systemet. När materialet når en krök i rörverket kommer dess partiklar slå emot den yttre väggen. Har kröken en stor radie kommer det ske över en lång sträcka och sakta ned partikelhastigheten märkbart. Har kröken i stället en kort radie så kommer kollisionerna ske under en liten sträcka men vara betydligt kraftigare, vilket också kan sakta in partikelhastigheten betydligt. På grund av slitaget som lätt uppstår används ofta speciella krökar som är utformade så att erosionen blir så liten som möjligt. Nackdelen med dessa krökar är att partikelhastigheten ofta sjunker mycket nära noll och det uppstår en stor tryckförlust då materialet skall accelereras igen. Rekommenderat är att inte

lägga en till krök strax efter en annan eftersom materialet kan ha för låg hastighet och orsaka stock.

Man brukar dela upp pneumatisk transport i två olika flödesmetoder, *kompakt fas* och *utspädd fas*.

Utspädd fas - flöde innebär att materialet transporteras utspädd i luftflödet. Lufthastigheten måste vara hög för att se till att en stor del av materialet alltid hålls i suspension. De flesta material kan transporteras på detta vis men beroende på partiklarnas egenskaper kan den krävda lufthastigheten variera. För granulerat socker krävs ungefär 16 m/s medan för cement ligger lufthastigheten kring 11 m/s.

Kompakt fas – flöde kan ännu delas in i två olika varianter, *sliding bed* och *plug* flöde. Den först nämnda kan endast utnyttjas då materialet är ”luftigt” d.v.s. inte packar ihop sig lätt. Sådana material är i allmänhet fina pulver med partikelstorlek under 50 mikrometer, till exempel cement. Metoden kan vara mycket effektiv då lufthastigheten kan hållas mycket låg och fasta partiklarnas förhållande kan vara mycket högt. *Plug* flöde däremot lämpar sig för material med god genomtränglighet, vilket oftast innebär liten variation i partikelstorlek till exempel olika sorters plastpellets. Likt *sliding bed* flöde kan lufthastigheter så låga som 3 m/s räcka till för att transportera materialet men metoden är inte lika ekonomisk då fasta partiklarnas förhållande endast kommer upp till ungefär 30.

Fördelen med *kompakt fas* över *utspädd fas* är den mycket lägre krävda lufthastigheten som kan åstadkommas, vilket gör att slitaget på rörverket hålls betydligt lägre. Metoden kan även vara mycket mera ekonomisk eftersom fasta partiklarnas förhållande kan nå upp över 100 medan det sällan går att åstadkomma högre än 30 med flöde i utspädd fas. (Mills, 2015, ss. 35-48).

2.4 Matnings- och doseringsmetoder

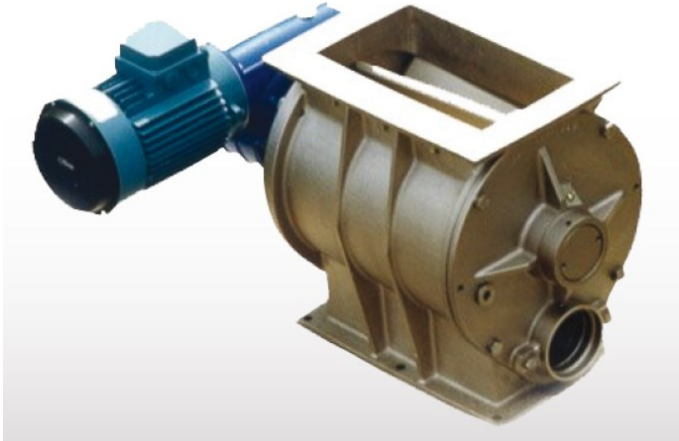
I detta kapitel presenteras olika komponenter som kan utnyttjas för råvarumatning och råvarudosering. Komponenternas konstruktion och funktion beskrivs samt vanliga användningsområden redovisas.

2.4.1 Cellmatare

En cellmatare av en rotor med blad som roterar inuti ett hus. Den är kanske den vanligaste använda metoden för att mata råvaror och det finns många olika variationer av den i dagens läge. En vanlig design är en så kallad drop-through feeder. Den tar in materialet i en ficka på övre sidan ifrån en behållare ovanför och då den roterat ett halvt varv släpper den ut materialet underifrån.

Slitage är något som på grund av cellmatarens konstruktion är oundvikligt. Hur grovt slitaget är beror mycket på hur abrasivt materialet som matas är. Abrasivt slitage är dock inte det enda som uppstår då cellmatare används i samband med pneumatiska transportsystem. Detta beror på att en liten del luft alltid läcker förbi rotorn och skapar luftströmmar med hög hastighet. Små partiklar från materialet plockas upp av luftströmmarna och kan orsaka betydande eroderande slitage. Val av slitstarka material för komponenterna i cellmataren som kommer i kontakt med materialet kan minska problemet, men inte helt och hållet eliminera erosionen. Pneumatiska system som fungerar med vakuum har inte detta problem vid inmatningen i systemet eftersom det inte uppstår någon tryckskillnad vid cellmataren.

Mycket utveckling har skett för att förbättra cellmataren och materialen som den är uppbyggd av, bland annat för att försöka minska slitage och luftläckage förbi rotorn. Det har gett upphov till olika varianter till exempel excentriska cellmatare. De används främst för material som är känsliga för skjuvning till exempel pellets. En annan variant som används för material som kan vara svåra att tömma ut är blow-through-varianten som kan ses i figur 1. Den är byggd så att materialet inte behöver falla ut, eftersom det förs vidare med luftströmmen då det fortfarande är i cellen. (Mills, 2015, ss. 108-110).



Figur 1. Blow-through cellmatare av WAMGROUP. (WAMGROUP, 2023).

2.4.2 Skruvmatare

Skruvmatare är mycket vanliga tack vare deras enkla kontroll, täta konstruktion och linjära matning. Komponenterna är även lätta att byta ut ifall det behövs. Skruvmataren är, så som också rotary mataren, en typ av volymetrisk matare. Det innebär att den har ett bestämt volymflöde som följer rotationshastigheten. Massflödet kan därav variera mycket beroende på materialets densitet och hur packat det är. Eftersom de flesta processer kräver att man doserar enligt massa måste materialets bulkdensitet hållas relativt konstant för att doseringen skall vara noggrann.

Volymflödet för en skruvmatare går enkelt att räkna ut då man vet skruvens radie r , stigning s och rotationshastighet enligt ekvationen:

$$Q = \pi r^2 \rho s \quad (3)$$

Denna matningshastighet är enbart teoretisk och i verkligheten kan fyllnadsverkningsgraden vara 50 % av detta värde. Med mycket erfarenhet går verkningsgraden att uppskattas, men för att vara säker bör den alltid testas för olika skruvgeometri i olika material. Skruvens storlek väljs så den kan köras på 75 – 80 % av maximal hastighet vid högsta massflödet.

Vid val av skruv finns spiral- och bladskruvar. Spiralskruven är den vanligaste typen och har ett lågt motstånd mot flöde. Den lämpar sig bättre än bladskruven för material som lätt klibbar fast på grund av en mindre kontaktyta.

Det finns också dubbelskruvar, av vilka en vanlig modell är dubbelkonkavskruven. Två skruvar roterar tillsammans bredvid varandra och för fram materialet. De lämpar sig bäst för massflöden under 10 kg per timme. Skruvarna putsar varandra och är på så vis noggranna även med material som har en tendens att klibba fast. (Pilla, 2011, pp. 27-31).



En spiralskruv. (Pilla, 2011, s. 29).



En bladskruv. (Pilla, 2011, s. 30).

2.4.3 Lastceller

Lastceller används flitigt för att utföra viktmätningar genom att mäta kraften som utsätts på cellen. De flesta lastcellerna fungerar med hjälp av töjningsgivare men det finns också piezoresistiva, induktiva, pneumatiska, hydrauliska och flera. En töjningsgivare fungerar genom att dess elektriska resistans ändrar då den utsätts för en kraft som ger upphov till en deformation. Skillnaden i resistans som uppstår mäts och på så vis kan bestämmas hur stor kraft töjningsgivaren utsätts för. Töjningsgivare fungerar vid både expansion och kontraktion och kan uppnå en noggrannhet mellan 0,03% och 0,25 %.

Lastceller finns i många olika utföranden beroende på vilket ändamål de är tänkta för. Bland annat finns det balklastceller, enpunktslastceller, ringlastceller och spänningslastceller. Enpunktslastceller kan användas som namnet antyder ensamma och är

3 Metodik

Projektet börjades genom att först studera liknande lösningar som redan utnyttjas på andra platser i fabriken. Torra råvaror i pulverformat hanteras vid några avdelningar och vissa av dem är explosiva. De här lösningarna tar mycket utrymme och kan inte identiskt utnyttjas i detta projekt men gav idéer.

Produktionen enligt den nuvarande manuella metoden följdes även med under några dagar och arbetarnas åsikter och förslag hördes. Processen är arbetsdryg och obekväm, speciellt för de som inte är så långa.

3.1 Krav

För att få en uppfattning om vad som vore en bra lösning, ställdes upp några krav.

Den nya påfyllningsmetoden får inte vara långsammare än den nuvarande. Trots att nuvarande metod utförs fullständigt för hand är påfyllningen relativt snabb och en automatiserad lösning måste klara av åtminstone samma påfyllningstid.

Rummet som finns till förfogande är ganska litet vilket betyder att lösningen inte får ta mycket utrymme.

Råvarorna måste hanteras varsamt och ingenstans i systemet får höga temperaturer uppstå som kunde leda till explosion. Två olika militära sprängämnen skall hanteras och vid tillräckligt kraftig stöt eller friktionskraft kan de detonera.

Systemet skall vara slutet från början till slut för att förhindra sprängämnen från att komma ut i luften. Inga främmande objekt får heller komma med bland råvarorna. Vid blandningen kan ett främmande hårt objekt vid värsta fall leda till en explosion.

Råvarorna kan orsaka korrosion på vissa metaller och därför ställs krav på att komponenter som kommer i kontakt med råvarorna bör vara utav rostfritt stål.

För att jämföra olika transportmetoder skapades en beslutsmatris som kan ses i tabell 2. Skruvtransportören har använts som referens och de andra metoderna har jämförts med den.

Tabell 2. Beslutsmatris för transportmetod.

Krav	Transportmetod			
	Band	Skruv	Tryck	Vakuum
Materialflöde	0	0	-	-
Storlek	-	0	+	+
Hantering	0	0	+	+
Inkapsling	-	0	0	0
Korrosionsbeständighet	0	0	0	0
Resultat	-2	0	1	1

Materialflöde - Med alla dessa metoder kan vid optimala fall ett mycket stort materialflöde uppnås, men de två pneumatiska alternativen är starkt beroende på materialets egenskaper.

Storlek - Bandtransportörer tar upp mycket utrymme, speciellt då materialet skall förflyttas vertikalt eftersom bandet inte kan ha en kraftig lutning. Skruvtransportörer är aningen bättre då vertikala lyft är möjliga, men pneumatisk transport kräver minst utrymme.

Hantering - Eftersom pneumatiska metoderna inte mekaniskt hanterar materialet är de mycket varsamma. Bandtransportörer är bra i de flesta fallen, men risken att friktion uppstår finns eftersom bandet konstant rör sig. Skruvtransportörens konstruktion leder till att det alltid uppstår en friktion mellan materialet och skruven.

Inkapsling - Pneumatisk transport måste alltid ske i slutet system för att fungera. Det finns dock en risk då transporten sker med tryck att ett läckage uppstår i systemet vilket leder till att råvaran kommer ut i luften. Bandtransportörer är vanligtvis helt öppna men kan i specialfall göras inkapslade. Skruvtransportörer kan lätt göras fullständigt inkapslade.

Korrosion - Alla metoder är vanliga inom mat- och läkemedelsindustrin och finns att få i korrosionsbeständiga material.

3.2 3d-modellering

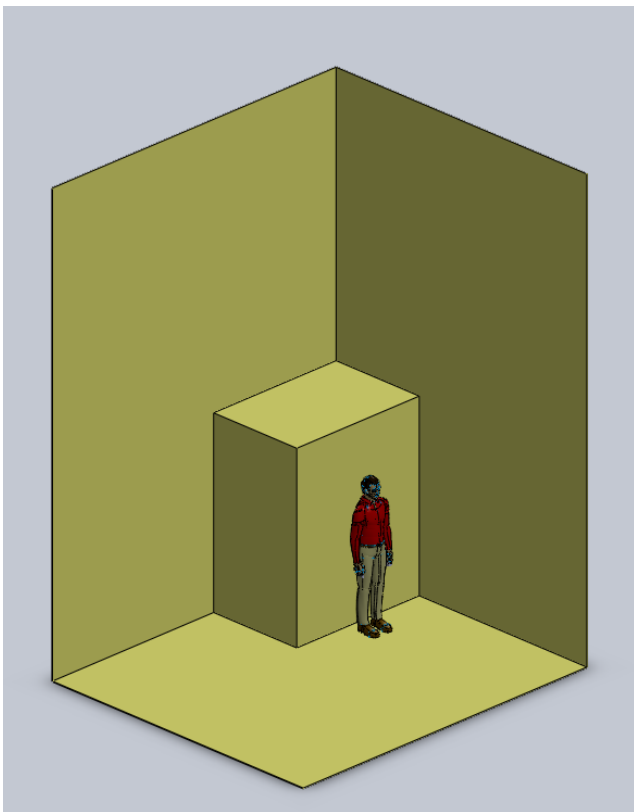
Solidworks 2020 har använts för att visualisera olika lösningar till råvarumatningen, ett 3d-modelleringsprogram. Första versionen, Solidworks 95 släpptes redan år 1995 och sedan dess har många företag tagit det i användning.

Skapandet av en modell i Solidworks börjar genom att man börjar en tvådimensionell ritning på ett plan. Det går även att skapa en tredimensionell ritning men det gör ofta processen mera invecklad. Efter att den tvådimensionella ritningen är klar finns en mängd olika kommandon för att skapa en tredimensionell modell, de vanligaste är *extrude* och *revolve*. Sedan kan lätt skapas hål, gängor, fasningar med mera.

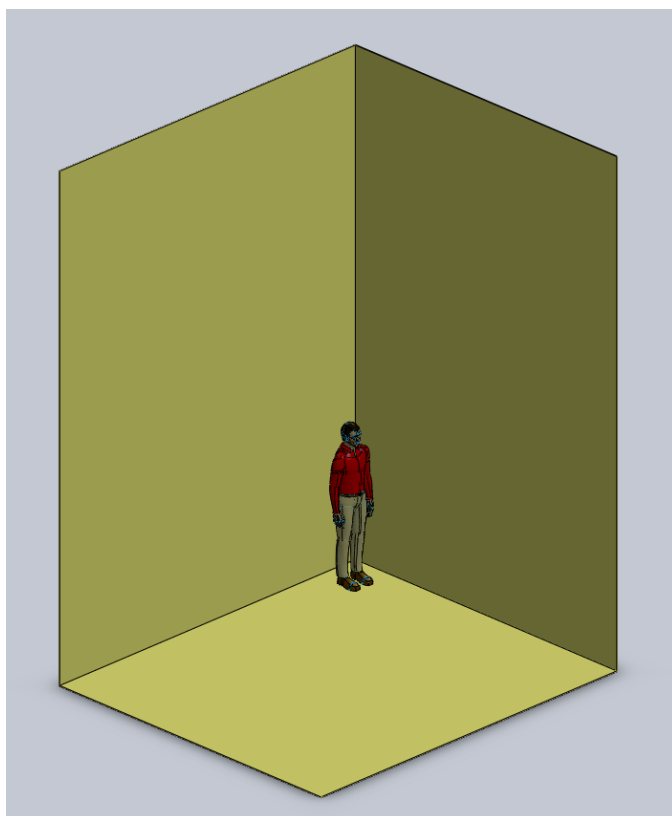
Det går även att skapa en *assembly* i Solidworks där det går att plocka ihop flera komponenter till en sammanställning. En *assembly* börjas oftast med att en fast komponent läggs in som sedan de andra komponenterna kan fästas till. Komponenterna fästs vid varandra med hjälp av olika *mates*. En vanlig sådan används för att se till att till exempel två ytor är sammanfallande. En annan kan utnyttjas för att se till att två cirkulära detaljer har samma mittpunkt.

Modelleringen börjades med att ta mått på utrymmet som fanns till förfogande för att konstruera en lösning. Dessa mått användes sedan för att rita upp en tredimensionell representation av utrymmet i Solidworks. I rummet fanns inbyggt ett utrymme där blandningskärlet tidigare stått vid påfyllningen. Det kunde vid behov tas bort för att få mera utrymme, så två versioner av rummet modellerades. Förutom rummet modellerades även de väsentligaste komponenterna som skulle kunna behövas för en fungerande lösning. Vissa komponenter fanns att ladda ned som CAD-modell från tillverkaren, medan andra måste ritas från början till slut.

Planeringen fortsatte sedan genom att bygga olika lösningar för att se hur de skulle passa med tanke på utrymme, arbetsbekvämlighet och funktion. Detta gjordes genom att skapa en *assembly* i Solidworks. Ganska fort kunde konstateras att skruv- eller bandtransportörer skulle vara mycket svårt att passa in i utrymmet då de tar mycket plats. Råvarubehållarna kräver också en hel del utrymme men deras storlek är relativt bestämd enligt mängden råvara som doseras per blandningssats.



Figur 3. Rummet med inbyggt utrymme



Figur 4. Mellanutrymmet bortaget.

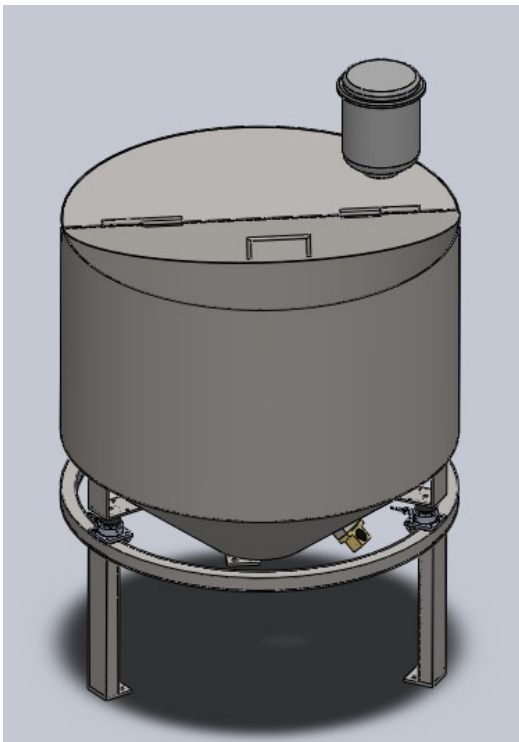
4 Resultat

I detta kapitel presenteras resultatet av arbetet, som blev två olika lösningar. Lösningarna utnyttjar många gemensamma komponenter men skiljer en aning i funktion

4.1 Påfyllning

Råvarorna kommer ursprungligen till avdelningen i antingen tunnor eller säckar. Sedan fylls de på i runda behållare som är 1,2 meter höga och har en diameter på en meter. Enligt nuvarande system måste blandningskärlet som är 1,73 meter högt fyllas på, det betyder att nya metoden sänker påfyllningshöjden med ungefär en halv meter. De finns tre behållare, en för varje råvara och de är utrustade med lock så att de endast är öppna vid påfyllningen. Behållarna sitter uppställda på ställningar och är tillverkade av rostfritt stål EN 1.4304. En behållares maximala volym om den skulle fyllas ända upp till toppen är 567 liter, vilket mer än väl räcker till största möjliga blandningssats.

För att försäkra att råvarorna åker vidare från behållaren utnyttjas en turbinvibrator av tillverkaren Piab. Den fungerar med tryckluft och har en dimensionerad frekvens på 27 500 – 37 500 rpm. I figur 5 kan den ses, fastbultad i sidan av behållaren.



Figur 3. Råvarubehållare med ställning.

4.2 Val av transportmetod

För att förflytta råvarorna väljs pneumatisk transport och för att undvika spridning av råvarorna ifall hål i systemet skulle uppstå, sker detta med hjälp av vakuum. På grund av den lilla andelen utrymme som finns till förfogande är pneumatisk transport det bästa alternativet. Transportsträckan är ganska kort och svängarna är få, vilket ger ett effektivt pneumatiskt system. Det har dessutom andra fördelar som ingen kontamination av råvarorna och möjligheten att köras utan elektronik.

Piab är en svensk tillverkare av olika vakuumprodukter med över 50 års erfarenhet. De tillverkar flera modeller av vakuumtransportörer för olika ändamål.

För detta ändamål väljs piFLOW p-modellen då den är gjord för de mest krävande applikationerna och sprängämnen säkerligen kan räknas till den kategorin. Modellen finns i flera olika storlekar och kan vid optimala omständigheter transportera upp till 14 ton per timme. Den kan fås med ATEX – certifikat och i syrafast stål vid behov. I detta fall räcker dock rostfritt stål EN 1.4304 för att undvika korrosion. (Piab, 2023).

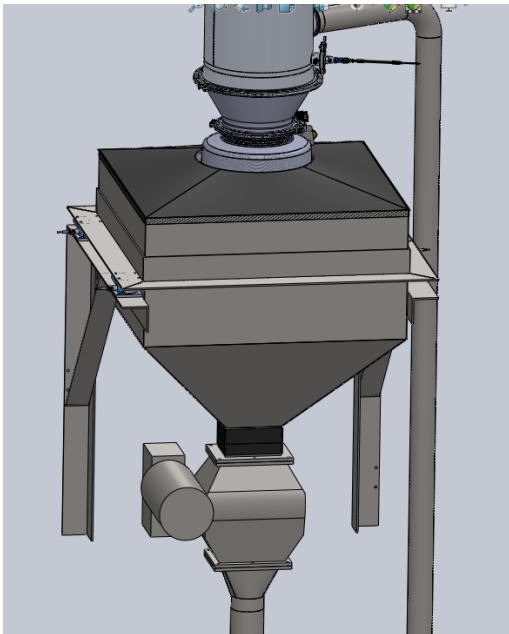


Figur 4. piFLOWp, en vakuumtransportör av PIAB (Piab, 2023).

4.3 Val av doseringsmetod

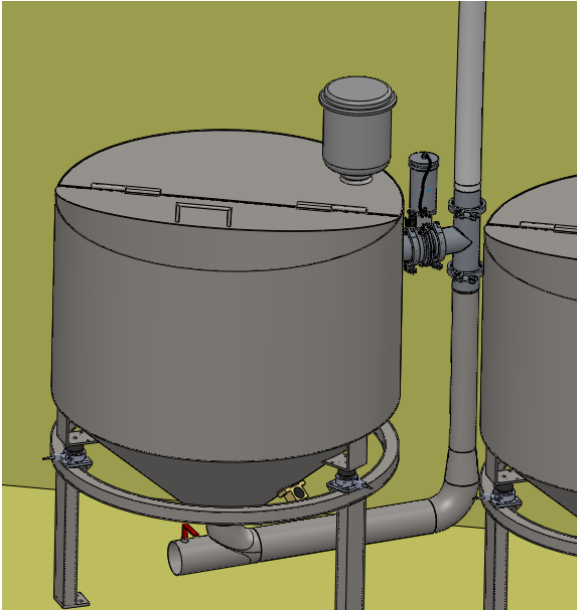
För att dosera råvarorna används två olika metoder.

Den ena lösningen utnyttjar en cellmatare som befinner sig under den övre behållaren och släpper rätt mängd till blandningskärlet. Cellmataren är modellen RVC Drop-Through Rotary Valve av tillverkaren Wamgroup. En fördel med denna modell är att rotorbladen kan fås med skrapblad i olika material, som Teflon eller Viton och höljet finns tillgängligt belagt med Teflon. Detta är viktigt då cellmataren skall dosera sprängämnen och metall-mot-metall kontakt kan ha katastrofala följder. Modellen har ett teoretiskt flöde på 270 liter per minut vid rotationshastigheten 30 rpm.



Figur 5. Den övre behållaren med cellmataren undertill.

Den andra lösningen fungerar med hjälp av en rörtömningsenhet. Jämfört med den första lösningen utnyttjas ingen övre behållare, utan materialet åker direkt ner i blandningskärlet. För att få rätt mängd doserad aktiveras rörtömningsenheten då en bestämd mängd försvunnit ur påfyllningskärlet. När rörtömningsenheten aktiveras suger systemet endast friskluft tills rörsystemet är tömt på material.

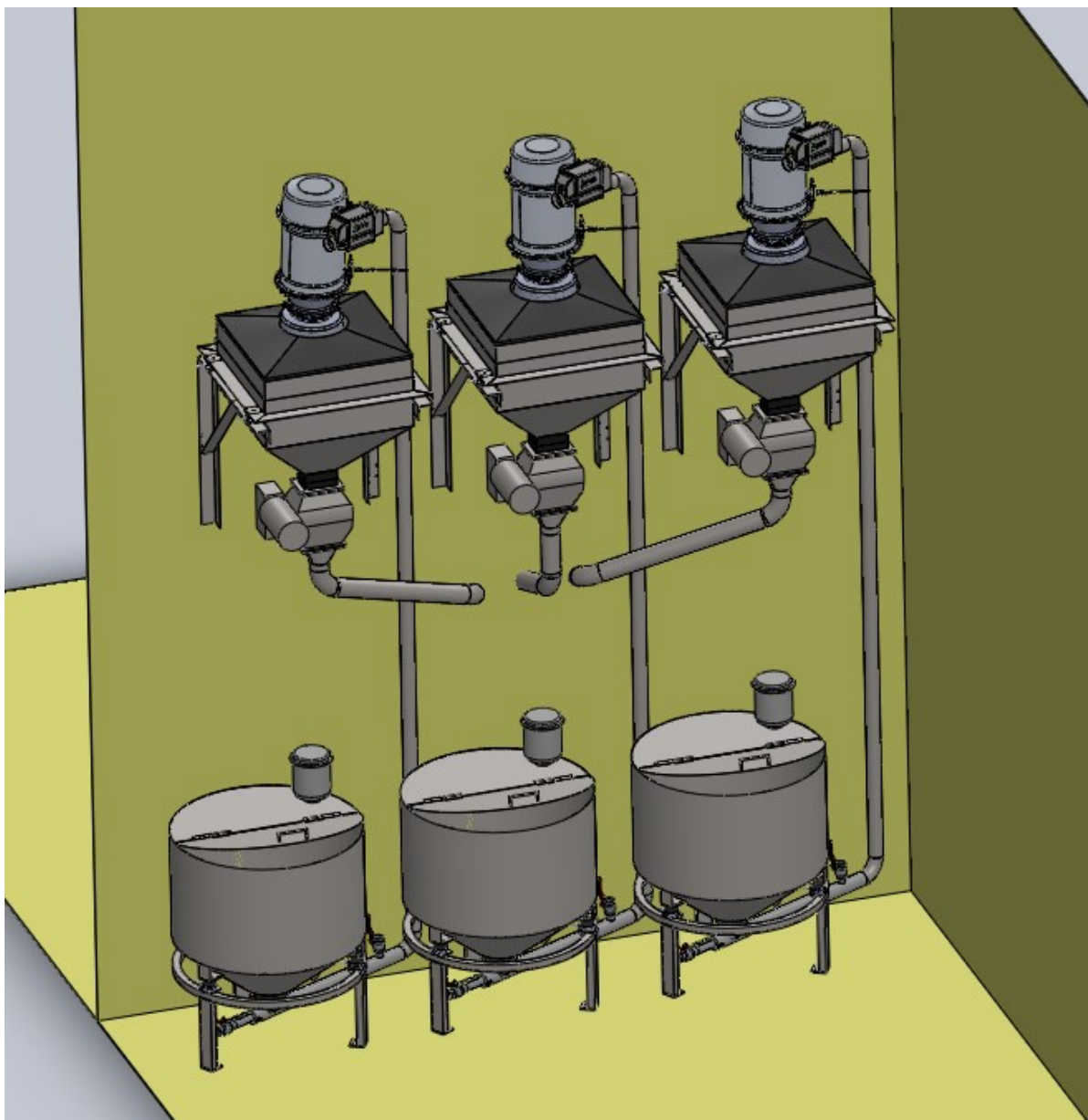


Figur 6. Rörtömningsenheten kan ses vid den vertikala sektionen.

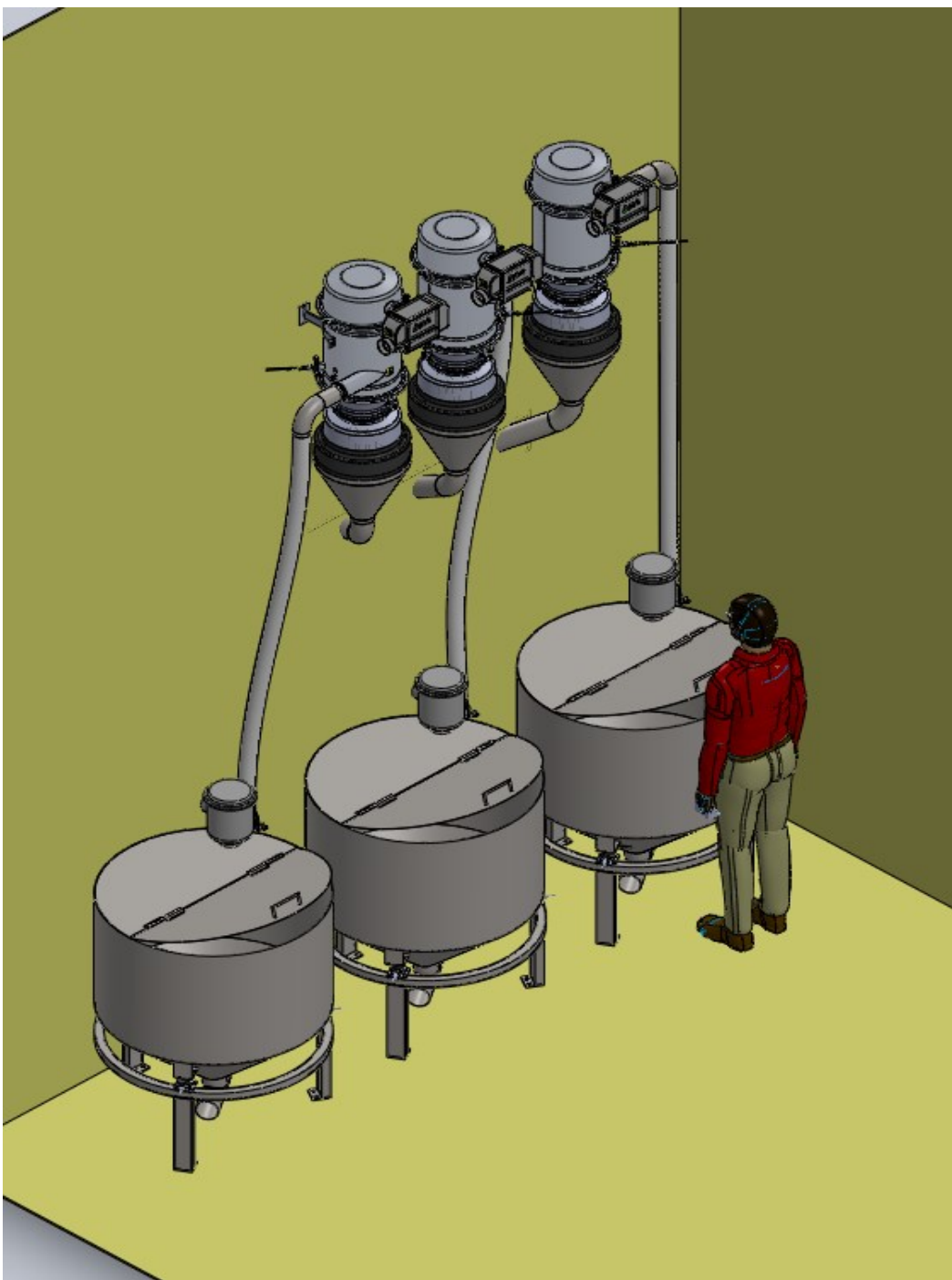
I båda lösningarna fås korrekt mängd genom att mäta vikten med hjälp av tre lastceller som behållaren sitter på. Lastcellerna är ringtorsionsceller, modell Siwarex WL280 RN-S SA av tillverkaren Siemens. De finns för många olika vikter, från 60 kg upp till 60 ton, men dessa har en max vikt på 280 kg styck.

I den första lösningen mäts vikten på mängden råvara vid den övre behållaren. Mängden måste vara aningen större än vad som egentligen krävs för en sats eftersom den korrekta doseringen sker först då råvaran matas vidare till blandningskärlet.

I den andra lösningen mäts vikten redan vid den nedre behållaren och endast korrekt mängd råvara blir transporterad vidare.



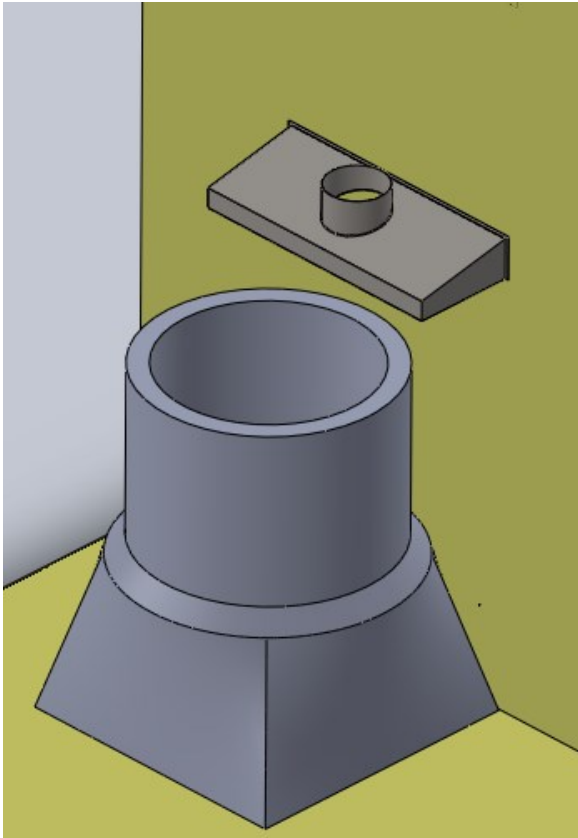
Figur 7. Den första lösningen.



Figur 8. Den andra lösningen, som inte har en övre behållare.

4.4 Utlopp

Efter att råvarorna blivit transporterade upp och rätt mängd blivit doserad, åker de ner längs med rör. Rören leder till andra sidan väggen där blandningskärlet befinner sig. Ovanför utsläppet till blandningskärlet finns ett utsug för att förhindra råvarorna från att damma upp i luften.



Figur 9. Blandningskärlet med utsuget ovanför.

5 Diskussion

Jag anser att syftet, som var att planera en lösning för påfyllningen av blandningskärlet, har uppnåtts. Som fortsättning på dessa lösningar borde undersökas hur högt massflöde kan uppnås med de olika råvarorna. Tillverkare av pneumatiska system kan ofta vara till hjälp för detta men transporten av de explosiva råvarorna måste troligtvis undersökas vid Forcit. Om transporten inte är tillräckligt snabb är den andra lösningen inte ett lämpligt alternativ.

Fördelen med lösning nummer ett är att doseringen går fort eftersom transporten redan är utförd. Den innehåller däremot flera komponenter och är därav ett dyrare alternativ.

Råvarorna som skall hanteras är sprängämnen och det var viktigt att ta i beaktande vid alla skeden av planeringen. Även ammoniumperklorat som inte ensamt är explosivt kan vid olämpliga omständigheter utföra en risk. Alla dessa råvaror har orsakat olyckor på fabriker och ibland med allvarliga konsekvenser.

6 Källförteckning

- Couper, J. R. (2012). *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. Butterworth-Heinemann.
- DEPARTMENT OF THE ARMY. (den 20 09 1984). *Military Explosives*. Washington DC, USA.
- Forcit*. (u.d.). Hämtat från Wikipedia: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Forcit>
- Industrial quick search. (u.d.). *Belt Conveyors*. Hämtat från iqsdirectory: <https://www.iqsdirectory.com/articles/conveyors/belt-conveyors.html>
- Mills, D. (2015). *Pneumatic conveying design guide*.
- Piab. (2023). *piFLOW*. Hämtat från Piab: https://www.piab.com/globalassets/documents/document-centre/brochures/gb-vc/rev02_en-gb_handout_additive-manufacturing.pdf?ts=8da91a8b0050a00
- Pilla, S. (2011). *Handbook of bioplastics and biocomposites engineering applications*. New Jersey: Wiley.
- Safran Herakles. (den 30 Oktober 2013). *Safety data sheet*.
- Sejlitz, I. (u.d.). *ExplosivämneS KUNSKAP*. Karlskoga: KCEM AB.
- Siddiqui, K. U., & Singh, M. K. (2008). *Mechanical System Design*. New Age International (P) Limited.
- Siemens. (2023). *Load Cells*. Hämtat från Siemens: <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/process-instrumentation/weight-measurement/load-cells.html>
- Ulrich, K. T., Eppinger, S. D., & Yang, M. C. (2020). *Product Design and Development*. McGraw-Hill Education.
- WAMGROUP. (2023). *Blow-Through Rotary Valves RVS*. Hämtat från WAMGROUP: <https://wamgroup.com/en-GB/corporate/Product/RVS/Blow-Through-Rotary-Valves>