

ELFOR PSO-F&U program

Bilag til projektansøgning:

**”Energieffektiv intern
materialetransport i industri”**

Oktober 2002

Indsendt af:

Energy Consulting Network ApS
Teknologisk Institut – Center for Ventilation og Miljø
Beesche Consult ApS
Dansk Energi Analyse A/S
PAM A/S, Testcenter for Pneumatisk Transport

I samarbejde med:

Færch Plast A/S
DANISCO Cultor A/S

1 PROJEKTETS TITEL

"Energieffektiv intern materialetransport i industri"

2 PROJEKTANSØGERE

Projektansvarlig virksomhed/institution:

Energy Consulting Network ApS, Østergade 23-29, DK-8000 Århus C

Projektleder: Morten Stobbe, tlf: 86 13 80 56 / direkte 44 64 30 00, e-mail mst@ecnetwork.dk

Øvrige projektdeltagere (Navn og virksomhed/institution):

Teknologisk Institut, Center for ventilation og miljø, Gregersensvej, 2630 Taastrup

Kontaktperson: Ole Ravn. e-mail: ole.ravn@teknologisk.dk, tlf: 72 20 20 00, fax: 72 20 20 19

Beesche Consult ApS, Gartnervej 4, 3060 Espergærde.

Kontakt: Ole Beesche. e-mail ole@beesche.dk, tlf: 49 13 11 63, fax: 49 13 35 50

Dansk Energi Analyse A/S, Jernbane Allé 45, 2720 Vanløse

Kontakt: Mogens Johansson. E-mail: mj@dea.dk, tlf 38 79 70 70, fax: 38 79 70 35

Poul Andersen Maskinfabrik A/S - Testcenter for pneumatisk transport, Vejlevangen 5 - 5300 Kerteminde. Kontakt: Poul Andersen, e-mail: PAM@PAM.dk, tlf: 65 32 12 41, fax: 65 32 43 53

Færch Plast A/S, Rasmus Færchsvej 1, 7500 Holstebro.

Kontakt: Henrik Tornager Andersen. e-mail: hta@faerchplast.dk, tlf. 99 10 10 10, fax: 99 10 10 99

Danisco Cultor a/s, Langkær 22, 6100 Haderslev

Kontakt: Jørgen Fredborg. e-mail: g5jof@danisco.dk, tlf. 7972 5600. fax. 79724532

3 BAGGRUND

Pneumatisk materialetransport kan defineres som transport af materiale gennem rør ved hjælp af gas (offest atmosfærisk luft) via enten overtryk eller vakuum.

Energiforbrug i forbindelse med energirigtig projektering af centrale pneumatisk (vakuum) baserede materiale transportanlæg er for nyligt blevet kortlagt og undersøgt i forbindelse med F.R.I.'s rammeprogram for energirigtig projektering. Desuden er der i samarbejde med Projekt Værktøjskassen og Teknologisk Institut nyligt afsluttet et udredningsprojekt om "Energieffektivisering i industrielle vakuumanlæg". Disse undersøgelser er de første målrettede forsøg i Danmark på at kortlægge, beskrive og analysere energiforbrug i forbindelse med vakuumanlæg og pneumatisk transport.

Teknologisk Institut har desuden i forbindelse med et igangværende projekt vedr. energioptimering af sugehoveder gennemført en række laboratorieforsøg med henblik på at

bestemme den minimale transporthastighed for forskellige partikelformige forureningstyper som forekommer indenfor træ-, plast- og metalindustrien. Eksperimenterne er fulgt op med tilsvarende CFC-beregninger.

Intern materialetransport i forbindelse med fabrikation er et stort område der i tidens løb har gennemgået en del forandringer.

En stor del af den tidlige udvikling på dette område er foregået herhjemme idet F L Smidth & Co. A/S har været pionerer på dette felt og helt tilbage til 1920 – 1930 årtiet, benyttede luft til interne transportformål og begyndte dermed en udvikling af pneumatiske transportsystemer baseret på såvel overtryk som på vakuum. I perioden frem til 1940 blev der forsøgt med mange forskellige ideer, bl.a. udviklede man mobile transportsystemer hvor man anvendte et højt driftstryk samt mobilt udstyr baseret på centrifugalprincippet og hvor man benyttede både vakuum og overtryk.

Udviklingen blev efterhånden mere ensrettet. Mange ideer blev kasseret bl.a. på grund af dårlige materialekvaliteter og efter krigen forsvandt udviklingen efterhånden helt fra Danmark og gik over til store firmaer i Tyskland, England og USA.

Intern transport under fabrikationen har udviklet sig fra ren manuel transport til mekanisk og pneumatisk transport. Valg af teknik er i nogen grad afhængig af det materiales beskaffenhed, som skal transporteres og af pladsforhold.

Man anvender også i dag mekanisk transport af pulvere og granulater. Disse transportapparater er fortrinsvis monteret horisontalt og vertikalt og er snegle, vibrationsrender, transportbånd samt kopelevatorer. Transportapparaterne har, for pulveres vedkommende, ulemper med hensyn til forurening af miljøet i fabrikken. De er desuden meget lidt fleksible at montere, da de kun forløber i rette linier og skal aflevere til næste streng lodret nedad. Endelig vil der være en del vedligeholdelse knyttet til dem.

Hvis man ser på den interne transport af materialer, som enten er pulvere eller granulater, har udviklingen bevirket at man i stadig højere grad anvender den pneumatiske transportmetode. Håndtering af disse materialer er en teknologi for sig, da det kan være vanskeligt og dyrt at håndtere dem, hvis man anvender et forkert princip.

Ved pneumatisk transport udnyttes den kendsgerning at de fleste pulvere vil opføre sig som en væske hvis de fluidiseres. Pulvere og granulater vil desuden kunne holde sig frit svævende i en luftstrøm i et rør, hvis hastigheden er tilstrækkelig høj, men materialet vil også kunne transporteres hvis det bundfældes i røret, forudsat luften har et tilstrækkelig højt tryk ved indblæsningen. I forbindelse med pneumatiske transportapparater holdes materialet i lukkede rør og dermed undgås forurening af omgivelserne. Desuden er det meget nemmere at indrette intern transport hensigtsmæssigt når man kan tillade sig at lægge rørføringen i vandrette og lodrette linier langs med væggene og skifte retning ved hjælp af en bøjning. Pneumatisk transport åbner for disse muligheder.

Transportsystemer der benytter enten en ventilator eller en kapselblæser med under- eller overtryk som luftkilde vil typisk bruge ret meget luft i forhold til den transporterede mængde og transporten vil finde sted ved en ret høj hastighed.

Dette kan være nødvendigt på grund af krav fra det sted materialet skal afleveres, men det giver anledning til stort slid på det transporterede materiale og til stort slid på de steder hvor der skiftes transportretning.

Man taler om at materialet på denne måde transporteres i "**Dilute Phase**"

Som nævnt ovenfor kan man transportere materialet når det er bundfældet i røret. Det vil sige, at det transporteres i bunker eller propper der føres frem af luft, indblæst under højt tryk. Denne teknik medfører at materialet føres frem med lav hastighed og er derfor skånsomt overfor materialet og med ringe slid. Samtidig hermed anvendes der en meget mindre luftmængde til transporten og der skal altså ved materialets aflevering udskilles en mindre luftmængde.

Man taler her om at materialet transporteres i "Dense Phase"

Til belysning af den energimæssige forskel der kan være ved anvendelse af "Dilute phase" og "Dense phase" transportteknikker, tjener efterfølgende tabel, som er opstillet af det britiske universitet "Thames Polytechnic" og som er baseret på transport af ca. 30 t/h cement over en afstand på 250 m ved hjælp af overtrykstransport. Undersøgelsen er foretaget på universitetets eget testanlæg og omregnet således at resultaterne kan sammenlignes.

Række 1 til 6 er forskellige faser i Dense phase og tilsvarende er række 7 til 12 i Dilute phase.

Phase	Række nr.	Transport rørets diameter i mm	Nødvendig luftmængde		Transporteret Materiemængde kg mat./kg luft	Energi forbrug kW	Transport lufthastighed m/s ved indløb
			Overtryk Bar	Mængde kg/s			
Dense phase	1	75	5,8	0,130	64	41	3,6
	2	87	4,5	0,153	55	43	3,9
	3	100	3,6	0,228	37	57	5,2
	4	112	3,0	0,328	25	75	6,9
	5	125	2,5	0,436	19	90	8,4
	6	137	2,1	0,534	16	100	9,6
Dilute phase	7	150	1,85	0,662	13	114	10,8
	8	175	1,45	0,778	11	115	10,9
	9	200	1,15	0,967	8,6	122	11,8
	10	225	0,95	1,210	6,9	133	12,9
	11	250	0,8	1,458	5,7	141	13,6
	12	300	0,6	1,997	4,2	155	14,6

Målinger på transport af ca. 30 t/h cement over en afstand på 250 m ved hjælp af overtrykstransport.

Det har i mange år været mest almindeligt at anvende transport i dilute phase fordi man har antaget at da dette system var billigst at anskaffe og benyttede det laveste drivtryk, så var teknikken også den mest økonomiske.

Flere undersøgelser tyder imidlertid på at der er store energimæssige fordele ved at udbrede anvendelse af dense-phase-teknikken.

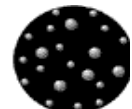
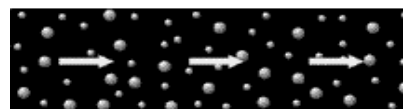
3.1 Transportformer

Man kan generelt skelne mellem to typer transport:

Dilute-phase: Er langt den mest almindelige form for pneumatisk transport. Den er karakteriseret ved at det materiale man ønsker at transportere opblandes i transportmediet, sædvanligvis luft, hvorefter en kontinuerlig transport af blandingen finder sted. Ved denne transportform vil alle partiklerne holde sig svævende i luftstrømmen under hele transporten. På tysk taler man om "Flugförderung".

Fordele:

- Billigt at anskaffe.
- Billigt at installere.
- Stor spredning i de materialer der kan transporteres.
- Pålidelige systemer.
- Fleksible systemer at installere.
- Lav indbygningshøjde.
- Nemt at skifte materiale med Vakuumsystem.
- Kontinuerlig transport.



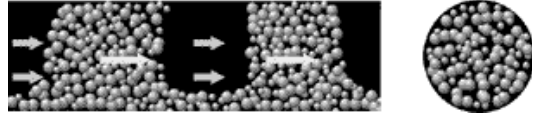
Ulempe:

- Stor slitage på rør
- Stor slidtage på det transporterede materiale
- Stort luftforbrug og dermed energi
- Kun korte transportafstande

Dense-phase: Karakteriseret ved at materialetætheden er så stor, at kun en meget lille del af materialet svæver. Disse systemer er som regel højtrykssystemer hvor materialet transporteres som "propper" (såkaldte *slugs*) eller strenge. På tysk taler man om "Propfenförderung"

Fordele:

- Mindre rørdimensioner
- Meget fleksible at installere
- Stor spredning i de materialer der kan transporteres
- Materialeblandinger med forskellig densitet transporteres
- Pålidelige systemer
- Både korte og meget lange transportafstande
- Lavt luftforbrug og dermed energi
- Minimalt slid på transportrør
- Minimalt slid på det transporterede materiale



Ulempe:

- Større anlægsinvesteringer
- Større indbygningshøjde
- Diskontinuerlig transport

Disse systemer er særdeles energiøkonomiske sammenlignet med tilsvarende i dilute phase idet de benytter sig af højt differenstryk, langsom transporthastighed og dermed små luftmængder. Disse systemer findes ikke analytisk velbeskrevet, (mangler modellering, teoribeskrivelse samt anvisninger vejledning). Systemerne volder derfor en del problemer i industrien.

Grunde til at vælge Dilute phase transport:

- Materialet skal transporteres kontinuerligt.
- Materialet skal transporteres med Vakuum, eks. ved losning fra et skib
- Materialet er meget let
- Materialet skal transporteres over meget kort afstand

Grunde til at vælge Dense phase transport:

- Materialet skal transporteres langsomt og må ikke nedbrydes
- Materialet skal transporteres over lang afstand
- Materialet skal transporteres energimæssigt bedst
- Materialet er meget slidende
- Materialet er meget tungt

3.2 Energibesparelser

Som nævnt findes der i litteraturen ikke mange henvisninger til teoretiske anvisninger, modeller eller forsøg på nøjagtig at kvantificere energiforbruget ved Dense-phase systemer. Der er dog et par stykker som bør nævnes:

Mr. M.R. Huggett: "A typical power saving in a low velocity dense phase conveyor is in the region of 15% compared to a conventional pneumatic conveyor. In some cases this may rise to 30-50%..." (Power Handling and Processing, Vol 2, no. 3 September 1990):

Thames Polytechnic, London som i artiklen: "An Economic Design Study of Pneumatic Conveying Systems" giver et sammenligningsgrundlag mellem dilute-phase og dense-phase kontinuert transport af 30 materiale per time. Dense-phase systemet krævede kun ca. 1/3 effekt i forhold til dilute-phase systemet.

Mr. Brij Nigam: "Tests of such systems [dense-phase pneumatic conveying]have shown that the specific power consumption can be reduced to 1/5 of that of a conventional system if air pressure is kept high and the transport speed is kept low."

Der er således generel enighed om at dense-phase systemer er særdeles energibesparende – buddene går fra 15% op til 80% hvilket ganske udmærket illustrerer den mangel på teoretisk beskrivelse, modellering og forsøg som hersker indenfor dette område.

Elforbruget til pneumatisk materialetransport i Danmark kan ud fra "Teknologikatalog – Energibesparelser i Erhvervslivet" (Energistyrelsen, 1995) beregnes og vurderes til at udgøre i alt ca. 440-600 GWh/år. Det vurderes at dense-phase transport kan bringes til udnyttelse således at der kan opnås besparelser på mindst 30% for både trykluft- og vakuumbaserede såvel som ventilationsbaserede systemer.

Trykluftbaseret materialetransport:	40-50 GWh/år (trykluft i alt ca. 1.100 GWh/år)
Vakuumbaseret materialetransport	100-150 GWh/år (vakuum i alt ca. 200 GWh/år)
Ventilationsbaseret materialetransport GWh/år)	300-400 GWh/år (ventilation i alt ca. 1.000 GWh/år)
Total forbrug:	ca. 520 GWh/år
Total besparelspotentiale:	ca. 150 GWh/år

Denne besparelse svarer til en miljømæssig reduktion på hhv. 115.000 t. CO₂, 500 t. SO₂ og 500 t. NO_x.

Hertil kommer desuden den afledte besparelse på filter siden idet både finansierings- og driftsøkonomien kan forbedres markant ved en reduktion i det specifikke luftforbrug. På ventilationssiden spares endvidere energi til opvarmning af erstatningsluften (typisk faktor 3-5 i forhold til elforbruget til at drive ventilationsanlægget).

Et realistisk bud som rettesnor for et landsdækkende potentiale bør rimeligvis kunne anslås til ca. 30% - dvs. ca. 150 GWh per år i Danmark.

4 FORMÅL

Opgavens formål kan på ovenstående baggrund sammenfattes til:

At udrede de generelle energimæssige forhold omkring materialetransport i forbindelse med pneumatisk baseret transport og substitutionsmuligheder i forhold til mekanisk transport

At kortlægge, analysere og udvikle industrielle pneumatiske transportsystemer baseret på dense-phase-teknikken med henblik på energieffektivisering. Herunder udarbejdes en dimensioneringsvejledning med tilhørende edb-værktøj til hvorledes, og under hvilke forhold, industrielle pneumatiske transportsystemer med energimæssig fordel kan etableres som dense-phase systemer.

5 OPGAVE DISPONERING

5.1 Fase 1. Behovsundersøgelse

Behovs- /markedsundersøgelsen forventes at udrede følgende forhold:

- Hvilke teknologier der bruges (vacuum, overtryk (trykluft, ventilator-), herunder trykniveauer, tekniske løsninger osv.)
- Hvilke materialer, der transporteres
- Elforbrug til transporten absolut og relativt (f. eks. kg materiale gange m transportlængde/kWh)
- Hvorfor pågældende løsning er valgt - og hvad der ville vælges idag
- Hvilke alternative løsninger, der findes
- Levetid af løsningen
- Hvem leverer og hvem projekterer
- Konkrete cases med beskrivelse og dokumentation ved målinger
- Sammenskrivning af rapportdel med oversigt over dagens situation, elforbrug til pneumatisk transport og cases
- Etablering af simpelt prioriteringsværktøj i forbindelse med at vælge relevant metode for materiale transport. Et sådant prioriteringsværktøj forventes bl.a. at basere sig på etablering af relevante energi/materiale nøgletal. For et givet materiale (defineret ved densitet, form, substans, mv.), og under givne fysiske forhold (afstand, pladsforhold, tidskrav, økonomi, mv.) kan der således etableres en simpel prioriteret oversigt over den mest hensigtsmæssige transportmetode.

Det forventes at der etableres kontakt til 10-15 virksomheder, samt at 3-5 udvælges som cases.

5.2 Fase 2. Forsøgsopstilling

Der opbygges en forsøgsopstilling i Teknologisk Instituts ventilationslaboratorium. Der opbygges et fleksibelt kanalsystem med tilhørende måle- og styringssystem og visualiseringsmuligheder.

Prøvestanden opbygges således at parametervariationen begrænses til følgende nødvendige og tilstrækkelige parametre: kanaldimensioner og –bestykning, lufthastigheder og transportmedier.

Desuden tilstræbes at analysere og optimere den overordnede system effektivitet (pumpe/blæser/motor) vha. af TI's prøvestand. Forsøgsopstillingen vil indgå som led i Teknologisk Institut's prøvningsfaciliteter i Center for roterende elforbrugende udstyr. Det bliver herved muligt at gennemføre ovennævnte systemoptimering ved hjælp af centerets momentprøvebænk samt pumpe- og ventilatorprøvestand .

5.3 Fase 3. Forsøg

På forsøgsopstillingen gennemføres forsøg med varierende systemudformning, styringsstrategier og transportmedier. Forud for den endelige definition af forsøgsudformningen etableres der en tæt dialog med de to virksomheder, Færch Plast A/S og DANISCO Cultor A/S mhp. at etablere så meget praktisk erfaring i denne fase som muligt.

Forsøgsrækken defineres således at der:

- kan etableres et måleteknisk grundlag for en beskrivelse og optimering af energi- og transportforhold ved dense-phase baseret transport, herunder forventes det at der testes med:
 - 2-3 variationer i kanaldimensioner
 - 2-3 variationer i kanallængder og bestykning (bøjninger, mv.)
 - 3-5 variationer i lufthastighed
 - 3 forskellige slags materiale

- kan etableres et måleteknisk grundlag for en beskrivelse af analyse af forskelle i energiforbrug ved benyttelse af hhv. dense-phase og dilute-phase pneumatisk transport under sammenlignelige forhold.

5.4 Fase 4. Matematisk model

På baggrund af måleresultaterne, samt fortolkningen af disse, opbygges en matematisk model til simulering af transport ved såvel dense-phase- som dilute-phase teknikken.

Forudsætninger for anvendelighed og usikkerhedsanalyse beskrives, og modellen tænkes i første omgang omsat til et regnearksbaseret simuleringsværktøj.

Modellen evalueres på baggrund af målinger gennemført i fase 3.

5.5 Fase 5. Afprøvning i praksis

Med henblik på at underbygge resultaterne fra laboratorieforsøgene, samt med henblik på at kalibrere modelleringsværktøjet gennemføres fuld skalaforsøg og afprøvninger på Poul Andersen Maskinfabrik A/S – Testcenter for pneumatisk transport.

Forud for fuldskala afprøvningen etableres der igen en tæt dialog med de to virksomheder, Færch Plast A/S og DANISCO Cultor A/S mhp. at etablere så realistiske og relevante tests som muligt, samt desuden for igen at inddrage som meget praktisk erfaring i denne fase som muligt.

Desuden gennemføres desuden i videst muligt omfang også fuldskalaforsøg med mekanisk transport med henblik på at sammenligne energiforbrug og eftervise substitueringmuligheder mellem den mekaniske og den pneumatiske transport.

5.6 Fase 6. Information

På basis af ovenstående forsøg, modelberegninger og øvrige erfaringer udarbejdes en vejledning for valg, dimensionering og styring af interne transportsystemer. Desuden beskrives en metode for in-situ test af transportsystemet inden endelig ibrugtagning.

Der udarbejdes en brugervenligt edb-værktøj (regnearksbaseret) til brug ved energi- og dimensioneringsovervejelser, i lighed med bl.a. de edb-værktøjer som er defineret indenfor "rammeprogrammet for energirigtig projektering".

Projektets formidles via en projektrapport, tekniske artikler i fagtidsskrifter samt ved afholdelse af en temadag på en af demovirksomhederne.

6 RESULTATER OG ANVENDELSE

Resultaterne kan konkret opregnes som:

- Behovsanalyseværktøj i forbindelse med valg af metode for materialetransport
- Dimensionerings- og styringsværktøj for energirigtig projektering af dense phase systemer
- Edb værktøj til brug i forbindelse med dimensioneringsovervejelser

Desuden kan resultaterne finde god anvendelse i følgende forbindelser:

- Opdatering af Teknisk Ståbi og udarbejdelse af nøgletal (pneumatisk transport/dense-phase har aldrig været beskrevet i denne sammenhæng!)
- Grundlag for udarbejdelse af energistandarder indenfor området vedr. pneumatisk transport både national og internationalt

- Synergieffekt for produktudvikling, idet adgang til et veldokumenteret energirigtigt projekteringsværktøj vil øge efterspørgsel på energirigtige løsninger

7 MÅLGRUPPE

Projektets primære målgruppe er miljø- og energiansvarlige samt drifts- og vedligeholdspersonale i virksomheder af typen plastindustri, levnedsmiddelindustri og papirindustri, fordi det i denne type virksomheder vurderes, at besparelspotentialet er højt og spredningseffekten stor.

Det skal dog nævnes, at de opnåede resultater af projektet kan anvendes i en række andre erhvervsgrene, fordi anvendelsen af pneumatisk materialetransport er meget udbredt.

Projektet henvender sig endvidere til rådgivende ingeniører, energikonsulenter, leverandører af vakuumanlæg og brancheforeninger.

8 TIDSPLAN

	2002				2003				2004	
Aktivitet:										
1) – Markedsundersøgelse/ udredning										
2) - Forsøgsopstilling										
3) - Forsøg										
4) - Matematisk Model										
5) - Afprøvning i praksis										
6) - Information										

Projektstart: 1 december 2002
 Projektafslutning 31 marts 2004

9 ORGANISATION OG BEMANDING AF PROJEKTET

Følgende gruppe er nedsat for udarbejdelse af projektet

Projektansvar	Navn	Uddannelse	Daglig funktion/Firma	Projekt-relevant erfaring
Projektansvarlig	Morten Stobbe	Civilingeniør	Partner/ ECN	Projektledelse Energiteknik, udarbejdelse af energirigtigprojekterings vejledning for vakuumanlæg, vakuumpneumatik
Teknisk Projektleder	Hans Olsen	Ingeniør	Projektleder/TI	Projektledelse Energiteknik, procesmeknik, forsøgsopstilling, pneumatisk transport, vakuumpneumatik
Projektgruppe	Ole Beesche	Ingeniør	Ejer/ Beesche Consult ApS	Edb-simulering af vakuumpneumatiksystemer Konstruktion og beregning af pneumatisk transportsystemer
	Mogens Johansson	Ingeniør	Ejer/Dansk Energi Analyse A/S	Analyse og udredning af energiforbrug ved mekanisk materialetransport.
	Sandie Nielsen	Ingeniør	Projektingeniør/TI	Forsøgsopstilling Måleteknik og måleopsamlinger
	Leo Munk	Ingeniør Økonom	Partner/ECN	Energiteknik Økonomisk analyse
	Poul Andersen	Ingeniør	Direktør/ PAM A/S	Fabrikation af pneumatisk transportsystemer Fuld skala forsøg med pneumatisk transportanlæg
	Jørgen Fredborg		Driftsleder/ DANISCO Cultor A/S	Energiteknik, design, drift og vedligehold af pneumatisk materialetransportanlæg
	Henrik Tornager	Maskinmester	Energiansvarlig/ Færch Plast A/S	Energiteknik, design, drift og vedligehold af pneumatisk materialetransportanlæg