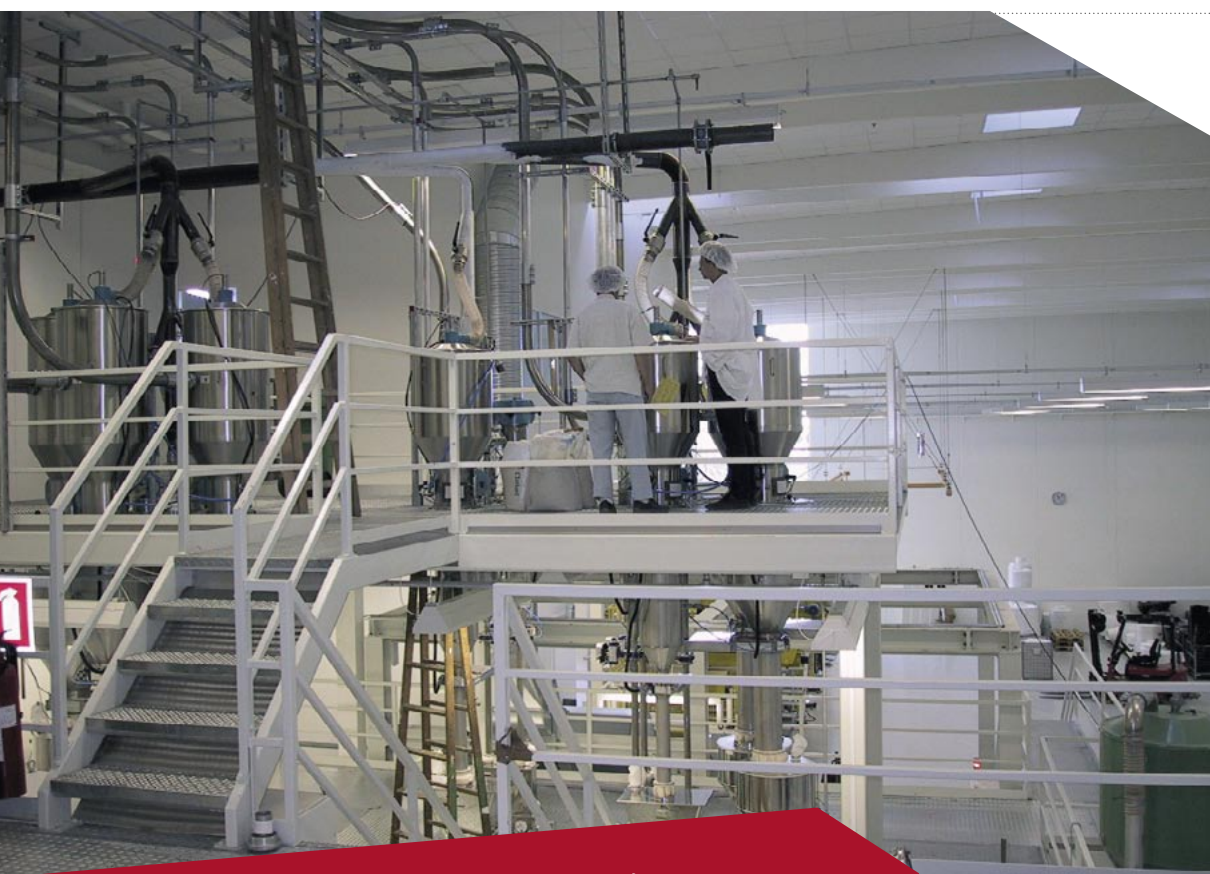




PSO 2003 - FORSKNING & UDVIKLING I EFFEKTIV ENERGIANVENDELSE

# Energieffektiv intern materialetransport i industri



Rigtige valg og dimensionering  
gør materialetransport langt mere  
energieffektiv



danskenergi | net

ELFORSK

## RESUMÉ:

I projektet er der arbejdet med energieffektivisering af pneumatisk materialetransport, dels gennem optimering af driftsparametre for dilute-phase transport ved lavt tryk; dels ved anvendelse af dense-phase transport ved højere tryk, som i en række anvendelser er et økonomisk væsentligt bedre alternativ.

**Dilute-phase:** Er 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.

**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".

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

En lang række forsøg er gennemført i en testopstilling hos Teknologisk Institut og på et dertil indrettet pneumatisk transportanlæg hos Poul Andersens Maskinfabrik, hvor både lavtrykstransport og transport ved højt tryk kunne testes. Der er udviklet et beregningsprogram til beregning af dense-phase transport, og forsøgsresultater er anvendt til at fastlægge væsentlige parametre i beregningsmodellen.

Vælges den mest hensigtsmæssige transportform med optimerede driftsparametre, kan der opnås betydelige besparelser. For at kunne udnytte besparelsepotentialet fuldt ud, er det nødvendigt at udbygge beregningsprogrammet til at omfatte alle former for pneumatisk transport.



## MÅLSÆTNING:

Projektet skulle afdække de generelle energimæssige forhold omkring pneumatisk baseret materialetransport og muligheder for at substituere mekanisk transport, samt at analysere og udvikle energieffektive industrielle pneumatiske transportsystemer. Gennem forsøgsopstillinger og målinger på disse skulle der tilvejebringes en dokumentation for forventede energibesparelser ved anvendelse af dense-phase systemer. Endvidere sigtede projektet på at opbygge en matematisk model til simulering af pneumatisk transport for at udvikle et beregningsværktøj, som kan vejlede ved dimensionering af dense-phase systemer til industriel pneumatisk transport.

**RIGTIGT VALG AF ANLÆG, DIMENSIONERING OG DRIFTSFORM SPARER 30-70 % AF ELFORBRUGET I INDUSTRIEL MATERIALETRANSPORT**

## PROCESSEN:

Projektet blev gennemført i et samarbejde mellem Energy Consulting Network (koordinator); Teknologisk Institut (teknisk projektleder); Beesche Consult ApS (pneumatisk transport); Poul Andersens Maskinfabrik, der som leverandør af pneumatiske transportapparater råder over et fuldskala testcenter, samt Danisco og Færch Plast som brugere af pneumatisk transport og som leverandører af testmaterialer.

Der er blevet gennemført en række testkørsler med pulvermaterialer og med granulat. Alle tests er gennemført med lavtrykstransport på den korte afstand og med højtrykstransport på 3 forskellige transportafstande. Der er anvendt 3 forskellige luftmængder for at variere transporthastigheden og dermed søge at minimere energiforbruget.

Luftrykket blev registreret før og lige efter transportapparaterne samt ved testmaterialets returnering. Desuden blev den anvendte luftmængde, materialets sluthastighed, samt varigheden i sekunder for en komplet transport registreret.

Alle data fra højtrykstransporten blev optegnet i kurveform således at man kan se variationerne i både luftrykket de forskellige steder og variationerne i materialeflowet ud af beholderen. Disse data blev bearbejdet til et beregningsprogram, som foreløbig kun beregner højtrykstransport, men som bør udvides til også at omfatte lavtryks- og vakuumtransport.

## RESULTATER:

De forsøg, der er gennemført under projektet, viser, at der kan opnås betydelige elbesparelser til industriel materialetransport gennem hensigtsmæssige transportanlæg, dimensionering og driftsform.

Lufttilførsel i dilute-phase anlæg med lavt tryk ( $dp < 1,0$  bar) bør reguleres af frekvensomformer, for at kunne øge den transporterede mængde materiale pr.  $m^3$  luft. Dette giver typisk elbesparelser på 30-50 %.

For materialer, der egner sig til det, og hvor pladsforhold og processen tillader det, bør der anvendes dense-phase transport baseret på højt tryk

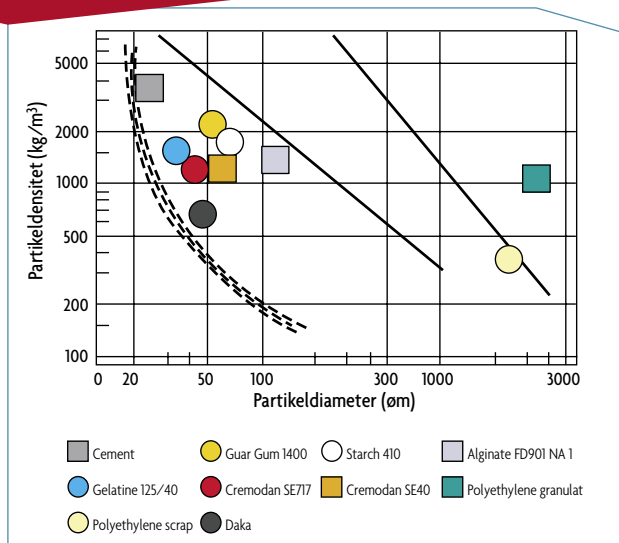
( $dp > 2,0$  bar). Det giver typisk elbesparelser på 50-70 %. Skemaet viser besparelser ved at ændre dilute-phase til dense-phase til transport af Polyethylene granulat og Alginate.

Målinger hos Teknologisk Institut og på testanlægget hos Poul Andersens Maskinfabrik har vist, at meget forskellige materialer kan transporteres pneumatisk i dense-phase, og den optimale transport hastighed er identificeret gennem målinger.

Projektgruppen har på dette grundlag udviklet beregningsprogrammet Dense Phase Calc, der kan downloades fra projektets særlige informationsområde på [www.elforsk.dk](http://www.elforsk.dk) under "Afsluttede projekter" 334-032. Programmet gør det muligt at finde sammenhørende værdier i dense-phase systemer for transportrørets diameter samt den tilhørende luftmængde og tryk, når relevante materialedata og den ønskede transportlængde kendes. Endvidere beregner programmet energiforbruget for den valgte kombination af disse parametre. Derigennem kan brugeren minimere elforbruget ved at ændre på parametrene.

Målingerne under projektets forskellige forsøgsopstillinger viser, at dense-phase transport er ca. 30 % billigere end dilute-phase, selvom dense-phase anlæg kræver betydeligt større investeringer end dilute-phase anlæg.

FIGUR NR. 1



Materiale	Kapacitet t/h	Afstand m	Rør-diameter mm indv.	"Densitet" Kg mat/kg luft	Trykfald bar	Energiforbrug kWh/ton
<b>Polyethylene granulat</b>						
Dilute-phase	10	117	70,3	21,0	0,65	0,770
Dense-phase	10	117	70,3	58,1	2,30	0,242
<b>Energibesparelse</b>						<b>68,6 %</b>
<b>Alginate</b>						
Dilute-phase	4,4	117	70,3	8,5	0,80	1,490
Dense-phase	4,4	117	70,3	26,0	2,10	0,422
<b>Energibesparelse</b>						<b>71,7 %</b>

Tabel 1: Eksempel på energibesparelser for to materialetyper ved at gå fra dilute-phase til dense-phase.

	Dilute-phase Decentralt anlæg (2,95 m³/time)	Dilute-phase Central anlæg (2,95 m³/time)	Dense-phase (30 m³/time)	Transportbånd (10 m³/time)
Investering (kroner)	250.000,00	155.000,00	4.000.000,00	500.000,00
Drift og vedligehold per år (kroner)	50.000,00	10.000,00	75.000,00	100.000,00
Energjudgift per år (kroner)	200.812,50	63.112,50	84.150,00	19.125,00
Drifttimer per år	8500	8500	8500	8500
Elpris (kr/kWh)	0,45	0,45	0,45	0,45
Installeret effekt (kW)	52,5	16,5	22	5
Antal år	7	7	7	7
Total (kroner)	2.005.687,50	666.787,50	5.114.050,00	1.333.875,00
Kapacitet (ton/år)	24.990	24.990	255.000	85000
Transporteret mængde ton	174.930	174.930	1.785.000	595.000
Afstand (meter)	50	50	50	50
Omkostning per ton (kr/ton)	11,47	3,81	2,87	2,24

Tabel 2: Økonomisk sammenligning mellem fire typer af materialetransportanlæg

## KONKLUSION:

For at kunne vælge den mest hensigtsmæssige transportform og dimensionering af anlæg bruges det såkaldte Geldarts diagram (i figur 1 vist med flere forskellige materialer). Materialets middelpartikeldiameter og massefylde skal være kendt, for at materialet kan placeres i diagrammet. Geldarts diagram opdeles i fire zoner, afhængigt af materialets struktur.

- **Zone C:** materialer med en meget finkornet struktur, der pakker tæt sammen med en meget lav luftgennemtrængelighed.
- **Zone A:** materialer med en lidt grovere struktur og lidt højere gennemtrængelighed for luft.
- **Zone B:** materialer med en forholdsvis højere luftgennemtrængelighed end i C og A.
- **Zone D:** materialer med størst gennemtrængelighed.

Den mest energiforbrugende transportform dilute phase kan benyttes for materialer fra alle zoner, mens dense phase ikke kan transportere materialer fra zone C.

Dilute-phase med lavt drivtryk har følgende karakteristika: Store rør, stort filterarrangement, stor slidtage, høj hastighed og støjniveau samt højt luftforbrug. Bruges ved korte afstande med mindre indbygningshøjde. Anskaffelsespris er lavere, mens energiforbrug er højere.

Til dense-phase med højt drivtryk bruges små rør med lille filterarrangement. Hastighed, støjniveau og luftforbrug er lavere. Eget til længere afstand og forudsætter større indbygningshøjde. Det øger anskaffelsesprisen. Til gengæld er der mindre slidtage og et lavere energiforbrug.

Foruden hensyn til materialets egenskaber skal transportformen prioriteres ud fra lokale indbygningsforhold, og om materialet skal transporteres kontinuerligt eller kan tåle afbrydelser.



## HVAD KAN PROJEKTET BRUGES TIL?

Beregningsværktøjet kan anvendes af rådgivere, ligesom brugere kan få et førstehåndskendskab til energiøkonomiske metoder til materialetransport. Figur 2 illustrerer analyse- og beslutningsprocessen i valg af transportform – jo højere koncentration jo mere energibesparende er transportformen.

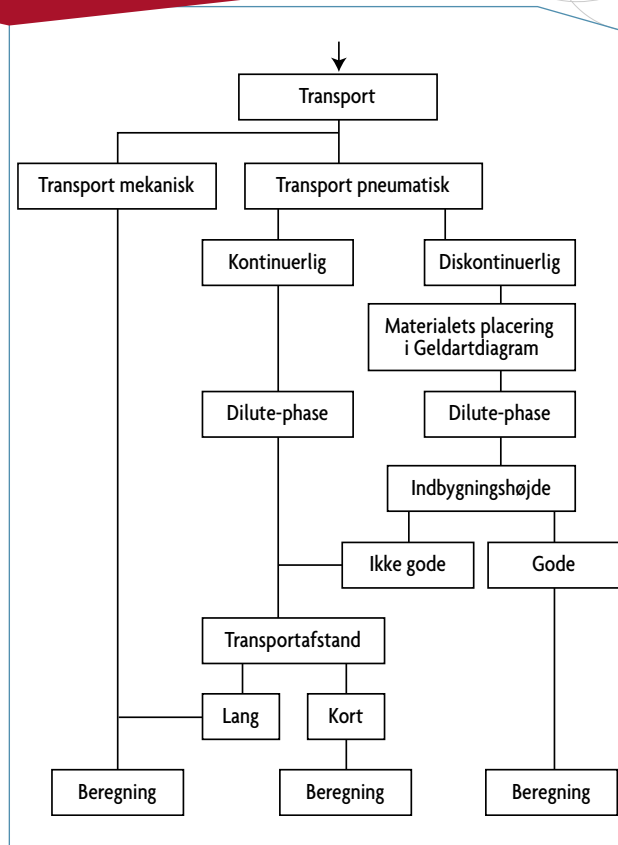
Valg af mekanisk transport afføder ikke større overvejelser, medens de pneumatiske transportmåder forudsætter flere overvejelser.

Derefter tages stilling til indbygningshøjde, som er afgørende i valget mellem lavtrykstransport og højtrykstransport.

Til sidst kan transportanlægget dimensioneres i Dense Phase Calc. Indtil videre kan værktøjet kun beregne dense-phase transport med én rørdiameter og en maksimal transportlængde på 300 m.

**BEREGNINGSPROGRAMMET  
DENSE PHASE CALC KAN DOWNLOADES  
FRA WWW.ELFORSK.DK**

FIGUR NR. 2



Beslutningsprocessen i valg af transportform.

## EFFEKT:

Bedre regulering af lavtryks-baserede dilute-phase anlæg giver typiske besparelser på 30-50 % af elforbruget, mens substitution med højtryks-baserede dense-phase anlæg kan øge besparelsen til 50-70 % af elforbruget.

Projektets resultater giver derfor grund til at tro, at det er realistisk at spare henimod 30 % af det samlede elforbrug i Danmark til intern industriel materialetransport. Besparelsen vil andrage ca. 30 GWh/år af det anslåede samlede forbrug på 100 GWh/år.

Forudsætningen for at opnå denne effekt er:

- At resultaterne spredes til rådgivere og brugere.
- At det nye beregningsprogram udbygges til at omfatte alle former for pneumatisk transport, så der skabes et værktøj, som rådgivere og købere kan bruge til at evaluere og dimensionere transport af mange forskellige materialer.

**WWW.ELFORSK.DK**

### KONTAKTPERSON:

Nick Bjørn Andersen  
Energy Consulting Network  
Søren Frichsvej 42 D, st.  
8230 Åbyhøj

E-mail: [nba@ecnetwork.dk](mailto:nba@ecnetwork.dk)  
Telefon: 86 13 80 56  
Web: [www.ecnetwork.dk](http://www.ecnetwork.dk)

### PROJEKT:

Titel: Energieffektiv intern  
materialetransport i industri  
Nr.: 334-032  
PSO Program 2003  
Budget: 2.242.050 kr., heraf 1.303.050 kr. i  
tilskud fra ELFOR  
Tidsplan: 01.03.2003-31.03.2005

### PROGRAMKOORDINATOR:

Forskningskoordinator Jørn Borup Jensen  
Dansk Energi Net  
Rosenørns Allé 9  
1970 Frederiksberg C

E-mail: [jbj@danskenergi.dk](mailto:jbj@danskenergi.dk)  
Telefon: 35 300 934  
[www.elforsk.dk](http://www.elforsk.dk)