

## Sammendrag:

# Virkningsberegning av tiltak for raskere og mer pålitelig godstransport – en ny metode

Dette er sluttrapporten i prosjektet ”Verdien av raskere og mer pålitelig godstransport”, som TØI gjennomførte under det svenske Vägverkets FUD-program. Målet med prosjektet var å bringe oss et steg videre mot pålitelige kalkyleverdier for tid og forsinkelse i godstransporten.

Tilfeldige hendelser av ulikt slag medfører at transporttida er usikker. Med uttrykkene ”mer pålitelig godstransport” og ”reduisert variabilitet i transporttida” mener vi reduksjon av variansen eller standardavviket til transporttida. Gjennomgående bruker vi standardavviket til transporttida som mål på påliteligheten, både når det gjelder å måle og verdsette pålitelighet.

## Verdsetting

Verdsetting vil si å finne enhetsverdier for tidsbesparelser for godstransporten og for reduksjon i standardavviket til transporttida. Vi kaller enhetsverdiene for tidsverdien og pålitelighetsverdien. De vil være svært forskjellige for ulike bedrifter og vareslag. I første omgang ser vi på hva som bestemmer enhetsverdiene for den enkelte varestrøm i den enkelte bedrift.

Primært ser vi på lagerordrestyrt anskaffelse, dvs. anskaffelser og inntransport til en bedrift som holder seg med et lager på utsalgsstedet. En reduksjon av standardavviket til transporttida vil gi bedriften mulighet til å redusere størrelsen på sikkerhetslageret uten å redusere leveringsdyktigheten, eller å forbedre leveringsdyktigheten uten å øke sikkerhetslageret. Ved å formulere en lagerstyringsmodell med usikker etterspørsel og usikker ledetid og en mest mulig realistisk gjengivelse av transportkostnadene, og studere hvordan de minimale logistikkostnadene endrer seg med transportdistanse og forventning og standardavvik til transporttida, kan vi finne verdien pr. år for bedriften av tiltak som endrer noen av disse størrelsene. Virkningen pr. tur finnes ved å dele på antall turer. Summing over bedriftene som berøres av tiltaket vil da gi oss den samfunnsøkonomiske virkningen pr. år.

Tidsverdien består av tre ledd. Første ledd er de forventede tidsavhengige transportkostnadene, andre ledd er den tidsavhengige verdiforringelsen og kostnaden ved å binde opp kapital i varer under transport, og tredje ledd er den marginale økningen i usikkerhetskostnadene når transporttida øker med en time. Usikkerhetskostnadene er kostnaden til sikkerhetslager og kostnaden ved å ikke kunne levere i tide.

Størrelsen på det tredje leddet i tidsverdien og størrelsen på pålitelighetsverdien kan vurderes i forhold til det andre leddet i tidsverdien. Talleksempler antyder at verdien av å redusere standardavviket til transporttida med en time vil kunne være rundt 1 til 8 ganger kostnaden ved å ha varene under transport i en time, med de høyeste verdiene når ledetida er som mest usikker, og de laveste verdiene når etterspørselen er usikker og ledetida er

---

Rapporten kan bestilles fra:

Transportøkonomisk institutt, Postboks 6110 Etterstad, 0602 Oslo

Telefon: 22 57 38 00 Telefax: 22 57 02 90

relativt sikker, og med høye relative verdier når godset har lav verdi. Eksempelene antyder også at tillegget til tidsverdien på grunn av usikkerhet er relativt moderat.

Ett slikt eksempel er vist i tabell S1 og S2. Her er  $\mu_D$  forventet etterspørsel pr. time,  $\sigma_D$  standardavviket til etterspørsel pr. time,  $\mu_T$  forventet ledetida (tida fra bestilling til levering) og  $\sigma_T$  standardavviket til ledetida. Usikkerheten i etterspørselen øker altså når vi går mot høyre i tabellene, og usikkerheten om ledetida når vi går nedover i tabellene. Eksemplet gjelder en varestrøm på 1000 tonn pr. år som fraktes inn til utsalgsstedet over en avstand av 300 kilometer i sendinger på rundt 32 tonn. Lagerkostnad pr tonn og år er 10 000 kroner. Kostnaden ved å ha sendingen under transport i en time (de tidsavhengige transportkostnadene ikke medregnet) er rundt kroner 32.50.

Tabell S1. Pålitelighetsverdien VOR (verdien av å redusere standardavviket i transporttida med en time) delt på tidskostnaden ved å ha varer under transport. Ett eksempel.

	$\sigma_D = 0.0\mu_D$	$\sigma_D = 0.5\mu_D$	$\sigma_D = 1.0\mu_D$	$\sigma_D = 2.0\mu_D$
$\sigma_T = 0.0\mu_T$	0	0	0	0
$\sigma_T = 0.33\mu_T$	4.19	3.81	3.12	2.14
$\sigma_T = 0.67\mu_T$	4.90	4.76	4.43	3.61
$\sigma_T = 1.0\mu_T$	5.30	5.23	5.05	4.49

TØI-rapport 825/2006

Tabell S2. Økningen i tidsverdien ut over tidsverdien i det sikre tilfellet, delt på tidskostnaden ved å ha varer under transport. Samme eksempel som i S1.

	$\sigma_D = 0.0\mu_D$	$\sigma_D = 0.5\mu_D$	$\sigma_D = 1.0\mu_D$	$\sigma_D = 2.0\mu_D$
$\sigma_T = 0.0\mu_T$	0	0.17	0.40	0.92
$\sigma_T = 0.33\mu_T$	0.02	0.11	0.33	0.85
$\sigma_T = 0.67\mu_T$	0.04	0.10	0.25	0.73
$\sigma_T = 1.0\mu_T$	0.05	0.10	0.22	0.63

TØI-rapport 825/2006

I det samme eksemplet kan vi se hvordan det optimale sikkerhetslageret utvikler seg med usikkerheten. Dette er gjengitt i tabell S3.

Tabell S3. Det optimale sikkerhetslageret i tonn. Samme eksempel som i S1.

	$\sigma_D = 0.0\mu_D$	$\sigma_D = 0.5\mu_D$	$\sigma_D = 1.0\mu_D$	$\sigma_D = 2.0\mu_D$
$\sigma_T = 0.0\mu_T$	0	0.07	0.51	1.54
$\sigma_T = 0.33\mu_T$	0.46	0.57	0.87	2.25
$\sigma_T = 0.67\mu_T$	1.42	1.49	1.70	2.42
$\sigma_T = 1.0\mu_T$	2.53	2.58	2.74	3.32

TØI-rapport 825/2006

Vi ser at mens sikkerhetslageret øker med usikkerheten i begge dimensjoner (tabell S3), har verdien av mer pålitelig transport (tabell S1) en annen utvikling. Mer pålitelig transport betyr mindre jo mer usikker etterspørselen er.

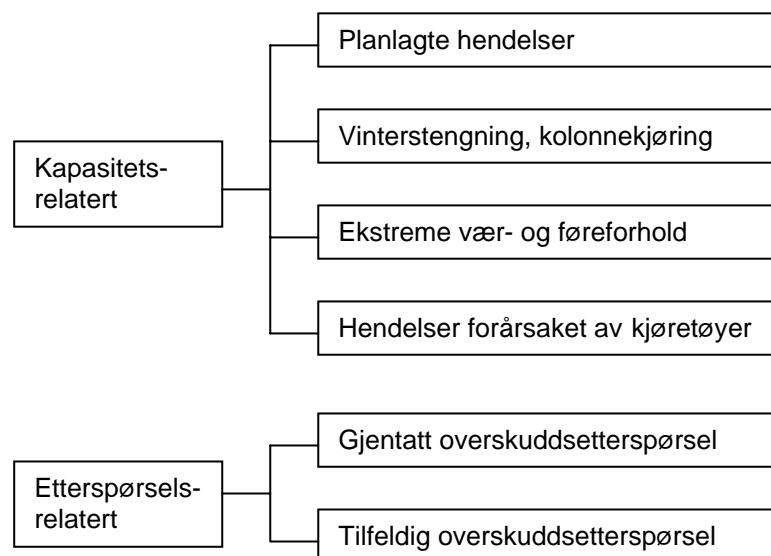
Dette eksemplet er beregnet med utgangspunkt i et dataprogram som er tilgjengelig sammen med rapporten på TØIs hjemmeside. I vedlegg 1 og 2 er den underliggende modellen dokumentert.

I tillegg til å behandle lagerordrestyrt anskaffelse behandler vi også kundeordrestyrt anskaffelse, dvs. anskaffelse og inntransport som først utløses når kunden har plassert en bestilling. Vi antar at det er avtalt et leveringstidspunkt. I dette tilfellet oppstår det kostnader først når leveringstidspunktet overskrides. Disse forsinkelseskostnadene kommer da i stedet for kostnadene ved å holde sikkerhetslager og kostnadene som oppstår når et kjøp ikke kan effektueres fra lager.

## Virkingen av tiltak

Det må være samsvar mellom måten effektene verdsettes på (verdien av en marginal endring av standardavviket) og måten de måles på (for eksempel reduksjon i standardavviket til transporttida, målt i timer). Siste del av rapporten handler om hendelser som medfører forsinkelser og dermed øker standardavviket i transporttida, og hvordan effekten av tiltak som reduserer omfanget og konsekvensene av slike hendelser kan måles. Målet er å utvikle eksplisitte formler for transporttidens forventning og varians (eller standardavvik) når transporten er påvirket av hendelser av forskjellig slag. Det må framgå av formlene hvordan ulike tiltak påvirker sannsynlighetsfordelingen, ellers vil virkingen lett bli anslått på en subjektiv måte av de som skal utrede tiltakene.

Vi skiller mellom kapasitetsrelaterte og etterspørselsrelaterte forsinkelser som vist i figur 1.



TØI-rapport 825/2006

Figur 1: Typer av forsinkelser

Å finne virkingen av tiltak i hvert av disse tilfellene er naturligvis et stort og komplisert emne, som langt fra er uttømt i denne rapporten. Primært behandler vi de enkleste tilfellene: biltransport langs hovedveg som er utsatt for kortvarige hendelser med mindre alvorlige konsekvenser når det gjelder trafikkflyt og framkommelighet. Vår modell for

forventningen og standardavviket til transporttida på en slik strekning kombinerer virkningen av hendelser i et punkt på strekningen (som ulykker) med virkningen av hendelser som berører kjøreforholdene på hele strekningen (som snøfall, vegarbeid). I et talleksempel har vi vist hvordan et tiltak som reduserer opprydningstida etter en ulykke med 25 %, reduserer forventet forsinkelse pr. kilometer med 44 %, og mer enn halverer variansen til forsinkelsen pr. kilometer. I et annet eksempel finner vi at et tiltak som halverer sannsynligheten for at kjørefarten må reduseres fra 80 til 60 km/t (for eksempel ved bedre snørydding), reduserer forventet forsinkelse på en ti kilometers strekning med rundt 3 %. Dette er naturligvis bare regneeksempler.

Vi drøfter også metoder for å finne forventning og standardavvik i mer kompliserte vegnettverk som er utsatt for stokastiske forstyrrelser. Utvidelsen til andre transportmåter enn bil og til transporter som krever omlasting er også drøftet. Det har ikke vært mulig å komme langt på dette området i dette prosjektet.

## **Databehov**

Vår metode for virkningsberegning av tiltak for godstransporten krever data som ikke rutinemessig samles inn eller oppdateres av myndighetene på samferdselsområdet i dag. På verdsettingssida gjelder det data på bedriftsnivå om de enkelte varestrømmer inn og ut av bedriften. Utvalgsundersøkelser må gjennomføres for å etablere slike data. Når det gjelder effektene av tiltak, kreves det detaljerte data om typiske hendelser som forårsaker forsinkelser. Slike data kan blant annet framskaffes ved bedre rutinemessig rapportering fra myndighetene som overvåker trafikken. Det har ikke vært en del av prosjektet å etablere tilstrekkelige data til å implementere vår metode, men vi har kartlagt hvilke data som trenges, hvilke som finns, og hvordan manglende data kan framskaffes. Dersom myndighetene i framtida skal kunne redusere usikkerheten i transporten og prioritere tiltak som forbedrer påliteligheten, finns det etter vårt skjønn ingen alternativer til å samle inn bedre data på dette området. Det gjelder langt på veg uansett hvilken metode man vil bruke i framtida til å verdsette slike forbedringer.

Modellene for verdsetting er etter vårt skjønn mindre eksperimentpreget enn modellene for virkninger. Vi kan ikke anta at beregninger av virkninger med våre formler uten videre vil samsvare med erfaringsdata om forsinkelser og transporttidsvariabilitet. Selv etter at det er framskaffet gode data til formlene, vil det være et behov for å validere og justere dem. Det trengs derfor mer kunnskap, ikke bare om data til formlene, men også om den empirisk observerbare usikkerheten i transporttida for gods.