ISSN 0283-4421

PB98-170145

TRANSPORTFÖRPACKNINGAR - ANALYS AV SKADEFRAM-KALLANDE HANTERING

Håkan Torstensson
Patrik Arvidsson

Februari 1998

REPRODUCED BY: NTIS
U.S. Department of Commerce
National Technical Information Service
Springfield, Virginia 22161

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Författare/Author
Håkan Torstensson
Patrik Arvidsson

Serie/Series
Meddelande

Nr/No
100

Titel/Title
Transportförpackningar - Analys av skadeframkallande hantering

ISBN
ISSN 0283-4421

Publiceringsdatum/Date of publishing
Februari 1998

Uppdragsgivare/Commissioned by
Kommunikationsforskningsberedningen
Stockholm

Utgivare/Publisher
Chalmers Tekniska Högskola
Inst. för Transportteknik

Referat (syfte, metod, resultat)
Föreliggande rapport avser att ge en översikt över kunskapsläget vad gäller transportpåkänningar, särskilt med avseende på transport av farligt gods. Vissa större projekt som precis är avslutade (såsom nationella tyska projekt om förpackningar och tankar för farligt gods) eller som nu skall starta (såsom de sameuropeiska projekten SRETS och CHEMPACK) tillhandahåller information som kan bearbetas vidare. I projektet har ytterligare information insamlats och analyserats. Däri ingår en enkätundersökning om transportsektorns synpunkter och erfarenheter beträffande godsskador, kompletterande med intervjuer. Mätningar har utförts för att ge en bild av vilka påkänningsnivåer och problemområden som förekommer i dagens transportkedjor. Slutligen redovisas en analys av befintliga provningsmetoder och underlag för framtida arbete (till exempel ett statistiskt betraktelsesätt) framhålls.

Abstract (aim, method, results)
The report intends to give a brief overview of the state of knowledge and research in the field of transportation stresses with particular focus on the transport of dangerous goods. Some major projects, recently completed (like national German projects on testing of packaging and tanks for dangerous goods) or just being started (like the joint European projects SRETS and CHEMPACK) provide information to be further developed. Within the project additional information has been collected and analysed. This includes a questionnaire regarding the transportation sector's views and experience on goods damage, supplemented by some interviews. Measurements have also been carried out to get a picture of what stress levels and problem areas that exist in today's transportation chains. Finally an analysis of existing test methods is presented and some tools for further work (like a statistical approach) are highlighted.

ISSN 0283-4421

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Transportteknik

CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
Department of Transportation and Logistics

TRANSPORTFÖRPACKNINGAR - ANALYS AV SKADEFRAMKALLANDE HANTERING

av

Håkan Torstensson
Patrik Arvidsson

Göteborg, Februari 1998

FÖRORD

Föreliggande projekt har utförts vid SP som en separat del av det ramprogram för farligt gods som i huvudsak genomförs vid Chalmers Tekniska Högskola. Programmet har stöd från Räddningsverket, Stiftelsen Svenska Sjömanshus, Sjöfartsverket och Kommunikationsforskningsberedningen (KFB), där KFB står för finansieringen av just föreliggande del. Uppläggning och resultat har avhandlats i programmets styrgrupp, sammansatt av representanter för de tre förstnämnda intressenterna, SP och Chalmers. Projektet har också haft assistans av ett examensarbete vid Högskolan i Borås, utfört av Mariam Rezaei och Niloufar Nesari. Till alla berörda riktas ett tack för konstruktiv medverkan.

Författarna

SAMMANFATTNING

Rapporten ger en översikt över kunskapsget vad gäller transportpåkänningar, med referens till och kortfattad analys till nyligen avslutade projekt om förpackningar och transporttankar för farligt gods. Dessa har bland annat identifierat typiska transportkedjor och påkänningsnivåer som återges kortfattat här. En bakgrund ges också av det CEEES-seminarium i ämnet som hölls i Bryssel 1996. Det föreligger stort behov av fortsatt arbete, vilket bland annat resulterat i två Europaprojekt, SRETS och CHEMPACK, vilka nu startas, med målet att få fram adekvata provningsprogram för i första hand förpackningar.

En enkät till transportbranschen visas också att transportskador är ett problem för många. Till en del är skadorna branschrelaterade, men i fallande ordning anges orsaken vara mekanisk påverkan, klimatmässig påverkan, stöld och vattenskada, eller efter faktorer specificerade för de två första, stöt, kompression, fukt, vibration och temperatur. Enskilda företags (försäkringsbolags, transportföretags och tillverkningsföretags) erfarenheter redovisas också. Ett avsnitt berör mätning och registrering av transportpåkänningar och ett antal fältförsök har genomförts, vilka visar entydigt att stötpåkänningar vid lastning/omlastning uppnår oacceptabelt höga nivåer. Exempelvis registrerades stötpulser på nästan 80 g med en varaktighet mellan 10 och 20 ms vid några tillfällen. Nivån är som förut känt relaterad till kollits vikt.

Några frågeställningar kring nuvarande provningsmetoder för kvalificering av förpackningar för farligt gods (UN-certifiering) analyseras. Bland annat berörs möjligheter att utvidga giltigheten av en typprovning till mindre ändringar av objektet. Man kan kritisera urvalsmetoden vid sådan typprovning för att inte vara tillräckligt representativ, vilket ger svårbedömbara resultat särskilt vid omprovning. Det kan också hävdas att metoden för tryckprovning inte svarar mot de verkliga tryckpåkänningar den påstås representera.

Sammanfattningsvis visar föreliggande undersökning emellertid inte på någon uttalad brist på tekniska eller föreskriftsmässiga förutsättningar för en säker transport. Däremot saknas implementerade rutiner och metodik för riskanalys och riskvärdering och för att bedöma kostnadseffektivitet av framför allt ny regelframtagning. Informationstekniska hjälpmedel för att effektivare hantera befintliga system bör också vara ett angeläget område för fortsatt forskning.

SUMMARY

The report provides an overview of the state of knowledge regarding transportation stresses, with references to and a brief analysis of recently completed projects about packaging and transport tanks for dangerous goods. They include identification of typical transport chains and stress levels which are reproduced in brief here. One piece of background is also given by the CEEES seminar that took place in Brussels in 1996. There is a great need for further research work in this field, which has also resulted in two European projects, SRETS and CHEMPACK, now being started, with the objective to develop adequate testing schemes, primarily for packagings.

A questionnaire to transportation sector representatives also demonstrates that transport damage is a great problem. To some extent the damage is related to branch of industry, but in decreasing order the cause is identified as mechanical influence, climatal influence, theft, and water. Factors specified in relation to the first two causes are impact, compression, moisture, vibration and temperature. The experience of individual companies (insurance, transportation and manufacturing companies) are also reported.

One part discusses the measurement and recording of transportation tresses, and a number of field experiments have been carried out. It is evident that shock events at loading or reloading reach unacceptably high levels. For example, shock pulses near 80 g with a duration of 10-20 ms were recorded in some cases. The level is, as was known before, dependent on the weight of the package.

Some questions regarding existing test methods for the qualification of packaging for dangerous goods (UN certification) are analyzed. This includes the prospect of extending the validity of a type testing to minor changes of the object. The selection procedure for such type testing can be criticized for not being sufficiently representative, leading to difficult assessment problems, in particular at re-testing. It can also be stated that the method for pressure testing does not correspond to those real pressure influences it allegedly represents.

To conclude, the present investigation does not indicate any critical deficiency in terms of technological or regulatory pre-conditions for a safe transport. Instead there is a lack of implemented routines and methodology for risk analysis and risk evaluation and for assessment of the cost effectiveness of items such as proposals for new regulations. Information technology to assist in a more efficient and safer handling of existing technical systems should also be a priority area for further research.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD		I
SAMMANFATTNING		II
SUMMARY		III
INNEHÅLLSFÖRTECKNING		IV
1	TRANSPORTPÅKÄNNINGAR	1
1.1	FORSKNINGSLÄGET	2
1.2	SRETS-PROJEKTET	3
1.3	CHEMPACK-PROJEKTET	4
2	TRANSPORTMILJÖ FÖR FÖRPACKNINGAR FÖR FARLIGT GODS	7
3	ERFARENHETER FRÅN BRANSCHEN	11
3.1	KOSTNADER FÖR TRANSPORTSKADOR ENLIGT ENKÄTUNDERSÖKNINGEN	15
3.2	REDOVISNING AV ÖVRIGA KOSTNADER FRÅN ENKÄTEN	16
3.3	AKTUELL UPPFATTNING OM TRANSPORTSKADOR	18
4	STATISTISK BESKRIVNING AV FÖRPACKNINGS-EGENSKAPER	21
5	METODIK FÖR UTVÄRDERING AV TRANSPORT VIBRATIONER	23

6	**MÄTNING OCH REGISTRERING AV TRANSPORT-PÅKÄNNINGAR**	25
6.1	EGENSKAPER HOS REGISTRERINGSUTRUST-NINGEN	26
6.2	FÄLTFÖRSÖK	27
7	**ANALYS AV EXISTERANDEPROVNINGSMETODER**	31
7.1	PROVURVAL	31
7.2	GENERALISERING AV PROVNINGSRESULTAT	31
7.3	STAPLINGSPROVNING	33
7.4	FALLPROVNING	34
7.5	HYDRAULISK TRYCKPROVNING	37
8	**SLUTSATSER**	39
REFERENSER		41

1 TRANSPORTPÅKÄNNINGAR

Ofta diskuteras storleken och karaktären av de påkänningar som uppträder vid transport av gods och gentemot vilka man måste dimensionera förpackningar, lastsäkring och annan godsskyddsutrustning. Mycket arbete har på olika håll i världen ägnats åt mätningar och analys av sådana påkänningar. Det gäller såväl mekaniska belastningar, från vibrationer, stötar, staplingslast och sidobelastning, som klimatfaktorer av typen hög eller låg temperatur, temperaturväxlingar, eller fukt genom kondensation eller nederbörd. Det finns också biologiska och andra faktorer i transportmiljön att ta hänsyn till.

Inom transportmiljöområdet har de senaste 20 åren mycket arbete nedlagts på att mäta och utvärdera påkänningsnivåer. Exempel på relativt stora och sammanhållna projekt är det tyska Gefahrgutverpackungsprüfmethoden, 1987 som genomfördes av i huvudsak TÜV Bayern och TÜV Rheinland under slutet av 1980-talet och det likaså tyska "THESEUS" (THESEUS, 1995) som syftat till att fånga relevanta aspekter på tanktransporter.

För några år sedan publicerade KFB (Kommunikationsforskningsberedningen) en rapport med en av SP och Packforsk genomförd analys av på olika håll uppmätta sådana påkänningar (Andersson, Kjell, Pettersson, Torstensson, Trost, 1991). Sedan dess har såväl transportmedel som rutiner för godstransport förändrats och vissa resultat är inaktuella. Problemet med inverkan av transportpåkänningar på transportkvalitet, logistisk planering och miljöskydd uppmärksammades på ett seminarium i CEEES (Committee of European Environmental Engineering Societies) regi i Bryssel 1996 (CEEES, 1996).

Modern utrustning har anskaffats för att under relativt lång tid mäta upp och registrera mekaniska och klimatmässiga påkänningar under transporter. I föreliggande projekt har undersökts förutsättningarna och metodiken för sådana mätningar.

Utrustningen kan sedan användas för att inhämta data om specifika transportsituationer, kunskap som är nödvändig för att optimera transportförpackning och andra godsskyddsåtgärder.

Avsikten med föreliggande rapport är att relativt överskådligt sammanfatta och analysera existerande underlag för bedömning av transportpåkänningar på såväl farligt gods som på annat gods där godsskyddsaspekten är väsentlig. Det ingår också att identifiera möjliga problemställningar då funktionskrav på förpackningar och behållare i form av typprovningsmetoder skall utformas. Speciellt sammanställs såväl tidigare som inom ramen för föreliggande projekt genomfört arbete avseende analys av funktionskrav på förpackningar, med utgångspunkt i nuvarande FN-baserade transportregler för farligt gods.

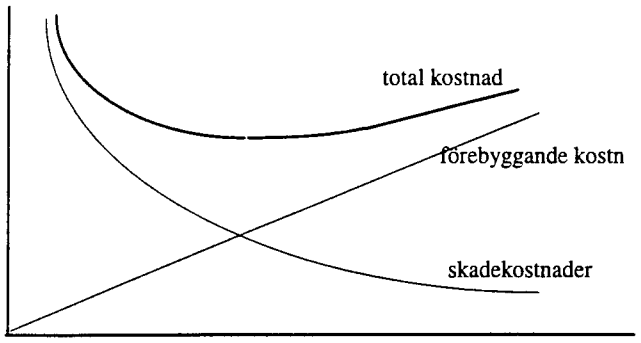
1.1 FORSKNINGSLÄGET

Angelägna frågor är också att fastställa typiska påkänningsnivåer under speciella transportkedjor. Ny teknik och metoder (just-in-time, mekaniserad hantering, fordonsutveckling) har medfört att många existerande mätningar inte längre är giltiga. Ny utvärdering av skademekanismer fokuserar på hanteringsskedet snarare än transportmedlet. Att reducera transportskadorna är fortfarande ytterst angeläget och i synnerhet för farligt gods en ständig nödvändighet. I vissa fall är tekniska lösningar inte försvarbara utan man får satsa på utbildning, kvalitetstänkande och information. Vid det ovan nämnda CEEES-seminariet diskuterades dessa frågor i viss detalj (CEEES, 1996) och avsikten är att gå vidare på Europanivå, varav ett resultat förväntas vara en sameuropeisk databas över transportpåkänningar. En accepterad metod för analys av mätdata behöver också tas fram. Här har en bakgrundsundersökning genomförts som ett europeiskt ringförsök, lett av brittiska Hunting Engineering, vilket (som ringförsök brukar göra) visat på en mycket stor spridning av resultat beroende på olika analysmetoder och deras tillämpning (CEEES, 1996 and Richards, 1991).

Kontakter har etablerats med det Europaprojekt som nu har startat, kallat Source Reduction by European Testing Schedules (SRETS), initierat av CEN-standardiseringen (TC 261 SC 1/WG 4) och med syfte att samla data, utarbeta tolkningsmetoder och utveckla ett standardiserat provningsprogram. En kortfattad beskrivning återfinns i nästa avsnitt.

En ny faktor som tillkommit är återvinningsaspekten eller korrektare strävan att minimera resursåtgång i förpacknings- och transportsammanhang. Det medför att optimeringskriterierna nu kan vara annorlunda än för bara ett par år sedan, och att ett bredare angreppssätt än enbart från säkerhets- och effektivitetssynpunkt är påkallat. På förpackningssidan tillkommer en livscykelbedömning, innefattande

möjlighet till återanvändning och återvinning. Den välkända kurvan för kostnadsoptimering kommer därmed att innehålla ett mer omfattande underlag och större vikt vid optimering även "från höger".



Figur 1-1: Total kostnad som summa av förebyggande kostnad och skadekostnad

1.2 SRETS-PROJEKTET

Inom Europakommissionens SM&T-program har startats ett projekt för att fastställa dagens tekniska och vetenskapliga nivå vad gäller underlag för provning av förpackningar (Trost, 1997). Projektet, Source Reduction by European Testing Schedules (SRETS), innefattar sju delprojekt:

1. Identifiering av skador och skademekanismer
2. Inventering av data
3. Metodikutveckling - validering och utvärdering av data från del 2
4. Utveckling av provningsmetoder och provningssekvenser (testing schedules)
5. Inverkan av praktiska begränsningar
6. Jämförelse mellan provningssekvenser och fältförsök
7. Slutlig utvärdering av föreslagna provningssekvenser

Syftet är att samla in och analysera data från transporter av ett stort antal förpackade produkter av skilda slag genom Europa. Sådana data skall användas som underlag för att utarbeta eller revidera provningsmetoder och provningsscheman för förpackningar och relaterade till typiska transportkedjor. Standardisering av sådana metoder och scheman förutsätts sedan ske genom CEN.

Fyra av delprojekten har nu (februari 1998) börjat ta form:

Delprojekt 1, Identifiering av skador och skademekanismer, avser att systematisera och värdera de olika skadetyper som uppträder i samband med godstransport, med fokusering på stötar och vibrationer (och hur dessa särskiljs vid simulering och analys), fukt och temperatur. Det kan kommenteras att frågan har behandlats relativt utförligt i en tidigare KFB-rapport, (Andersson, Kjell, Pettersson, Torstensson, Trost, 1991).

Delprojekt 2, Inventering av data, avser att skapa en databas för mätdata som tagits upp och publicerats i olika sammanhang. Kompletterande mätningar har också utförts, både i samband med kontrollerade fältförsök och medelst anonym stötregistrering i vanliga transporter.

Delprojekt 3, Metodikutveckling - validering och utvärdering av data från del 2, behandlar problem vid validering av data, till exempel icke-stationära förlopp. Samplingsmetoder, fördelningsfunktioner med mera kommer att utvärderas.

Delprojekt 4, Utveckling av provningsmetoder och provningssekvenser, avser att klarlägga frågor i samband med provning, såsom hur olika miljöfaktorer skall kombineras för att ge korrekta synergieffekter, hur provningens varaktighet och möjligheter till accelererad provning skall bedömas, och hur alla variabler med avseende på vägval, fordonstyp, påkänningsriktning, produkttyp etc. skall kategoriseras.

Projektet avses vara färdigt i februari 1999. Ett amerikanskt projekt med likartad målsättning och beskrivning har också nyligen satts igång, det så kallade MADE, Measurement and Analysis of the Distribution Environment, som koordineras av San José State University i samarbete med företaget Hewlett-Packard.

1.3 CHEMPACK-PROJEKTET

Likaså inom Europakommissionens SM&T-program har nu startats ett projekt för att utveckla standardiserade provningsprocedurer för att fastställa den kemiska beständigheten hos förpackningar för farliga ämnen för provning av förpackningar.

Projektet, CHEMPACK, innefattar fem delprojekt:

1. Växelverkan och nedbrytningsprocesser
2. Nya accelererade provningsmetoder
3. Verifiering av accelererad provning medelst modellvätskor
4. Verifiering av accelererad provning med andra vätskor eller ytterligare provning
5. Utvärdering och implementering.

Delprojekt 1, Växelverkan och nedbrytningsprocesser, avser att studera olika typer av växelverkan mellan kemiska ämnen och förpackningsmaterialen, såväl fysikaliska processer (svällning, spänningssprickbildning, permeation) som kemiska processer (oxidation på grund av termiska förhållanden, ultraviolett ljus och kemikalier), och olika förpackningsmaterials beteende gentemot sådana processer. Företrädesvis kommer olika former av polyeten att undersökas.

I delprojekt 2, Nya accelererade provningsmetoder, genomförs en litteraturstudie och en teoretisk utvärdering av materialens egenskaper. Därefter görs en serie pilotförsök med avsikten att välja ut ett antal lämpliga provningsmetoder. Dessa verifieras sedan med avseende på lämpliga modellvätskor i delprojekten 3 och 4.

Det övergripande syftet med projektet är att lösa problemet med testning av kemisk kompatibilitet hos plastförpackningar, så att existerande möjliga skademekanismer täcks av en typprovning utan att denna blir orimligt omfattande.

2 TRANSPORTMILJÖ FÖR FÖRPACKNINGAR FÖR FARLIGT GODS

Sedan lång tid har de internationella transportreglerna för farligt gods (ADR, 1996, RID 1996 and IMDG, IMO 1996) med utgångspunkt i FNs rekommendationer (UN, 1995), angett funktionskrav för förpackningar och småbulkbehållare, dvs. typprovningsvillkor som på ett enkelt sätt och till låg kostnad antas simulera verkliga transportpåkänningar. Dessa påkänningar beskrivs ofta som "normala transportpåkänningar". Provningsmetoderna och använda nivåer ifrågasätts därför ibland med avseende på deras förmåga att säkerställa tillräcklig transportsäkerhet och godsskyddande funktion.

Med den bakgrunden organiserades av tyska trafikministeriet projektet om provningsmetoder för förpackningar för farligt gods (Gefahrgutverpackungs-prüfmethoden, 1987). Även om projektets resultat inte medförde några signifikanta ändringar i transportreglernas provningskrav, därför att kostnads/nyttoförhållandet var tveksamt, tillförde det en hel del kunnande om statistisk säkerhetsanalys, relationen påkänning-skada och materialegenskaper.

I sammanhanget påpekas vikten av att en omsorgsfull riskanalys läggs till grund för skadeförebyggande åtgärder. Detta kommer att bli ett väsentligt inslag i arbetet med bland annat regelskrivning, i och med att kraven på kostnadseffektivitet ökar, samtidigt som en nollvision för vissa typer av olyckor diskuteras. Genom att IMO antagit metodiken för formell säkerhetsbedömning (Formal Safety Assessment, IMO 1997) har riskanalysen för sjötransporternas del fått en väsentligt ökad betydelse. Även i diskussioner om modifierade regler i ADR, den europeiska överens-kommelsen om transport av farligt gods på väg, har avsaknaden av riskvärdering och kostnad gentemot nytta för föreslagna åtgärder varit en svår komplikation i arbetet. Inte minst gäller det nyligen avslutade THESEUS-projektet, som genererat en hel del kunskap om tankfordons beteende vid påkörning, vältning och deformation, men där resultaten visat sig svåra att omsätta i regler och praxis.

På riskhanteringsområdet återstår således mycket arbete, inte minst på statistik- och metodiksidan. Exempelvis har Stjernman, 1990, funnit att statistiskt underlag saknas för att göra en riskanalys tillräckligt exakt för att motivera konkreta åtgärder avseende i detta fall vägvalsstyrning.

I Gefahrgutverpackungsprüfmethoden, 1987 utgör en analys av representativa transportkedjor den mest intressanta delen. Som utgångspunkt för en sådan analys väljs en transportkedja med sex noder och fem länkar jämför (Arnäs, Lumsden, Stjernman, 1997), enligt följande:

1. Lagring och lastning (14 dagar + 1 dag)
2. Lokal transport (lätt lastbil 10 km, 1 dag)
3. Lagring, omlastning (1 dag)
4. Fjärrtransport (långtradare 675 km, 2 dagar)
5. Hamn, lagring, omlastning (12 dagar + 1 dag)
6. Sjötransport (Hamburg - San Francisco, 30 dagar, varav 4 dagar svår sjögång)
7. Hamn, lagring, omlastning (30 dagar + 1 dag)
8. Fjärrtransport (järnvägståg 725 km, 2 dagar)
9. Lagring, omlastning (1 dag)
10. Distributionstransport (lätt lastbil, 1 dag)
11. Urlastning och lagring (1 dag)

Denna kedja reduceras till två typnoder och tre typlänkar enligt följande tabell, där också kartlagda påkänningstyper i viss mån beskrivs och kvantifieras:

Tabell 2-1: Reducerad transportkedja med uppträdande påkänningar

	Lagring, lastning inlandet	*Lagring, lastning hamn*	*Vägtransport*	*Järnvägs-transport*	*Sjötransport*
Stapling: höjd	4 m	5 - 6 m	2 m	2 m	4 - 8 m
varaktighet	20 d	45 d	3 d	3 d	30 d
Fall:	6 ggr kast eller fall från gaffel-truck	2 ggr kast 2 ggr gaffeltruck 4 ggr kranlyft	fall från sta-pel pga vib-rationer eller ojämn väg	fall från sta-pel pga rangerstötar	inga definie-rade fall
Sidkompression	fat på gaffel-truck	nersättning eller lyftsling vid kranförflyttning	vid broms-ning eller kurvtagning	vid range-ring	rullning och lastförskjut-ning
Lodrät stöt	gaffeltruck eller kärra över ojämnheter (spår, kanter)	nersättning av pallar och containrar	ojämn väg	rangering	stampning

En sammanställning av de olika mekaniska påkänningstypernas nivå och varaktighet ges också, men dessa resultat återfinns också i (Andersson, Kjell, Pettersson, Torstensson, Trost, 1991) och bygger på i huvudsak samma underlag. Man konstaterar dock att alltför lite är känt om betingelserna vid lastning, lossning och omlastning. Eftersom dessa hanteringsskeden i flera undersökningar, t ex (Nesari, Rezaei, 1997), visat sig utgöra det mest kritiska momentet vid transport är det angeläget att särskilt inrikta insatser mot dem, både i fråga om bestämning av påkänningarnas art och nivå och om tekniska och utbildningsmässiga åtgärder för att reducera problemen.

Det finns också kompletterande undersökningar redovisade. Ett försök att relatera upprepade fall från en bestämd fallhöjd till ett enstaka fall från en högre fallhöjd utgående från skadebild och spektrumutvärdering har gett följande tabell.

Tabell 2-2: Ekvivalens mellan enstaka och upprepade fall enligt (Gefahrgutverpackungsprüfmethoden, 1987).

Enstaka fall, fallhöjd (cm)	*Tre fall mot samma anslagspunkt, fallhöjd (cm)*
80	50
120	70
180	110

Iakttagelser från hanteringen i hamnarna i Hamburg och Duisburg visar vad som länge varit känt: att skador genom fall minskar med ökande kollivikt. En något precisare fördelning har dock redovisats, enligt nedanstående tabell.

Tabell 2-3: Olika typer av fall och deras förekomst enligt (Gefahrgutverpackungsprüfmethoden, 1987).

	Vikt $\leq$ 20 kg	*Vikt > 20 kg*	*Totalt*
Fritt fall	90 %	10 %	63 %
Vältning	22 %	78 %	18 %
Kast	100 %	0 %	18 %
Totalt	80 %	20 %	100 %

Iakttagelser från stapling har också redovisats. Några allmänna slutsatser ges:

Stabilitet och staplingsstyrka beaktas inte i tillräcklig omfattning vid sammansättning av enhetslaster.

Måtten hos förpackningarna stämmer sällan överens med lastbärarnas mått, hos till exempel pallastat gods.

Till den första slutsatsen kan kommenteras att belastningen ofta blir större än avsändaren tror, beroende på att staplingshöjden är större, att tröghetskrafter vid rörelse (exempelvis sjögång) ger stora tillskott och att lastsurrningsåtgärder som syftar till att hålla ner lasten också ger tillskott.

Man konstaterar också att staplingsbelastningen till 97 % är fördelad över en yta. Utpräglad punktbelastning har inte observerats. Förekommande staplingshöjder redovisas i nedanstående tabell. Olikformig stapel avser att enheterna är förskjutna relativt varandra eller att stapeln består av olika typer av enheter.

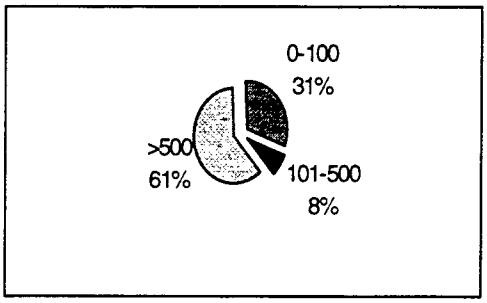
Tabell 2-4: Staplingshöjd och stapelkaraktär enligt (Gefahrgutverpackungsprüfmethoden).

Höjd (m)	*Andel*	*Likformig stapel*	*Olikformig stapel*
≤ 1,2	45 %	67 %	33 %
1,2 - 3,0	42 %	61 %	39 %
3,0 - 8,0	13 %	80 %	20 %
> 8,0	0 %	---	---

3 ERFARENHETER FRÅN BRANSCHEN

Nedan redovisas resultatet av en enkät som skickades ut till transportköpare under maj månad 1997. Ett 60-tal enkäter skickades ut, resultaten nedan bygger på 20 stycken enkäter varav 13 stycken fullständigt ifyllda. I diagrammen nedan redovisas antalet svar utefter Y-axeln och längs X-axeln redovisas respektive kategori. Ett flertal frågor kan besvaras av att ange ett eller flertal alternativ.

1. *Hur många anställda har företaget (cirka)?*



2. *Vilken typ av produkt(er) säljer Ert företag ?*

Livsmedel, lastvagnar, dialysmaskiner, livsmedel (knäckebröd), stålplåt, engångsartiklar, medicinteknisk utrustning, trycksensorer, sedelhanterings-utrustning, möbler, hifi-utrustning, försvarsmateriel.

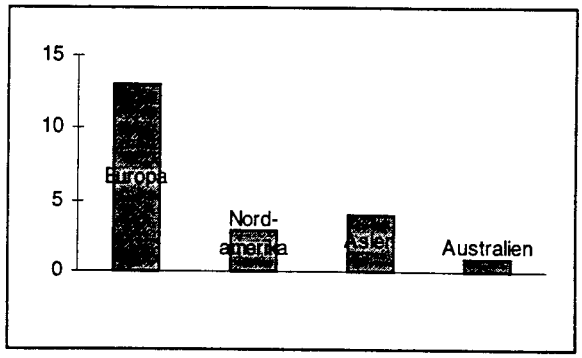
3. *Hur stor del procentuellt av produktens pris i procent (cirka) utgörs av transportkostnad (från tillverkningsenhet till kund)?* Svar: 4,2 %

4. *Hur stor del av produktens pris i % (cirka) utgörs av emballagekostnad ?* Svar: 2,8 %

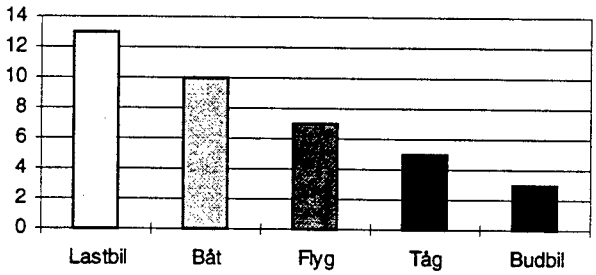
5. *Hur stor del av det som reklameras i procent beror på transportskador (en uppskattning)?* Svar: 21,1 %

6. *Hur mycket kostar transportskadorna er per år i SEK (cirka)? Kommentera siffrorna (höga, låga).* Svar: —Låga

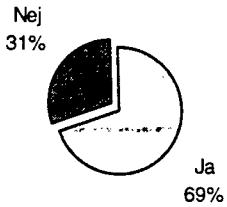
7. *Vilka är Era huvudmarknader ?*



8. *Vilka transportsätt använder ni er av?*

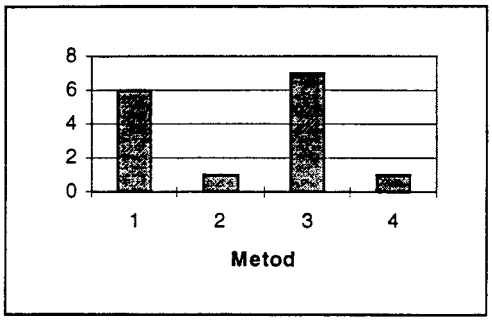


9. *Har ni tagit reda på hur transportmiljön (stötar, vibrationer, fukt, temperatur etc.) ser ut för er produkt under transport?*



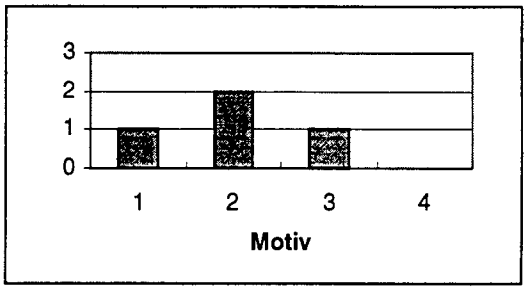
10. Om Ja, vilka metoder har i så fall använts?

1. Egna fältstudier
2. Frågat transportören
3. Egna erfarenheter
4. Annat (samarbete med förpacknings-konsult)



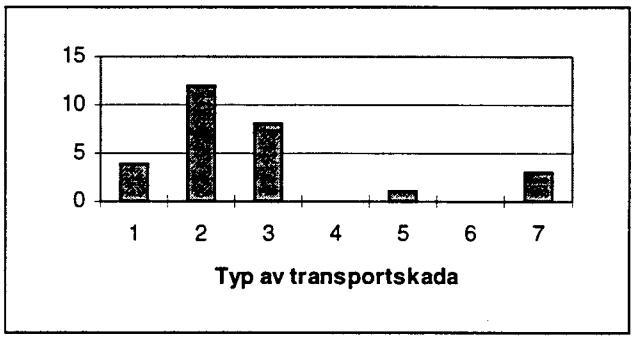
11. Om nej på fråga 9, motivera varför nedan:

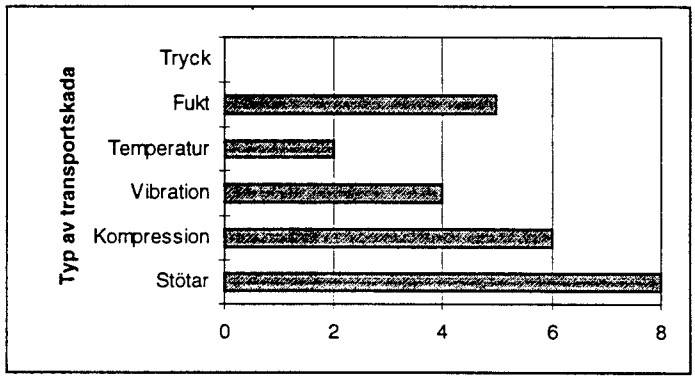
1. Inga transportskador (faktum)
2. Kan ej se något behov
3. Har ej resurser för denna karakterisering av transportmiljön
4. Annat



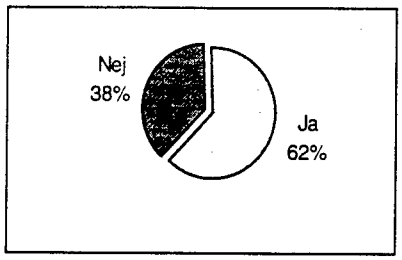
12. Vilken typ av transportskada är aktuell i de fall som transportskada uppstått?

1. Stöld
2. Mekaniska påkänningar, stryk under → (stötar, kompression, vibration)
3. Klimat, stryk under → (temperatur, fukt, tryck)
4. Fysikaliska, stryk under → (magnetfält, partikelstrålning, elektromagnetisk strålning)
5. Kemiska, stryk under → (gas, vätskor, korrosion)
6. Biologiska, stryk under → (växter och djur)
7. Annan påverkan, stryk under → (damm, vatten)



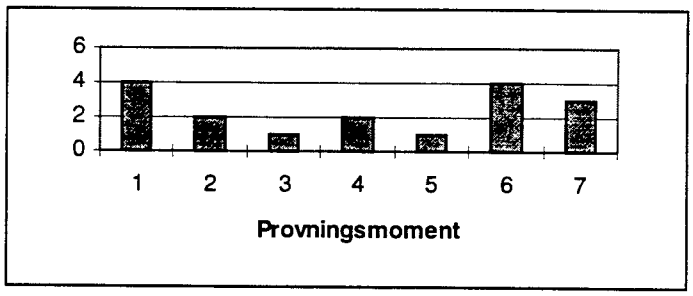


13. *Sker det provning av produkten i transportfärdigt skick (så som den skall transporteras)?*



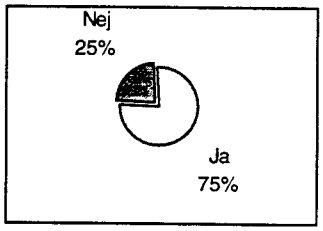
14. *Om svaret var ja på föregående fråga, vilka provningsmoment har Ni då utfört ?*

1. Fallprov
2. Tryckprov
3. Kompressionsprov
4. Täthetsprov
5. Krockprov
6. Vibrationsprov
7. Annat (provtransport)



15. *Om svaret var nej på fråga 13, förklara varför*

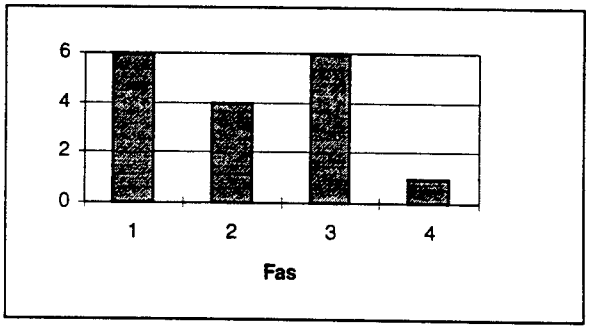
- Det finns ingen anledning (tre stycken svar)
- Transporten sker på pall (ett svar).



16. *Beaktar man transporterbarhet (från leverantör till slutkund) redan vid produktutveckling och konstruktion av produkten?*

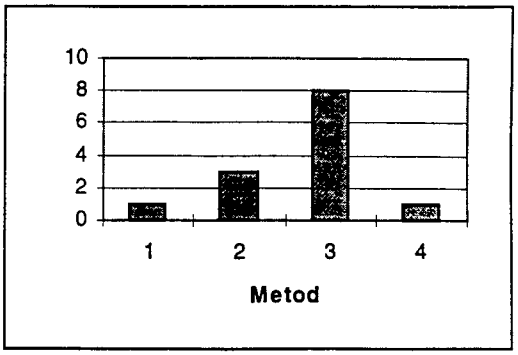
17. *I vilken fas bestäms och/eller konstrueras emballaget ?*

1. Produktutveckling
2. Konstruktion
3. Inför serieproduktion
4. Annat (ständig revision av emballage)



18. *Vilka metoder använder man för att få in transport- och hanteringsmiljön i form av uppmätta parametrar (nivåer, faktiska krav) i produktutvecklingsfasen och konstruktionsfasen. Kryssa för nedan:*

1. QFD (Quality Function Deployment)
2. FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)
3. Stående punkt vid konstruktions-genomgången
4. Annan, beskriv...

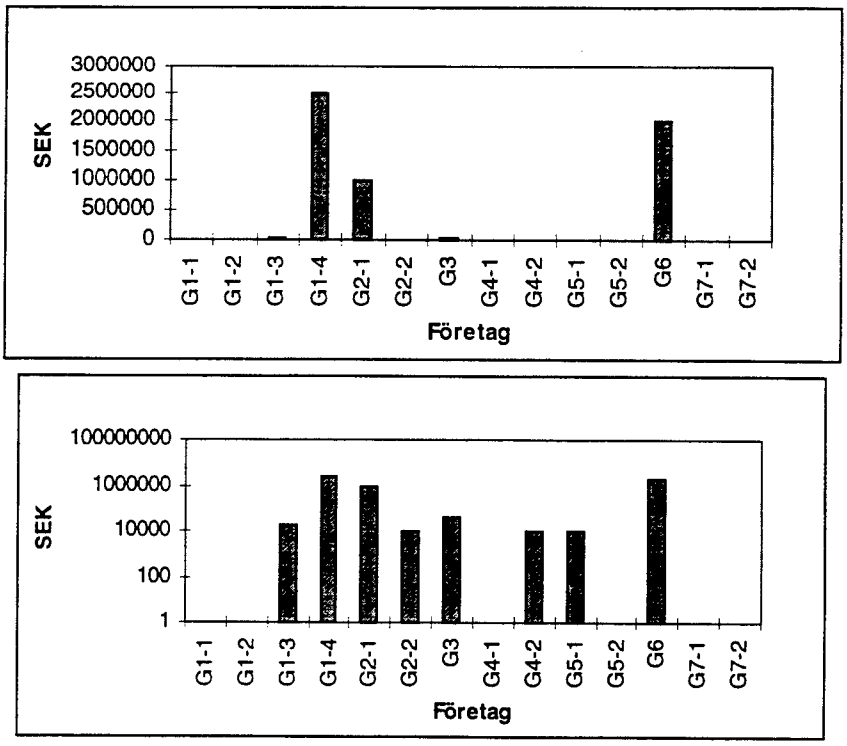


3.1 KOSTNADER FÖR TRANSPORTSKADOR ENLIGT ENKÄTUNDERSÖKNINGEN

I de följande diagrammen har företagen grupperats. Indelningen har gjorts med avseende på transportkänslighet. Nedan redovisas vilka typer av produkter som grupperna och deras subgrupper representerar.

G1-1 = Dialysmaskin
G1-2 = Sedelräknare, Bankomat
G1-3 = Ljudanläggning, Hifi
G1-4 = Industriprinter
G2-1 = Möbler 1
G2-2 = Möbler 2
G3 = Livsmedel
G4-1 = Krockkuddar
G4-2 = Trycksensorer
G5-1 = Engångsartiklar (papper)
G5-2 = Engångsartiklar (övrigt)
G6 = Stålplåt
G7-1 = Lastbilar
G7-2 = Försvarsmateriel

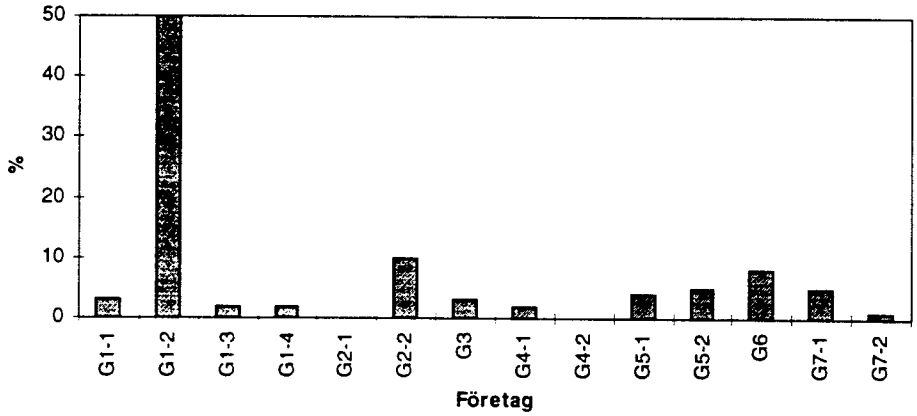
Storleken på kostnaden för transportskador enligt enkäten visas nedan i diagrammet.



Figur 3-1: Diagram över kostnader orsakade av transportskador, i linjär skala respektive logaritmisk skala.

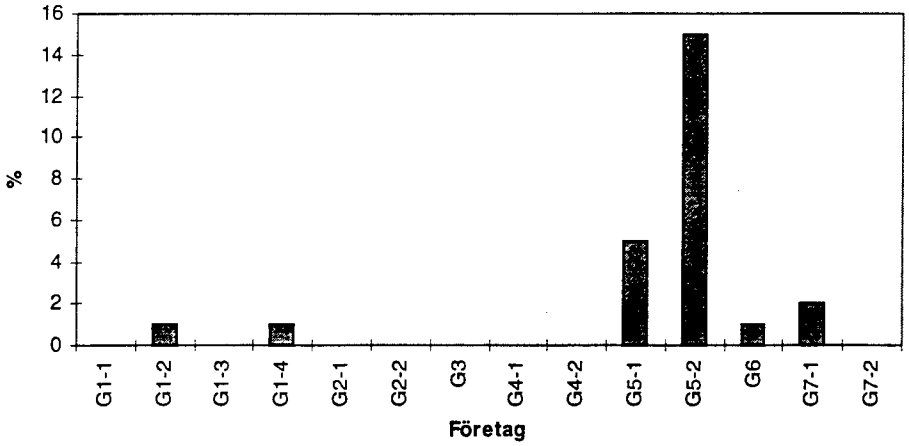
3.2 REDOVISNING AV ÖVRIGA KOSTNADER FRÅN ENKÄTEN

Kostnaden för transporten i procent av produktens pris redovisas i diagrammet nedan.



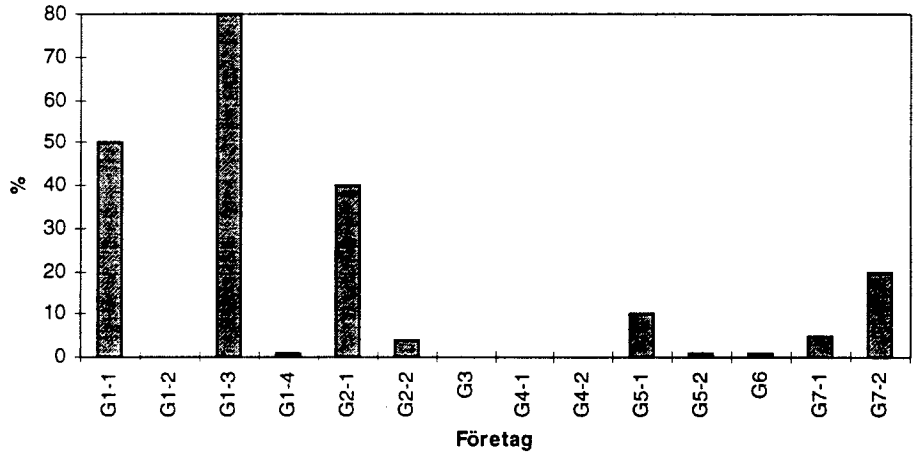
Figur 3-2: Diagram över transportkostnad i procent av produktens pris

Kostnaden för emballaget i procent av produktens pris visas i diagrammet nedan.



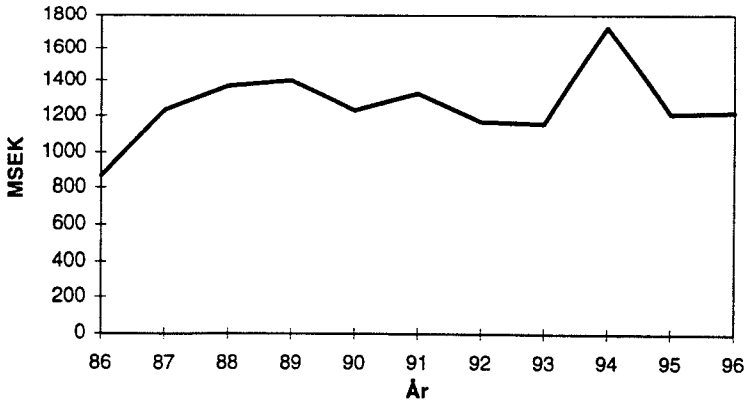
Figur 3-3: Diagram redovisar kostnaden för emballage i procent av produktens pris

I nedanstående diagram redovisas hur stor del av alla reklamationer som kan härledas till transportskador.



Figur 3-4: Diagram över andelen reklamationer som beror på transportskador

Utvecklingen av total utbetalning av försäkringsersättning inom transportbranschen under perioden 1986 - 1996 redovisas i diagrammet nedan.



Figur 3-5: Utbetalning av försäkringsersättningar mellan 1986-1996
(Källa: Försäkringsinspektionen 1997)

3.3 AKTUELL UPPFATTNING OM TRANSPORTSKADOR

Genom telefonkontakt med några försäkringsbolag, som har avsevärd andel transportförsäkring, jämte ett transportföretag och ett tillverkande företag har en kvalitativ uppfattning av skadebilden erhållits.

Försäkringsbolag 1: Det är väldigt mycket transportskador. Det går dock inte att peka ut något transportmedel som skulle vara mer inblandat eller orsaka fler transportskador än något annat transportmedel. Det går heller inte att säga om skador inträffar mer vid gränsöverskridande transport till och från Sverige än vid inrikes trafik. De påkänningar som godset utsätts för har man en erfarenhetsmässig uppfattning om.

För att skydda godset från stöld kan man plombera containers eller annan lastbärare och använda lås. Dessutom bör inte logotypen målas eller tryckas på emballaget/lastbäraren. De vanligaste skadorna är enligt bolaget stöld samt yttre påverkan till följd av mekanisk påkänning.

Om ett företag har stora problem med skador kan försäkringsbolaget hjälpa till med rådgivning för lösa problemet. Ett problem som bolaget har just nu är att transporter till länder i forna Sovjetunionen drabbas av mycket transportskador och stöld. En orsak är dålig infrastruktur med undermåliga vägar och omoderna transportmedel.

När det gäller den stora andelen stöld beror detta på att organiserad brottslighet växer sig starkare. Hälften av allt transportgods förloras i Ryssland.

Försäkringsbolag 2. Vanligaste skadan vid flygtransport är fuktskador (transport från Fjärran Östern). Vid lastbils- eller järnvägstransport är skadorna orsakade av mekaniska påkänningar (kant, stöt). Från säkerhetssynpunkt plomberas lastbäraren för att minimera stöld. Produkter som kan vara aktuella vid stöld och svinn är exempelvis telefoner eller konfektion. Om godset är dåligt lastsäkrat uteblir ersättning. Man anser att hanteringen orsakar många transportskador. För att minska antalet hanteringar kan man samlasta gods. Gods kan också lagras över helgen hos speditör. Där det finns dåliga vägar eller om andra omständigheter råder som exempelvis krig eller geografiskt instabilt område gäller högre premier eller så erbjuds ingen försäkring alls (aktuellt område för tillfället är Ryssland)

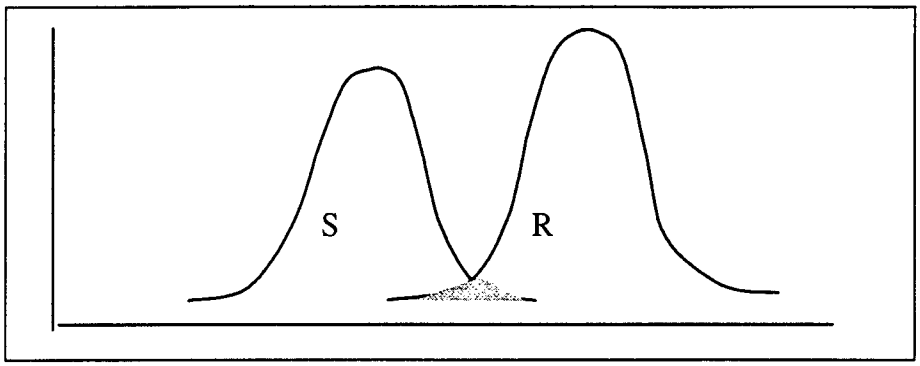
Transportföretag 1. Man har haft problem med svinn och stöld på terminaler. Efter att åtgärder vidtagits har man nu minskat problemet. Kameraövervakning har installerats så att godset kan följas inne i terminalen. Man har infört kvittens då godset hanteras eller transporteras. Detta ger större överblick och kontroll över godset och vem som gjort fel. Larm på området förbättrar också säkerheten kring terminalen och på lastbilarna.

Tillverkande företag 1: Man har haft problem med transportskador på aluminiumprofiler som skickas i tre- och sexmeterslängder. I Europa transporteras dessa med lastbil och till USA med båt eller flyg. Efter att ett bättre emballage tagits fram och förpackningen i lastbärarna effektiviserats har skadorna minskat. Emellertid är man inte nöjd utan eftersträvar en lägre nivå eller rentav nollnivå.

Hantering på terminaler anser man vara största boven i dramat. Ingen förpackning kan klara för mycket våld. Två speditörer är tredjepartslogistikpartners med företaget. De ersätter skador som uppkommit under transporten. Vid de tillfällen skador uppkommer kopplas ett expressfraktföretag in som flyger in ersättningsmaterial. Kostnaden får den aktuella speditören ta. Om kostnaden för dessa expressflyg skulle vara större än medelkostnaden gör företaget upp med de två speditörerna (1 till 2 ggr om året). Man anser att kostnaden inte är problemet utan det är tidsförlusten som uppkommer samt den administrativa merkostnaden för att godset inte kommer fram i rätt tid, i rätt skick (oskadat).

4 STATISTISK BESKRIVNING AV FÖRPACKNINGSEGENSKAPER

Utgångspunkt för en statistisk behandling av uppträdande transportpåkänningar och en förpacknings förmåga att motstå dem kan vara ett enkelt konstaterande att båda faktorerna bör vara ungefär normalfördelade. Påkänningen S, exempelvis fallhöjden då ett kolli kastas vid omlastning, och förpackningens egenskap att motstå påkänningen, R, exempelvis stöthållfastheten, kan då illustreras enligt figur 7. Sannolikheten för en påkänning S (exempelvis fallhöjd mellan 0,2 och 1,2 m) och sannolikheten för förpackningens stöthållfasthet R (betyder exempelvis att så gott som alla förpackningar motstår fall från höjder under 1,0 m medan så gott som alla förpackningar havererar vid fallhöjd över 1,9 m).



Figur 4-1: Sannolikheten för en påkänning S och sannolikheten för förpackningens stöthållfasthet R

Bilden kan utgöra underlag för en bestämning av säkerhetsfaktorer vid val av förpackning. Den kan också utgöra underlag för bedömning av risker och åtgärder, till exempel visas att om man genom kvalitetsförbättrande åtgärder minskar standardavvikelsen för förpackningens hållfasthet, kan medelvärdet sänkas med bibehållen eller reducerad skadefrekvens.

Ett statistiskt välgrundat sätt att beskriva transportpåkänningar och materielens egenskaper saknas ofta i tillgänglig litteratur, men bör uppmärksammas i framtida arbete inom området. Se även avsnittet Provurval nedan.

5 METODIK FÖR UTVÄRDERING AV TRANSPORTVIBRATIONER

Den grundläggande metodiken för att prova en produkt med avseende på dess förmåga att klara transportpåkänningar är att på lämpligt sätt reproducera de skadeframkallande komponenterna i påkänningen. Provningsnivån bör då också ha kunnat verifierats med hjälp av verkliga skadefall, på så sätt att en skada som uppkommit under kända omständigheter också skall kunna framkallas med den valda provningsmetoden.

De skador som uppstår är i regel av någon av följande kategorier (Andersson, Pettersson, Torstensson, Trost, 1991):

1. Deformation eller brott. Spänningarna i någon punkt har överskridit materialets sträckgräns (deformation) eller brottgräns (brott). Det brukar vara följden av en enstaka händelse av typen fall eller rangerstöt.

2. Utmattning, dvs. en spricka som initieras och utbreder sig långsamt under växlande eller pulserande belastning. Det brukar vara följden av att produkten utsatts för en vibrerande miljö. Resonans (som ofta kan konstrueras bort) förvärrar problemet.

3. Vibrationer kan också orsaka andra problem, såsom glidning i surrningslås, lossnande lock och ventiler, friktionsförlust (vilket kan ge lastförskjutning) och uppluckring av staplat gods.

4. Ytliga skador av typen repor, intryckningar, nötning, punktering. Detta kan vara följden av såväl stötar som vibrationer.

Det man i en provning av förpackat gods i första hand söker eliminera är risken för skador i form av brott och utmattning. Det erfordrar i regel två angreppssätt, ett för att ta hänsyn till uppkommande stötar och ett annat för att fånga utmattningsrisken vid vibrationer.

För närvarande finns ingen enhetlig metod för att utvärdera uppmätta vibrationer och stötar. Provningsnivåer bestäms efter någon av följande metoder:

- Effekttäthetsspektrum (PSD, power spectral density)
- Nivåöverskridandefördelning
- Amplitudsannolikhetstäthet (APD, amplitude probability density)
- Utmattningsskadespektrum (FDS, fatigue damage spectrum)
- Stötresponsspektrum (SRS, shock response spectrum)
- Maxresponsspektrum (MRS, maximum response spectrum)
- Utmattningsskaderesponsspektrum (FDRS, fatigue damage response spectrum)

Den analys som i flertalet fall används för att utforma provningsprogram baseras på maxresponsspektrumberäkning för att få med risken för enstaka överbelastningar och utmattningsskaderesponsspektrumberäkning för att bestämma risken för utmattningsskada beroende på upprepade påkänningar (vibrationer), se exempel i (Olofsson, Svensson, Torstensson, 1995).

Emellertid har ett ringförsök organiserats med syfte att avgöra vilken metodik för utvärdering och bestämning av provningsnivåer som är lämpligast. Resultatet, som beskrivs i (CEEES, 1996) och i större detalj i (CEEES, Richards, 1991) respektive (Richards, Hibbert, 1993) visar, som så gott som alla ringförsök, mycket stor spridning ifråga om såväl resultat som tillämpad metodik. Någon slutgiltig utvärdering och urval av "bästa metod" har inte låtit sig göra. En analys av Charles, 1992, ger emellertid en uppfattning om fördelar och nackdelar med olika metoder. Några resultat kan sammanfattas här som är direkt tillämpbara:

- Uppmätta vibrationsdata från fordon på väg brukar karakteriseras som icke-stationär, icke-gaussisk brusvibration. Att beskriva sådana data utgående från effekttäthetsspektrum leder sannolikt till en underskattning av påkänningen. Jämförelse mellan verkligt uppmätt och provat respons blir inte rättvisande i så fall.

- För att eliminera det problemet kan man representera uppmätta värden med toppvärdesspektra. I gengäld ger det en kanske alltför konservativ provning (onödigt hög belastning) om det jämförs med ett medelvärdesspektrum vid provningen.

- Variabler som påverkar vibrationspåkänningen på ordentligt säkrat transporterat gods är vägtyp, fordonstyp och hastighet. (Som väntat ger motorvägar minst vibrationspåkänning, medan smalare vägar ger ökade vibrationer eller stötar, även om vägbeläggningen är likvärdig. Det förklaras av att det är svårare att väja för ojämnheter. Vibrationspåkänningen ökar generellt med hastigheten, men enskilda komponenter kan ha andra förhållanden beroende på deras resonansfrekvens). Eftersom det ofta är svårt att särskilja "vibration" och "stöt" är det enklast att beskriva miljön vid sådan körning som vibration.

Den funna principen för att beskriva påkänningstypen är därmed följande:

1. Kontrollera om data är stationära med hjälp av rms-tid-diagram. Stationära delar kan sedan väljas ut för effekttäthetsspektralanalys.
2. Identifiera transienter från toppvärde-tid-diagram, och behandla dem sedan som normala tidsförlopp.
3. Transienter behöver i vissa fall identifieras för beräkning av stötresponsspektra.
4. Kontrollera om vibrationen uttryckt i rms eller toppvärde har något samband med fordonets hastighet.
5. Genomför en sannolikhetsanalys med avseende på amplituden, vilket ger en uppfattning om värdenas (normal-)fördelning, men också absoluta maximiamplituden, rms-värdet, förhållandet toppvärde/rms.
6. Frekvenskarakteristika ges av effekttäthetsspektralanalysen på mätdata.

Detta ger också vissa principer för att ta fram provningsbetingelser. Dessa utnyttjas antingen för att styra på insignalen eller på produktens respons, varav det förstnämnda är vanligare. För att få underlag för insignalen är det därför lämpligt att mäta vid objektets infästning eller på fordonet i omedelbar närhet av undersökningsobjektet.

Ett problem är att förhållandet toppvärde/rms (sigmanivån) har en gräns i många provningsutrustningar, så att toppvärden kapas och inadekvat provning blir följden. I rapporten (Charles 1992) beskrivs två metoder för att lösa problemet.

Varaktigheten av en provning är också en svår fråga. Ofta väljs den godtyckligt till till exempel 50 timmar, vilket inte är helt idealiskt. Man kan använda Palmgren-Miners delskadeformel för att få ett samband mellan varaktighet och amplitud som

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^5$$

Se också Svensson, Torstensson, 1995 för en analys av detta problem.

6 MÄTNING OCH REGISTRERING AV TRANSPORTPÅKÄNNINGAR

Hos industrin finns intresse för att övervaka eller karakterisera transportmiljön inför lansering av nya produkter, höga reklamationskostnader som går att härleda till transportskador, speciella transportupplägg eller inför modifiering av produkt- eller förpackningsutformning.

Det kanske minst tidskrävande sättet är att tillämpa provningskrav från någon provningsstandard exempelvis MIL-STD-810 (MIL-STD-810F). Nackdelen med standardmetoder är att de sällan beskriver transportmiljön i specifika fall.

Beräkning kan vara ett alternativ, men man bör ha i åtanke för att beskriva transportmiljön för många produkter krävs ett flertal olika metoder. En annan möjlighet är att prediktera transportmiljön genom att analysera mätdata från tidigare liknande transporter.

Innan man börjar att prediktera transportmiljön är det angeläget att ställa sig frågan huruvida gamla fastställda påkänningsnivåer är giltiga idag eller om ny teknik och metoder exempelvis distributionssystem, mekaniserad hantering, fordonsutveckling etc. har medfört att många existerande mätningar inte längre är giltiga. Till sist återstår kanske bara mätning som enda alternativ. Mätningarna kan delas upp i tre huvudfaser, försöksplanering, analys av mätdata samt överföring av mätdata till provningsdata. Försöksplaneringen bör innehålla uppgifter om vilket transportsystem (eller del av) som skall analyseras, mättid, mätområde, mätgivare, mätutrustning och dokumentation. För att kunna klarlägga vilka påkänningar som respektive transportsystem eller delar av transportsystemet utsätter förpackningarna för, måste mätinstrument kunna användas mobilt och i fält, oberoende av fasta provningsanläggningar.

Karakteriseringen av transportsystemens påkänningar på emballagen kan i regel inte göras med ett generell uppdelning på vilket transportsätt (bil, flyg, båt och tåg) som används utan en betydligt mera detaljerad uppdelning gällande transportföretag, sändningsstorlek, tidpunkt etc. bör göras.

Analys av mätdata är den andra fasen i mätningen. Det finns en god tillgång på olika metoder samt utrustningar för att ge föra analyssteget. Någon enhetlig metodik är inte fastlagd, jämför avsnitt van om metodik för utvärdering av transportvibrationer.

Den tredje fasen är att överföra mätdata till provningsdata. Häri kan ingå tidsforcering, bedömning av säkerhetsfaktorer samt kopplingen mellan mätsignal och möjligt tidsförlopp vid provning. En beskrivning av ingående steg återfinns i SEES handbok i miljötålighetsteknik (SEEES, 1991). Bakgrundsmaterial kan också vara de rapporter från projekt som specificeras i kompendium "Förpackningsteknologi" (Torstensson, 1989), de kommande standarderna DIN 30782, 30786-30789 samt publikationer enligt sammanställning i bibliografin CEEES, 1995.

Beroende på avsikten med mätningen, noggrannhetskrav med mera, används olika typer av mätinstrument. För mätning av stötar och vibrationer bygger mätningen på en kedja accelerometer - förstärkare - bandspelare (eller analog/digitalomvandlare - mätdator).

För enklare mätningar, som också har fördelen att vara okända för aktörerna i transportkedjan, används så kallade shock-recorders. Dessa kan sändas med i en förpackning och under relativt lång tid registrera uppträdande accelerationer (stötar, vibrationer) via en inbyggd accelerometer och mikroprocessor. Vissa kan även registrera temperatur eller fuktighet.

Det kan nämnas att på marknaden finns också varierande slag av produkter för indikerande mätning, till exempel etiketter med en mekanism så att man får en färgförändring om försändelsen utsätts för stötar över en viss accelerationsnivå.

6.1 EGENSKAPER HOS REGISTRERINGSUTRUSTNINGEN

I föreliggande projekt har framtagits en kravspecifikation för en shock-recorder med tillräckliga prestanda för att ge underlag för mätdataanalys och godsskyddsåtgärder. De egenskaper som bedöms erfordras för att motsvara projektets målsättning anges i följande tabell.

Tabell 6-1: Specifikation för shock-recorder

Mätning	Acceleration upp till 100g i tre dimensioner, temperatur -30° till +75°, relativ fuktighet upp till 100 %
Registrering	Maximala nivåer under minst 5000 h, hela tidsförlopp under minst 1 min
Triggning	Manuell eller automatisk
Filtrering	Inställbar
Storlek	Tillräckligt liten för att kunna medsändas utan att väcka uppmärksamhet, tillräckligt lätt för att inte signifikant påverka mätresultatet
Utvärdering	Överföring till dator för direkt analys i beräkningsprogram, typ Excel eller Matlab

Flera undersökta modeller uppfyllde dessa relativt elementära specifikationer. Det slutliga valet ("EnDal" tillverkad av SMT & Hybrid GmbH) gjordes sedan på grundval av en sammanvägd bedömning av pris och kvalitet. Innan utrustningen togs i bruk genomfördes mottagningskontroll och kalibrering.

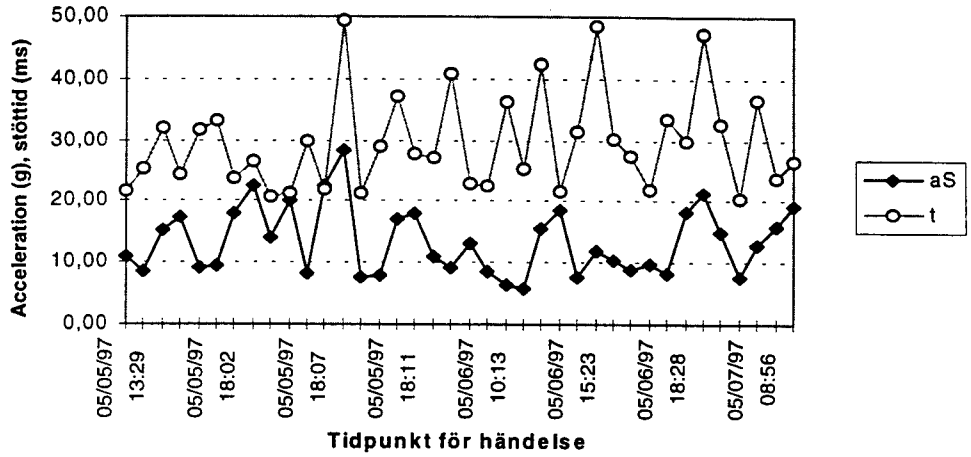
6.2 FÄLTFÖRSÖK

Fältförsök genomfördes genom att shock-recordern skickades i en spårbar transportkedja dörr-till-dörr. Försöken var inte kända för personal involverad i transport och omlastning, vilket annars skulle påverkat resultatet. Enbart accelerationsnivåer mättes i långtidsregistreringen. Vid ett kompletterande laboratorieförsök för att relatera fallhöjd till accelerationsnivå (retardationsnivå) togs även kurvformen upp (Nesari, N, Rezaei, M, 1997).

Utvärderingen visar som förväntat att de höga påkänningarna uppträder i noderna, det vill säga i terminaler där godset lastas eller lastas om. Man ser också att uppmätta påkänningar i några fall är höga, vilket kan relateras till förhållandevis ovarsam hantering. Förpackningens konstruktion och dämpningsegenskaper

bestämmer dock den slutliga nivån, så som beskrivits nedan i avsnittet fallprovning (figur 13).

Här redovisas några exempel på mätsekvenser. I figur 8 visas utfallet från en transport innefattande fem länkar och sex noder och samma väg i retur.



Figur 6-1: Transport med nio omlastningar.

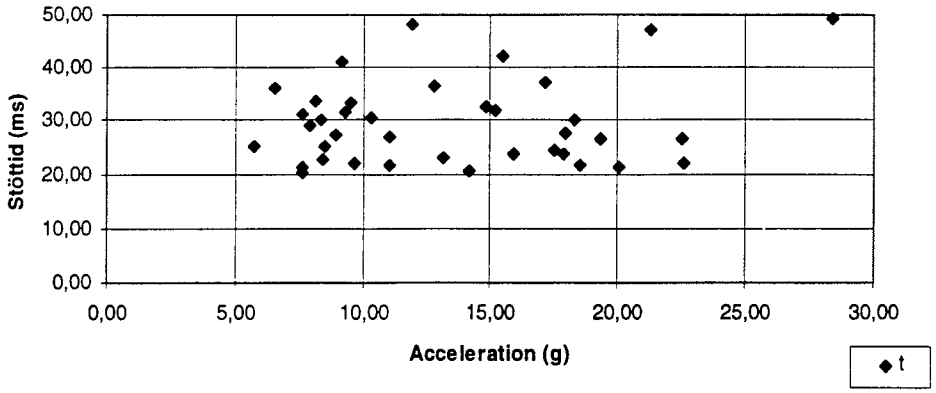
En annan analys kan göras genom att räkna antalet händelser över en viss nivå vid vissa tidsintervall, till exempel då godset befinner sig i en nod. Följande tabell visar antalet händelser med ett mätvärde över 20 g vid distinkta tider. Elva av de tretton tidsintervallen representerar noder, och i synnerhet en av dem (nr 3) indikerar ett hanteringsproblem.

Tabell 6-2: Antalet inträffade händelser över 20 g i tretton olika skeden i transportkedjan (Nesari, N, Rezaei, M, 1997).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	1	12	2	1	1	2	4	5	2	1	2	3

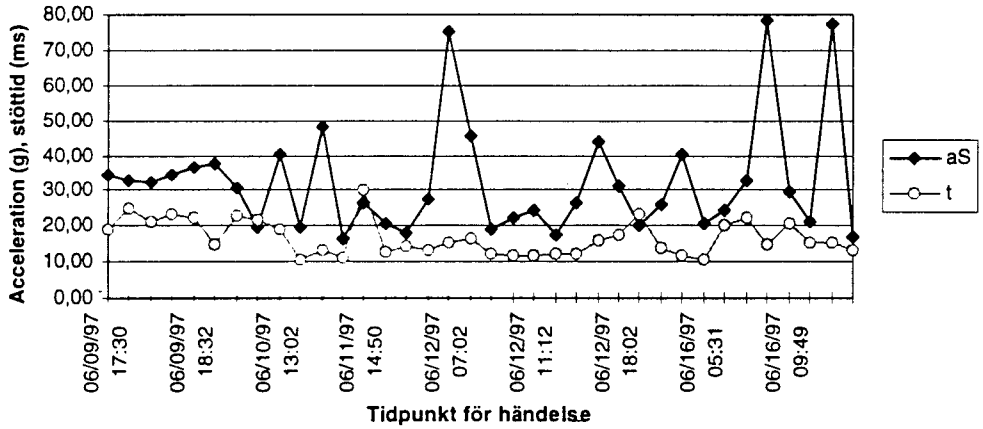
Som beskrivs nedan i avsnittet fallprovning (figur 13) ger en bestämd fallhöjd en bestämd stötimpuls, vilken emellertid beroende på islagsförhållandena och förpackningens dämpningsegenskaper kan ge en hög stötkraft under kort tid eller en lägra kraft med längre varaktighet. I föreliggande mätning har dock den högsta kraften (relaterad till högsta accelerationen enligt sambandet kraft = massa ×

acceleration) också den längsta varaktigheten vilket tyder på en mycket kraftig påkänning. Hela mätsekvensen sammanfattas i följande diagram.



Figur 6-2: Samband mellan uppmätt acceleration (kraft) och stötpulsens varaktighet.

Slutligen visas resultatet från i huvudsak samma transportkedja, men med ett mindre kolli (ca. 1 kg). Accelerationerna blir här betydligt högre, vilket visar på den slutsats som ofta kan dras, nämligen att mindre kollin som är lätta att hantera manuellt och kanske kastas vid sortering utsätts för högre fallhöjder och högre stötpåkänningar.



Figur 6-3: Uppmätta accelerationer med mindre kolli.

Kompletterande fallprovning i laboratoriet visar följande samband mellan acceleration och fallhöjd.

Tabell 6-3: Uppmätt acceleration vid typiska fallhöjder.

Fallhöjd (m)	0,8	1,2
Acceleration	60 g	102 g

7 ANALYS AV EXISTERANDE PROVNINGSMETODER

7.1 PROVURVAL

Från statistisk synpunkt kan det finnas skäl att ifrågasätta representativiteten hos den urvalsmetod för typprovning som reglerna anvisar. Den bygger på att tre förpackningar tas ut för ett provningsmoment, exempelvis fallprovning från 1,2 m höjd. Om sannolikheten att en förpackning klarar detta är 0,8 som i exemplet, blir sannolikheten att alla tre klarar det $0{,}8^3$, dvs. 0,51 eller något större än 1:2. Ett eventuellt godkännande bygger då mycket på en slump (Torstensson, 1985). Det är exempelvis mycket troligt att något av följande inträffar:

- Provningen utförs vid två olika provningsställen och misslyckas vid det ena. (Sannolikheten för detta är i exemplet $1 - (0{,}51^2 + 0{,}49^2) = 0{,}50$ dvs. 1:2)
- Provserien upprepas som tillverkningskontroll och ger då negativt resultat. (Sannolikhet 0,49)
- Då en provserie misslyckas upprepas den och godkänns då utan att någon teknisk förändring skett. (Sannolikhet 0,51)

Problemet undviks om man ersätter enkla ja/nej-provningar med sådana som visar den statistiska spridningen, exempelvis trappstegsmetoden enligt Dixon-Mood (Little, R E, 1975).

7.2 GENERALISERING AV PROVNINGSRESULTAT

En ofta återkommande fråga är hur ett provningsresultat skall fortsatt kunna användas som underlag för exempelvis certifiering vid förändringar av den provade produkten. I samband med europeiskt standardiseringsarbete avseende provning av tankar introducerades begreppet "family of tanks" och ett mindre utredningsarbete genomfördes för att identifiera kriterier för att avgöra om omprovning erfordras efter en förändring.

Ett förslag framlades av Frendin och Torstensson (Frendin, Torstensson, 1996) med innebörd enligt tabell 7-1.

Tabell 7-1: Åtgärder vid ändring av tankutformning.

Parameter	*Ändring utöver godkänd typ*	*Tillåts utan extrakontroll*	*Tillåts med extrakontroll*	*Nytt godkännande krävs*
Material	alla ändringar			X
Gavelform	alla ändringar		X	
Mantelform	alla ändringar			X
Diameter hos tank	minskning		X	
	ökning			X
Längd hos tank	minskning		X	
	ökning			X
Högsta bruttovikt	minskning	X		
	ökning		X	
Antal fack	minskning			X
	ökning			X
Isolering, tjocklek för extra skydd	minskning			X
	ökning		X	
Isolering, material	ökning av isolationsfaktor, energiabsorption volym, styrka		X	
	minskning av d:o			X

Parameter	*Ändring utöver godkänd typ*	*Tillåts utan extrakontroll*	*Tillåts med extrakontroll*	*Nytt godkännande krävs*
Fyllnings-utrustning	alla ändringar		X	
Tömnings-utrustning	alla ändringar		X	
Skydd mot vältning	alla ändringar			X
Stödstruktur	alla ändringar			X
Väggtjocklek	minskning			X
	ökning		X	
Diameter hos öppningar	minskning		X	
	ökning			X
Beräkningstryck	minskning	X		
	ökning			X
Temperatur område	minskning	X		
	ökning		X	
Samma tillverkare	olika tillverkningsställen		X	
Svetsprocedur	alla ändringar		X	
Transportsätt				X
Innerbeklädnad	annat material			X
Ram	modifiering		X	
Skvalpskott	annat antal		X	

7.3 STAPLINGSPROVNING

Regelverken föreskriver att belastningen vid staplingsprovning skall motsvara en staplingshöjd av minst tre meter vid stapling av likadana förpackningar. Om längd eller bredd reduceras blir säkerheten mot knäckning större genom kanternas uppstyvande verkan och omprovning är inte erforderlig. Om höjden reduceras och bruttovikten reduceras i motsvarande mån är omprovning inte heller erforderlig. Om vikten däremot bibehålls behöver staplingsprovningen ske med högre belastning om regelverket skall följas.

Rent tekniskt kan man emellertid konstatera att knäckningsrisken bör vara omvänt proportionell mot höjden i kvadrat:

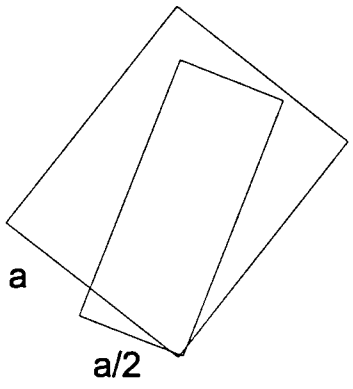
Knäcklast $P \sim 1/H^2$

och att en omprovning även då egentligen vore överflödig.

7.4 FALLPROVNING

Det andra kritiska momentet är fallprovning. Även här kan konstateras att en reduktion av dimensioner med motsvarande reduktion av bruttovikten bör medge undantag från omprovning. För vätskeförpackningar sker viktreduktionen med automatik eftersom provningsnivån bestäms av densiteten.

Fallprovningen är en förhållandevis oexakt form av verifiering av stöttålighet. Ett problem är att värdera skillnaden i fallattityd som kan uppstå vid minskning av en sidas mått. Ett av provningsmomentet är som regel fall diagonalt mot en kant eller hörn. Som i exemplet i figur 11 kommer fördelningen av stötpåkänningen att ändras om en sida kortas. En smalare låda får därigenom en större koncentration av stötimpulsen mot den nedre kortsidan.

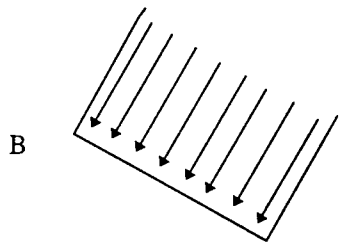


Figur 7-1: Fallorienteringen ändras då sidan minskas.

En beräkning av påkänningen under förenklade antaganden ger följande resultat.

Kraften relaterad till stötpulsen antages likformigt fördelad över kortsidan och vara totalt Q. Den antas vidare verka vinkelrätt mot sidan.

Tvärkraften blir då maximalt T = Q/2. Det är den kraft som kan ge brott i hörnet B, och den är således oberoende av sidlängden.



Figur 7-2: Kraft på en förpackningssida.

Böjmomentet på mitten blir M = Qa/8. Motsvarande dragspänning i materialet kan då skrivas s = Mz/I, där I är yttröghetsmomentet för tvärsnittet (i regel $bt^3/12$, b sidbredd, t väggtjocklek) och z är maxavståndet från böjningscentrum till ytterkanten (i regel t/2). Spänningen i materialet blir då för ett givet material proportionell mot sidlängden.

$s \sim a$

Sett mot den bakgrunden kan omprovning utgå. Det är emellertid inte tillräckligt som bakgrundsutredning. Man måste också analysera dämpningsegenskaper hos förpackningsmaterialet (och hos förpackningens innehåll: ett problem med att jämföra fallprovningsresultat hos förpackningar med samma vikt men olika storlek är att innehållets dämpande egenskaper varierar).

En förpackning med vikten (massan) m som faller från en höjd h, och som är tillräckligt plastisk för att inte studsa vid islaget utsätts för en stötimpuls (g är tyngdaccelerationen, 9,81 m/s^2):

$$P = m\sqrt{(2gh)}$$

Stötimpulsens samband med stötkraften F beskrivs av integralen:

$$P = \int_{t=0}^{t=t_0} F dt$$

där t_0 är stötens varaktighet.

Beroende på förloppet kan man således få en lägre kraft under en längre tid eller en högre kraft under en kortare tid, schematiskt visat i figur 7-3.

Figur 7-3: En given stötimpuls kan ge en hög kraft under kort tid eller lägre kraft under längre tid.

En större sidlängd kan i regel förväntas ha ett större deformationsområde innan brott. Om vi för enkelhets skull återigen tillämpar balkanalogin beskrivs den elastiska utböjningen w som:

$$w = 5Qa^3/(384EI)$$

eller omvänt

$$Q = 384EIw/(5a^3)$$

För att få ett begrepp om utböjningen vid islaget kan man betrakta en balks svängningsrörelse, vilken bestäms av ekvationen:

$$M\ddot{w} = -Q$$

Med Q enligt ovan och islagshastigheten v_0 får vi efter integration maximal (elastisk) utböjning:

$$w = [5Mv_0^2a^3/(384EI)]^{1/2}$$

Med given fallhöjd, som bestämmer islagshastigheten, och givna material och väggtjocklek, vilka bestämmer elasticitetsmodulen E och yttröghetsmomentet I, så är också sidans massa M proportionell mot sidlängden a, $M \sim a$, och vi får att utböjningen är proportionell mot a^2:

$$w \sim a^2$$

Härav fås enligt ovan att tvärkraften i hörnen T = Q/2 nu visar sig vara omvänt proportionell mot sidlängden, T ~ 1/a, och att *påkänningen i sidans kanter således blir högre då sidlängden minskas*. Böjmomentet på mitten blir fortfarande M = Qa/8, vilket med detta beräkningssätt blir oberoende av sidlängden a. Maximala dragspänningen mitt på sidan blir därför också oberoende av a.

Räkneexemplet visar att det inte är omedelbart klart att en minskning av måtten hos en förpackning ger bättre hållfasthet. För att närmare klargöra villkoren erfordras bland annat en analys av uppträdande skademekanismer.

7.5 HYDRAULISK TRYCKPROVNING

För relativt länge sedan konstaterades att den tryckprovning som anges i reglerna för typprovning av emballage och småbulkbehållare för farligt gods inte är tekniskt försvarbar. Bland annat har det visats (Torstensson, 1983) att den relation mellan provtryck och tillåtet ångtryck som beskrivs i regelverken har begränsad giltighet. Vissa modifieringar i regelverken, i form av hänvisning till totalt inre tryck och ett minimiprovtryck av 100 kPa i annat fall, har införts. Fortfarande tas den i regelverken angivna "säkerhetsfaktorn" fullt ut i anspråk och ibland något därutöver.

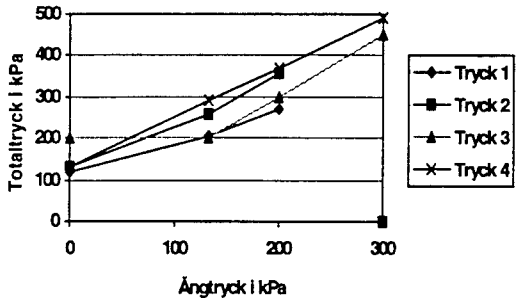
Ett problem är att plastkärl inte tryckprovas vid förhöjd temperatur, fastän +50° anges som referenstemperatur. På grund av plastens viskoelastiska egenskaper är hållfastheten mot inre tryck starkt temperaturberoende.

Andra frågor tas upp i den refererade rapporten (Torstensson, 1983). Eftersom innehållets ångtryck långtifrån är den enda faktorn som bidrar till det totala inre trycket i förpackningen, blir det missvisande att relatera provtryck till ångtryck enbart. I större eller mindre utsträckning bidrar följande faktorer också:

- Förpackningens täthet
- Mättnadsgrad hos ångan
- Volymutvidgningskoefficient hos innehållet
- Högsta temperatur
- Fyllnadsgrad
- Temperatur och tryck vid fyllning
- Löslighet av luft i vätskeinnehållet
- Förpackningens deformationsegenskaper
- Längdutvidgningskoefficient hos förpackningsmaterialet

Diagrammet i figur 14 beskriver relationerna mellan följande data:

1. Beräknat totaltryck för ett antal ämnen (aceton, koldisulfid, etanol, etyleter, saltsyra 38%, metanol, vatten och xylen) (absoluttryck)
2. Trycket enligt 1., multiplicerat med en säkerhetsfaktor 1,5
3. Provtryck enligt regelverken
4. Provtryck enligt förslag i Torstensson, 1983: $p_t = 1{,}2p_v + 30$



Figur 7-4: Relationer mellan uppträdande inre tryck och provtryck.

Samtidigt som regelverken är tekniskt felaktiga kan det konstateras att det saknas underlag för att bedöma skadeeffekterna därav. En kostnads-nyttoanalys bör därför föregå en eventuell revision.

8 SLUTSATSER

Kartläggningen inom föreliggande projekt visar tydligt att transportskador och skydd mot transportpåkänningar alltjämt är ett mycket aktuellt problem. Bland annat framgår det av aktuella tekniska utredningar:

- De refererade tyska projekten.
- De nystartade Europaprojekten SRETS och CHEMPACK.
- CEEES-seminariet.
- Den redovisade enkäten till transportsektorn.
- De mätningar som nu utförts och analyserats enligt ovan.

Samtidigt står det klart att de tekniska förutsättningarna finns för en substantiell reduktion av inträffade skador.

- Kunskap om transportpåkänningars art och storlek.
- Adekvata förpackningslösningar.
- Provnings- och verifieringsmetoder (vilka ytterligare kommer att förfinas som följd av SRETS- och CHEMPACK-arbetet).
- Lastsäkringsmetoder och -materiel.
- Omfattande regelverk på området farligt gods

Vad som däremot synes saknas är kännedom om olika åtgärders effektivitet, riskanalys och kostnads/nyttoanalys på området transport av gods inklusive farligt gods. I många fall saknas också kunskap, intresse eller ekonomiska incitament i de led som kan påverka skadebilden. Det finns ett antal åtgärder som kan vidtas vid sidan av tekniska förbättringar.

- Utbildning.
- Effektivare informationsöverföring.
- Översyn av ansvars- och ersättningsprinciper vid inträffade skador.
- Klargörande av ekonomiska faktorer.

Det finns underlag (CEEES, 1996) som tyder på att stora ekonomiska vinster finns att hämta i en optimering av godsskyddsinsatser, mest på grund av att överdimensionering drar stora kostnader för material, arbete, kvittblivning, utrymme och drivmedel.

En reduktion av godsskador måste vägas mot de totala kostnaderna för åtgärderna och ett optimum sökas i enlighet med det inledningsvis skisserade sambandet i figur 1.

Det behöver därför utvecklas modeller för bedömning av olika åtgärders effektivitet enligt ovan och som beskriver utfallet med ekonomiska mått. I samband med regelframtagning på internationell nivå – en omständlig och kostsam procedur – visar sig ständigt bristen på tillräckligt underlag för bedömning av effektiviteten och kostnaden av föreslagna regeländringar. IMO har nu konstaterat detta problem och adopterat den så kallade FSA-metodiken (Formal Safety Assessment) för riskanalys för användning vid framtagning av nya regler. En likartad systematik bör utvecklas även för landtransport och tillämpas på transportsituationer, där nuvarande regelverk uppfattas som otillräckligt, och efterhand också på existerande regler med avseende på deras funktion.

Ett särskilt problem i samband med skador och haverier är att andelen "mänsklig faktor" i händelsekedjan fram till inträffad skada är mycket hög och uppskattas i regel till 70 – 90 %. En metod att reducera sannolikheten för detta är att med informationsteknikens hjälp utveckla beslutsstödssystem, efter att ha identifierat möjliga insatsområden.

Sammanfattningsvis visar föreliggande undersökning inte på någon uttalad brist på tekniska eller föreskriftsmässiga förutsättningar för en säker transport. Däremot saknas implementerade rutiner och metodik för riskanalys och riskvärdering och för att bedöma kostnadseffektivitet av framför allt ny regelframtagning. Informationstekniska hjälpmedel för att effektivare hantera befintliga system bör också vara ett angeläget område för fortsatt forskning.

REFERENSER

ADR, 1996, *Europeisk överenskommelse om transport av farligt gods på väg,* utgiven på svenska som SRVFS 1996:2, Statens Räddningsverk, Karlstad.

Andersson, T., Kjell, G., Pettersson, T., Torstensson, H. och Trost, Th., 1991, *Freight transportation environment and its characterization,* TFB Report 1991:35, TFB (KFB) Stockholm.

Arnäs, P.O., Lumsden, K., Stjernman, G., 1997, *Interference of dangerous goods in a multi-modal logistics system,* CTH Transportteknik, Göteborg.

CEEES, 1995, *Bibliography on transportation stresses,* CEEES/SEES, Stockholm

CEEES, 1996, *Workshop on Environmental loads during transportation and handling,* Proceedings, CEEES, Bryssel.

Charles, D., 1992, *Derivation of environment descriptions and test severities from measured road transportation data,* Proceedings of the Institute of Environmental Sciences, Mt. Prospect, Ill.

DIN 30782, 30786-30789, Transportbeanspruchungen, DIN Deutsches Institut für Normung (kommande standard).

Frendin, J., Torstensson, H., 1996, *Safety of transport tanks - criteria for wall thickness and family of tanks,* SP AR 1996:11, Borås.

Gefahrgutverpackungsprüfmethoden, 1987, FE 90083/85, TÜV Bayern, München.

IMO, 1996, *IMDG, International Maritime Dangerous Goods Code* , IMO, London.

IMO, 1997, *Formal Safety Assessment, Interim guidelines for the application of FSA to the IMO rule-making process,* IMO MEPC 40/16, London.

Little, R E, 1975, *Manual on statistical planning and analysis,* p 54, STP 588, ASTM, Philadelphia

MIL-STD-810F, Military Standard, U. S. Department of Defense

Nesari, N., Rezaei, M, 1997, *Transportpåkänningar*, examensarbete, Högskolan i Borås.

Olofsson, U., Svensson, Th., Torstensson, H., 1995, Response spectrum methods in tank-vehicle design, *Experimental Mechanics*, vol 35, nr 4.

Richards, 1991, Final report on the CEEES road transportation round robin exercise, CEEES/*Hunting Engineering*.

Richards, D.P., Hibbert, B.E., 1993, A round robin exercise on road transportation data, *Journal of the IES*, July/August 1993.

RID, 1996, Internationellt regelverk för transport av farligt gods på järnväg, utgiven på svenska som SRVFS 1996:3, Statens Räddningsverk, Karlstad.

SEES, 1991, *Handbok i miljötålighetsteknik*, del 1, SEES, Stockholm.

Stjernman, G., 1990, *Vägvalsstyrning i ett kvantitativt riskperspektiv*, CTH Transportteknik, Göteborg.

Svensson, Th., Torstensson, H., 1995, *Dimension criteria for tanks for dangerous goods*, Proceedings of the Institute of Environmental Sciences, Mt. Prospect, Ill.
THESEUS, 1995, *Tank-vehicles with maximum attainable safety through experimental accident simulation*, Final summary report, BMBF, Köln.

Torstensson, 1983, *Internal pressure in containers*, SP-RAPP 1983:46, Borås.

Torstensson, 1985, *Provning av mekanisk funktion och säkerhet - principer och praxis*, SINTOM seminarium, Borås.

Torstensson, H, 1989, *Förpackningsteknologi*, SP AR 1989:54, Borås.

Trost, 1997, *Source reduction by European testing schedules (SRETS) - an international research project*, 10th IAPRI World Conf. on Packaging, Melbourne.

UN 1995, *Recommendations on the transport of dangerous goods*, United Nations, New York/Genève.

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Transportteknik

ISSN 0283-4421

I SERIEN "MEDDELANDE" HAR UTGIVITS FÖLJANDE SKRIFTER

TITEL OCH FÖRFATTARE	NR	ÅR
Kriterier för val av hanteringsutrustning i terminal- och distributionsverksamhet - Delrapport Tomas Engström, Jan Petzäll	1	1985
Lastmoduler i integrerade transportsystem - Förstudie Lars Sjöstedt	2	1985
Kollektivtrafikens komfort - Program och förstudie Börje Johansson	3	1986
Gränsbommen - ett göteborgskt forskningsprogram om gränsöverskridande transporter Lars Sjöstedt, Jennie Thalenius, Johnny Lindström Morgan Williamsson	4	1986
Kriterier för val av hanteringsutrustning i terminal- och distributionsverksamhet - Delrapport Tomas Engström, Jan Petzäll	5	1986
Utformningskriterier för specialfordon och taxi med hänsyn till rörelsehindrades in- och urstigning Tomas Engström, Anders Lundberg, Jan Petzäll	6	1986
Transportsystemet bortom år 2000 Lars Sjöstedt	7	1986
Materialflödesekonomi - Många små eller få stora transporter Lars Sjöstedt	8	1986
Materialhanteringssystem med fischer-technik robot computing Fredrik Källström	9	1986
På/avstigningsförfarandets betydelse för stadsbussars effektivitet Börje Johansson	11	1986
Kriterier för val av hanteringsutrustning i terminal- och distributionsverksamhet - Delrapport Tomas Engström, Jan Petzäll	12	1986

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Transportteknik

ISSN 0283-4421

TITEL OCH FÖRFATTARE	NR	ÅR
Level Crossing Safety - Special report about rail buses Mohammad Shahriari, Lars Sjöstedt	13	1987
Fordonsanvändning - en studie mot bakgrund av elfordon och användarkrav Stefan Liljemark	14	1987
Kriterier för val av hanteringsutrustning i terminal och distributionsverksamhet - Delrapport Tomas Engström, Jan Petzäll	15	1987
Intermeditate bulk container (IBC) operation compared with other bulk material containers - An introductory analysis Mohammad Shahriari, Håkan Torstensson	16	1987
Kriterier för val av hanteringsutrustning i terminal och distributionsverksamhet - Delrapport Tomas Engström, Jan Petzäll	17	1987
Samhällsbetalda resor i Vara - förslag till effektivare lösningar Börje Johansson, Stefan Liljemark, Han-Åke Pettersson, Lars Wede	18	1987
Projekt GANSTER - Del 1: Systemförslag, Del 2: Systemmoduler Jerzy Tarkowski, Håkan Buskhe, Alf Ekström, Stig Forsmark, Bo Ireståhl, Cai Troedson	19	1987
Emergency braking system for a single unit diesel railbus Mohammad Shahriari, Lars Sjöstedt	20	1988
Fiskeriteknik - Utförda arbeten vid Institutionen för Transportteknik, CTH	21	1988
Lastmoduler i integrerade transportsystem Tomas Engström, Mats Johansson, Anders Lundberg	22	1988
Makulerad	23	
Transportbranschens roll och utformning på 90-talet Jerzy Tarkowski, Kenth Lumsden	24	1988

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Transportteknik

ISSN 0283-4421

TITEL OCH FÖRFATTARE	NR	ÅR
Några funktionskrav för administrativa strukturers anpassning och omgruppering vid autonoma arbetsgrupper i serieproduktion vid Volvo's Uddevallafabrik Tomas Engström	25	1986
Sammanfattning av diskussioner kring förutsättningar för layoutval Tomas Engström, Lars Medbo	26	1987
Förslag till "Utvärdering av utbildning av blivande bilbyggare i produktionslika arbetsförhållande" Tomas Engström, Lennart Nilsson	27	1987
Naturligt grupperat arbete vid Volvo Lastvagnar - AB-förstudie Tomas Engström, Bengt Kristensson	28	1988
Monteringsanvisningar för naturligt grupperat arbete Tomas Engström, Lars Medbo, Klas Thunberg	29	1988
Variantspår för "Naturligt" grupperat arbete Tomas Engström	30	1988
Principer för och funktion hos Volvo Uddevallaverken slutmonteringsfabrik Tomas Engström, Lars Medbo, Klas Thunberg	31	1988
Resursanvändning och val av transportlösningar för gränsöverskridande godsflöden Huvudrapport + figurbilaga Jennie Thalenius-Adolfsson	32 a+b	1988
Resursanvändning och val av transportlösningar för gränsöverskridande godsflöden - Delrapport Lastbärarsystem för gränsöverskridande trafik - teknisk beskrivning Peter Andersson, Göran Efraimsson, Nick Perdikaris	33	1987
Behov och värde av vägvalsstyrning för transport av farligt gods - Delrapport Göran Stjernman	34	1988
C-sam Kenth Lumsden	35	1989

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Transportteknik

ISSN 0283-4421

TITEL OCH FÖRFATTARE	NR	ÅR
Produktkvalitet - flödeskvalitet Magnus Strand, Kenth Lumsden	36	1989
Passagerarplats i buss Börje Johansson	37	1989
Framtida järnvägsförbindelser från Göteborg Börje Johansson, Lars Sjöstedt, Hans Blomberg, Curt Elmberg, Eric Enocson, Morgan Williamsson	38	1989
Materialadministrationens utveckling från idé till etablerad disciplin Maria Green, Dag Ericsson, Kenth Lumsden	39	1989
Säkerheten i regional tågtrafik Lars Sjöstedt (redaktör)	40	1989
Optimalt utnyttjande av ett järnvägsföretags vagnskapital Lars Sjöstedt, Jennie Thalenius, Johan Bengtsson	41	1990
Energilogistik för alternativa drivmedel Magnus Blinge	42	1990
Hantering av gods - Studier av ergonomi och utrustning Tomas Engström, Anders Lundberg, Jan Petzäll	43	1990
Kombitransporter på mellanområden Maria Danielsson, Joakim Sjöholm, Lars Sjöstedt	44	1990
Förskjutning av transportuppdragets omfång Joakim Sjöholm, Kenth Lumsden	45	1991
Behov och värde av vägvalsstyrning vid transport av farligt gods Göran Stjernman, Kenth Lumsden	46	1991
Automatisk datainsamling och dess påverkan på det interna materialflödet Roger A. Lindau	47	1991
Internationell logistik - Distribution via brytpunkter Maria Danielsson, Kenth Lumsden	48	1991

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Transportteknik

ISSN 0283-4421

TITEL OCH FÖRFATTARE	NR	ÅR
Komfortmätning på tunnelvagnar och tåg Börje Johansson	49	1991
Inrikes kustsjöfart - Godsströmmar och framtidsutsikter Lars Hultén, Kenth Lumsden	50	1990
Godstransporter till och från en glesbefolkad region - Analys och förslag till samordnade kombiupplägg för Jämtland Joakim Sjöholm, Kenth Lumsden	51	1992
Direkttransporter från en glesbefolkad region - Analys av transportflöden i sex kommuner i Dalsland och sydvästra Värmland Joakim Sjöholm, Kenth Lumsden	52	1992
Use of electric wheelchairs - A Comparative Study on Transport Solutions for Wheelchair Users in Japan and Sweden Yasuhiro Iwata	53	1992
Reduktion av störningseffekter med hjälp av information av hög kvalitet - Förstudie Roger Lindau, Kenth Lumsden	54	1992
En simuleringsmodell av obevakade plankorsningar Johan Bengtsson, Ragne Carlsson	55	1992
Development of the Work Environment in Marine Transport Systems - A Pilot Study Jadwiga Igielska, Martin Olofsson	56	1993
Disturbance Absorption Actions used in Material Flow Systems - A pilot study Roger Lindau, Kenth Lumsden	57	1993
Enhetslaster - teknik, ekonomi och historia Johan Woxenius	58	1993
Systemutveckling av internationell lastbärare för sjö-, väg- och järnvägstransporter Kenth Lumsden, Red.	59	1993

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Transportteknik

ISSN 0283-4421

TITEL OCH FÖRFATTARE	NR	ÅR
LP-modeller för allokering av godsvagnar i ett slutet järnvägssystem Henrik Jönsson	60	1992
Beslutsstöd för optimalt utnyttjande av vagnkapitalet Johan Bengtsson, Jennie Thalenius-Adolfsson	61	1992
Säkerhetsbälten och förankringsanordningar för rullstolsburna resenärer i fordon Jan Petzäll	62	1992
Brytpunktsdistribution för kontinenttrafik Maria Helmroth, Kenth Lumsden	63	1993
Technological survey and classification of resources used in combined transport in Sweden Jan Matej	64	1993
Logistical aspects of design and administration of automatic warehouses for small unit-loads based on Swedish examples Radoslaw Cieslak	65	1993
Risk analysis at railway/highway level crossings - - A fault tree analysis Mohammad Shahriari	66	1992
Logistic models for circulation and utilization of cargo carrying equipment - Pilot study Lars Hultén, Jadwiga Igielska, Kenth Lumsden	67	1991
Dubbelriktade tomtransporter i tre trafiksystem Förstudie till projektförslaget "Överobalanser och resursutnyttjande i system för inrikes linjetrafik" Joakim Sjöholm, Kenth Lumsden	68	1993
Energilogistik - Livscykelanalys av drivmedel Magnus Blinge	69	1993
Informationsflödet i transportkedjan Thomas Kanflo, Kenth Lumsden	70	1994
Impact of logistic and social variables on cost efficiency in manufacturing and health care Horst Mueller	71	1994

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Transportteknik

ISSN 0283-4421

TITEL OCH FÖRFATTARE	NR	ÅR
Resursutnyttjande i linjebaserad vägtrafik Håkan Buskhe, Kenth Lumsden	72	1994
High bay warehouse - concept of administration Grzegorz Klekot, Grzegorz Jablonski	73	1994
Strengthening University programs in the field of road traffic informatics in Gothenburg: Issues and options Lester A. Hoel	74	1994
Sustainable Mobility - A Systems Perspective on Policy Issues addressed by the 10th CAETS Convocation in Zürich Lars Sjöstedt	75	1994
Analys och utformning av plocksystem för satsning av material till montering Henrik Brynzér, Mats Johansson	76	1994
Potential for biomass based motor fuels in Sweden and in the EC Magnus Blinge	77	1994
Swedish railway policy - a critical study Nils Bruzelius, Arne Jensen, Lars Sjöstedt	78	1994
Model for quantifying transport quality - Pilot study Johan Hellgren	79	1994
Lead-times in Swedish manufacturing companies John E. Wedel	80	1994
Combined transport - Proceedings of a TEMPUS-seminar, Gothenburg May 26 1994 Johan Woxenius	81	1994
Network models for resource utilization in the transport system Ans van den Bosch, Kenth Lumsden	82	1994
Computer aided warehouse operations and combined transport Piotr Bilogan, Stanislaw Skotnicki	83	1994

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Transportteknik

ISSN 0283-4421

TITEL OCH FÖRFATTARE	NR	ÅR
Applications of the Tobit model in logistics Yutaka Watanabe	84	1995
Energilogistikmodell för systemberäkningar av transport- och energiförsörjningssystem Magnus Blinge	85	1995
Role of a foreign visiting professor in the development program of the center for transport and traffic Bernhard Tilanus, Lars Sjöstedt	86	1996
Enhet för miljöanpassad teknik för person- och godstransporter - Individuell persontrafik, el- och hybridfordon - Förstudie David Bauner, Kenth Lumsden	87	1996
Implementation of expert systems in a transportation service concept Jacek Cypryanski, Kenth Lumsden	88	1994
The influence of logistics on costs in enterprises of food industry Beata Milewska, Kenth Lumsden	89	1996
Possibilities of reducing safety stocks in a food producing company Dariusz Milewski, Kenth Lumsden	90	1996
Flexibilitet och resursutnyttjande i inrikes linjetrafik Maria Helmroth, Arne Jensen, Kenth Lumsden Peter Rosén, Jennie Thalenius	91	1996
Total environmental impact from the freight transportation sector - A systems perspective Magnus Blinge, Kenth Lumsden	92	1996
Smallboxes used in the German and the Swedish car industry - An experimental comparison of the manual handling Rolf Gerstner, Birgitta Öjmertz	93	1996
Fast ferry sea transportation system Thore Hagman	94	1997

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Institutionen för Transportteknik

ISSN 0283-4421

TITEL OCH FÖRFATTARE	NR	ÅR
Livscykelanalys av drivmedel En studie med utgångspunkt från svenska förhållanden och bästa tillgängliga teknik Per-Olof Arnäs, Magnus Blinge, Sebastian Bäckström, Åsa Furnander	95	1997
Livscykelanalys av drivmedel - Sammandrag av Meddelande 95 En studie med utgångspunkt från svenska förhållanden och bästa tillgängliga teknik Per-Olof Arnäs, Magnus Blinge, Sebastian Bäckström, Åsa Furnander	96	1997
Jämförande analys av producerade rapporter kring livscykelanalyser av drivmedel Magnus Blinge	97	1996
Assessment of handling and transport efforts in delivery systems Stefan Neiffer, Birgitta Öjmertz	98	1997
Utformning av effektiva och ergonomiskt goda materialflödessystem med returförpackningar - Rapport från doktorandutbytesprogram mellan Chalmers och Univärsität Stuttgart Mats I. Johansson, Birgitta Öjmertz	99	1997
Transportförpackningar - analys av skadeframkallande hantering Håkan Torstensson, Patrik Arvidsson	100	1998

With support from

KFB
KOMMUNIKATIONS
FORSKNINGS
BEREDNINGEN

The Swedish Transport and Communications Research Board

Institutionen för Transportteknik
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg
Tel: 031-772 10 00
Fax: 031-772 13 37
E-mail: transport@mot.chalmers.se

Department of Transportation and Logistics
Chalmers University of Technology
S-412 96 Göteborg, Sweden
Tel: +46 -31-772 10 00
Fax:+46 -31-772 13 37
E-mail: transport@mot.chalmers.se