



LUND UNIVERSITY

Beständighet hos vägbeläggningar : workshop 5 april 2001 i Lund

Andersson, Ronny

2001

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Andersson, R. (2001). *Beständighet hos vägbeläggningar : workshop 5 april 2001 i Lund*. (Rapport TVBM (Intern 7000-rapport); Vol. 7164). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
LUNDS UNIVERSITET

Avd Byggnadsmaterial

Workshop **Beständighet hos vägbeläggningar**

5 april 2001 i Lund

Ronny Andersson



TVBM-7164

Lund 2001

Workshop

Beständighet hos vägbeläggningar

5 april 2001 i Lund

Arrangerad inom
Konsortium – Väg, Bro, Tunnel

Ronny Andersson
Sammanfattning och sammanställning
av föredrag

ISRN: LUTVDG/TVBM--01/7164--SE (1-88)

ISSN: 0348-7911 TVBM

Lunds Tekniska Högskola
Byggnadsmaterial
Box 118

221 00 LUND

Tel: 046-2227415
Fax: 046-2224427
www.byggnadsmaterial.lth.se

Innehållsförteckning	Sid
Förord	3
Sammanfattning/slutsats	4
1. Bakgrund och upplägg	7
2. Inledning	7
3. Bärighetsberoende nedbrytning	9
4. Beständighetsberoende nedbrytning och modeller	17
5. Vägverkets beslutsunderlag	23
6. Beställarstrategier och konkurrensutsatt upphandling	24
7. Kort summering	29
 Bilaga A: Program och inbjudan	 33
Bilaga B: Deltagarlista	38
Bilaga C: Inledning av Workshop. Ronny Andersson och Göran Fagerlund	39
Bilaga D: Föredrag av Per-Ola Jönsson, "Bärighetsberoende nedbrytning och modeller". Litteratur och OH-bilder	43
Bilaga E: Föredrag av Johan Silfwerbrand, "Bärighetsberoende nedbrytning och modeller". Litteratur och OH-bilder	49
Bilaga F: Föredrag av Ulf Isacsson, "Beständighetsberoende nedbrytning och modeller".Litteratur och OH-bilder	63
Bilaga G: Föredrag av Göran Fagerlund: "Beständighetsberoende nedbrytning och modeller", litteratur	75
Bilaga H: Föredrag av Thomas Winnerholt:"Vägverkets beslutsunderlag inklusive effektsamband, värderingsmodeller, mm", OH-bilder	79
Bilaga I: Föredrag av Ola Mattisson: "Beställarstrategier och konkurrensutsatt upphandling",OH-bilder	85

Förord

Forskningskonsortiet Väg/Bro/Tunnel är bildat av företagen Cements AB, Elforsk AB, LKAB, NCC AB, PEAB AB och Skanska AB, och utgör en gemensam satsning på forskning och utveckling inom infrastrukturområde avseende vägar, broar, dammar och tunnelsystem.

Målet är att öka effektiviteten i infrastrukturprojekt genom integrering av processer som konstruktion, produktion, underhåll och återvinning/återanvändning. Ett sekundärt mål är att skapa nätverk mellan högskolor/universitet och företagen med syfte att förbättra samverkan mellan forskare och marknad.

Arbetet bedrivs i form av industridoktorandprojekt vid KTH, CTH, LTH och LTU. Projekten finansieras av Vinnova, SBUF, de medverkande företagen och högskolorna, och är indelade i tre teknikområden: väg, bro/damm och tunnel. Parallellt med teknikområdena bedrivs verksamhet i två s.k. Mini-kompetenscentra: Mkc Material och Konstruktion samt Mkc Jord och Berg. Inom dessa kompetenscentra genomförs forskarkurser och workshops avseende ämnen som ligger inom ramen för konsortiets forskning. Kurserna och workshopen är av tvärfacklig karaktär och är öppna även för deltagare utanför konsortiet.

Föreliggande rapport behandlar en workshop i Lund den 5 april 2001, anordnad av Mini-kompetenscentra Material och Konstruktion. Workshopen syftade dels till att föra samman två materialtekniska forskningsområden – asfaltteknik och betongteknik – där båda materialen används som vägbeläggning. Det kunskapsutbytet som därmed kunde ske är av stort värde. Ett ytterligare syfte med workshopen var att sätta in beläggningstekniken och dess betydelse i bygg- och förvaltningsprocessen.

Stort tack riktats till workshopens värd prof. Göran Fagerlund, föreläsare och övriga deltagare. Ett speciellt stort tack riktas till workshopens ordförande och initiativtagare Ronny Andersson.

Stockholm, januari 2002
Mikael Hallgren
Programsekreterare, konsortium Väg-Bro-Tunnel

Förord

Den ursprungliga idén till att genomföra en "materialneutral" workshop om vägbeläggningar kom, som nämnts ovan, från Ronny Andersson, Cements. Vår avdelning fick uppgiften att fungera som värd för mötet vilket var den enklare delen av arrangemanget. Det stora arbetet med att utforma program, kontakta föreläsare, ordna inbjudningar, mm utfördes av Ronny Andersson med understöd av Mikael Hallgren. Det ännu större arbetet med att sammanställa föreliggande rapport genomfördes av Ronny Andersson ensam.

Jag vill framföra mitt och avdelningens varma tack till Ronny och Mikael.

Lund, januari 2002
Göran Fagerlund
Avd byggnadsmaterial, LTH

Sammanfattning/Slutsats

I Sverige har en aktiv konkurrens mellan beläggingsmaterial funnits de senaste 10 åren, en konkurrens som varit mycket positiv för beställare, trafikanter och hela den vägtekniska utvecklingen i Sverige. Vägverkets satsning på betong har också gett asfaltsidan möjlighet att jobba med andra konstruktionslösningar och material. Utvecklingen har dock skett separat för asfalt och betong, dvs. forskningen har inte lyckats bryta varken de tekniska eller kommersiella gränserna.

Infrastrukturprogrammet Väg, Bro, Tunnel (VBT) har som mål att skapa en mer effektiv byggprocess. Verksamheten är uppbyggd kring s.k. industridoktorander. I nuläget omfattar programmet 18 doktorander. Föreliggande rapport behandlar en VBT-workshop i Lund den 5 april 2001. Workshopen syftade främst till att föra samman två materialtekniska forskningsområden – asfalt- och betongteknik – där båda materialen används som vägbeläggning.

Utifrån bärighetsberoende nedbrytning och modeller är uppbyggnaden av vägkonstruktionen, teorier mm mycket lika för asfalt och betong. Skillnader finns bl.a. i böjstyvhet, och helt olika utmattningskriterier, och att asfaltens egenskaper är mycket beroende av temperaturen. En annan skillnad är att betongbeläggningar dimensioneras av en sammanläggning av påkänningar både från trafikbelastning och från ojämn temperaturpåverkan. Temperaturpåkänningar för asfaltbeläggningar diskuteras samtidigt också alltmör och undviks främst genom att i kallare klimat använda mjukare bitumen, i speciella fall även genom armering av asfalt eller genom fogade asfaltbeläggningar.

Den maximalt tillåtna högsta bruttovikten för lastbilar har ökat dramatiskt från 10 ton 1920 till idag 60 ton. Utvecklingen av axellaster och däcktryck på våra vägar har också ökat lika snabbt och båda är idag högre än de beräkningsdata som används av Vägverket. Denna utveckling talar för styvare beläggningar (som betong).

Olika litteratur visar för asfalt på en stor spridning i erforderliga överbyggnader vid samma trafikbelastning. En undersökning visade 13 – 22 cm bundna lager beroende av använd metod. En annan referens, baserad på ett samarbete mellan 20 europeiska länder, visar också att vi i Sverige har bland den absolut lägsta bärigheten i Europa hos våra asfaltvägar vid samma trafiklast. Med beaktande av ovanstående är det inte att rekommendera att frånga, i Sverige, etablerad erfarenhet, metoder och brottkriterier som bl.a. gjordes inför Arlanda bana 3.

Litteraturen visar också att brottkriteriet för asfalt i de olika länderna varierar mellan 5 och 50 %, i Väg 94 är den för asfalt 50 %. Betong dimensioneras med betydligt högre säkerhet mot brott och denna skillnad måste tas med vid jämförelsen av beläggningalternativen.

Litteraturen visar också att styva överbyggnader är flitigt använda i bl.a. Belgien, Frankrike, Tyskland, Holland, Ungern, Rumänien, Spanien och Schweiz. Störst är användningen i Tyskland där 64 % av det primära vägnätet har styva överbyggnader.

Angående **beständighetsberoende nedbrytning** är det för asfalt sex punkter som bidrar till nedbrytningen. Det är åldring, plastiska deformationer, utmattning, stripping, lågtemperatursprickor samt nötning. Utgångspunkten för all diskussion kring asfalt är att materialet är viskoelastiskt. Det betyder att det är både temperatur och belastningstidsrelaterat.

Ofta har polymertillsats i bitumen en positiv inverkan på egenskaperna hos asfalt. När polymertillsatt bitumen åldras kan dock polymeren brytas ner och egenskaperna blir då ofta lika de hos bitumen utan polymertillsats.

Det knepigaste området för asfalt är utmattningsområdet som är ett oerhört komplext område fullt med frågetecken och olika inverkanse faktorer. Om man t.ex. jämför provning vid konstant töjning och konstant spänning så får man helt olika resultat. Troligen kommer i CEN-arbetet utmattningsområdet av asfalt att kunna provas enligt 5 olika metoder som ger helt olika resultat.

Stripping, eller vidhäftning, uppstår genom att vatten tvättar bort bitumen från stenytan och i slutändan återstår bara ett obundet stenmaterial. Prov med portlandscement som vidhäftningsmedel, ca 1 % av fillret byttes ut mot cement, visar att i AG har cement en klart signifikant förbättrande effekt på vidhäftningen. VTI har också påvisat en stor betydelse av frys-tö cykler för asfaltens beständighet när hålrummet är större än ca 5 %.

Betong är i jämförelse med asfalt mycket mindre komplext, betongens egenskaper är t.ex. i praktiken temperaturoberoende, den deformeras inte och genom lufttillsats görs betongen frostbeständig, även i salt miljö. Bärighet förbättras med tiden, s.k. positiv åldring.

För asfalt är det ett stort glapp mellan både den vägbyggnads- och materialkunskap som praktiskt används och pågående forskning. Befintlig kunskap om betong både som material och överbyggnad är också väl använd i praktiken.

Workshopen behandlade också Vägverkets utredning "Översyn av betongvägsalternativet", 1997. Bakgrunden till denna var att Vägverket anser att betongvägar tekniskt har minst samma nivå som asfaltbeläggningar samtidigt som valet av beläggning i några upphandlingar visat sig bero på upphandlingstekniska faktorer. Utredningen klargör därför bl.a. ett flertal kriterier, och en modell, för att säkerställa att tekniskt jämförbara konstruktioner jämförs. Ytterligare faktorer som önskas läggas till är bl.a. skillnader i brändeåtgång, miljö och ljushet.

För offentlig upphandling är det viktigt att komma ihåg att kommunerna och statens viktigaste uppgifter är att de ska producera demokrati och delaktighet, inte att producera saker. Aktörer har tre helt olika sätt att agera i sitt beteende. Den politiska logiken, den traditionella logiken (ingenjörsmässiga) och den kommersiella logiken som ofta blandas.

Inom offentliga köp diskuteras bl.a. konkurrensutsättning, vilka resurser skall man ha själv och vilka ska man köpa in? Det klassiska bra inköpet kom på 70-talet och där är produkten alltid tydlig, välbeskriven och definierad. Relationen till leverantören är passiv, du har beställt något och kontrollerar att du får vad de har lovat att leverera. Idealiskt är att producera lite grann själv. En nyare syn är ett samspel mellan köpare och säljare. Tanken är att vi inte alltid kan ha bästa kompetensen själva, vi måste istället förlita oss på andra aktörer och lära oss av dem. I den nya synen tittar man inte på enskilda leverantörer eller enskilda aktörer utan på processer. Det kan gälla sätt att söka samverkan för att förbättra en produkt, lösa ett problem eller sänka kostnaderna. Man skapar istället förutsättningar för det gemensamma lärandet, dels om varandra, dels om problemet. Det är både konkurrens och samverkan.

Befintlig lagstiftning för inköp inom offentliga organisationer är i allt väsentligt baserad på det klassiska inköpet som erfarenhetsmässigt tenderar att trycka ner all utvecklingen. Offentlig granskning gör att både de offentliga organisationerna och de enskilda personerna "alltid" riskminimerar genom att "aldrig" tar risker genom att välja något nytt.

1. Bakgrund och upplägg

I Sverige har en aktiv konkurrens mellan beläggningsmaterial funnits de senaste 10 åren, en konkurrens som varit mycket positiv för beställare, trafikanter och hela den vägtekniska utvecklingen i Sverige. Utvecklingen har dock skett separat för asfalt och betong, dvs. forskningen har inte lyckats bryta de kommersiella gränserna. På samma sätt kan samverkan mellan områdena material, vägkonstruktion samt produktion - ekonomi bli bättre.

För att fortsatt utveckla vägkonstruktionerna bedöms det som viktigt att dagens aktörer och framtida forskning baserar sig på en bredare kunskap om teorier och synsätt som används av olika teknikområden och material. Därmed får beställarna bättre lösningar, ökad konkurrens samt fortsatt teknikutveckling.

I bygg- och förvaltningsprocessen tar beställarna beslut baserade på många olika faktorer. Det kan t.ex. vara ekonomi, teknisk funktion, miljöpåverkan, trafiksäkerhet och upphandlingsstrategier varför ibland också beslut som inte är det tekniskt bästa alternativet tas. Detta är viktigt att känna till och förstå för såväl tekniker som för övriga inblandade aktörer.

Syftet med denna workshop var att inom samma teknikområde (vägkonstruktion) föra över kunskap mellan närliggande kunskapsområden. Därmed minskar risken för materialspecifikt framöver samtidigt som utvecklingen inom teknikområdet får förutsättningar både för att bli bättre men även att bli mer behovsinriktad.

Ett ytterligare syfte var att sätta in tekniken och dess betydelse i bygg- och förvaltningsprocessen.

I workshopen gjordes en genomgång av ett antal befintliga utredningar med avseende på **Bärlighetsberoende nedbrytning och modeller** innefattande bl.a. sådant som teoretisk grundmodell, nedbrytning och utmattnings, behandling av indata, avgränsningar samt analys och likvärdighet. Genomgången för respektive material, asfalt och betong, gjordes av kompetent person från det "motsatta" kunskapsområdet med egna kommentarer i en större omfattning.

Övrig del av programmet, dvs. **Beständighetsberoende nedbrytning och modeller** samt **Beslutsunderlag och likvärdighet i upphandlingen** hölls i form av traditionella föredrag av personer med spetskompetens inom det behandlade området. Efter varje del i programmet gavs tid och möjlighet till diskussion i syfte till att stimulera ett kunskapsutbyte. Se även bilaga A och B.

2. Inledning Workshop

Göran Fagerlund som värd och **Ronny Andersson** som mötesordförande, hälsade deltagarna välkomna, se bilaga B. Infrastrukturprogrammet Väg, Bro, Tunnel (VBT) har som mål att skapa en mer effektiv byggprocess. Verksamheten är uppbyggd kring s.k. industridoktorander. I nuläget omfattar programmet 18 doktorander.

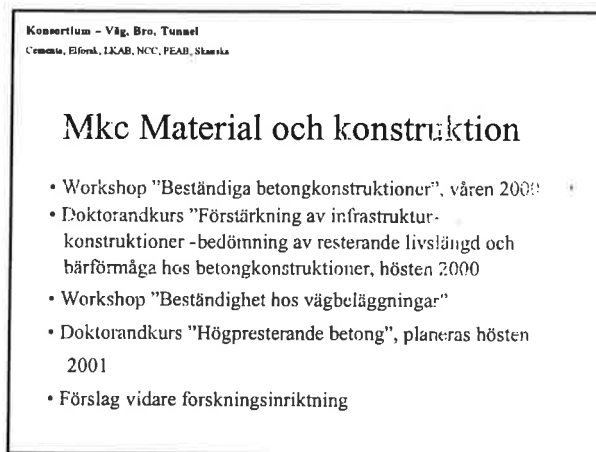
Konsortium – Väg, Bro, Tunnel Cementa, Elforsk, LKAB, NCC, PEAB, Skanska	
Forskningskonsortiet Väg-Bro-Tunnel	
• Bildat av företagen Cementa AB, Elforsk AB, LKAB, NCC AB, PEAB AB och Skanska AB. • Gemensamt satsning på forskning och utveckling inom infrastrukturområde avseende vägar, broar, dammar och tunnelsystem. • F.n. 18 industridoktorandprojekt vid CTH, KTH, LTH och LTU • Finansiering: 1/3 Vinnova (Nutek) – forskning vid högskolor 1/3 Företag – doktorandlöner m.m. 1/3 Högskolor -egeninsatser	

Figur 2.1. Infrastrukturprogrammet Väg, Bro, Tunnel (VBT).

Institution	Företag	Doktorand	Forskningsgrupp exklusive doktorand
Geoteknik, CTH Projektstart 1996:4	NCC	civ.ing Bo Johansson	Professor Göran Sällfors Docent Leif Jendeby, NCC
Geoteknik, CTH Projektstart 1996:4	SKANSKA	civ.ing Pia Andersson	Professor Göran Sällfors Avd.chef. Ingmar Svensk, Skanska Teknik Forskningschef Kyösti Tuutti, Skanska Teknik
Geoteknologi, LTH Projektstart 1996:4	PEAB / SGI	tekn.lic Per Lindh	Adj.prof. Jan Hartlén Seniorforskare Dr. Bo Malmberg
Brobyggnad, KTH Projektstart 1997:1	CEMENTA	civ.ing Mattias Wäppling	Professor Johan Silfwerbrand Ronny Andersson, Cementa
Brobyggnad, KTH Projektstart 1997:2	CEMENTA	tekn.lic Malin Löfsjögård	Professor Johan Silfwerbrand Örjan Petersson, CBI Ronny Andersson, Cementa
Vägbyggnad, LTH Projektstart 1997:3	SKANSKA	civ.ing Richard Nilsson	Adj.prof. Per Ullidtz Per-Ola Jönsson, Skanska
Vägteknik, KTH Projektstart 1999:2	NCC	civ.ing Robert Lundström	Professor Ulf Isacsson Nils Ulmgren, NCC
Geoteknologi, LTH Projektstart 2000:3	PEAB	civ.ing Nils Rydén	Professor Leif Bjelm; Dr. Bo S Malmberg Docent Peter Ulriksen; Tekn.lic Mats Svensson Dr. Choon Park, Kansas Geological Survey Ulf Ekdahl, PEAB; Anders Huvstig, Vägverket Hans Wirstam, Vägverket; P-E Bengtsson, SGI

Figur 2.2. Inom teknikområdet Väg finns 8 industridoktorander inom VBT.

Inom VBT finns två mininkompetenscentra, ett för "Jord och Berg" samt ett för "Material och Konstruktion". Detta är samarbetsgrupper med specialister från såväl universitetet som industrin. Dessa arrangerar bl.a. olika workshops, seminarier och doktorandkurser.



Figur 2.3. Exempel på arbeten initierade och drivna av minikompetenscentrumet "Material och konstruktion" inom VBT.

Internationellt är beläggningsmarknaden en av de mest polariserade med en mycket stark konkurrens mellan styva och flexibla överbyggnader. Denna konkurrens har i flera fall kunnat konstateras ge stora mervärden för beställaren och brukarna, i form av en successiv utveckling av beläggningsalternativen. I Sverige var situationen länge helt annorlunda genom att marknaden helt dominerades av ett material. Av flera anledningar beslöt Vägverkets Generaldirektör 1989 att utveckla betongvägsalternativet även i Sverige. Resultatet har blivit att vi nu åter har moderna betongvägar i Sverige med t.o.m. bättre egenskaper än förväntade. Resultaten bedöms också av flera parter ha inneburit en utveckling av de traditionella asfaltbeläggningarna. Denna utveckling är alltså ett bra exempel på kompetenta beställare. Det är dock viktigt att fortsatt bevaka så att denna konkurrensdrivna utvecklingen fortsätter.

Eftersom båda beläggningsalternativen successivt var för sig utvecklat sin kompetens finns även en möjlighet att få en extra utveckling genom att lära av varandra. I praktiken har dock de olika aktörerna ofta redan varit så starkt kopplade till något av beläggningsalternativ att denna överföring inte kunnat ske. Tidigare försök att koppla ihop de två olika materialområdena har därför inte lyckats. Detta gäller i stort sett oberoende om det varit beställare, konstruktörer, entreprenörer eller materialrepresentanter. Därför har uppläggningsen av detta möte diskuterats noggrant för att undvika de kommersiella och erfarenhetsmässiga låsningarna som tidigare skett.

Inom VBT har målsättningen med workshopen varit att utveckla både de ledande personerna inom området samt de nuvarande doktoranderna. Vi kan av deltagarlistan, se bilaga B, med glädje se att av deltagarna är 14 stycken professorer eller har avlagt forskarexamen medan ytterligare 12 stycken är aktiva forskarstuderanden.

3. Bärighetsberoende nedbrytning

Per-Ola är utvecklingschef inom Skanska Asfalt och Betong både i Sverige och Norge och har lång och bred erfarenhet från vägbyggnad och asfalt. Per-Ola är engagerad i VBT såväl som industrihandledare som i den formella organisationen. Per-Ola har som underlag för sin genomgång fått litteratur av Johan Silfwerbrand, se bilaga D.

Per-Ola Jönsson sa att med sin bakgrund inom asfalt var det extra spännande att prata om betong. När han studerade litteraturen så fanns det både skillnader men också många likheter. Därför är det bra att båda materialen nu diskuteras samtidigt.

Uppbyggnaden av vägkonstruktionen, dimensioneringsteorier mm är mycket lika. En skillnad som han betonade var böjstyvheten som i sig ger helt olika utmattningskriterier. Överhuvudtaget är det viktigt att de bundna lagren bara är en del av överbyggnaden och det är helheten som avgör konstruktionens användbarhet.

2

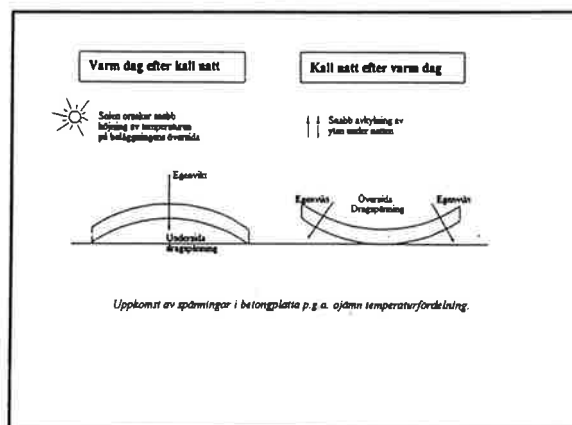
Vägbeläggningar av betong och asfalt

- Likheter: Dimensionering bygger ofta på samma grundprinciper
Underbyggnad av obundna material är av samma typ
Belastningsfallen av trafik och klimat är lika
- Olikheter: Olika egenskaper beträffande böjstyvhet, stabilitet och flexibilitet.
Olika utmattningskriterier baserat på största dragtöjning samt temperatur för asfalt och böjdraghållfasthet samt olika spänningsförhållanden för betong

SKANSKA | Anslut och Betong

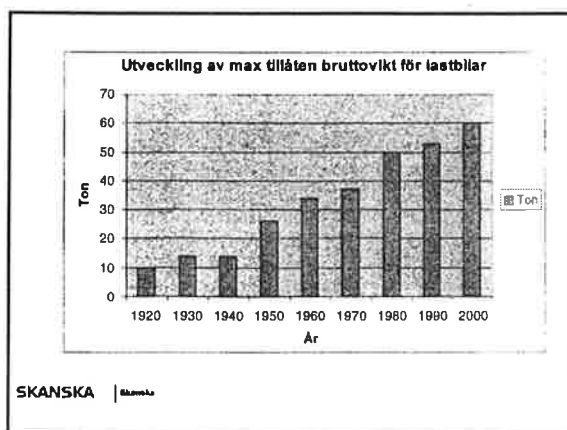
Figur 3.1. Likheter och skillnader för överbyggnader med slitlager av betong och asfalt.

Närvaron av fogar gör att lastöverföringen i fogen är en viktig fråga för fogade betongbeläggningar. En annan skillnad som Per-Ola nämnde var ny för honom var att för betongbeläggningar utomhus var ojämn temperaturfördelning en dimensionerande parameter. T.ex. en varm dag efter en kall natt ger olika utvidgning i olika delar av materialet som i sin tur ger välvning i beläggningen och spänningar i beläggningen. Det här tar man hänsyn till i dimensioneringen genom att påkänningen beror på en sammanläggning av trafikbelastningen och temperaturpåverkan.



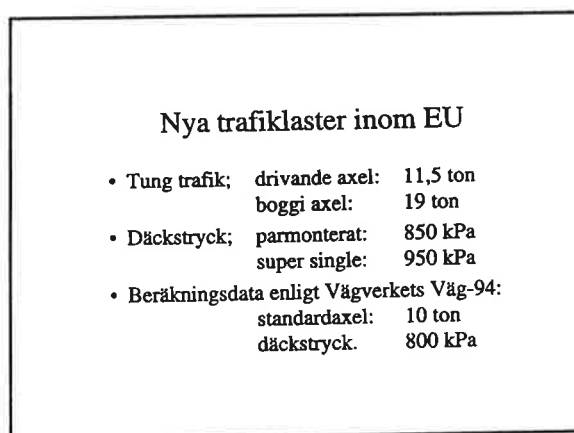
Figur 3.2. Ojäma temperaturfördelningar i betongbeläggningar ger påkänningar vilka måste beaktas vid dimensioneringen.

Per-Ola konstaterade att betongbeläggningar har en hög styvhet, bärighet, som ger möjligheten att få en bra överbyggnad. Han visade en bild över den dramatiska utvecklingen av max. tillåten bruttolast för lastbilar som ökat från 10 ton 1920 till idag 60 ton.



Figur 3.3. Den maximalt tillåtna högsta bruttovikten för lastbilar har ökat dramatiskt.

Utvecklingen av axellasterna på våra vägar har också ökat lika snabbt som trafikmängden. Denna utveckling visades samtidigt som Per-Ola visade att också däcktrycket ökat mycket snabbt, detta baseras bl.a. på hans egna mätningar på Scania's lastbilar. De nya trafiklasterna i EU har t.ex. ett däckstryck på 850 kPa respektive 950 kPa för parmonterade respektive supersingeldäck.



Figur 3.4. Nya trafiklaster inom EU.

Både detta och axellasterna är alltså idag högre än de beräkningsdata som används av Vägverket. Denna utveckling talar för betongbeläggningar. Samtidigt innebär den höga styvheten att gränserna för användningen sätts av ojämna tjällyftningar och större, oförutsedda, sättningar.

Per-Ola lämnade en del kommentarer på de olika typer av betongbeläggningar som finns. Normalt avser man fogade oarmerade eller kontinuerligt armerade konstruktioner när man pratar om betongvägar. Fogade oarmerade betongvägar är det som är använt i Sverige. Kontinuerligt armerade betongvägar används utomlands där man har väldigt hög trafik. Konstruktioner med ett slitlager av asfalt på ett cementbundet bärlager är också vanligt internationellt. Per-Ola nämnde att han personligen var tveksam till den typen som finns i det svenska regelverket idag. Anledningen är att de använda asfalttjocklekarna enligt honom ger stor risk för oönskade deformationer i asfalten.

Ser man på förbättringsmöjligheterna så anser Per-Ola att man i första hand inte ska jobba med själva betongen utan framförallt komma till mer kostnadseffektiva totallösningar för hela överbyggnaden. Detta kan t.ex. ske genom att bättre utnyttja samverkan mellan de olika materialen eller arbeta med bättre tjällösningar (tunnare överbyggnader). För att effektivt driva denna utveckling så föreslog Per-Ola att antingen måste beslut tas om enhetliga ekonomiska utvärderingssystem eller att överföra ansvaret på det privata näringslivet. Detta kan göras antingen genom PPP eller att man arbetar med långa funktionstider (> 7- 10 år) ihop med en värdering av övrig mervärde under den ekonomiska livslängden på 40 år.

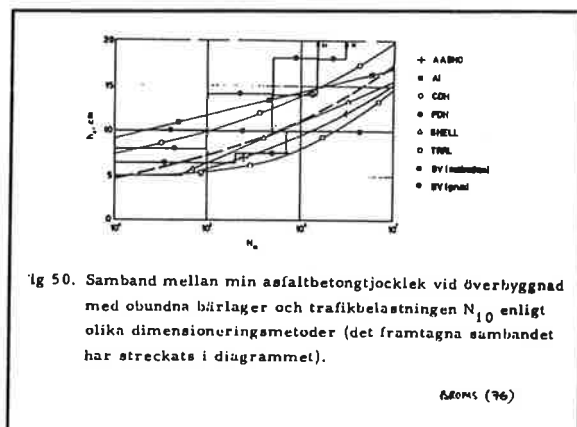
Per-Ola fick en fråga om beaktandet av temperaturpåkänningar kunde bli aktuellt även för asfaltbeläggningar. Diskussionen visade att i första hand undviks problemet genom att i kallare klimat använda mjukare bitumen. Frågan är dock redan aktuell bl.a. avseende armerad asfalt samt i Frankrike där fogade asfaltbeläggningar utförs.

Per-Ola betonade samtidigt att Vägverkets satsning på betong har också gett asfaltsidan möjlighet att jobba med andra konstruktionslösningar. För att ta bort problemet med temperaturpåkänningarna har man t.ex. börjat använda polymera material i asfalten.

Johan Silfwerbrand är professor på Institutionen för byggkonstruktion på KTH. Johan tyckte det varit väldigt lärorikt för honom att ägna tid åt att studera den asfaltlitteratur som Per-Ola gett honom, bilaga E.

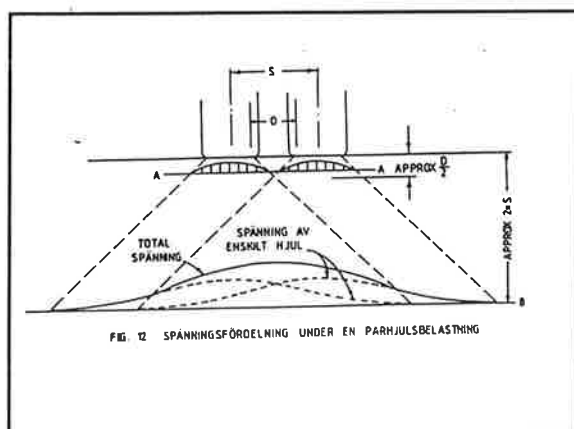
Den första referensen Johan redovisade var /Broms 1976/ som sade ha en modern uppläggning trots sin ålder. Rapporten består av fyra delar, nämligen 1) vägens nedbrytning, 2) genomgång av nio utländska dimensioneringsmetoder, 3) utveckling av en egen dimensioneringsmetod samt 4) en tillämpning av den nya metoden på två BYA-alternativ. Broms angav fyra dimensionerande faktorer, trafikbelastningen enligt den s.k. 4-potens-faktorn, CBR som ett mått på terrassens bärighet, överbyggnadens bärighet samt en lägsta acceptel tjänlighet, utifrån de äldre AASHO-försöken i USA. Broms visade vidare den stora betydelse som årstidernas olika temperatur innebar för asfaltdimensioneringen.

Broms visade att de nio utländska metoderna gav en mycket stor spridning i erforderliga överbyggnader, t.ex. typiska intervall var att samma trafikbelastning gav 13–22 cm bundna lager beroende av använd metod. Vid en jämförelse gav Broms nya metod tjocklekar som låg mitt emellan vad de äldre nio metoderna gav.



Figur 3.5. Asfalttjocklek vid Broms dimensioneringsmetod i jämförelse med nio utländska metoder.

Den andra rapporten som behandlades var /Carlsson 1978/ (numera Fredbäck) som enligt Johan är speciellt intressant i sin behandling av tjäle. Rapporten innehåller bl.a en bra redovisning av olika typer av deformationsbrott i asfaltöverbyggnader, dvs. plastisk deformation antingen i beläggningen, det obundna överbyggnaden eller i undergrunden samt efterpackning i undergrunden. Rapporten har också en mycket bra modell som underlag för den framtagna metoden. Rapporten redovisar bl.a. också hur trafikbelastningar med okonventionell geometri kan slås ihop samt dynamiska tillskott till trafikbelastningarna.



Figur 3.6. Påkänningar vid trafikbelastning med okonventionell geometri.

Den tredje referensen var COST 333, "Development of New Bituminous Pavement Design Method" som initierades 1996. COST är ett samarbete mellan 20 europeiska länder där VTI har representerat Sverige. Syftena var flera bl.a. att beakta framtida trafiklaster samt uppmuntra funktionsbaserade specifikationer. Rapporten är en bra sammanfattning av nuläget för asfaltdimensioneringar i praktiken i Europa och ger anvisningar för framtidens dimensionering av asfaltbeläggningar.

Rapporten anger sju olika faktorer som beskriver funktionen hos asfaltöverbyggnader och olika nedbrytningsmekanismer. De 11 värsta nedbrytningsmekanismerna behandlas separat.

Värsta nedbrytningsfaktorer (enl COST 333 – Medl)	
1.	Spårbildning i asfaltlager
2.	Sprickbildning med start i ytan
3.	Längsgående ojämnheter
4.	Förlust av halkmotstånd
5.	Längsgående sprickbildning i hjulspåret
6.	Sprickbildning med start i bärslagets U.K. Ey
7.	Allmän sprickbildning
9.	Spårbildning i terrassen Ez
10.	Tjällyftning
11.	Dubbdäcksslitage

Figur 3.7. De värsta nedbrytningsfaktorerna för asfalt enligt COST 333.

Utifrån detta redovisas också ett flertal invändningar mot dagens praxis, bl.a. att dagens trafik är större och mer aggressiv än den som dimensioneringsmetoderna baserar sig på. Det finns bl.a. en osäkerhet avseende behandlingen av nya material, reflektionssprickor behandlas ej, data baseras på snabba labbförsök när materialegenskaperna i verkligheten förändras över tiden. Andra invändningar är att det t.ex. i England inte finns någon relation mellan tjocklek och spårbildning, längsgående sprickor behandlas som att de startar från botten medan de i flera undersökningar visat sig starta från ytan samt att avstängning för reparation allt mer är besvärande vilket tenderar till att öka säkerheten i dimensioneringen. De idag använda dimensioneringarna visar sig också ha olika bakgrund och basera sig på olika synsätt. Utifrån detta underlag ges också i COST 333 rekommendationer för hur dagens dimensionering borde vara upplagd.

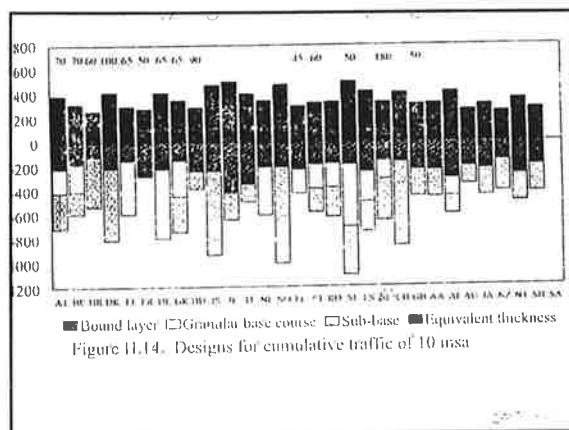
Rapporten redovisar också statistik som visar att i de aktuella 20 länderna är styva överbyggnader flitigt använda i bl.a. Belgien, Frankrike, Tyskland, Holland, Ungern, Rumänien, Spanien och Schweiz. Störst är användningen i Tyskland där 64 % av det primära vägnätet har styva överbyggnader.

Från 6 av länderna anges vilka säkerhetsnivåer som metoderna arbetar med och hos dessa länder är brottrisen mellan 5 och 50 %. Detta kommer att ge mycket stora skillnader i framtagna konstruktionerna. Sverige, i likhet med 13 andra länder, har inte lämnat uppgift om detta. Rapporten tar också upp asfaltmaterialets utmattning och framför bl.a. att det inte finns någon standard för detta samt att det är stora avvikelser mellan resultat i labb. och verkliga förhållanden.

Säkerhetsnivåer	
NL:	85% sannolikt att konstruktiva reparationer ej behövs under livslängden.
Fra:	Brottrisen beror på trafiken, men alltid < 50%.
Pol:	Utmattningssprickor på högst 20% av ytan.
UK:	85% sannolikhet att överleva 20 år utan förstärkning
Irland, Grekland:	Se UK.
Italien:	Sannolikhet att PSI > 2,5-3: 90-95%.
Övriga 14:	Uppgifter saknas.
Sverige?	

Figur 3.8. Brottkriterierna för asfaltbeläggningarna har mycket varierande säkerhetsnivå i de aktuella 20 länderna.

De deltagande länderna har också fått i uppgift att utifrån samma trafikbelastning med sin respektive dimensioneringsmetoder beräkna erforderlig överbyggnad. Resultaten visar på stora tjockleksvariationer. Ser man på den ekvivalenta tjockleken för de olika alternativen så är den i Sverige, både vid 1 och 10 miljoner standardaxlar, mycket liten, dvs. vi i Sverige tillhör dem som har bland den lägsta bärigheten hos våra vägar vid samma trafiklast. Skillnaden mot de länder med högst bärighet vid samma trafiklast är stor.



Figur 3.9. För samma trafikbelastning har varje land dimensionerat en överbyggnad som sedan relaterats med varandra.

Rapporten ger också rekommendationer för trafikdata som går ut på att bättre underlag behövs, egentligen har varje lastbil sin belastningsfaktor.

Rapporten redovisar också klimatpåverkan, de behandlas som 1) tjäle, 2) årstidvariationer samt 3) olika blöta årstider.

Johan behandlade även den utredning som legat till grund för val av beläggning på nya Arlanda bana 3, /Näslund, Wolgé 1998/. Rapporten börjar med att redovisa konstruktioner på några existerande banor men Johan ansåg denna studie för smal för att vara riktigt användbar. Egna beräkningar gjordes, både med den i Sverige hittills använda metoder samt andra nya utländska datorberäkningar och äldre internationella manuella beräkningsmetoder. Med beaktande av bl.a. erfarenheterna från COST 333 ansåg Johan det som tveksamt att direkt använda nya utländska datorberäkningar i Sverige. Dessutom var de äldre etablerade manuella beräkningarna mycket pressade på det sätt att absolut bästa faktor använts i varje beräkningssteg. LFV valde att med rapporten som underlag frånga etablerad erfarenhet i Sverige vilket Johan också ställde sig frågande till. Vald lösning innebär att de bundna lagren för landningsbanan ej är tjockare än de som finns för vägtrafiken i VÄG 94, trafikklass 7.

Kritisk granskning

- Studier av gamla flygfält för smal.
- Datormetoderna ej använda i Sverige.
- Handberäkningarna "pressade" (högsta substitutionsfaktorer, obundna bärlager).
- VTIs beräkningar ej följda.
- Valt asfaltalternativ ej tjockare än VÄG 94:s trafikklass 7 (40 + 170 mm).
- Beräkningar för 0,7P, 0,8P & 1,1P saknas.

Figur 3.10. Kritiska frågor på rapporten för val av beläggning på Arlanda bana 3.

Johan avslutade sin dragning med att konstatera att för asfalt är det ett stort glapp mellan forskningsfronten och praktisk dimensionering. Han önskade även att säkerheten mot brott bör definieras eftersom den varierar kraftigt med följd av motsvarande variationer i resulterande tjocklekar. Eftersom asfaltdimensioneringen är mycket komplex så bör en ny modell tas fram, inkl. indata och brottkriterier, men innan dess bör man vara försiktig i att frånga den erfarenhet som varje land byggt upp.

Slutsatser

- Asfaltdimensioneringen mycket komplex. (Känt sedan 1970-talet.)
- Nya beräkningsmetoder finns, men indata och brottkriterier okända.
- Säkerhet mot brott bör definieras.
- Mycket stort glapp mellan forskningsfront och praktisk dimensionering.
- Kan nya upphandlingsformer öka FoU?

Figur 3.11. Slutsatser.

I frågestunden klargjorde Per-Ola att säkerhetsnivån i Väg 94 för asfalt förmodligen var 50 % motiverat bl.a. av att asfalt är enkelt att reparera. Diskussionen visade att betong dimensioneras med betydligt högre säkerhet mot brott och att denna skillnad då också måste tas med vid jämförelsen av beläggningsalternativen.

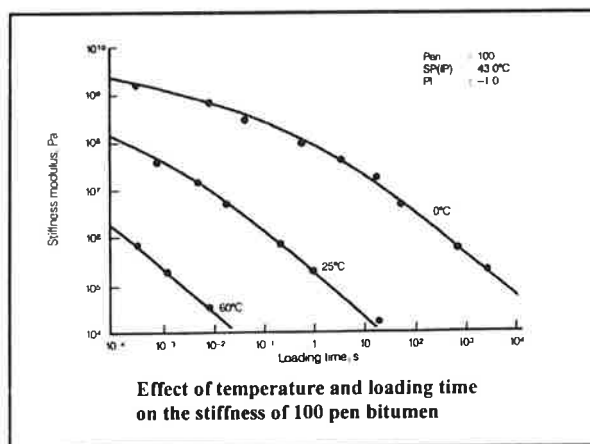
Diskussionen fördes också om de stora variationer i överbyggnad som olika etablerade metoder, med samma indata, ger. Detta framgick tydligt bl.a. på Arlanda 3, COST och Broms. Detta måste beställarna vara medvetna om.

4. Beständighetsberoende nedbrytning och modeller

Beständighetsberoende nedbrytning är när det är materialets egenskaper och beständighet, ofta ihop med omgivande klimat, och alltså inte trafikbelastningen, som orsakar nerbrytningen.

Ulf Isacson är professor i vägbyggnad på KTH. Ulf började med att han tror att det viktigaste på lite längre sikt när det gäller beständighet hos vägar och eller nedbrytning av vägar är inte klimat, inte trafik, inte material utan den dräneringen av kunskapen som nu pågår i form av minskade resurser till grundforskning. Dock är detta konsortium en liten lampas som lyser i mörkret. Ulf's OH återfinns i bilaga F.

Ulf nämnde att det är sex punkter som bidrar till nedbrytningen av asfalt. Det är åldring, plastiska deformationer, utmattning, stripping, lågtemperatursprickor samt nötning. Utgångspunkten för all diskussion kring asfalt är dock styvhetsmodulerna. Det här materialet är viskoelastiskt. Det betyder att det är både temperatur och belastningstidsrelaterat. När temperaturen sjunker ökar styvhetsmodulerna. Men det som inte är fullt lika enkelt att inse, är att när belastningstiden minskar ökar också styvhetsmodulen.

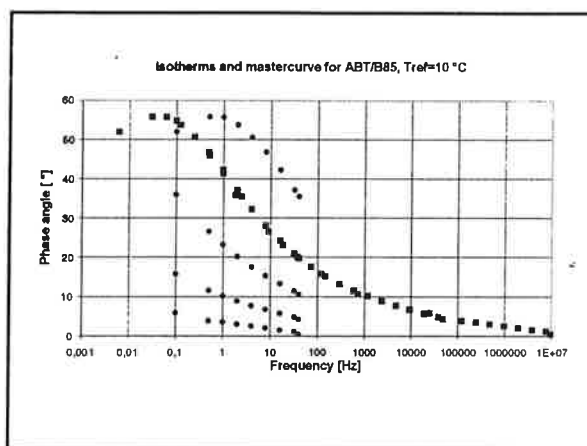


Figur 4.1. Asfaltens styvhetsmodul är både beroende av belastningstid och temperatur, materialet är viskoelastiskt.

Hur bestämmer man då styvheten hos asfaltmaterial? Ska man få en reologisk riktig bild utav asfaltmaterial så bör man använda en rheometer av något slag. Med en Rheometer utsätter

man ett prov för en dynamisk belastning, normalt sinusformad. När man lägger på en spänning får man en töjningskurva. Med ett viskoelastiskt material är det en viss förskjutning mellan spänning och töjning, det kallas för fasning. De två viktigaste parametrarna man får ut utav sådana här undersökningar är då en styvhetsmodul som man brukar kalla komplex modul, m.a.p. utrustning och fasvinkel, som är ett mått på elasticiteten hos materialet. Fasvinkeln för ett elastiskt material är alltså 0 (noll) och är den 90 är det ett fullständigt visköst material.

Då vi utför en dragtryckbelastning i en kammare vid given temperatur får vi fram fyra parametrar, nämligen komplexmodul, lagringsmodul, styvhetsmodul och fasvinkel. Vi mäter här styvhetsmodulen som funktion av belastningstiden, vi kan med vår utrustning bara gå mellan de här frekvenserna 0,1 och 30 Hertz. Men om det här materialet är reologiskt enkelt, kan vi konstruera masterkurvor, det finns något som heter korrespondensprincipen så man kan byta ut belastningstid och temperatur och då har vi alltså styvhetsmoduler över ett mycket större referensområde. Om man går från de höga frekvenserna, alltså från korta belastningstider, ökar fasvinkeln och materialet blir mer visköst. Men vid mycket höga frekvenser kan den dock tom gå ner igen. Den vanligaste förklaringen till detta är att det då inte längre är bindemedlet som dominerar.

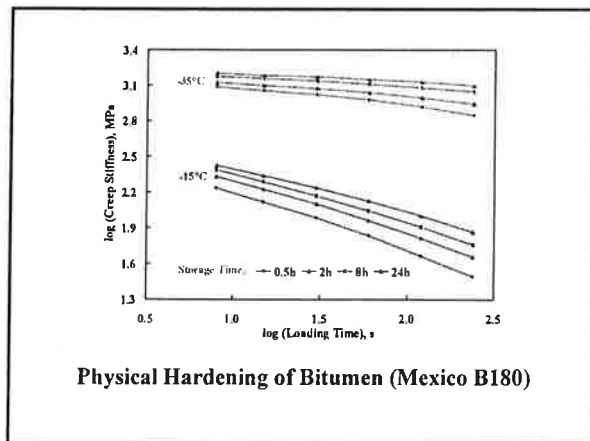


Figur 4.2. Masterkurva för ABT/B85 vid 10° C.

Man pratar om fyra mekanismer när det gäller bitumenåldring. Först är det oxidation, i princip en reaktion mellan luftens syre och dom olika molekylerna hos bitumen. Vid tillräckligt hög temperatur så avgår sedan alltid det lättflyktiga och då bidrar det också till en åldring, alltså en förhöjning av hårdheten och styvheten. Exudation är den tredje mekanismen men den är inte vanlig i Sverige. Vad som händer är att vissa komponenter i bitumenet absorberas in i porösa stenmaterial och det som blir kvar utanför de här stenpartiklarna är då hårdare än det ursprungliga bindemedlet. Den fjärde mekanismen är lite speciellt för bitumen och heter fysikaliskt förhårdnande. Om ett bindemedel placeras i en frysbox vid t.ex. 120 grader, så kommer det redan efter några timmar att bli mycket hårdare, styvheten ökar. Detta beror på att de här molekylerna i bindemedlet omorganiseras sig vilket ger högre styvhet.

Fysikaliskt förhårdnande provas vid väldigt låga temperaturer, t.ex. -30 grader på små bitumenbalkar. Man belastar balkarna statiskt med en given last och mäter töjningen som

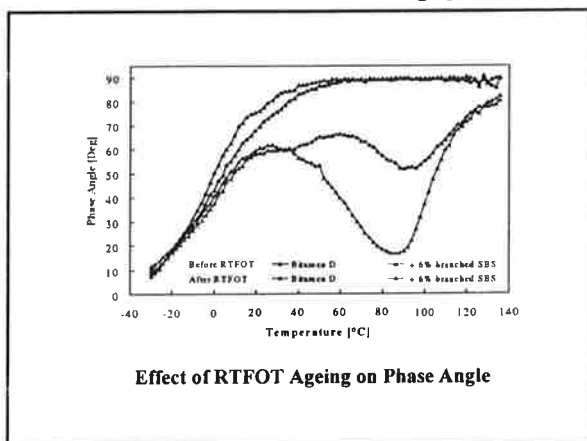
funktion av tiden. I ett redovisat exempel framgår inverkan av olika lagringstid vid låga temperaturer. I det redovisade exemplet ökade styvheten i bindemedlet under lagringen med ca 30%. Nu är det inte säkert att effekten är lika stor i asfaltbeläggningar genom att stenmaterialskelettet kan påverka processen också.



Figur 4.3. Fysikaliskt förhårdnande hos asfalt (Mexico B180).

Ulf fick i en fråga informationen om att för spröda material var resultat från olika provningar oftast beroende på provkroppens storlek. Frågan var om det diskuterats skaleffekter även för bitumen och asfalt? Ulf svarade att sådana här provningar kan vara en god indikation på hur stor risken är för om en beläggning skall spricka vid motsvarande temperatur. Det är ungefär där forskningsfronten står idag.

Ulf återkom löpande i sitt föredrag till inverkan av polymertillsats i bitumen. Han betonade dock att bara för att han visar positiva resultat av polymertillsats så löser det inte alla asfaltproblem, men det kan alltså vara ett alternativ ibland för att få bättre hållbarare beläggningar. Ulf visade här ett exempel där tillsats av SBS-polymer gav bindemedlet låg temperaturkänslighet, vilket är en fördel. Vad händer då när vi åldrar det, jo då ser vi att temperaturkänsligheten mer och mer börjar likna det ursprungliga bindemedlet. Polymeren bryts ner. Samma effekt kan man se på fasvinkeln. Tillsats av SBS-bitumen är gynnsam men efter åldring blir kurvan åter lika med den utan polymertillsats. Detta beror på att polymeren bildar ett nätverk i bitumenet, och det är väldigt positivt så länge inte polymeren bryts ner.



Figur 4.4. Fasvinkeln hos asfalt med och utan SBS-polymerbitumen, respektive före och efter åldring.

Plastisk deformation är ett tydligt problem för asfalt, ofta syns dubbelspår i vägen som då beror på långtradare. Plastiska deformationerna är mycket komplext och en massa faktorer kan påverka det. Det gäller både yttre faktorer som är trafikrelaterade eller klimatberoende, och på hur asfalten proportionerats. Ett sätt att bestämma den plastiska deformationen är att prova cylindrar som man belastar på ett givet sätt och med en given temperatur och så följer man deformationen. Problemet är att här har man inget sidostöd. Detta har man försök lösa genom att med en stålplatta och en mindre diameter men det blir ju ändå inte på något sätt ett väl definierat spänningstöjnings förhållande. En annan provningsmetod som är populär är Wheel Tracking Test. Denna finns det väldigt många varianter på. Här försöker man efterlikna verkligheten genom att man har ett rullande belastat hjul som åker fram och tillbaka. Resultaten blir dock enbart relativa och man får en uppfattning om rangordningen mellan olika beläggningar. Det är dock inte säkert att man får samma resultat med olika utrustningar.

Ett sätt att minska risken för plastisk deformationen kan vara genom att tillsätta polymerer, Ulf visade ett sådant exempel med EVA-tillsats.

Det knepigaste området är utmattning och det är ju väldigt bra att vi inom VBT har två doktorander här, det skulle dock behövas minst 8 doktorander till. Det är alltså ett oerhört komplext område fullt med frågetecken. Den enklaste utmattningslagen är ju logaritmen av antalet belastningar till brott, och belastningsamplituden som antingen kan vara spänning eller töjning. Koefficienterna påverkas av många saker som materielegenskaper, sammansättning av material och provning. Sådana ekvationer finns det jättemånga och när ni ser en sådan här ekvation så tro inte att det är sanningen för utmattning av asfalt. Om man jämför provning vid konstant töjning och konstant spänning så får man t.ex. helt olika resultat. Detta är även tydligt visat i nyare litteratur. En RILEM rapport från 1998 visar t.ex. att enbart genom att välja någon av tio olika belastningsnoder så kan man alltså få en höjning eller sänkning av utmattningshållfastheten.

<u>Utmattning av asfalt - Jämförelse mellan provning vid konstant spänning och konstant töjning</u>		
	Konstant spänning	Konstant töjning
Belastningens utveckling	Ökning i töjningsnivå	Minskning i spänningsnivå
Vanliga brottkriterium	Brott i provkropp	Halvering av styvhet
Utmattningstestlängd	Kortare	Längre
Spredning i resultat	Lägre	Större
Ökning i temperatur	Minskad livslängd	Ökad livslängd
Ökad styvhet	Ökad livslängd	Minskad livslängd
Effekt av viloperiod	Stor	Liten
Späckpropageringstid	Kort	Lång
Ökning i belastningsfrekvens	Ökad livslängd	Minskad livslängd
Skadestillväxt	Själva	Långsamt

Källa: Di Benedetto & De La Roche
RILEM report 17 (1998)

Figur 4.5. Utmattning av asfalt, jämförelse mellan olika provningar.

Det finns väldigt många metoder att bestämma styvhet och utmattning på, de brukar sammanfattas som homogena och icke homogena metoder. Troligen kommer i CEN-arbetet provning av utmattning av asfalt att kunna göras enligt 5 olika metoder. Eftersom alla metoderna ger helt olika resultat tror jag att vi kommer att få väldigt mycket problem.

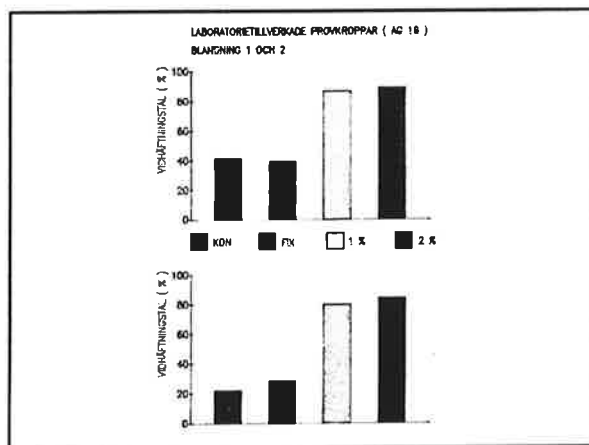
Som avslutning på utmattningen visade Ulf att vid en sådan cyklisk belastning så påverkas även provet, det blir en temperaturhöjning som lätt kan bli 1-2 grader. Säg då att 1 grads förhöjning kan göra 10% i resultaten, då kan man verkligen fråga sig vad man håller på med?

Vid tillsats av SBS-polymerer indikerar resultaten att man förbättrar utmattningshållfastheten.

Stripping, eller vidhäftning, uppstår genom att vatten tvättar bort bitumen från stenytan och i slutändan återstår bara ett obundet stenmaterial. Man skiljer mellan aktiv och passiv vidhäftning. Vid aktiv vidhäftning kan man ha våta stenar från början, när bindemedlet tillsätts kommer det ändå att tränga undan vattnet och slutprodukten blir ändå ett fungerande material. Aktiva vidhäftningsmedel ska ha en polär grupp i ena ändan som kan häfta till stenmaterialet och sedan ska dom ha en kolvätekedja med en svans där som gillar asfalt, det blir en slags brygga mellan stenen och bindemedlet och då blir det alltså svårare för vattnet att tränga undan bitumenet vidare. Passiv vidhäftning är när vi först täckt stenen med bitumen och sen försöker vi ta bort det med vatten, om det inte lyckas har vi alltså en bra passiv vidhäftning.

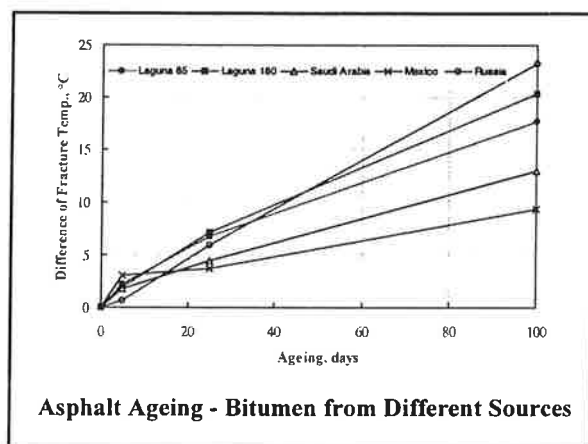
Hur mäter man då vidhäftningen. Jo, den mest använda är den som man kallar "Lockmans", eller indirekt pressdraghållfasthet. Man provar både våta och torra prov och kvoten mellan dessa i % är ett mått på.

Vi har använt portlandscement som vidhäftningsmedel, och då byttes ca 1 % av fillret ut mot cement. Vi gjorde först två olika undersökningar och jämförde effekten med ett kommersiellt vidhäftningsmedel. Effekten med cementproverna var klart signifikant medan proverna med Wet-fix inte gav någon förbättring. Då tyckte vi det här var för bra så vi gjorde om alltihopa en gång till och fick samma resultat. Statistiskt är det helt klart att i AG har cement en klart signifikant förbättrande effekt på vidhäftningen.



Figur 4.6. Tillsättning av cement förbättrar vidhäftningen hos AG.

Lågtemperatursprickor beror på kontraktion. När temperaturen sjunker i materialet vill materialet dra ihop sig men det förhindras av friktion mot lagret under. När de uppkomna termiska spänningar i materialet är lika stora som draghållfastheten i materialet uppkommer sprickor. Den klart viktigaste faktorn för om detta ska ske är bindemedlets egenskaper. Lågtemperaturegenskaperna i asfalt massor bestäms i en metod där man förhindrar materialet från att dra ihop sig. Samtidigt sänks temperaturen tills brott uppstår och man anger den så kallade brottemperaturen. Även här har åldring en negativ inverkan medan det även här finns indikationer på att tillsats av polymerer minskar risken för lågtemperatursprickor.



Figur 4.7. Brottemperaturen hos åldrad asfalt.

Den sjätte faktorn som Ulf tog upp var nötning som han dock ej hann behandla.

Utifrån en fråga diskuterades inverkan av kubisering av stenmaterialet. Det framkom att kubisering kan ge ett bra kulkvarnsvärde, och därmed en bra motstånd mot nötning, men samtidigt en sämre stabilitet.

Utifrån en fråga diskuterades även inverkan av frys-tö cykler där VTI påvisat en stor betydelse för asfaltens beständighet när hålrummet är större än ca 5 %.

Utifrån en fråga klargjorde Ulf att den kunskap och de metoder som han redovisat inte alls används i dagens vägbyggnad utan är enbart använt i pågående forskning.

Utifrån en fråga diskuterades återvinning av asfalt och specifikt vid användningen av polymermodifierad bitumen.

Göran Fagerlund är professor inom Byggnadsmateriallära på LTH, se bilaga G. Göran betonade att betong har sin största användning inom andra tillämpningar än beläggningar. Den mesta av kunskapen om betong är därför framtagen för andra tillämpningar. Det som dock är speciellt för beläggningar är ytans egenskaper, t.ex. motståndet mot nötning.

Frostbeständigheten hos en betong skiljer sig åt beroende om frostcyklerna sker i närvaro av salt eller inte. Sedan länge är dock båda problemen lösta genom lufttillsats. I riktigt höghållfasta betonger, $v_{ct} < 0,30$ var Göran tveksam till om det behövs lufttillsättning, dvs. betongen i sig har en hög frostbeständighet.

Långtidsuppföljningar av betong bl.a. i USA visar att betongens hållfasthet fortsätter öka med tiden, en s.k. positiv åldring som successivt ökar betongens bärighet.

Betongens egenskaper varierar inte med temperaturen och betong deformeras inte.

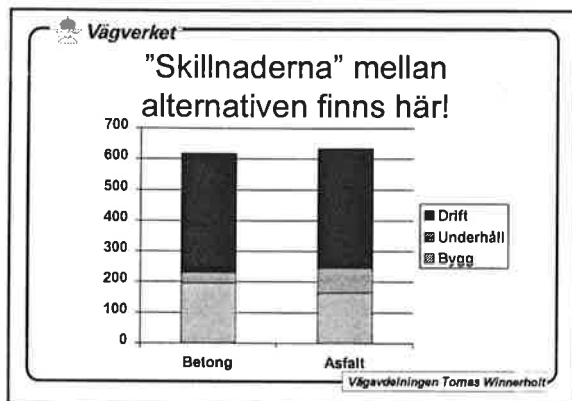
Inom betongtekniken sker mycket arbete med s.k. stokastiska livslängdsberäkningar för olika egenskaper. Kunskapen om detta ökar snabbt.

I jämförelse med asfalt så är betong mer känt och förutsägbart, kanske på grund av att det är mindre komplext.

Göran sammanfattade att han inte ser några materialtekniska betongproblem och att den kunskap som finns om betong också används i praktiken. Den väl utvecklade kunskapen om betong gör också att man generellt kan vara mycket säker på att vid användningen av betong får man de egenskaper man projekterat för. Med detta i tankarna är det fullt rimligt att arbeta med 40 års tekniska livslängder för betong. Utan att vara specialist på de speciella ytkrav som en beläggning måste uppfylla, så ansåg Göran att även detta var väl utrett för betong, se t.ex. kapitel 17 i "Högrepresterande betong" vad det gäller nötningsmotstånd.

5. Vägverkets beslutsunderlag

Thomas Winnerholt arbetar på Vägavdelningen på Vägverkets huvudkontor i Borlänge. Han kunde på grund av sjukdom ej delta i workshopen. Via Ronny Andersson framförde han ändå att Vägverket anser att betongvägar idag tekniskt har minst samma nivå som asfaltbeläggningar. Thomas avsåg att redovisa den utredning om "Översyn av betongvägsalternativet" som han genomförde i 1995-1997. Bakgrunden till den utredningen var att valet av beläggning i några fall visat sig bero på närmast upphandlingstekniska faktorer och inte beläggningarnas faktiska egenskaper och ekonomi. Utredningen klargjorde därför bl.a. ett flertal upphandlingstekniska faktorer. Det finns bl.a. ett flertal kriterier angivna för att säkerställa att tekniskt jämförbara konstruktioner jämförs. Detta innebär t.ex. att om en betongväg byggs med större säkerhet mot tjäle så ska effekten av den ökade säkerheten tas med som ett mervärde för betongvägen. En modell för nuvärdesberäkning av en vägs funktionstidskostnad finns också angiven. Ett exempel på nuvärdesberäkning redovisades.



Figur 5.1. Ett exempel på nuvärdesberäkning av ett exempel utifrån Vägverkets utredning "Översyn av betongvägsalternativet".

Modellen gör det också möjligt att göra en känslighetsanalys av resultatet. En tydlig beslutsgång för val av betong- eller asfaltväg, och när besluten kan tas, finns också. Faktorer som ännu inte är med, men önskvärda, är t.ex. skillnader i bränsleåtgång, återanvändning, miljö, ljushet.

För vidare information hänvisas till Vägverket Rapport 97:126 "Översyn betongvägsalternativet" samt OH i bilaga H.

6. Beställarstrategier och konkurrensutsatt upphandling

Ola Mattisson arbetar på ett kommunaltekniskt forskningcentrum, KEFU, och på Lunds Universitet. Han är företagsekonom och har skrivit en avhandling om upphandling av kommunalteknisk infrastruktur, drift och underhåll, och har även arbetat med en del statliga upphandlingar. Se även bilaga I.

Ola började med att gå tillbaka till tidigt 1700-talet när frågan väcktes, Om nu Gud finns, är god och allsmäktig, varför finns det då ondska i världen? Bl.a. Leibniz var aktiv i att formulera och lösa detta teodiceproblem. Om man gör människan absolut god, då kan inte människan välja. Gud ansåg istället att det var betydelsefullt att låta människan välja själv, så att han gav oss det fria valet. Det är en trevlig och sympatisk tanke. Problemet är bara att det krånglar till det för samhällsvetare, för då kan vi inte längre använda rationella modeller för hur saker och ting går till, hur man fattar beslut, eller hur en process sker utan det kan helt plötsligt komma upp något som vi tycker är irrelevanta variabler, som plötsligt får överordnad betydelse. Om man ska sammanfatta så kan man säga att vi människor gör inte alltid vad vi säger att vi gör och vi säger inte alltid vad vi gör.

Det är två saker som är viktiga i det här sammanhanget, den ena är beställarstrategin som handlar om inköp och inköpsforskning, nya termer är supply, och outsourcing. Det andra är

den offentliga kontexten, alltså den offentliga organisationen. Vad kännetecknar den offentliga huvudmannen som gör en upphandling, och hur karakteriserar man en sådan aktör?

Angående den offentliga kontexten så vill jag påstå att kommuner och staten inte primärt är till för att producera saker och ting utan t.ex kommunernas viktigaste uppgifter är att de ska producera demokrati och delaktighet, därefter kommer rättvisa och jämlikhet och rätt långt ned på den listan kommer produktion, effektivitet etc.

Man har ändå valt att indela organisationerna utifrån olika ansvar. Det gör det komplext och man kan hitta tre olika logiker. Aktörerna har alltså tre helt olika sätt att agera i sitt beteende. Den politiska logiken var där det startade. T.ex. Björn Rosengren och hans vägar, han är politiker och han har politiska mål som han vill realisera. Vad politisk målfyllelse sedan är finns det många olika synpunkter på men det är en typ av logik.

Ni har idag pratat om att frågorna hanteras på ett ingenjörsmässigt sätt, det är den traditionella logiken. Den innebär att man söker någon sorts sanning om verksamheten i sig som påverkar besluten.

Det finns en tredje logik, den kommersiella logiken. En kommersiell aktör har inte som mål att uppnå demokrati och rättvis. De har ofta professionella normer och intresse men huvudsakligen ett kommersiellt intresse.



Figur 6.1. Huvudmannastrategins tre logiker.

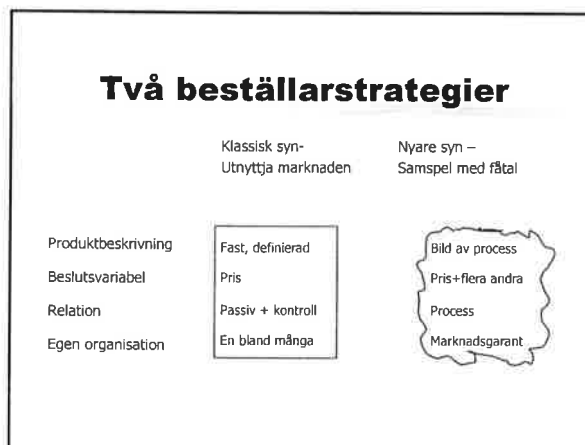
När den offentliga organisationen gör sin upphandling så finns alltså olika logiker. T.ex. moderata kommuner som i ena valet använder vissa argument för att privatisera kani nästa val använda precis samma argument mot privatisering. I det ena fallet använder de politiska argument och i det andra professionella argument. Att man hoppar mellan de här olika rollerna skapar oklarhet och otydlighet. Detta kan hjälpa oss att förklara oss vad som hände. Detta är den offentliga kontexten. Även om man är klar i sitt beslut så kan helt plötsligt en annan logik komma in som kan förändra hela processen igen trots att ingenting faktiskt förändrats.

Tittar man på det här med kommunala inköp så diskuteras bl.a. konkurrensutsättning av marknaden. Vilka resurser skall ha själv och vilka ska man köpa in. Vad är det man skall köpa

och hur mycket? Skall det man köper externt vara ett komplement till de egna resurserna eller skall det vara ett substitut? Skall man köpa in det man redan har för att det skall bli en dynamik i styrning eller skall man köpa in allt utifrån en leverantör? Här har forskningen svängt på 20 år.

Det klassiska bra inköpet lanserades på 70-talet och användes fram till tidigt 80-tal. I det klassiska inköpet är produkten alltid tydlig, välbeskriven och definierad. Relationen till leverantören är väldigt passiv du har bestämt någonting, skriver ett kontrakt och kontrollerar att du får vad de har lovat att leverera. Idealiskt i sammanhanget är att producera lite grann själv. Då har man tummen i ögat på sina leverantörer, man har en "infiltratör" bland dem.

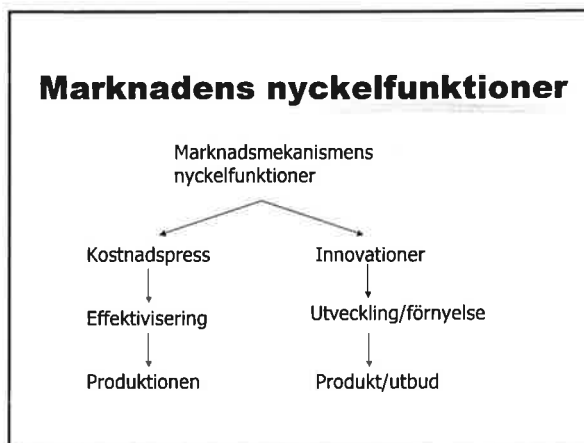
Ett alternativ har växt fram som kritik mot den klassiska inköpssynen. Den nyare synen är ett samspel mellan köpare och säljare. Ett inköp handlar inte om att förhandla om pengar, utan mer om att fördela innehållet i tjänsten. Det är löst i sina konturer och ännu mer osäkert i sitt innehåll, det kan fortfarande betraktas som ett sökande. Bilindustrin som har lett denna utveckling genom sitt samarbete med sina underleverantörer. Tanken är att vi inte alltid kan ha bästa kompetensen själva, vi måste istället förlita oss på andra aktörer och lära oss av dem.



Figur 6.2. Beställarstrategier, marknadsutnyttjare eller marknadsskapare.

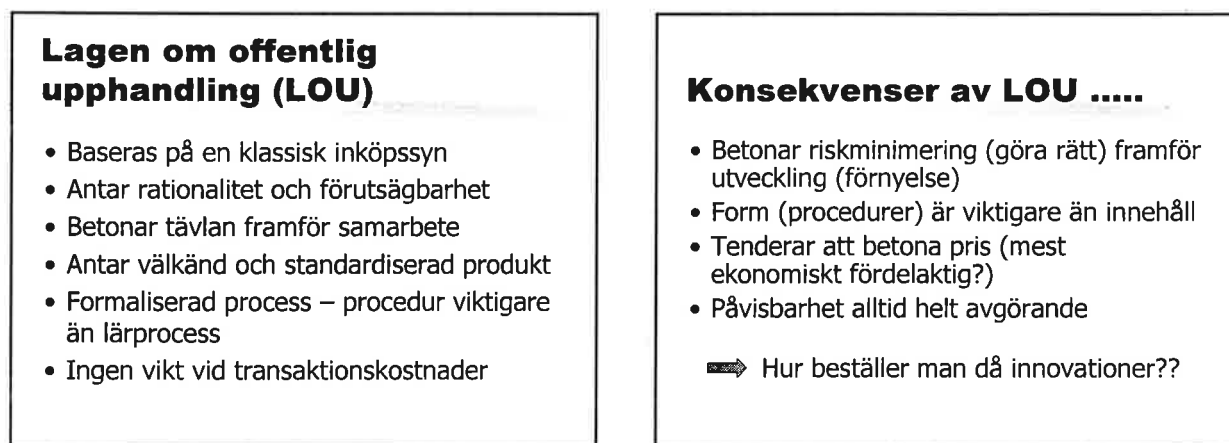
Hur man gör nu en upphandling enligt modern teori? Ja, det klassiska inköpet görs endast när det gäller leverantörer av standardiserade, enkla produkter typ pennor. Alla inköp som har någon betydelse för verksamheten i en organisation, har man en annan syn på. Den produktbeskrivning som finns är för att skapa en bild av en process, dit vi gemensamt måste komma. Det kan gälla sätt att söka samverkan att förbättra en produkt, lösa ett problem eller sänka kostnaderna. Men säger att det är illusion om var man ska gå någonstans där priset då bara är en av flera olika parametrar.

Sammanfattar man detta så finns det alltså ovanstående två sätt att använda marknaden på. Antingen blir det billigare eller blir det bättre.



Figur 6.3. Marknadsmekanismernas nyckelfunktioner.

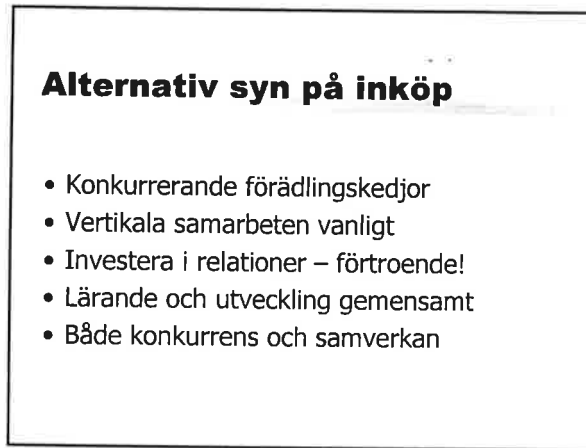
Tittar vi på den lagstiftning som gäller för inköp inom offentliga organisationer, så är den i allt väsentligt baserad på det klassiska inköpet. Lagen om offentlig upphandling handlar om att ta in anbud, att jämföra anbud, att jämföra anbuden mot varandra och sedan kunna se vilket av dem som antas vara mest ekonomiskt fördelaktigt. Man skall distansera sig från sina leverantörer. Det viktiga är att göra på rätt sätt och för en offentlig tjänsteman att "riskminimera" sitt arbete. Transaktionskostnader är inget man diskuterar.



Figur 6.4. Lagen om Offentlig Upphandling, LOU.

Jag har tittat på ett 20-tal av upphandlingar både av drift- och underhåll och nyinvesteringar. Alla säger samma sak, att vi aldrig får en utveckling eftersom det alltid är någon annan som vid en traditionell inköpsyn lägger ett billigare pris. I den nya synen tittar man inte på enskilda leverantörer eller enskilda aktörer utan på processer. Man säger att det finns konkurrerande värdekedjor och man måste låta aktörer samarbeta vertikalt. Det är inte rimligt att leverantören först granskar att allting är OK innan man levererar det och sedan att

beställaren granskar att allt var OK när man fick det. Man måste låta de här aktörerna bygga ihop sina system. Man måste skapa förutsättningar för den gemensamma lärandet, dels om varandra, dels om problemet. Det är inte bara konkurrens och tävling, utan det är både konkurrens och samverkan. Man kan inte bygga en världsbild på att alla alltid slåss utan det måste vara både full konkurrens och samverkan.



Figur 6.5. Modern syn på inköp.

I Sverige är lagen om offentlig upphandling hårt skriven och dessutom tillämpar vi den också lite strängare här i Sverige än vad som görs på många andra håll i Europa. En lite mer pragmatisk syn hade kanske varit att hoppas på.

Om vi sammanfattar oss så finns det tre olika logiker inom offentlig organisation och det kan hända lite vad som helst beroende på vilket argument som just nu och här fått inflytande. Som motkraft till detta har lagstiftaren sagt att vi måste ha en formaliserad procedur för hur det här skall gå till när det gäller offentlig upphandling. Samtidigt vet vi att alla andra inköp går till på annat sätt, det handlar mycket om att lösa problem tillsammans, se saker och ting som en process och inte alltid har svaren förrän efteråt.

Ola avslutade sitt föredrag med att ställa ett antal frågor. Är det en demokratisk organisations uppgift att löpande betala för utvecklingsinsatser? Ska man ha forskningsanslag för utveckling och sen köpa produkten så billigt som möjligt? Är det bra att Vägverket försöker stimulera nya aktörer att etablera sig i Sverige? Ska kommuner och organisationer slå ihop sina anbudsunderlag för att fler aktörer ska kunna komma in på marknaden? Är det rimligt att offentliga beställare ser till att de har intern produktionskapacitet för att kunna hålla producenterna i örat? Enligt gällande lagar så är svaret på alla de här frågorna, Nej, det är inte rimligt. Då är min fråga till Er, är det rimligt?

I den följande diskussionen diskuterades bl.a. de demokratiska institutionernas dilemma att de blir granskade och att både organisationen och de enskilda personerna "alltid" riskminimerar genom att välja det billigaste och "aldrig" tar risker genom att välja något nytt. Den klassiska synen tenderar att trycka ner all utvecklingskraft.

Diskussionen fortsatte till att betona det positiva i långa funktionsentreprenader, minst 10 år, där dock det innovativa inslaget måste tilldelas en kommersiell betydelse. Tekniskt är det

kanske önskvärt med tioåriga avtal, men politiskt är det inte alltid rätt med tanke på valperioder. Nu har dock funktionstider på 25-30 diskuterats på hög politisk nivå. LCC är också positivt men i en upphandling får man bara utvärdera de variabelers betydelser som man har angivit i förväg. Det blir svårt för leverantören att ignorera någon av dessa, de får alltså en lista på vilka faktorer som skall värderas, det i sig har en styrande effekt.

Ett problem som lyftes upp är att den offentliga sektorn under 10- 15 år, hela tiden tvingats dra ner sin verksamhet. Man springer lite fortare varje gång mellan två punkter, det är jättebra. Men någonstans måste det finnas någon som tänker att man istället för att springa den långa sträckan kan man springa den kortare sträckan. Då måste det finnas lite luft i systemet så folk kan hinna tänka tycker de själva. Vi har haft svårt att hitta system där man premierat sådana som har tänkt i utvecklingsprocesserna. Oerhörda krav på besparingar har tenderat till att alltid välja lägsta pris väljs framför smartaste lösning, eller långsiktigaste bästa lösningen.

Alla rekommenderades att läsa Olas bok från Kommunförbundet som heter Beställarstrategier, beställningsnummer 7099-493-5 och beställs per telefon 020-31 32 30. Den behandlar både grunderna i olika marknadsstrategier. Sen har också praktiska uppföljningar publicerats, kanske kan vi alla lära oss mycket av dessa böcker.

7. Kort summering

Vid avslutande diskussion framfördes att seminariet uppfyllt sitt mål att vara kunskapsöverbryggande, både mellan betong och asfalt likväl som mellan vägbyggnad och material. Deltagarna ansåg det möjligt att via konkurrens mellan olika alternativ öka kompetensen generellt.

Workshopen bör vara en start för ytterligare vidare kompetensöverföring. En fortsättning på denna väg föreslogs, t.ex. i form av fler sådana här workshop, alternativt en doktorandkurs.

Bilagor

A: Program och inbjudan	29
B: Deltagarlista	33
C: Inledning av Workshop. Ronny Andersson och Göran Fagerlund	35
D: Föredrag av Per-Ola Jönsson: "Bärighetsberoende nedbrytning och modeller", litteratur och OH-bilder	38
E: Föredrag av Johan Silfwerbrand: "Bärighetsberoende nedbrytning och modeller", litteratur och OH-bilder	44
F: Föredrag av Ulf Isacson: "Beständighetsberoende nedbrytning och modeller", litteratur och OH-bilder	58
G: Föredrag av Göran Fagerlund: "Beständighetsberoende nedbrytning och modeller", litteratur	70
H: Föredrag av Thomas Winnerholt: "Vägverkets beslutsunderlag inklusive effektsamband, värderingsmodeller, mm", OH-bilder	73
I: Föredrag av Ola Mattisson: "Beställarstrategier och konkurrensutsatt upphandling", OH-bilder	79

Bilaga A

Program och inbjudan

Beständighet hos vägbeläggningar **LTH, 5 april 2001**

Program

8.30 Registrering och kaffe

9.00 Inledning

Värd Prof. Göran Fagerlund, LTH

Mötesordföranden Tekn. lic. Ronny Andersson, Cementa

Bärighetsberoende nedbrytning och modeller

Civ.ing. Per-Ola Jönsson, Skanska

Prof. Johan Silfwerbrand, KTH

Diskussion

11.30 Lunch

12.30 Beständighetsberoende nedbrytning och modeller

Prof. Ulf Isacsson, KTH

Prof. Göran Fagerlund, LTH

Diskussion

Kaffe och fruktpaus

Beslutsunderlag och likvärdighet i upphandlingen

Inledning

Vägverkets beslutsunderlag inkl. effektsamband, värderingsmodeller mm.

Civ.ing. Thomas Winnerholt, Vägverket

Beställarstrategier och konkurrensutsatt upphandling.

Dr. Ola Mattisson, Ekonomiska Institutionen Lund.

Diskussion

Summering av workshopen

16.15 Avslutning

Mini-kompetenscentrum Material och Konstruktion inbjuder till workshop:

Beständighet hos vägbeläggningar

Datum: **Torsdagen den 5 april 2001**

Plats: **LTH, Lund**

Härmed inbjuds Du till att delta vid ovan rubricerad workshop. Workshopen arrangeras av mini-kompetenscentrumet Material och Konstruktion inom FoU-konsortiet Väg/Bro/Tunnel och finansieras av Nutek.

Bakgrund och syfte

I Sverige har en aktiv konkurrens mellan beläggingsmaterial funnits de senaste 10 åren, en konkurrens som varit mycket positiv för beställare, trafikanter och den vägteknisk utvecklingen i Sverige. Utvecklingen har dock skett separat för asfalt och betong, dvs. forskningen har inte lyckats bryta de kommersiella gränserna. På samma sätt kan samverkan mellan områdena material, vägkonstruktion samt produktion - ekonomi bli bättre.

För att fortsatt utveckla vägkonstruktionerna bedöms det som viktigt att dagens aktörer och framtida forskning baserar sig på en bredare kunskap om teorier och synsätt som används av olika teknikområden och material. Därmed får beställarna bättre lösningar, ökad konkurrens samt fortsatt teknikutveckling.

I bygg- och förvaltningsprocessen tar beställarna beslut baserade på många olika faktorer. Det kan t.ex. vara ekonomi, teknisk funktion, miljöpåverkan, trafiksäkerhet och beställarstrategier varför ibland också beslut som inte är det tekniskt bästa alternativet tas. Detta är viktigt att känna till och förstå för tekniker såväl som för övriga inblandade aktörer.

Syftet med denna workshop är att inom samma teknikområde (vägkonstruktion) föra över kunskap mellan närliggande kunskapsområden. Därmed minskar risken för materialspecifikt framöver samtidigt som utvecklingen inom teknikområdet får förutsättningar både för att bli bättre men även att bli mer behovsriktad.

Ett ytterligare syfte är att sätta in tekniken och dess betydelse i bygg- och förvaltningsprocessen.

Uppläggning av workshopen

Genomgång av ett antal befintliga utredningar görs med avseende på **Bärighetsberoende nedbrytning och modeller** samt **Beständighetsberoende nedbrytning och modeller**, innefattande bl.a. sådant som teoretisk grundmodell, nedbrytning och utmattnings, behandling av indata, avgränsningar samt analys och likvärdighet. Genomgången för

Konsortium – Väg, Bro, Tunnel

Cementa, Elforsk, LKAB, NCC, PEAB, Skanska

respektive material, asfalt och betong, görs av neutral kompetens person från det "motsatta" kunskapsområdet med egna kommentarer i en större omfattning.

Den avslutande delen av programmet om ***Beslutsunderlag och likvärdighet i upphandlingen*** hålls i form av traditionella föredrag.

Program för dagen bifogas till denna inbjudan.

Bilaga B

Deltagarlista

Konsortium – Väg, Bro, Tunnel
Minikompetenscentrum Material och Konstruktion

Workshop 2001-04-05, Ideon, Lund

Beständighet hos vägbeläggningar

Deltagarlista

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| 1. Andersson Ronny | Cementa |
| 2. Asp Thomas | Vägverket, Region Väst |
| 3. Ekdahl Peter | Scandiaconsult Sverige AB, RST |
| 4. Ekdahl Ulf | Peab Sverige AB |
| 5. Enocksson Carl-Gösta | Vägverket, Region Väst |
| 6. Fagerlund Göran | Lunds Tekniska Högskola |
| 7. Fredbäck Hans-Erik | Fortifikationsverket |
| 8. Fridh Katja | Lunds Tekniska Högskola |
| 9. Hallgren Mikael | Scandiaconsult Sverige AB |
| 10. Hassanzadeh Manouchehr | Lunds Tekniska Högskola |
| 11. Hultqvist Bengt-Åke | VTI |
| 12. Höbeda Peet | VTI |
| 13. Isacson Ulf | Kungliga Tekniska Högskolan |
| 14. Jendeby Leif | NCC |
| 15. Johansson Bo | Chalmers |
| 16. Johansson Peter | Lunds Tekniska Högskola |
| 17. Jönsson Per-Ola | Skanska |
| 18. Lindh Per | Lunds Tekniska Högskola |
| 19. Lundström Robert | Kungliga Tekniska Högskola |
| 20. Löfsjögård Malin | CBI |
| 21. Mattisson Ola | Lunds Universitet |
| 22. Nilsson Richard | Lunds Tekniska Universitet |
| 23. Offrell Petra | Kungliga Tekniska Högskolan |
| 24. Pernler Lars | Vägverket, Reg. Mälardalen |
| 25. Rydén Nils | Lunds Tekniska Högskola |
| 26. Seeger Anna | Lunds Tekniska Högskola |
| 27. Silfwerbrand Johan | Kungliga Tekniska Högskolan |
| 28. Sällfors Göran | Chalmers |
| 29. Tuutti Kyösti | Skanska |
| 30. Ullidtz Per | CTT, DTU, Danmark |
| 31. Utgenannt Peter | SP, Borås |
| 32. Winnerholt Thomas | Vägverket |
| 33. Wäppling Mattias | Kungliga Tekniska Högskolan |

Bilaga C

**Inledning av Workshop
Ronny Andersson och Göran Fagerlund
OH-bilder**

Konsortium – Väg, Bro, Tunnel
Cemita, Elforsk, LKAB, NCC, PEAB, Skanska

Beständighet hos vägbeläggningar

Lund 5 april

Välkomna !!!

Konsortium – Väg, Bro, Tunnel
Cemita, Elforsk, LKAB, NCC, PEAB, Skanska

Mkc Material och konstruktion

- Workshop "Beständiga betongkonstruktioner", våren 2000
- Doktorandkurs "Förstärkning av infrastrukturkonstruktioner -bedömning av resterande livslängd och bärförmåga hos betongkonstruktioner, hösten 2000
- Workshop "Beständighet hos vägbeläggningar"
- Doktorandkurs "Högpresterande betong", planeras hösten 2001
- Förslag vidare forskningsinriktning

Konsortium – Väg, Bro, Tunnel
Cemita, Elforsk, LKAB, NCC, PEAB, Skanska

Huvudmålet är att tillföra industriparterna en industrialiseringsprocess inom detta specifika infrastrukturområde.

En mer detaljerad beskrivning av målet är reduktion av byggtid och livscykelkostnader för broar och vägar, introduktion av smarta reparationssystem för broar och dammar samt att bli världsledande inom tunneldrivning.

Ett sekundärt mål är att etablera nätverk mellan parterna i programmet, forskningsinstitutionerna, universiteten samt att utbilda lovande kandidater inom industrin.

Konsortium – Väg, Bro, Tunnel
Cemita, Elforsk, LKAB, NCC, PEAB, Skanska

Workshopens uppläggning

- kunskapsöverförande
- används dagens kunskap i praktiken ?
- vilken spetskompetens finns ?

Konsortium – Väg, Bro, Tunnel
Cemita, Elforsk, LKAB, NCC, PEAB, Skanska

Workshopens uppläggning

- mycket polariserad konkurrens
- kunskapsöverförande
- används dagens kunskap i praktiken ?
- vilken spetskompetens finns ?
- GD - beslut om betongvägar för konkurrens
- tekniken är en del av beslutsunderlaget

Institution	Företag	Doktorand	Forskningsgrupp exklusive doktorand
Teknikområde Väg			
Geoteknik, CTH Projektstart 1996:4	NCC	civ.ing. Bo Johansson	Professor Göran Sällfors Docent Leif Jendebj, NCC
Geoteknik, CTH Projektstart 1996:4	SKANSKA	civ.ing. Pia Andersson	Professor Göran Sällfors Avd.chef. Ingemar Svensk, Skanska Teknik Forskningschef Kyösti Tuuri, Skanska Teknik
Geoteknologi, LTH Projektstart 1996:4	PEAB / SGI	tekn.lic. Per Luedh	Adj. prof. Jan Hartén Seniorforskare Dr. Bo Malmberg
Brobyggnad, KTH Projektstart 1997:1	CEMENTA	civ.ing. Mikael Wäppling	Professor Johan Silfverbrand Ronny Andersson, CEMENTA
Brobyggnad, KTH Projektstart 1997:2	CEMENTA	tekn.lic. Mikael Wäppling	Professor Johan Silfverbrand Örjan Petersson, CBI Ronny Andersson, CEMENTA
Vägbyggnad, LTH Projektstart 1997:3	SKANSKA	civ.ing. Rikard Nilsson	Adj. prof. Per Ullidtz Per-Ola Jönsson, Skanska
Vägteknik, KTH Projektstart 1999:2	NCC	civ.ing. Rikard Luedholm	Professor Ulf Isacson Nils Unger, NCC
Geoteknologi, LTH Projektstart 2000:3	PEAB	civ.ing. Nik Rydén	Professor Leif Bjelm Dr. Bo S. Malmberg Docent Peter Ulfvén Tekn.lic. Mats Svensson Dr. Choon Park, Kansas Geological Survey Ulf Eldahl, PEAB Anders Huvstig, Vägverket Hans Wirstam, Vägverket Per-Evert Bengtsson, SGI

Konsortium – Väg, Bro, Tunnel
Cementa, Elforsk, LKAB, NCC, PEAB, Skanska

Projekten är indelade i tre teknikområden

- TO Väg
- TO Bro/Damm
- TO Tunnel

Varsin styrgrupp (referensgrupp) med representanter från

- Företag
- Högskolor (doktorander och handledare)
- Myndigheter (Vägverk och Banverk).

Konsortium – Väg, Bro, Tunnel
Cementa, Elforsk, LKAB, NCC, PEAB, Skanska

Forskningskonsortiet Väg-Bro-Tunnel

- Bildat av företagen Cementa AB, Elforsk AB, LKAB, NCC AB, PEAB AB och Skanska AB.
- Gemensam satsning på forskning och utveckling inom infrastrukturuområde avseende vägar, broar, dammar och tunnelsystem.
- F.n. 18 industridoktorandprojekt vid CTH, KTH, LTH och LTU
- Finansiering:
1/3 Vinnova (Nutek) – forskning vid högskolor
1/3 Företag – doktorandlöner m.m.
1/3 Högskolor -egeninsatser

Konsortium – Väg, Bro, Tunnel
Cementa, Elforsk, LKAB, NCC, PEAB, Skanska

Två minikompetenscentra

- Mkc Jord och Berg
- Mkc Material och Konstruktion

Gemensamma aktiviteter

- Doktorandkurser
- Workshops
- Samordning av fältförsök m.m.

Varsin ledningsgrupp

- Handledare från CTH, KTH, LTH och LTU
- Företagsrepresentanter

Bilaga D

**Föredrag av Per-Ola Jönsson:
“Bärighetsberoende nedbrytning och
modeller”
Litteratur och OH-bilder**

Litteratur

1. Broms, H., (1976): "Dimensionering av asfaltbundna vägkonstruktioner från bärighetssynpunkt. Institutionen för vägbyggnad, KTH, Stockholm, huvudtext 110 s., bilagor 235 s.
2. (1999) EUR 18906 – Cost 333 – "Development of New Bituminous Pavement Design Method", Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 375 s.
3. (1999): Functional Contracts, Introducing innovative tendering and contracting based on functional quality parameters - ...how it affects the asphalt industry, European Asphalt Pavement Association, Breukelen, Ref: (99)2-03-00.004, 33 s.
4. Carlsson, H-E., (1978): "Dimensionering av vägöverbyggnader för transporter inom tung industri, hamnar, terminaler och flygfält", meddelande nr 86-1978, VTI, Linköping.
5. Näslund L, Wolgé H (1998): "Dimensionering av överbyggnad, Stockholm – Arlanda Flygplats, Bana 3", 1998-11-06, LFV rapport Tm98:002.
6. O'Brien, J., Roos, H., Helk, U., von Devivere, M., Quast, P., (1994): "Environmental guidelines on Best Available Techniques (BAT) for the production of asphalt mixes, ISBN 90-801214-2-8, European Asphalt Pavement Association, Breukelen, 72 s.
7. O'Brien, J., Roos, H., Helk, U., von Devivere, M., Quast, P., Ruud, O., (1996): "Environmental guidelines on Best Available Techniques (BAT) for the production of asphalt mixes, uppdatering av ovanstående dokument, European Asphalt Pavement Association, Breukelen, 16 s.
8. Schmuck, A., Ressel W., (1994): "Wirtschaftlichkeitsvergleich für unterschiedliche Bauweisen, Institut für Verkehrswesen und Raumplanung Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Strassenwesen Universität der Bundeswehr München.
9. Väg 94 (ATB Väg)
10. EU-projekt "Amadeus"

Beständighet hos vägbeläggning

- Föredrag vid Lunds tekniska högskola
den 5 maj 2001
Per-Ola Jönsson

SKANSKA | Asfalt och Betong

Hur erhålls en optimal betongväg ?

- Betongbeläggningen ska byggas in i ett överbyggnadssystem där de goda egenskaperna att uppta trafiklaster utnyttjas på ett optimalt sätt.
- Detta innebär att risker för skador på grund av klimat, konstruktionsfel och utförandefel ska minimeras.
- Överbyggnadssystemet ska utformas på ett kostnadseffektivt sätt.

SKANSKA | Asfalt och Betong

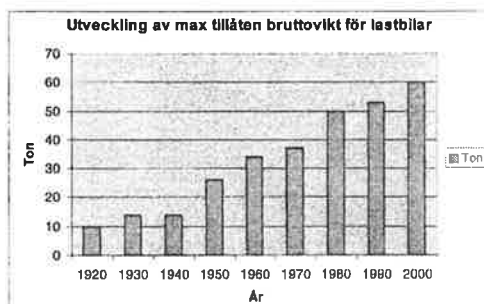
Vägbeläggningar av betong och asfalt

- Likheter: Dimensionering bygger ofta på samma grundprinciper
Underbyggnad av obundna material är av samma typ
Belastningsfallen av trafik och klimat är lika
- Olikheter: Olika egenskaper beträffande böjstyvhet, stabilitet och flexibilitet.
Olika utmattningskriterier baserat på största dragtöjning samt temperatur för asfalt och böjdraghållfasthet samt olika spänningsförhållanden för betong

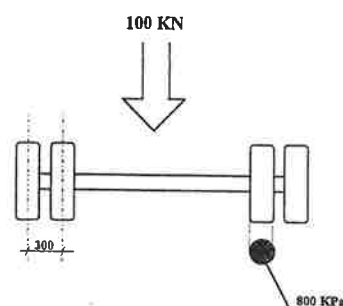
SKANSKA | Asfalt och Betong

Nya trafiklaster inom EU

- Tung trafik; drivande axel: 11,5 ton
boggi axel: 19 ton
- Däckstryck; parmonterat: 850 kPa
super single: 950 kPa
- Beräkningsdata enligt Vägverkets Väg-94:
standardaxel: 10 ton
däckstryck: 800 kPa



SKANSKA | Skanska



Standardaxel i VAG 94 (1994).

Egenskaper betongöverbyggnad

- 1. Betongöverbyggnad är lämplig att använda vid stor belastning av tung trafik.
- 2. Betongöverbyggnad har mycket stor böjstyvhet och stabilitet.
- 3. Mindre rörelser i underlaget går att överbygga.
- 4. Känslig för tjälrörelser och större sättningar.
- 5. Betongöverbyggnad består av slit- och bärlager av betong, cement- eller bitumenbundet bärlager, obundet bärlager, förstärkningslager och eventuellt skyddslager.

SKANSKA | Asfalt och Betong

Betongkonstruktioner

- Kontinuerligt armerade betongvägar
- Fogade armerade betongvägar
- Fogade oarmerade betongvägar (dymlas)

SKANSKA | Asfalt och Betong

Dimensionering av betongöverbyggnad

- Dimensioneringsförutsättningar
 - * Last av trafik
 - * Last av ojämn temperaturfördelning
 - * Krökning av betongplatta beroende av ojämn last
 - * Undergrundsförhållanden och tjälsäkring
- Dimensioneringsvillkor
 - * Max böjdragspänning < tillgänglig böjdraghållfasthet
 - * Maximal horisontell dragtöjning i bundet bärlager < tillgänglig dragtöjning
 - * Maximal vertikal trycktöjning < tillg. trycktöjning

SKANSKA | Asfalt och Betong

Övriga typer av cementbundna beläggningar

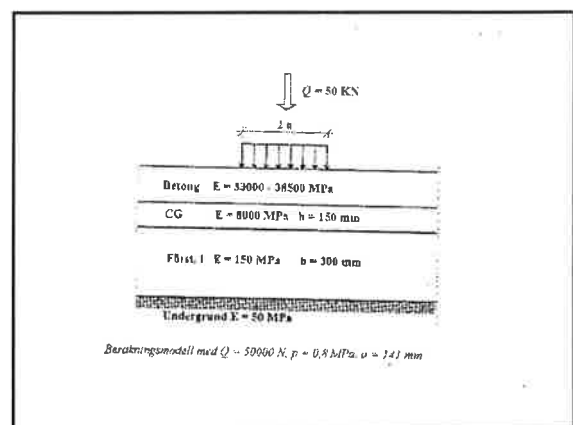
- Cementbitumenöverbyggnad
- Markstensbeläggningar
- Betong på asfalt (white top, stålfiberbetong)
- Densiphalt
- Vältbetong
- Betong i underbyggnad såsom skumbetong

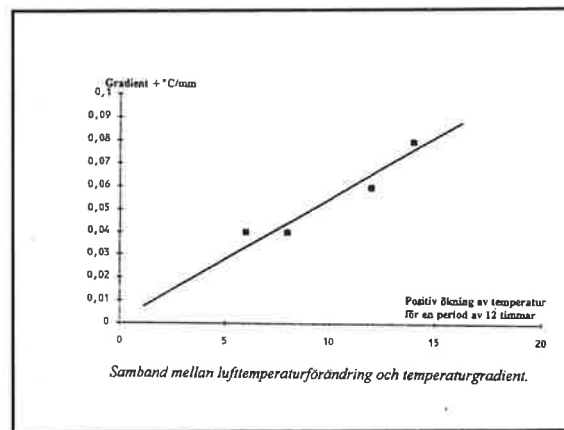
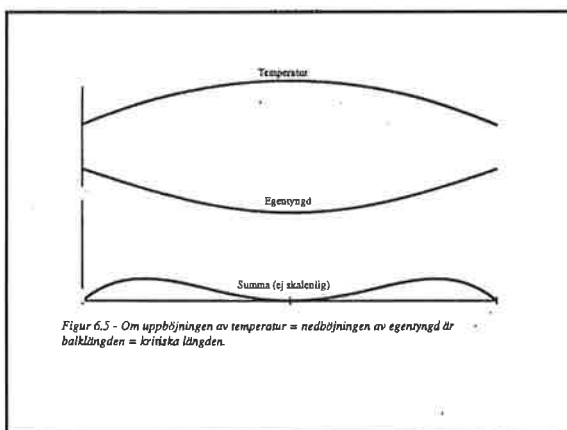
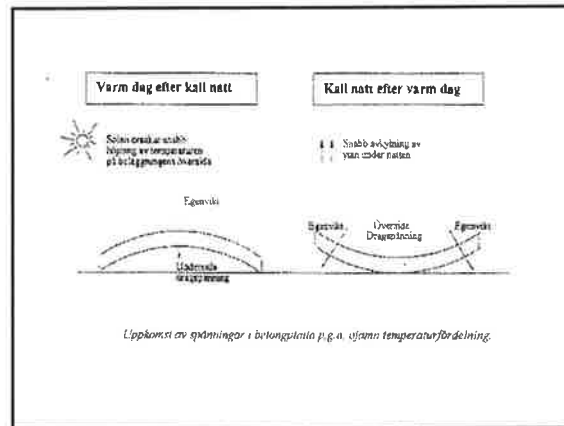
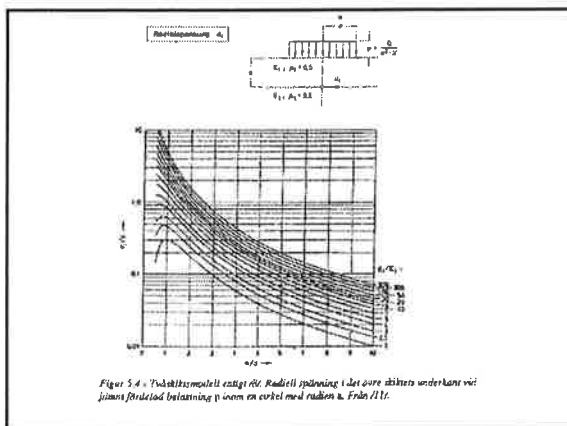
SKANSKA | Asfalt och Betong

Underbyggnad till betongöverbyggnad

- Förutsättningar:
 1. Konstruktionen måste ej större sättningar
 2. Konstruktionen måste vara tjälsäker
- ==> Större krav på att underbyggnaden är rätt konstruerad och utförd.

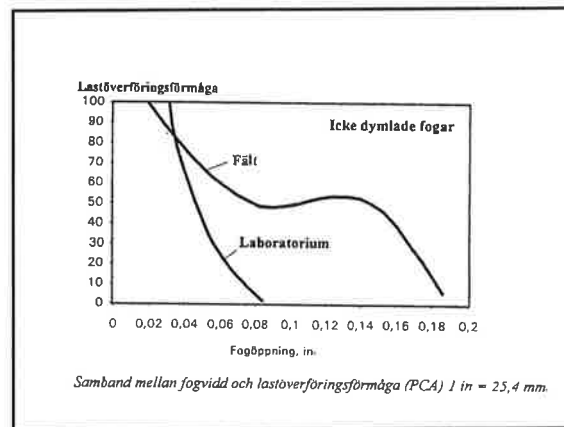
SKANSKA | Asfalt och Betong

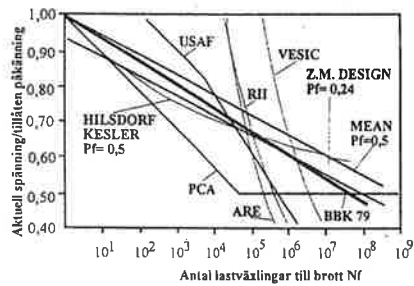




Period	Tid mån	Temp °C	E-modul stiff MPa	Tempgradient 0.06 °C/mm	Tempgradient 0.04 °C/mm	Tempgradient 0.02 °C/mm
Vinter	2	+0.6	9500			100 %
Tjällning	1	2.7	8000		24 %	76 %
Vår-Höst	4	7.5	5500		24 %	76 %
Sommar	5	23.4	1500	12 %	24 %	64 %
Totalt	12			5 %	20 %	75 %

TABELL 7: Uppdelning av dimensioneringsberäkning i olika tidperioder.





Samband för olika utmattningsmodeller.

Förbättringsmöjligheter - betongvägar

- Utnyttjande av effektivare tjälisolering för att minska överbyggnadstjockleken
- Utveckla system för bättre vidhäftning mellan olika lager för att minska beläggningstjockleken
- Utveckla fogningstekniken för att minska risken för fogsläpp så att vatten tränger ner och underminerar konstruktionen.
- Utveckla dymningstekniken för att förbättra lastöverföringsförmågan.
- Säkerställ rätt utläggningsutrustning för att rätt jämnhet ska erhållas på den färdiga beläggningen

SKANSKA | Arbete och Betong

Slutsatser

- För att betongvägar ska vara intressanta krävs att fortsatt utvecklingsarbete fokuseras mot effektiva totalkostnadslösningar.
- Framför allt bör man arbeta med att minska dimensionerna på konstruktionen med nya effektiva lösningar.
- Ett sätt att driva utvecklingen är ta fram enhetliga ekonomiska utvärderingssystem eller överföra risker till privata näringslivet genom PPP-projekt

SKANSKA | Arbete och Betong

Bilaga E

**Föredrag av Johan Silfwerbrand:
“Bärighetsberoende nedbrytning och
modeller”
Litteratur och OH-bilder**

Litteratur om betongbeläggningar

1. Petersson, Ö., (1996): "Svensk metod för dimensionering av betongvägar". Bulletin nr 16, institutionen för byggkonstruktion, KTH, Stockholm, 163 s.
2. Silfwerbrand, J., (1994): "Dimensionering av tungt belastade industrier". CBI-rapport nr 1:94, Cement och Betong Institutet, Stockholm, 79 s.
3. Silfwerbrand, J., (1994): "Dimensionering av betongbeläggningar". Rapport nr 9, byggnadsstatik, institutionen för byggkonstruktion, KTH, Stockholm, 73 s.
4. Silfwerbrand, J., (1999): "Markstensbeläggnings bärförmåga – Parameterstudie, jämförelser med utländska alternativ och förslag till dimensioneringstabeller". Teknisk rapport nr 1999:18, brobyggnad, institutionen för byggkonstruktion, KTH, Stockholm, 47 s.
5. Bosurgi, G., & Arena, F., (1998): "Sensitivity Analysis in Probabilistic Design of Concrete Pavements". Proceedings of the 4th International Workshop on "Design Theories and Their Verification of Concrete Slabs for Pavements and Railroads", Bussaco, Portugal, September 10-11, 1998, pp. 277-288.
6. Darter, M., Hallin, J., Khazanovich, L., Tayabji, S., & Snyder, M., (1998): "Development and Calibration of a Mechanistic-Empirical Design Procedure for Rigid Pavements". Proceedings of the 4th International Workshop on "Design Theories and Their Verification of Concrete Slabs for Pavements and Railroads", Bussaco, Portugal, September 10-11, 1998, pp. 289-303.
7. Stet, M., van Cauwelaert, F., & Beuving, E., "Evaluation Method for Jointed Concrete Airfield Pavements". Proceedings of the 4th International Workshop on "Design Theories and Their Verification of Concrete Slabs for Pavements and Railroads", Bussaco, Portugal, September 10-11, 1998, pp. 169-184.

Bärighetsberoende nedbrytning och modeller för asfaltvägar

Johan Silfwerbrand
Byggkonstruktion, KTH

VBTs workshop "Beständighet hos
vägbeläggningar", LTH, Lund, 5 april 2001

Studerad litteratur

- Broms H (1976): "Dimensionering av asfaltbundna vägkonstruktioner från bärighetssynpunkt"
- Carlsson H-E (1978): "Dimensionering av vägöverbyggnader för transporttytor inom tung industri, hamnar, terminaler & flygfält"
- Näslund L & Wolgé H (1998): "Stockholm - Arlanda flygplats - Bana 3 - Dimensionering av överbyggnad"

Studerad litteratur (forts.)

- EUR 18906 - Cost 333 (1999): "Development of New Bituminous Pavement Design Method"
- EAPA (1999): "Functional Contracts"

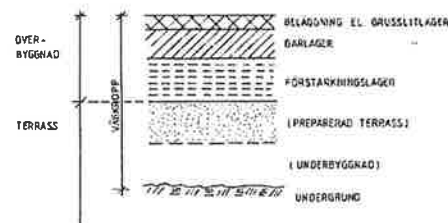


FIG.1 DEFINITION AV ÖVERBYGGNAD MM.

(CARLSSON 1978)

Broms H (1976)

- Del 1: vägens nedbrytning, fokus mot bärighetsbetingad nedbrytning
- Del 2: genomgång av nio utländska dimensioneringsmetoder
- Del 3: Utveckling av dimensioneringsmetod
- Del 4: Metodens tillämpning på två BYA-alternativ

Avgränsningar

- Enbart flexibla överbyggnadstyper (GBÖ och HBÖ) (ej CBÖ pga annan uppsprickning).
- Endast ostabiliserad jordterrass (ej bergterrass, och stabiliserad terrass pga otillräcklig kunskap om bärigheten).

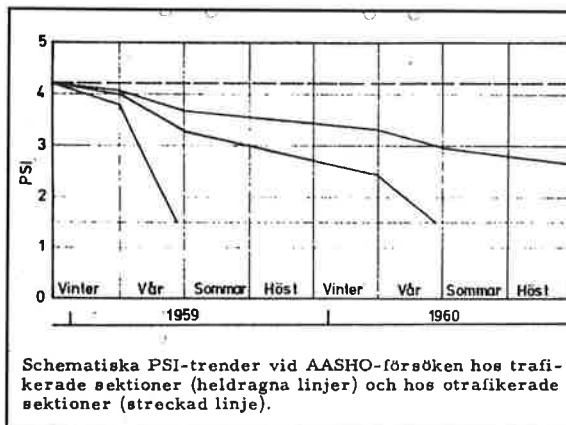
Vägens nedbrytning

- Ojämnheter i längsled och tvärled, sprickbildning och lagning & lappning leder till att tjänligheten (körkomforten) minskar.
- Trafikering + ojämn tjällyftning + ojämn sättnings ger ojämnhet i längsled.
- Trafikering (tung och dubbdäck) ger ojämnhet i tvärled (= spårbildning).

AASHO-försöken 1959-60

(American Association of State Highway Officials)

- 70 provsträckor med asfaltbeläggning.
- Jury (vana bilförare) betygsatte körkomforten: PSI (present serviceability index).
- PSI = 0: ofarbar; PSI = 1,5 sönderkörd; PSI ≈ 2,5: dim.värde; PSI = 5: bäst.
- Väggeometri och friktion bedömdes ej.



Dimensionering ur bärighets-synpunkt: problem

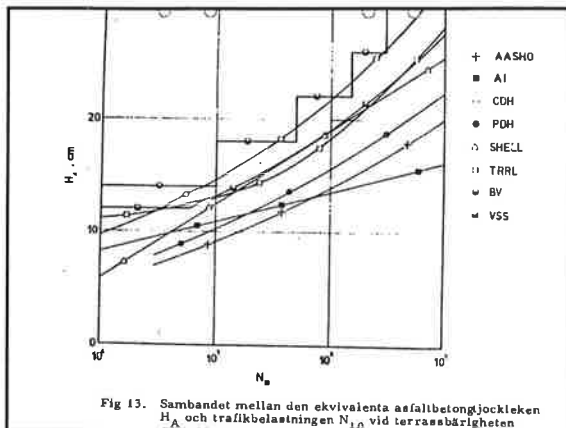
- Vägbyggnadsmaterialen är ej idealt elastiska (tid, temp, packning, sammansättning, vattenhalt).
- Visko-elastiska modeller kräver mer datorkapacitet och fler parametrar.
- Dagens modeller kan möjligen förklara sprickor & spår men ej ojämnhet i längsled.
- Kriterier saknas. 100 ggr fler laster i fält än i lab.

Dimensionerande faktorer

- Trafikbelastning: $N_{ekv} = N_i \times (A_i/10)^4$.
- Terrassens bärighet: $CBR = 100 \times \sigma_i / \sigma_{std}$.
- Överbyggnadens bärighet: $h_i = s \times h_{std}$.
- Lägsta acceptabla tjänlighet: beror på vägens v_{dim} , då (1976) endast baserad på AASHO.

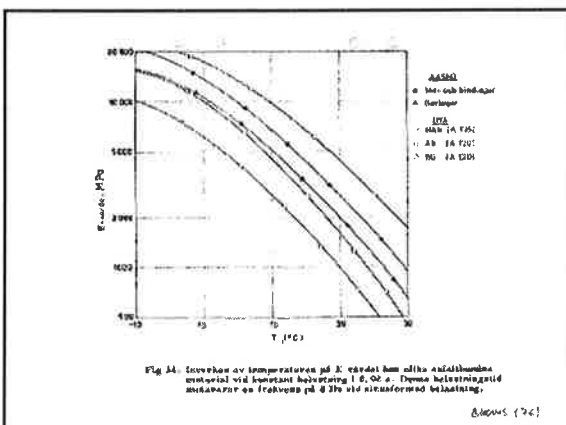
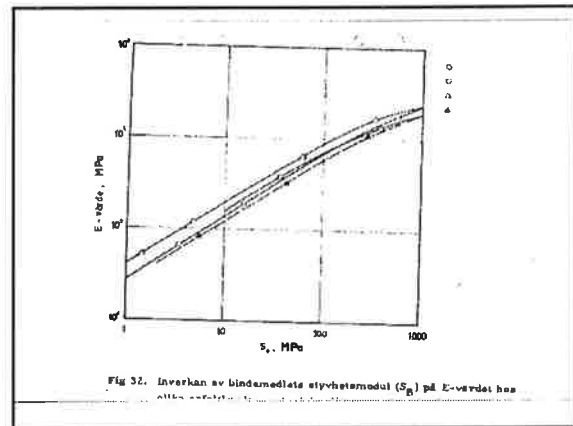
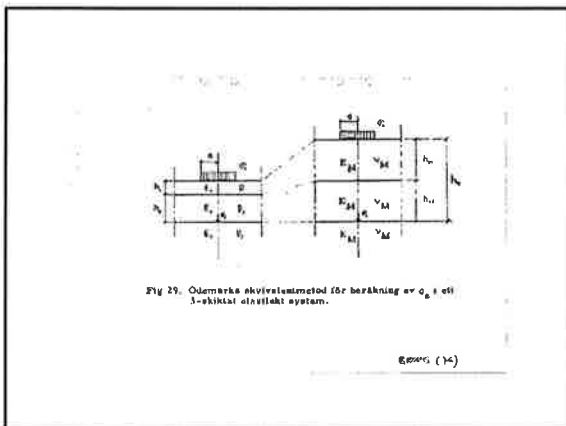
Dimensioneringsmetoder

- AASHO, USA
- Asphalt Institute, USA
- California Div. of Highways, USA
- Pennsylvania Dept. of Highways, USA
- Shell
- Transport and Road Research Lab., UK
- Bundesminister für Verkehr, D
- Corps of Engineers, USA
- Verein. Schweizerischer Strassenfachmänner



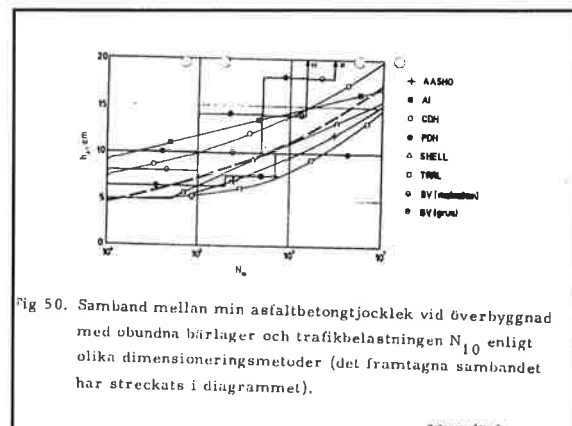
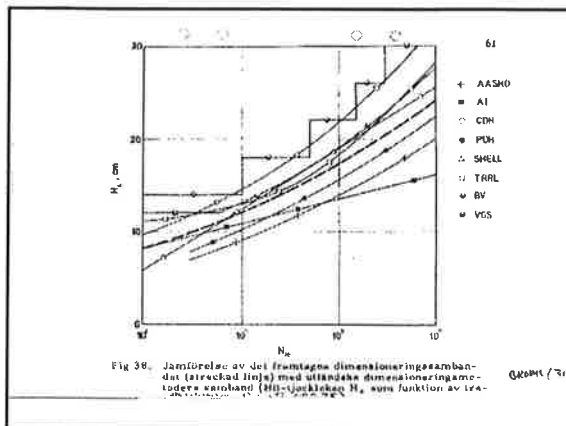
Framtagning av dim.metod

- Modellens kritiska parameter: $\sigma_{z,terrass}$.
- Beräkning av den kritiska parametern: Odemarks metod.
- Bestämning av substitutionsfaktorer.
- Materialens mekaniska egenskaper: van der Poel, $E_0 = 2 \text{ à } 4 \times E_{terrass}$, $E_{terrass} = 7 \times CBR$.



Framtagning av dim.metod (forts.)

- Terrassens medelbärighet: Miners-Palmgrens delskadehypotes $\Sigma(n_i/N_i) = \Sigma(D_i) = 1$.
- Nedsjunkning i terrassytan kan ej användas som alternativ parameter.
- Dragtöjning i asfaltbeläggningens uk $\Rightarrow$ minimitjocklek (baserad på AASHO).



TABELL 19
Bedömning av BYA:s standardöverbyggnader

Material-grupp	Trafikklass									
	II		III		IV		V		VI	
	GBÖ	HBÖ	GBÖ	HBÖ	GBÖ	HBÖ	GBÖ	HBÖ	GBÖ	HBÖ
A	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
C	x	x	x	x	x	x	x	x	0	x
D	U	x	U	x	U	x	x	x	x	x
E	U	-	U	-	U	-	U	-	U	-

x: accepterad avvikelse mellan $(h_A)_{akt}$ och $(h_A)_{erf}$.
0: överdimensionerad konstruktion enligt den framtagna metoden.
U: underdimensionerad konstruktion enligt den framtagna metoden.

Av tabell 19 framgår att samtliga 20 HBÖ-konstruktioner anses vara tillfredsställande dimensionerade enligt den framtagna metoden, medan motsvarande gäller för 16 av de 25 GBÖ-konstruktionerna. En GBÖ-konstruktion (C VI) bedöms överdimensionerad, medan 8 GBÖ-konstruktioner kan anses vara underdimensionerade vid materialgrupp D och E.

TABELL 22
Jämförelse mellan aktuell och beräknad beläggningstjocklek (mm) för BYA:s GBÖ-konstruktioner (Åke 94)

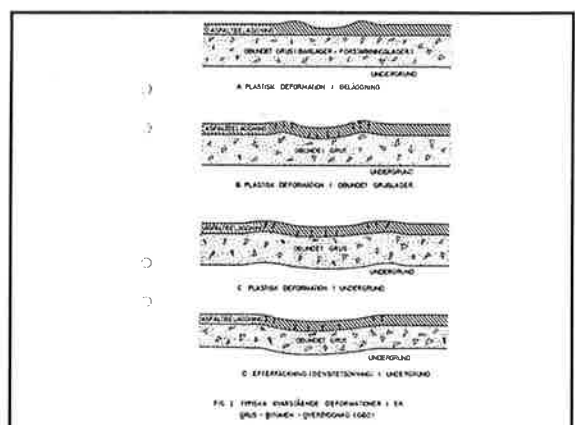
Trafikklass	II	III (B)	IV (D)	V (V)	VI (V)
$(h_A)_{akt}$	40	65	117	160	203
$(h_A)_{erf}$	72	102	140	163	187
ΔA	-32	-37	-23	-3	+16
$(\Delta A)_{rel}(\%)$	-44	-36	-16	-2	+9

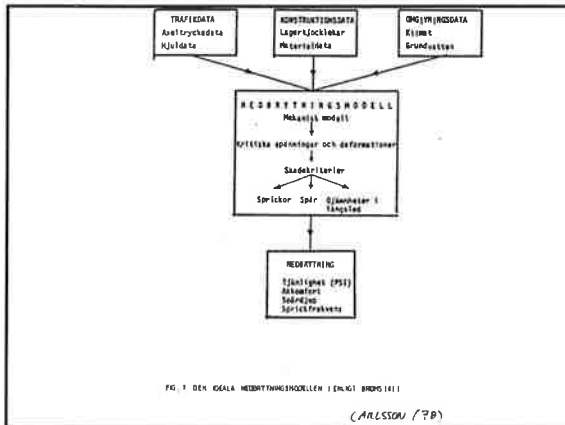
80 120 170 190

Av tabell 22 framgår att BYA:s beläggningstjocklekar är klart mindre än de erforderliga i trafikklass II och III. Sprickrisken kan dock minskas (på bekostnad av beläggningens lastspridande förmåga och stabilitet) genom att använda mjukare bindemedel i beläggningen åttiostone vid materialgrupp A-C. Vid materialgrupp D och E blir dock effekten av denna åtgärd ganska liten, varför beläggningstjockleken i dessa fall bör ökas.

Carlsson H-E (1978)

- Syfte: att ta fram anvisningar för dimensionering av transporttytor.
- Överbyggnadsdimensionering med hänsyn till tjäle
- Överbyggnadsdimensionering med hänsyn till trafik
- Enkätundersökning





Markundersökningens resultat

- Val av lämplig överbyggnadstyp: tjältskydd + överbyggnadstjocklek.
- Fastställande av vattenhaltiga lagers sättningsbenägenhet + ev förslag till begränsning av sättningar.
- Bedömning av schaktmassor såsom överbyggnads- eller terrassmaterial.
- Förslag till dräneringsåtgärder.

Dimensionering mht tjälfarlighet

Orsaker

- Stor köldmängd K
- Tjälfarlig jordart ΔK_1 (silt, grov lera, moig morän)
- Stor grundvattentillförsel ΔK_2

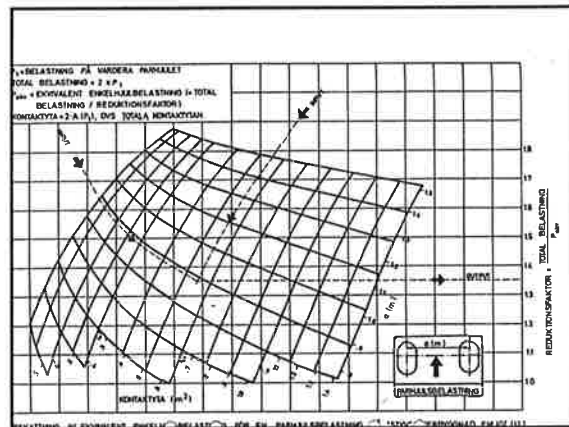
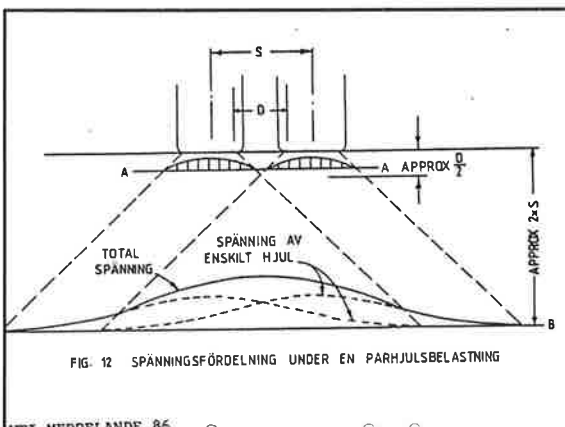
Problem

- Stora och ojämna tjällyftningar
- Bärighetsnedsättning vid tjällossning

Lösning: Tjock överbyggnad ΔK_3 ; $K/\Sigma(\Delta K)$ begränsas.

Dimensionering mht trafikbelastning

- Kriterier: $\varepsilon_{z,terrass}$ och $\varepsilon_{y,asfalt}$ (utmattning).
- Beräkning av påkänningar: Odemark.
- Ekvivalenta enkelhjulbelastningar: totallast på hjulgruppen, geometri, ringtryck samt överbyggnad & terrass.
- ”Styv” (betong el tjock asfalt) eller ”böjlig” överbyggnad.



Dim. mht trafikbelastning (forts)

- Bestämning av antalet belastningar (överfarter): livslängd (10 – 30 år) och spårbundenhet.
- Dynamiska tillskott: jämn yta: +10 %, ojämn: + 25 %, mycket ojämn: +50 %, massivgummidäck: dito×2.
- Miners-Palmgrens delskadehypotes.

Dimensioneringsgång

1. Bedöm erforderlig överbyggnadstjocklek mht tjälfarlighet.
2. För stor tjocklek $\Rightarrow$ sänk gvy eller gör tjälskyddsåtgärder.
3. Beakta sättningar och stabilitet.
4. Välj material och tjocklekar för öb.
5. Bestäm trafiklast och trafikmängd N .
6. Välj E och ν för olika årstider.
7. Beräkna påkänningar.
8. Beräkna tillåtet antal överfarter N_{till} .
9. Om $N_{till} < N$, gå till 4.



Figur 19. Spårbildning i asfaltbeläggning

COST 333 (1999)

Strategic European Road Research Programme (SERRP)

Co-operation in the field of Scientific and Technical research.

COST 333 – Development of New Bituminous Pavement Design Method (initiate 1996)

20 europeiska länder:

Norden, EU, Schweiz, Kroatien, Ungern, Slovenien, Rumänien

(Sverige: VTI)

Syften:

- Beakta framtida trafiklast och harmoniserade material – standarder
- Uppmuntra förbättring av material, använda alternativa material och utveckla funktionsbaserade specifikationer.
- Utveckla krav för kostnadseffektiv dimensionering
- Undvika onödiga dubbleringar i FoU
- Skapa möjligheter för europeisk industri att samverka
- Undersöka vägdimensioneringens betydelse för reparation av befintliga vägar.

Begränsningar

Enbart överbyggnader med slitlager av asfalt

Fullständigt flexibla beläggningar

-asfalt eller obundna material utgör bärande element

Samverkansbeläggningar

- cementbundet lager ingår

Faktorer som beskriver funktion

- Längsgående profil
- Tvärgående profil
- Sprickbildning som hör till verkningssättet
- Deformationer i vägkroppen
- Defekter i ytan
- Halkmotstånd

Table 4.1 Influence of structural properties of the main pavement components

Use on business premises performance					
Integrated profile: structure, price, service, styling, material, delivery					
Structural properties	System loading	Support (stair route)	Height (stairway layout)	Construction / materials	Rating
4 star, Gillies-Buck, Whitham	Medium	Low	High	Mildsteel	Medium
Crack resistant	High	Medium	High		
Underwaying resistance	High	Medium	Medium	Medium	Medium
Fire non-combustibility					

Structural properties	Acoustic performance	Thermal insulation	Light transmission	Reliability
Thin hollow / Solid structure	Medium	Low	High	Medium
Good insulation	High	Low	High	-
Information resources	High	-	Low	Low
Low adaptability	-	-	-	High

Structural properties	Aliphatic carbonyl	Aliphatic ketone	Cumulative double bonds	Saturated
Heat of fusion	Medium	Medium	High	Low
Heat of vaporization	Medium	Medium	High	Low
Refractive index	Medium	Medium	High	Low
Dielectric constant	Medium	Medium	High	Low
Viscosity	Medium	Medium	High	Low

Nedbrytningsmekanismer

Konventionella kriteriet

- Utmattningsuppsprickning i bundet bärlager
- Permanent spårbildning p.g.a. deformationer i terrassen
- Österrike har en modell som ställer spårdjupet som funktion av trafik och asfalttyp.
- Ungern har en modell där asfaltens åldring påverkar spårbildningen.
- I övrigt används E_y , asfalt och E_z , terrass.

Invändningar mot praxis

- Dagens trafik är större och mer aggressiv än gårdagens.
- Avstängning för reparation allt mer besvärande. ☒ Tendens till större säkerhet och tjocklek.
- Osäkerhet om nya material ☒ överdimensionering?
- Reflektionssprickor beaktas ej.
- Längsgående sprickor startar ej från botten, utan från ytan ☒ gängse modell fel. Trafik + temperatur orsaken?
- Ingen relation mellan tjocklek och spårbildning (UK)
- Materialegenskaperna förändras över tid. Data baserade på snabba labbförsök.

Värsta nedbrytningsfaktorer (enl COST 333)

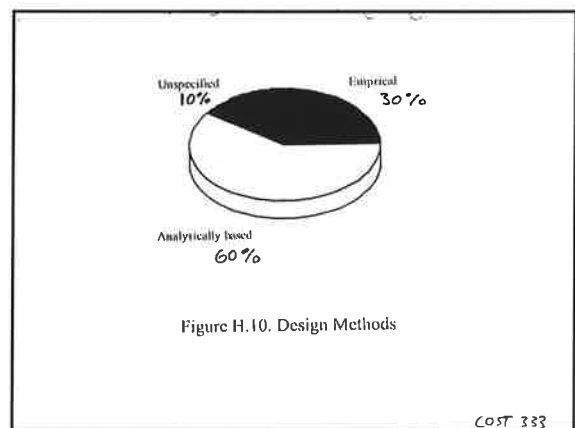
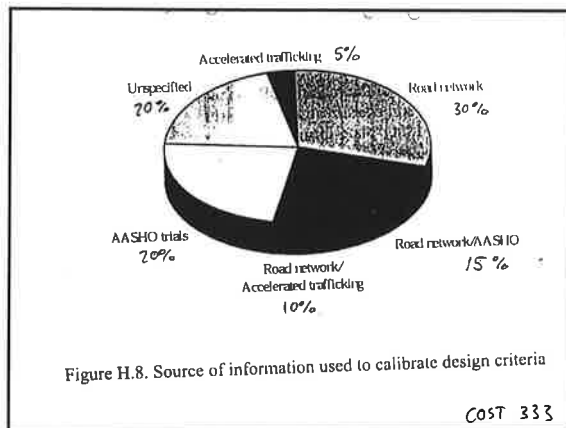
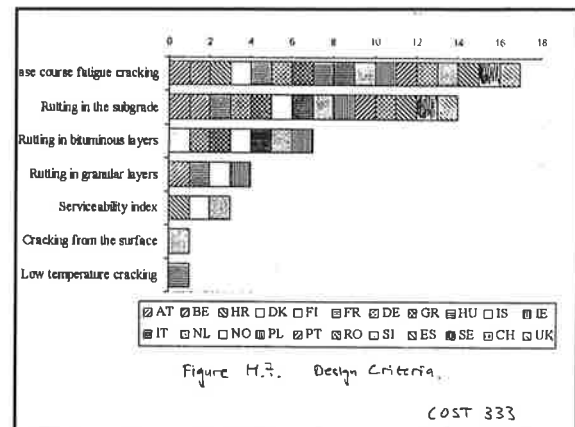
1. Spårbildning i asfaltlager
2. Sprickbildning med start i ytan
3. Längsgående ojämnheter
4. Förlust av halkmotstånd
5. Längsgående sprickbildning i hjulspåret
6. Sprickbildning med start i bärslagets uk. Ey
7. Allmän sprickbildning
8. Spårbildning i terrassen Ez
9. Tjällyftning
11. Dubbdäcksslitage

Dagens dim. - rekommendation

- Dagens metoder 10-15 år gamla.
- Skillnad mellan brottkriterier och verkliga brotttyper.
- Materialegenskapernas förändring över tid måste beaktas.
- Duger AASHO fortfarande? Nya försök i lab och fält.
- 4-potensmetoden används överallt (gäller knappast alla mekanismer).
- Reflektionssprickor måste beaktas.
- Sträva efter att ta fram analytiska modeller som kan förutsäga verkliga sprick- och skadeförlopp.

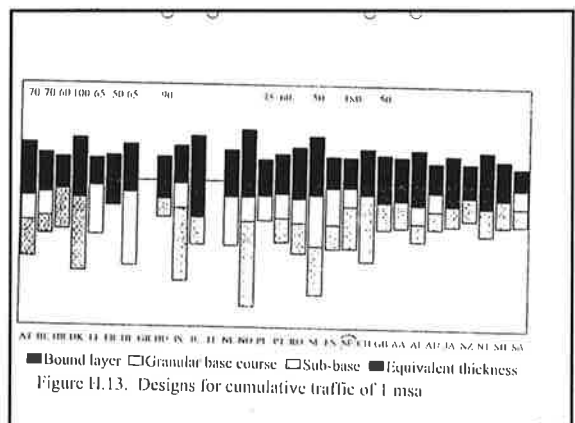
Table H.2. Length of Primary Road Network in European Countries

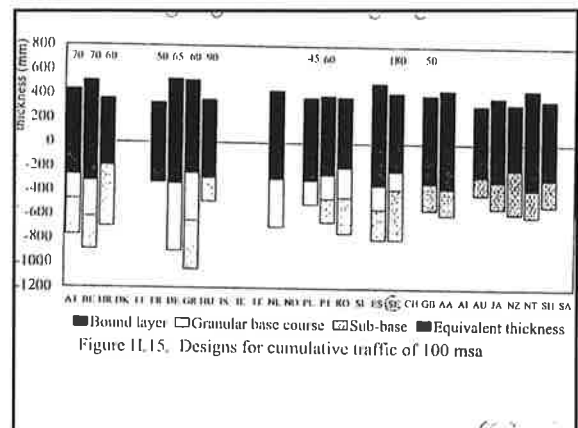
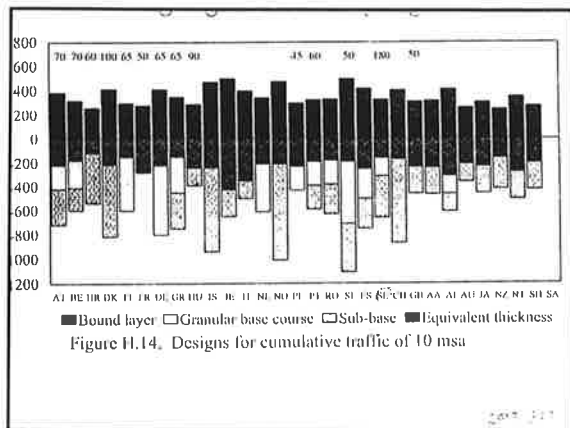
Country	Proportion of Construction Types (%)			Length of Primary Road Network (km)
	Flexible	Composite	Rigid	
Austria	90	5	5	12,000
Belgium	70	13	17	15,700
Croatia	94	5	1	7,000
Denmark	98	2	0	7,000
Finland	95	5	0	13,400
France	50	40	10	36,300
Germany	36	36	28	52,900
Greece	100	0	0	12,000
Hungary	60	40	0	6,800
Iceland	99	1	0	4,300
Ireland	100	0	0	2,700
Italy	-	-	-	6,500
Netherlands	86	10	4	2,200
Norway	98	0	2	-
Poland	-	-	-	45,600
Portugal	95	4	1	10,000
Romania	80	15	5	-
Slovenia	95	0	5	4,700
Spain	79	17	4	24,100
Sweden	99	<1	<1	15,000
Switzerland	75	3	22	1,500



Säkerhetsnivåer

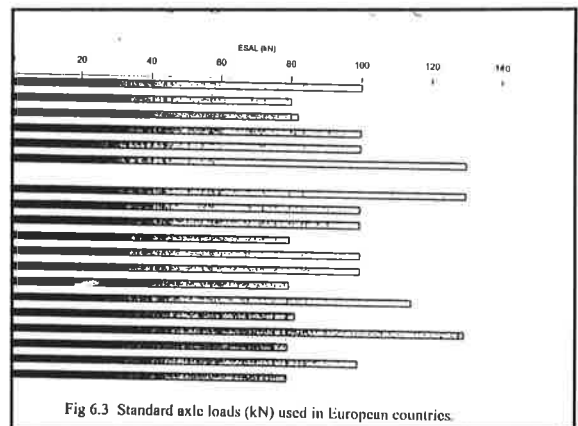
- NL: 85% sannolikt att konstruktiva reparationer ej behövs under livslängden.
- Fra: Brottrisen beror på trafiken, men alltid < 50%.
- Pol: Utmattningssprickor på högst 20% av ytan.
- UK: 85% sannolikhet att överleva 20 år utan förstärkning.
- Irland, Grekland: Se UK.
- Italien: Sannolikhet att PSI > 2,5-3: 90-95%.
- Övriga 14: Uppgifter saknas.
- Sverige?





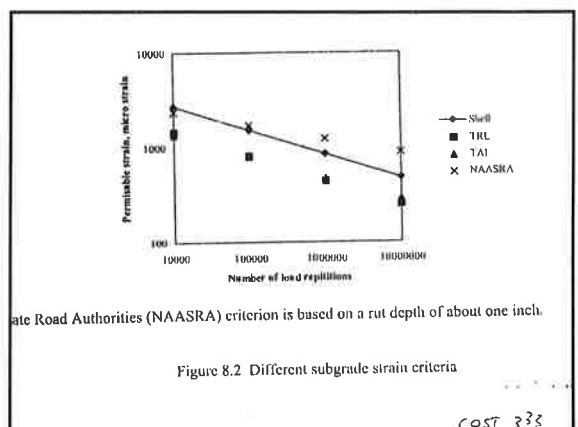
Trafikdata - rekommendationer

- Trafikmätningstationerna bör bli fler.
- Weight-in-motion (WIM) bör utnyttjas oftare och mer.
- Axellasternas konfiguration bör studeras bättre.
- Detsamma gäller ringtryck, däcktyp, upphängning.
- Omvandling av antal tunga fordon (> 3,5 ton) till antal standardaxlar bör ej göras genom faktormultiplikation (i Sv. 1,3) även 4-potensmetoden fel.
- Egentligen har varje lastbil sin konverteringsfaktor.



Klimatfaktorer

- Sve, No, Fi, Dk, Ty, Fr mfl. Beaktar tjäle i dim.
- UK, Irl, Isl förebygger.
- Sve, Fi, Bel, Gre tar stor hänsyn till årstidsväxlingar i temp.
- No, Isl, Irl inte alls
- Fi, UK, Tyskl, Nl tar hänsyn till hydrologiska förhållanden.
- Sve, No, Isl, Dk, FT, Spa inte alls.



Asfaltbundna material

- Runda partiklar med slät yta $\square$ ökad arbetbarhet, minskad stabilitet
- Bitumen är viskoelastiskt och temperaturkänsligt
- Styvheten ges av van der Poels nomogram (1954)
- Problem för modifierade bindemedel och nya framställningsmetoder
- Ickemodifierad bitumen ej kompressibel $\square V = 0,5$
- Initiiellt hårdnande i asfaltverk
- Långsamt hårdnande över tid (åldrande)
- Fysikaliskt hårdnande under långa köldperioder (reversibel)
- Blandningsmål: Önskvärd ballastgradering + bindemedelsinnehåll
- Faser: fast: ballast (+ fibrer), "vätska": bindemedel, "gas": luftporer

Asphalt concrete (AC): Asphalt in which the aggregate particles are essentially continuously graded to form an interlocking structure.

Permeable asphalt (PA): An asphalt formulated to have a very high content (>20%) of interconnected voids so as to facilitate the passage of water.

Hot rolled asphalt (HRA): An asphalt composed of coarse aggregates dispersed in a mortar composed of sand, filler and bitumen.

Mastic asphalt (MA): An asphalt in which the volume of the combination of filler and sand substantially exceeds the volume of the voids in the skeleton of the remaining aggregates to produce an asphalt which may be poured when hot and requires no compaction.

Mass asphalt (GA): A mastic asphalt containing a relatively hard grade of bitumen and a substantial amount of coarse aggregates and with characteristics which enable it to be laid mechanically or by hand.

Stone mastic asphalt (SMA): A gap graded asphalt composed of a coarse crushed aggregate skeleton bound with a mastic mortar.

Soft asphalt (SA): An asphalt manufactured with a bitumen having an initial viscosity of less than 16000mm²/s.

COST 333

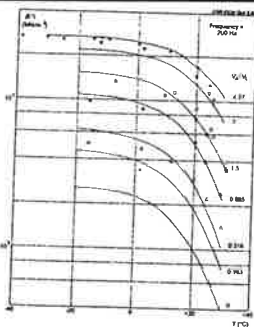


Figure 9.6 Isochrones ($F_R = 200$ Hz) of the stiffness modulus of different asphalt compositions containing the same binder and the same void content ($V_v = 1\%$, $V_v = 3\%$, $V_v = 5\%$, $V_v = 7\%$, $V_v = 9\%$, $V_v = 11\%$, $V_v = 13\%$, $V_v = 15\%$, $V_v = 17\%$, $V_v = 19\%$, $V_v = 21\%$, $V_v = 23\%$, $V_v = 25\%$, $V_v = 27\%$, $V_v = 29\%$, $V_v = 31\%$, $V_v = 33\%$, $V_v = 35\%$, $V_v = 37\%$, $V_v = 39\%$, $V_v = 41\%$, $V_v = 43\%$, $V_v = 45\%$, $V_v = 47\%$, $V_v = 49\%$, $V_v = 51\%$, $V_v = 53\%$, $V_v = 55\%$, $V_v = 57\%$, $V_v = 59\%$, $V_v = 61\%$, $V_v = 63\%$, $V_v = 65\%$, $V_v = 67\%$, $V_v = 69\%$, $V_v = 71\%$, $V_v = 73\%$, $V_v = 75\%$, $V_v = 77\%$, $V_v = 79\%$, $V_v = 81\%$, $V_v = 83\%$, $V_v = 85\%$, $V_v = 87\%$, $V_v = 89\%$, $V_v = 91\%$, $V_v = 93\%$, $V_v = 95\%$, $V_v = 97\%$, $V_v = 99\%$, $V_v = 100\%$) (Van der Poel 1954).

COST 333

Table 10.1 Preliminary inventory of pavement design models

Name	Method Used As response Model	Issues covered										
		Non Linearity	Stochastic	Anisotropy	Interface	Time effects	Dynamic loading	Multi spectrum	Free characteristics	Stochastic	Crack propagation	Thermal effects
APAS-WIN	Multi-layer											
ANDIN	Asymmetric FEM											
BISAR/SPDM	Multi-layer											
CIRCLY	Multi-layer											
CAPA-3D	3D-FEM											
CESAR	3D-FEM											
ECCORUTE	Multi-layer											
ELSYM 5	Multi-layer											
KENLAYER	Multi-layer											
MULTIPAVE	Asymmetric FEM											
MURP	Multi-layer											
PROBET	Multi-layer											
ROADENT	Multi-layer											
SYSTUS	3D-FEM											
VAGHEM 98	Multi-layer											
VERROAD	Multi-layer											
PEXYS	Multi-layer											

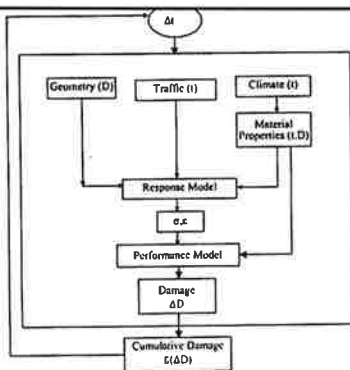


Figure 13.1 Procedure for a fundamental design method.

Näslund L & Wolgé H (1998)

- **Syfte:** att mha analytiska metoder ta fram två alternativ (asfalt & betong) för bana 3.
- Hur länge håller en given konstruktion och hur ofta måste den sedan renoveras?
- Hur ser totalkostnadsbilden ut mht trafikutvecklingen?

Dimensionerande förutsättningar

- Varierande undergrund: berg, morän, åsgrus, torv, gytta, lös lera
- 30 m höjdskillnad
- Bankfyllning med sprängsten (hur tjock?), $E = 150 \text{ MPa}$
- $\leq 372\,000$ fpl-rörelser per år
- 55 000 till 150 000 på 20 år
- 8 % > 100 ton
- 77 % 20-100 ton
- 15 % < 20 ton

Dim. förutsättningar (forts)

- 2500 m rullbana.
- Separat dimensionering för rullbana, taxibana, uppställning, underhåll & testkörning.
- Uppställning: 1,1P, rullbanans mitt: 0,8P, skuldror: 0,7P.
- Förstärkningslager sprängsten $d = 150\text{--}600 \text{ mm}$.
- Bärlager krossmtrl $d = 0\text{--}50 \text{ mm}$.
- Materialdata enl Djärv m fl (1996) och VÄG 94.

Andra flygplatser

- Gardemoen (1998): 400 mm oarm btg resp 150 mm polymermodif. asf på krossmtrl (ÖB= 1 m).
- Forneby (1939): 150-560 mm asfalt.
- München (1992): 260-360 mm btg + 200 mm CG.
- Kastrup (1971): 400 mm asfalt.
- Helsingfors (1962): 210-340 mm asfalt.

Beräkningsmetoder

- Kriterier: $\varepsilon_{y,\text{asfalt}}$ och $\varepsilon_{z,\text{terrass}}$
- Datorberäkningar med LEDFAA (USA) och APSDS (Austr), båda linjärelastiska flerskiktmodeller.
- Delskadehypotesen.
- LEDFAA innehåller databas (bl a fpl). Viss möjlighet till egna data.
- APSDS ger större möjligheter.
- Även manuella beräkningsmetoder från USA, UK, CA.

Asfaltkriterier

Källa	Formel	$T = 5^\circ\text{C}$ $\varepsilon_y = 200 \mu\text{str.}$
Kingham	$N = \frac{2,16 \cdot 10^{-14} \cdot 1,16^{(1,8T+32)}}{\varepsilon_y^{4,1}}$	$N = 13\,900$
Näslund & Wolgé	$N = \frac{2,16 \cdot 10^{-14} \cdot 1,16^{(1,8T+32)}}{\varepsilon_y^{4,3}}$	$N = 76\,300$
VTI (1996)	$N = 1,03 \cdot 10^{10} \cdot \varepsilon_y^{-2,14} \cdot 7^{0,41} (1 + 2,3 \cdot 10^{11} \cdot \varepsilon_y^{-1,6})$	$N = 421\,000$
Väg 94	$N = \frac{2,37 \cdot 10^{-12} \cdot 1,16^{(1,8T+32)}}{\varepsilon_y^4}$	$N = 651\,000$

Beräkningsresultat

Metod	Asfalt (mm)
APSDS (Australien)	210
LEDFAA (USA)	225
FAA (USA)	210
Guide to Airp. P. Design (UK)	160
Carlsson/VTI (Kingham)	245
Carlsson/VTI (Vägdin)	250
Rekommendation	210

Kritisk granskning

- Studier av gamla flygfält för smal.
- Datormetoderna ej använda i Sverige.
- Handberäkningarna "pressade" (högsta substitutionsfaktorer, obundna bärlager).
- VTIs beräkningar ej följda.
- Valt asfaltalternativ ej tjockare än VÄG 94:s trafikklass 7 (40 + 170 mm).
- Beräkningar för 0,7P, 0,8P & 1,1P saknas.

EAPA: Functional Contracts (1999)

(European Asphalt Pavement Association)

- Syfte: att förse asfaltindustrin med argument för nya upphandlingsformer (entreprenadformer).
- Nya system för garanti och försäkring.
- Utveckling av standarder och typgodkännande, satsning på FoU.
- Korrekt tillämpning av giltiga LCA-kriterier.

Upphandlingsformer och garantitider

Konventionell upph.	2 – 3
Upph. av tekniskt verifierade prod.	3 – 5
Funktionsupph. av produkter	5 – 10
<i>Design, Build, Finance & Operate</i>	10 – 30
<i>Build, Own & Transfer (BOT)</i>	10 – 30

Funktionella krav på slutprodukten

<i>Bärighet & beständighet</i>	Stabilitet, erosionsmotstånd, begränsade sättningar, bärförmåga, frostsäkerhet
<i>Säkerhet vid användning</i>	Friktion, säkerhet mot frosthalka, jämnhet, bombering, max tjällyftning, ljusa vägmarkeringar
<i>Yttre miljö & arbetsmiljö</i>	Miljövänliga produkter, uppmuntran av återvinning, inga utsläpp av farliga ämnen från produkter under bygge el. anv.

Slutsatser

- Asfaltdimensioneringen mycket komplex. (Känt sedan 1970-talet.)
- Nya beräkningsmetoder finns, men indata och brottkriterier okända.
- Säkerhet mot brott bör definieras.
- Mycket stort glapp mellan forskningsfront och praktisk dimensionering.
- Kan nya upphandlingsformer öka FoU?

Bilaga F

**Föredrag av Ulf Isacsson:
“Beständighetsberoende nedbrytning och
modeller”
Litteratur och OH-bilder**

Litteratur

Johansson, Lu, Isacson: Ageing of road bitumen. KTH, Div. Highway Engineering, TRITA-IP FR 98-36

Zheng, Isacson: Low temperature cracking of bituminous courses - State of the art. Ur "Zheng: "On the low temperature cracking of asphalt pavements". PhD thesis, KTH, Div. Highway Engineering, TRITA-IP FR95-7

Benedetto, deLa Roche: State of the Art on Stiffness Modulus and Fatigue of Bituminous Mixtures. Ur "Bituminous Binders and Mixes (Edited by Francken), E&FN Spon, London, 1998.

Saal: Asphalt systems. Ur Composite Materials (edited by Halliday). Elsevier, 1966.

Offrell: Crack geometry analysis in asphalt cores using computerised tomography. Licentiate Thesis, KTH, Div. Highway Engineering, TRITA-IP FR00-84

Nilsson: Fatigue of asphalt mixyures - Contunuum damage mechanics applied to data from laboratory tests. Licentiate Thesis, LTH, Dept. of Technology and Society, TVVB-3012, 2001.

Petersson, Johansson, Sundbom: Provväg av cementbetong vid Arlanda, 1990. Betongmaterial, CBI, Rapport 4:91

Petersson, Sundbom: Uppföljning av betongvägen Heberg-Långås, Byggnadsrapport 1994. Betongmaterial och fogar, CBI, Rapport nr 94011, 1994.

Petersson, Sundbom: Uppföljning av betongväg E4.65 vid Arlanda efter 3 år. Betongmaterial. CBI, Rapport nr 94010, 1994.

Hultqvist, Carlsson: Tillståndsuppföljning av betongvägar. VTI-meddelande 835·1998

Wiman: Prov med olika överbyggnadstyper, VTI-notat 29·1999

"Beständighet hos vägbeläggningar"

Workshop, torsdag den 5 april 2001, Ideon, Lund



Bituminösa Material

Ulf Isacsson
Vägteknik, KTH

Performance-Related Properties of Bituminous Materials

- be stiff enough at elevated service temperatures to avoid permanent deformation (rutting)
- show good load-associated fatigue resistance
- possess good stripping resistance (low water susceptibility)

Performance Related Properties of Bituminous Materials, cont.

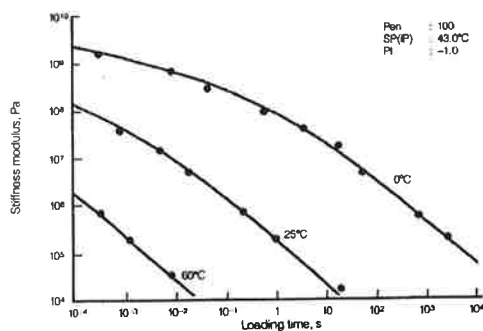
- show time-independent properties (good ageing properties)
- have good flexibility at low temperatures (resistance to low temperature cracking)
- be effective against studded tyres (good wear resistance)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \text{Elastic Modulus}$$

$$S_{t,T} = \frac{\sigma}{\epsilon_{t,T}} \quad \text{Stiffness Modulus}$$

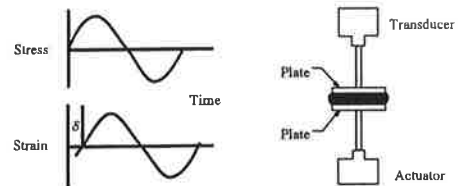
δ - stress
 ϵ - strain

t - loading time
 T - temperature



Effect of temperature and loading time on the stiffness of 100 pen bitumen

Dynamic Shear Rheometer



- | | |
|----------------|---------------------------------|
| • Temperature | -70 - 400C |
| • Frequency | 0.001 - 500 rad/s |
| • Torque | 0.2 - 200 gcm (or 2 - 2000 gcm) |
| • Displacement | 0.05 - 500 mrad |

$$G^* = G' + iG'' = (\tau_0/\gamma_0)(\cos\delta + i\sin\delta)$$

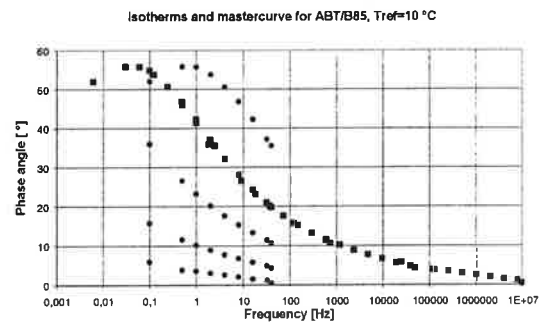
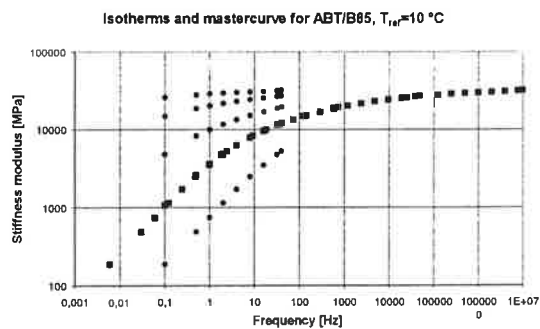
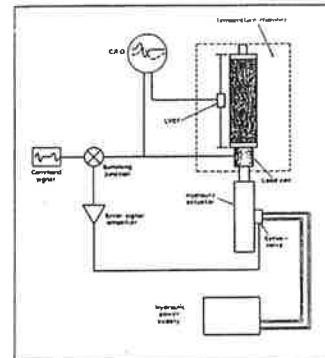
$$\text{Complex modulus } |G^*| = \tau_0/\gamma_0 = \sqrt{G'^2 + G''^2}$$

$$\text{Storage modulus } G' = |G^*| \cos\delta$$

$$\text{Loss modulus } G'' = |G^*| \sin\delta$$

$$\text{Phase angle } \tan\delta = G''/G'$$

Direct Tension-Compression Test

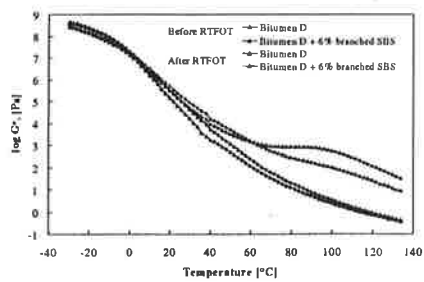


Bitumen Ageing

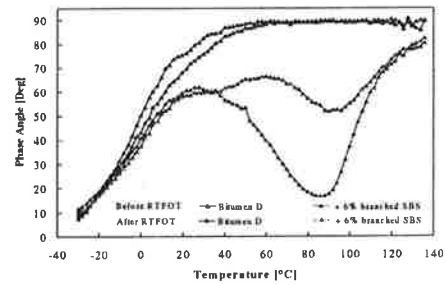
- Oxidation
 - Irreversible chemical reaction
 - Formation of functionalities containing oxygen
- Evaporation
 - Loss of volatile components

Bitumen Ageing (cont.)

- Exudation
 - Loss of oily components due to exudation of bitumen into the mineral aggregate
- Physical hardening
 - Molecular association (steric hardening)
 - Free volume shrinkage (low temperature physical hardening)

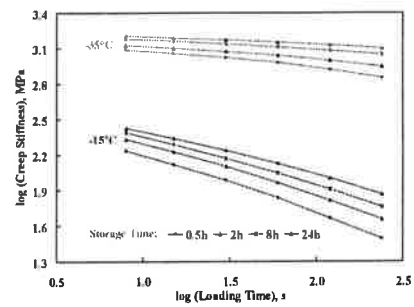
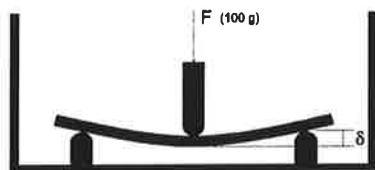


Effect of RTFOT on Complex Modulus



Effect of RTFOT Ageing on Phase Angle

Bending Beam Reometer (BBR)



Physical Hardening of Bitumen (Mexico B180)



PLASTISK DEFORMATION I ASFALTLAGER

Yttre faktorer som påverkar plastisk deformation

Trafikrelaterade faktorer:

- Axellast
- Kontaktryck (beror av bl. a. hjullast, ringtryck, däckutformning)
- Trafikvolym (antal tunga fordon)
- Fordonshastighet och -hastighetsändringar
- Spårbundenhet
- Belastningens art (dynamisk eller statisk)

Klimatrelaterade faktorer:

- Temperatur

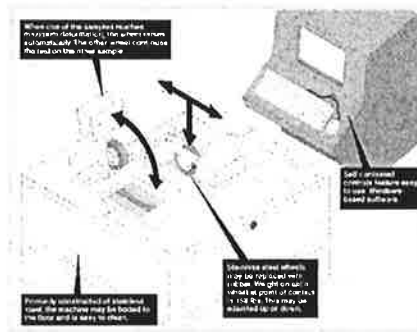
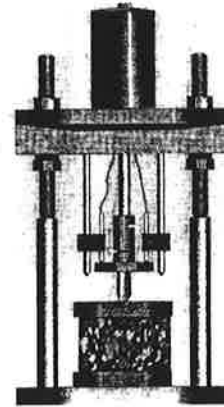
PLASTISK DEFORMATION I ASFALTLAGER

Sammansättningsparametrar av betydelse för uppkomst av plastisk deformation

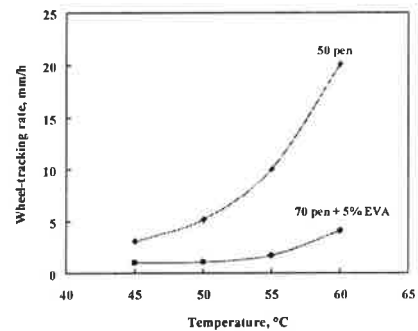
- Hålrums halt
- Bindemedelshalt
- Asfaltfyllt hålrum (bruksfyllt hålrum)
- Filler/bitumenkvot

En asfaltbeläggnings resistens mot plastisk deformation kan förbättras genom påverkan av

- stenmaterialets inre friktion
- massans kohesion



Wheel Tracking Test



Wheel Tracking Tests of Hot Rolled Asphalt Wearing Course
(Ref. Choyce P. W. and Woolley K. G., "EVA Modified Binders", Highway, No.5, 1988)

Performance Properties - Fatigue

Asphalt pavements are subjected to fatigue from repeated traffic loads, where each loading cycle contributes to the initiation and growth of cracks.



Fatigue Law of Bituminous Mixes

$$\log(N_f) = a + b * \log(\lambda)$$

N_f = fatigue life (number of loading cycles)

λ = loading amplitude (stress or strain)

a, b = experimental coefficients

The coefficients (a, b) are influenced by factors like material properties (e.g. mix stiffness), mix design (e.g. mix composition, void content), and testing conditions (e.g. test mode, temperature).

Constant Strain Tests

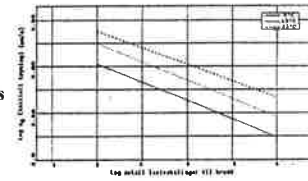
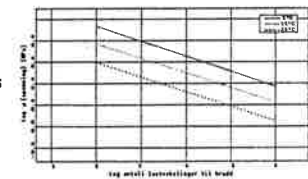


Fig. 128. Mix number 240181 and 5, 55 kg 25°C, konstante stræfærdigheder

Constant Stress Tests



Utmattning av asfalt - Jämförelse mellan provning vid konstant spänning och konstant töjning

	Konstant spänning	Konstant töjning
Belastningens utveckling	Ökning i töjningsnivå	Minskning i spänningsnivå
Vanliga brottkriterium	Brutt i provkropp	Halvering av styvhet
Utmattningstidslängd	Kortare	Längre
Spredning i resultat	Lägre	Större
Ökning i temperatur	Minskad livslängd	Ökad livslängd
Ökad styvhet	Ökad livslängd	Minskad livslängd
Effekt av viloperiod	Stor	Liten
Späckpropageringstid	Kort	Lång
Ökning i belastningsfrekvens	Ökad livslängd	Minskad livslängd
Skadestilvinst	Snabb	Långsamt

Källa: Di Benedetto & De La Roche
RILEM report 17 (1998)

Tests Methods for Asphalt Stiffness Determination

- Homogeneous tests
- Non-homogeneous tests

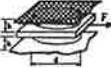
Homogeneous tests

- stress or strain distribution within the specimen is uniform.
- directly access to stress and strain, and thus to the constitute law (whether viscoelastic or not).

Homogeneous tests

	Principle	Form factor ^a γ [L ⁻¹]	Reference (used in chapter 6)	Literature
Tension compression (with or without confining pressure)		$\frac{h}{\pi D^2}$	CO-CY	[Charif, 1991] [Doubbaneh, 1995]
Shearing test		$\frac{1}{h e}$		[Asai, 1981] [de La Roche, 1996]
Constant height shearing test		$\frac{h}{\pi D^2}$		[Souza, 1994]

Homogeneous tests, cont.

Shearing test Machine		$\frac{h}{\pi D^2}$	SH-CY	[Lempe et al, 1992]
		$\frac{h}{2Lb}$	SH-PR	
Co-axial Shear test**		$\frac{\ln\left(\frac{d}{D}\right)}{2\pi h}$	SH-BE	[Gübler, 1990]

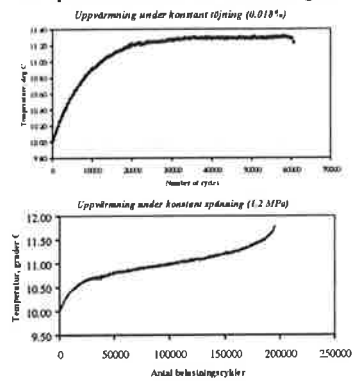
Non-homogeneous tests

- postulate a constitutive law (e.g. linear viscoelasticity), and based on specimen geometry to calculate parameters of the constitutive law (e.g. viscoelastic modulus).
- large errors may be introduced if the material deviates from linear behaviour.

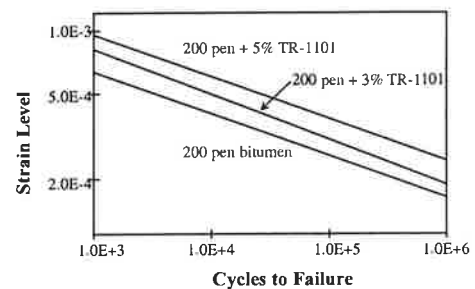
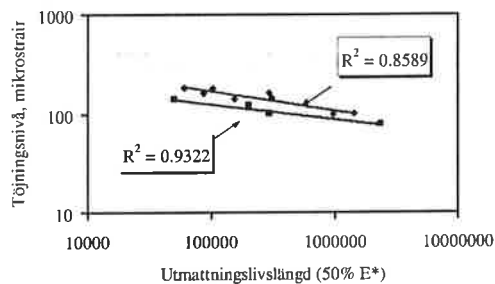
Non-homogeneous tests

	Principle	Stress factor ^a	Reference	Literature
2 points bending		$\frac{4L^2}{b h^3}$	2PB-TR	[Pinecher et al, 1994]
		$\frac{32L^2}{3bh^3} \left[\frac{1}{2} \left(\frac{1}{1-\nu} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{1+\nu} \right) \right]$	2PB-TR	[Hew, 1992] [Chewin, 1990]
3 points bending		$\frac{24L^2}{\pi^2 b h^3}$	3PB-PR	[Nasir, 1992]
Indirect Tensile test		$\frac{1}{b} (\nu = 0.27)$	IT-CY	[Brown, 1993] [Kassidy et al, 1994] [Trenbath et al, 1994]
4 points bending		$\frac{2L^2 + 3L^2 + L^2}{8bh^3}$	4PB-PR	[Pinech, 1994]

Temperatureffekter vid utmattningsförsök

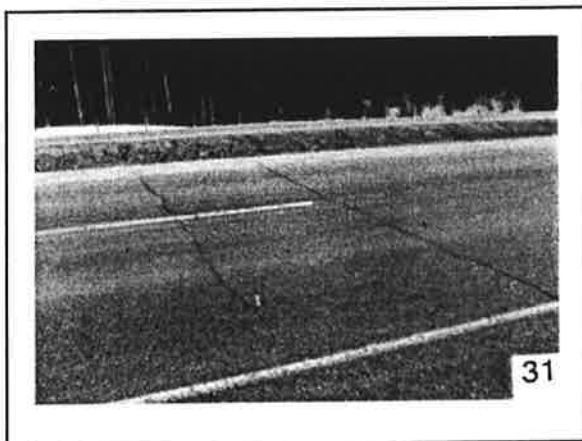
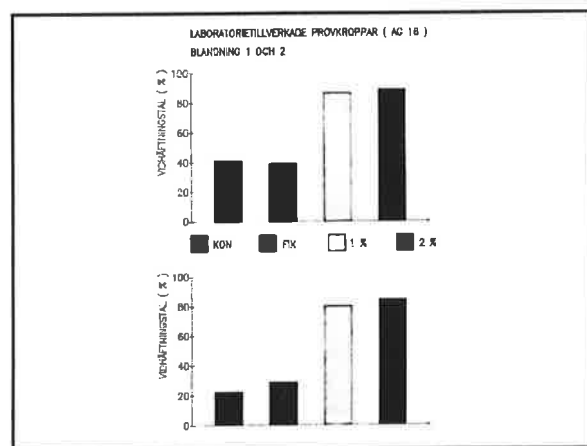
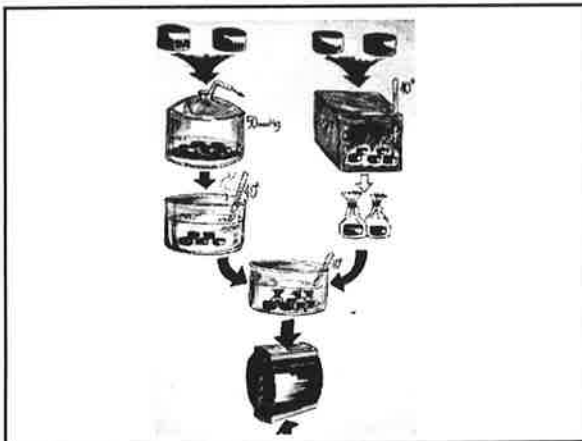
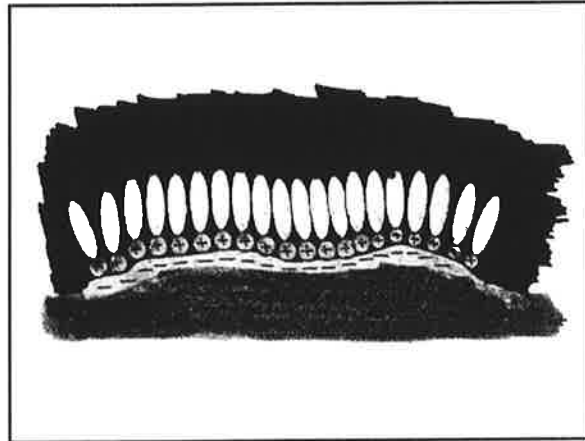
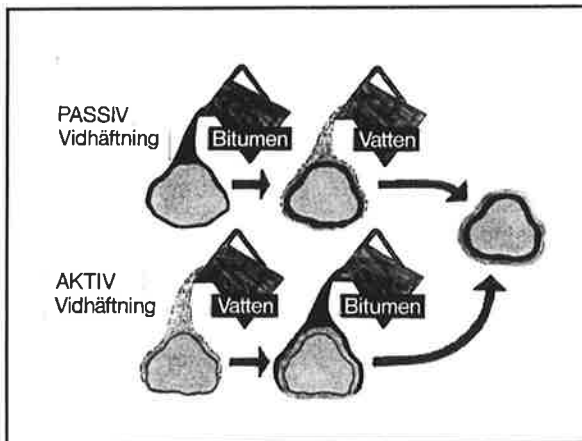


Jämförelse mellan två olika asfaltmaterialers utmattningsegenskaper



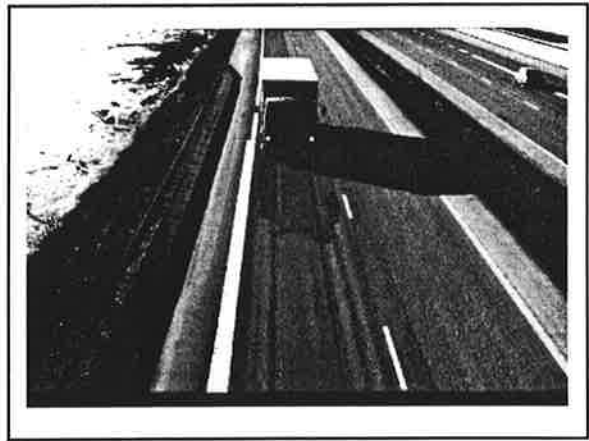
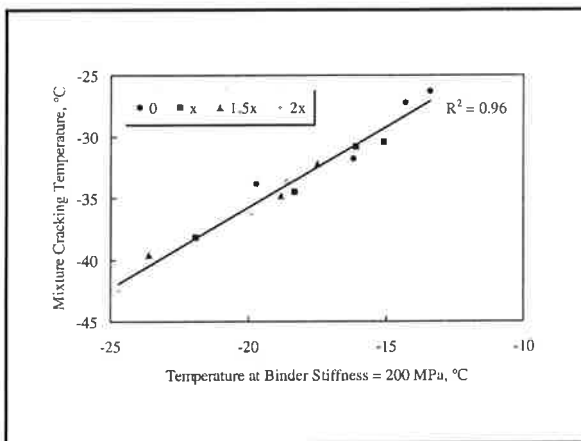
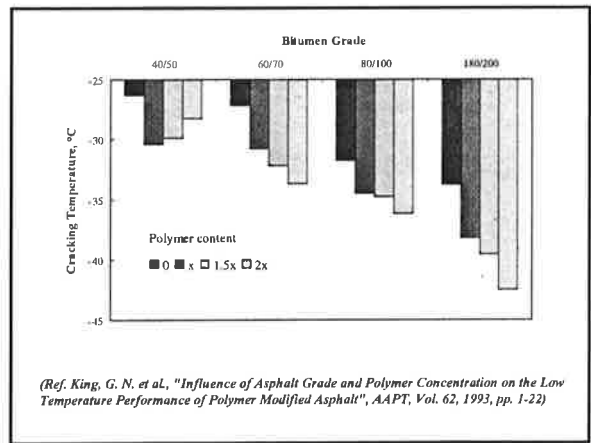
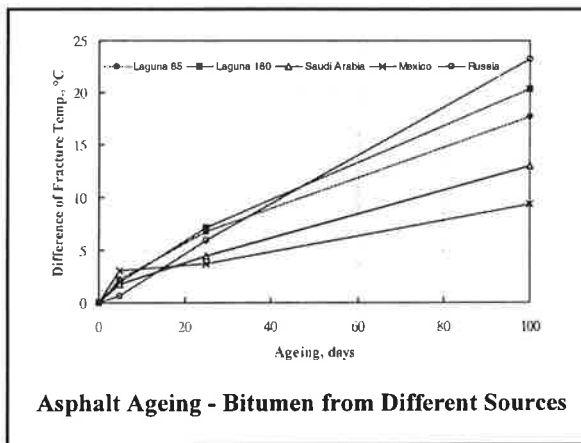
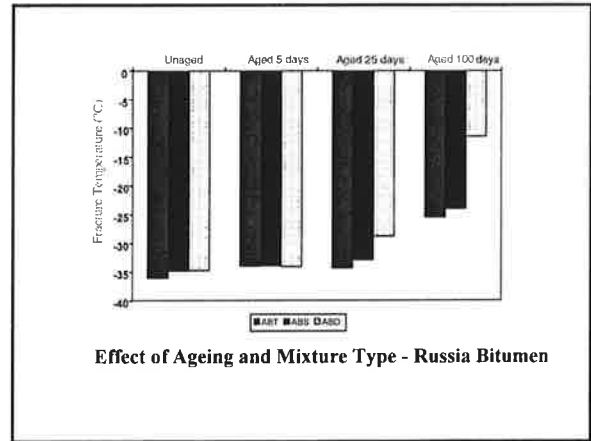
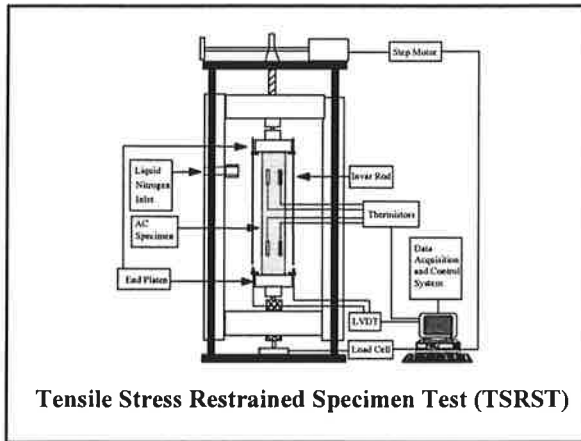
Strain Level as Function of Cycles to Failure at 0°C in Constant Strain Three-Point Bending Fatigue Tests

(Ref. Valkering C.P. et al., "Dense Asphalt - Improved Asphalt Properties Using SBS Modified Bitumens", Shell Bitumen Review 66, 1992, pp.9- 11)



Performance Properties - Low Temperature Cracking

- caused by thermally induced tensile stresses exceeding tensile strength of the pavement
- influenced by several types of factors, such as material properties (e.g. binder consistency, mixture stiffness), environmental conditions (e.g. temperature, ageing) and pavement structure (e.g. pavement thickness)



Faktorer som påverkar dubbslitaget

Materialtekniska faktorer:

- Stenmaterialkvalitet
- Stenhårdhet
- Maximal stenstorlek
- Massatyp
- Bindemedelstyp

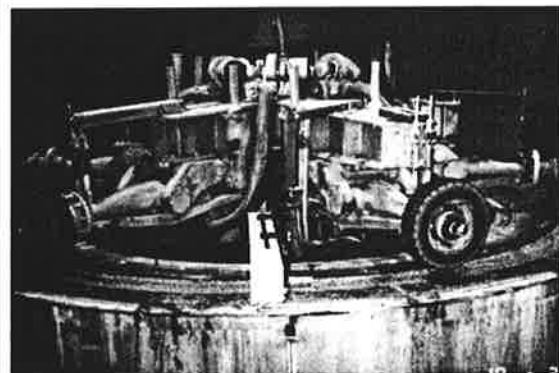
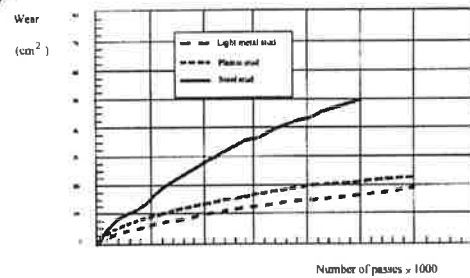
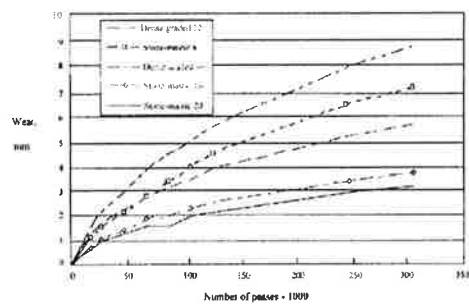
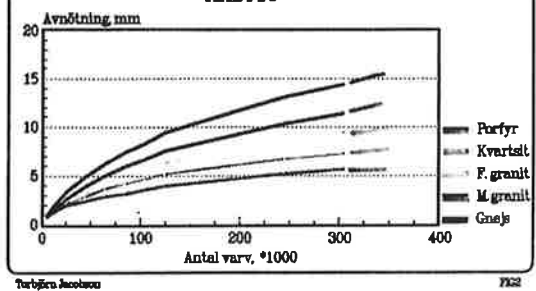
Produktionsbetingade faktorer:

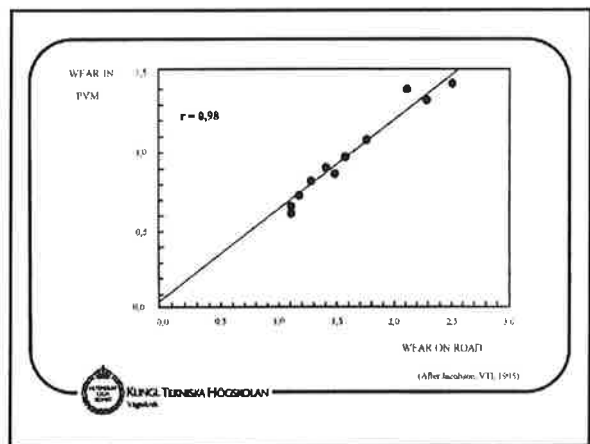
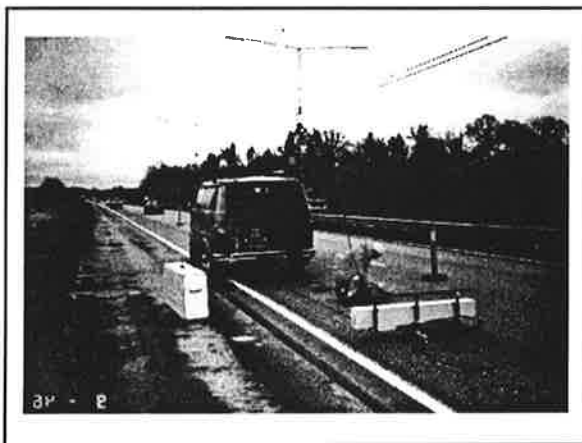
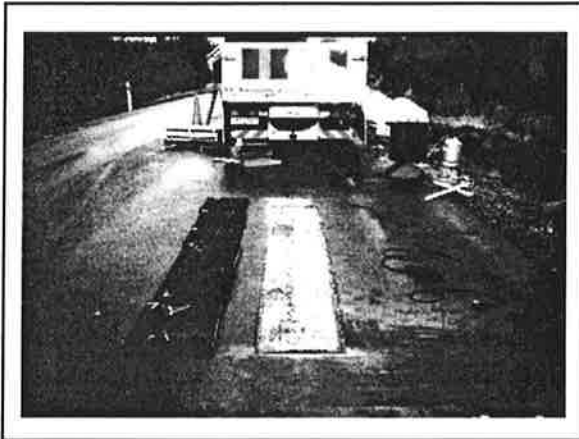
- Krossningsproceduren - Kubisering
- Puckningsgrund - Hålrumsinhalt

Yttre faktorer:

- Trafikmängd och dubbfrekvens
- Hastighet
- Däck och dubbstyp
- Vägbredd
- Klimat

VTIs provvägsmaskin Inverkan av stenmaterialkvalitet HABT16





Bilaga G

**Föredrag av Göran Fagerlund:
“Beständighetsberoende nedbrytning och modeller”
Litteratur**

Betonglitteratur

1. Kurslitteratur på grundnivå (vid LTH)

Beständighet/livslängd allmänt

1.1 Betongkonstruktioners beständighet. Cementa, 1992

Frostnedbrytning

1.2 Kap. Frostbeständighet i Kompendium Byggnadsmaterial FK, 2001

Betongens brottmekanik vid statisk last och statisk/dynamisk utmattning

1.3 Delar av Kap Brottmekanik i kompendium Byggnadsmaterial FK, 2001

2. Allmänna översiktsarbeten riktade till forskare och bransch

Beständighet/livslängd allmänt

2.1 Livslängdsberäkningar för Betongkonstruktioner. BML/LTH, 1996 (alla möjliga nedbrytningstyper, dock ej nötning)

2.2 Sarja&Vesikari (editors): Durability design of concrete structures. Spon, 1996 (allmänna principer och tillämpningar på armerad betong)

Frostnedbrytning

2.3 Projekt CONTECVET. Internal frost damage, 2000

2.4 Dito. Salt frost scaling, 2000

2.5 Dito. The future internal frost damage, 2000

2.6 Dito. The future salt frost scaling, 2000

2.7 Kap "Frostbeständighet" i Betonghandbok "Material", 1990

2.8 Kap "Frostbeständighet" i Betonghandbok "Högpresterande Betong", 2000

Nötning

2.9 Kap "Nötningsmotstånd" i Betonghandbok "Högpresterande Betong", 2000

Hållfasthet, brottmekanismer, E-modul och andra mekaniska egenskaper

2.10 Betonghandbok "Material", 1990

2.11 Betonghandbok "Högpresterande Betong", 2000

Utmattning

2.12 Hsu: Fatigue of plain concrete, ACI Journal, 1981

3. "Forskningsfronten"

Frostnedbrytning

3.1 Lindmark: Mechanisms of salt frost scaling of portland-cement based materials. Studies and hypothesis, BML/LTH, 1998

3.2 Scherer: Crystallisation in pores, Princeton, 1999

3.3 Fatigue effects associated with freeze-thaw of materials, 2000

3.4 Frost attack as a moisture mechanics problem, 2000

Utmattning

3.5 Hordijk, "Local approach to fatigue of concrete", TU Delft, dr-avhandling 1991

4. Provningsmetoder

Saltfrostbeständighet

4.1 SS 13 72 44

Inre frostbeständighet

4.2 ASTM C666

Bilaga H

**Föredrag av Thomas Winnerholt:
“Vägverkets beslutsunderlag inklusive
effektsamband, värderingsmodeller, mm”
OH-bilder**

Vägverket

Val av beläggningstyp

Tomas Winnerholt

Vägavdelningen

Vägavdelningen Tomas Winnerholt

Vägverket

Föreläsningens innehåll

- Begrepp och benämningar
- Utredningen "Översyn betongvägsalternativ"
- Vart finns det betongvägar i Sverige?
- Hur görs en utvärdering?
- Hur fördelas kostnaderna över livstiden?

Vägavdelningen Tomas Winnerholt

Vägverket

Begrepp och benämningar

- **Flexibel överbyggnad:** En överbyggnad med obundna och bitumenbundna lager eller enbart obundna, GBÖ, BBÖ respektive GÖ (grusväg).
- **Styv överbyggnad:** En överbyggnad med minst ett hydrauliskt bundet lager, CBÖ respektive BÖ.

Vägavdelningen Tomas Winnerholt

Vägverket

Flexibla konstruktioner

GBÖ

BBÖ

GÖ

Vägavdelningen Tomas Winnerholt

Vägverket

Styva konstruktioner

BÖ

CBÖ

Vägavdelningen Tomas Winnerholt

Vägverket

Begrepp och benämningar

- **Istandsättning:** Åtgärd som återför konstruktionen till ursprungligt skick.
- **Underhållsstrategi:** Alla underhålls-åtgärder som planeras för ett vägobjekt.

Vägavdelningen Tomas Winnerholt

Vägverket

Begrepp och benämningar

- **Väghyra:** Den samhällsekonomiska kostnad som uppstår vid underhålls-åtgärder på grund av tidsförlust och ökade olycksrisker för trafikanterna.

Vägvärdningen Tomas Winnerholt

Vägverket

Översyn betongvägsalternativ

1995-1996	1996-1997
• Hur har val av beläggnings-alternativ skett i vissa utvalda fall?	• Uppdatering av rapporttexten
• Jämförelse mellan flexibla och styva vägkonstruktioner baserade på VÄG 94	• Indatavärden ses över och uppdateras
• I vilket tidsskede kan val av beläggningsalternativ senast ske?	• Framtagning av kriterier då hänsyn skall tas till båda överbyggnadstyperna
	• Komplettering av beslutsgången.
	• (Hantering av valutaberoende)

Vägvärdningen Tomas Winnerholt

Vägverket

Översyn betongvägsalternativ Utredningsresultat

- ♦ Olika bedömnings- och värderingsgrunder på de tillfrågade regionerna.
- ♦ Styva överbyggnader på materialtyp 2-5 är tunnare än flexibla överbyggnader i klimatzon 1. I övriga klimatzoner är tjockleken densamma, VÄG 94.
- ♦ "Modell för nuvärdesberäkning av en vägs funktions-tidskostnad" fungerar som hjälpmedel vid värdering.
- ♦ Beräkningshjälpmedlet 2Ö är framtaget i utredningen.

Vägvärdningen Tomas Winnerholt

Vägverket

Beläggningar senaste åren

- VST
Dennispaketet, enbart flexibelt alternativ.
- VSÖ
E4 Traryd-Ljungby flexibel.
E4 Väderstad - St Åby GBÖ
- VVÄ
E6 Fastarp-Heberg
Diskussion om Lundby-tunneln där valdes FAS-konceptet.



Läggartåget E6 Fastarp-Heberg

Vägvärdningen Tomas Winnerholt

Vägverket

Falkenberg



Vägvärdningen Tomas Winnerholt

Vägverket

Beläggningar senaste åren

- VMN (Mälardalen) E20
Eskilstuna - Arphus BÖ
RV 55 Littslena, CBÖ →
- E18/E20 Örebro-Arboga
GBÖ
Planerar att ta in båda alt.för:
E4 Uppsala-Mehedeby
- VSK (Skåne)
Yttre Ringvägen, Malmö
CBÖ



Platsblandad CG RV 55 961010

Vägvärdningen Tomas Winnerholt



Vägverket

Hur görs en utvärdering?

Grundkriterier för att betong som slitlager skall komma i fråga:

- Trafikbelastningen skall motsvara TK 5 eller över under den tekniska livslängden, 40 år.
- Motorväg, fyrfältsväg, (motortrafikled eller 13m väg).
- Längden bör överstiga 5 km.
- Utbyggnad i jämn, kontinuerlig takt.

Vägavdelningen Tomas Winnerholt

Vägverket

Speciella punkter att ta hänsyn till vid projektering

- Tjäle
Utför alltid en tjällyftningsberäkning
- Geoteknik
Finns det förhållanden utmed väglinjen som medför speciella geotekniska konstruktioner?
- Minimitjocklek på lätt bergbank

Vägavdelningen Tomas Winnerholt

 **Vägverket**

Speciella punkter att ta hänsyn till vid projektering

- Tjocklek på CG
Enkelsidigt tjocklekskrav medför att lagret måste läggas tjockare än dimensioneringen säger: $\bar{x} \leq 0 + (10 + 0,62s)$
- Broar
Samma anslutningskonstruktion
Beläggning på broar

Vägvärdelningen Tomas Winnerholt

 **Vägverket**

Jämförelseberäkningar

Gemensamma förutsättningar

Vägdata:
Längd, bredd, hastigheter, livslängd, ränta

Trafikdata:
ADT_{tot}, trafikmix, trafikutveckling, trafikens fördelning

Trafikkostnader:
Kostnader för personbil, lastbil, vägarbetslängd, olycks-kvoter

Vägvärdelningen Tomas Winnerholt

 **Vägverket**

Jämförelseberäkningar

Alternativens Underhållsstrategier

Vilken åtgärd:
Textbeskrivning av åtgärden, t.ex. Fräsning, Slipning etc.

Kostnad för åtgärd:
Kostnaden per vald beräkningsenhet, ex kr/m, kr/m²

Kapacitet:
Hur många beräkningsenheter per skift kan utföras

Mängd:
Hur mycket av varje beräkningsenhet skall utföras

Åtgärds tidpunkt:
Vilket år, räknat från öppnings år, skall åtgärden utföras

Vägvärdelningen Tomas Winnerholt

 **Vägverket**

Jämförelseberäkningar

Indatavärden som är "låsta"

Ränta:
4%

Restidskostnad:
Personbil 84 kr/h Lastbil 267 kr/h

Olyckskvot vid vägarbete:
0,56 ol/Mfkm

Kostnad för olyckor:
23 100 kr/Mfkm

Vägvärdelningen Tomas Winnerholt

 **Vägverket**

Jämförelseberäkningar

Arbetsgång

Teknisk livslängd:
Skall vara lika för bägge konstruktionerna

VÄG 94:
Jämnhetsklass 5 för motorvägar i klimatzon 1 och 2

Använd gemensamma indata värden
Trafikdata skall komma från regionens prognoser

Underhållsstrategier:
Skall göras utefter erfarenheter i aktuell region

Avvikelser från VÄG 94:
Alla avvikelser skall redovisas VÄG på HK för godkännande

Vägvärdelningen Tomas Winnerholt

 **Vägverket**

Jämförelseberäkningar

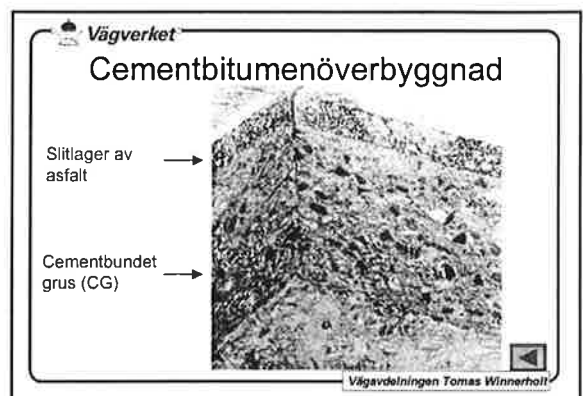
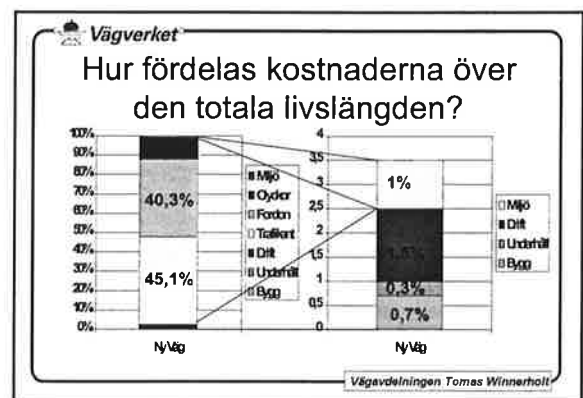
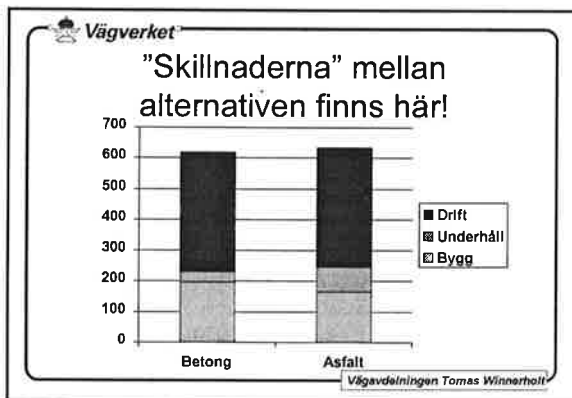
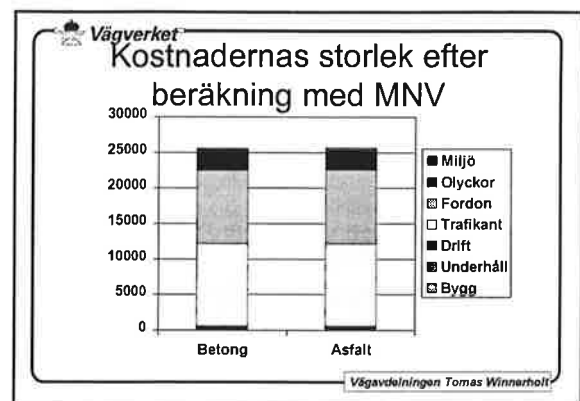
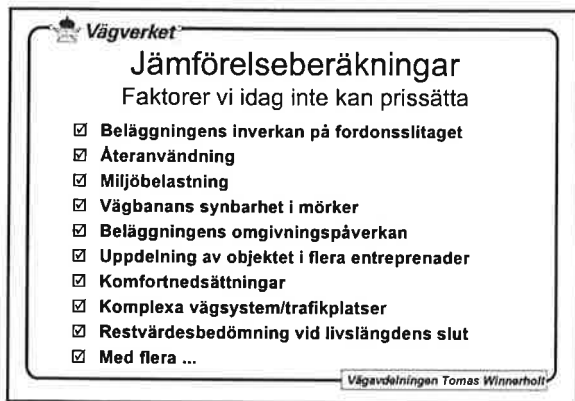
Beräkningar och känslighetsanalys

Differensberäkning:
Användning av 2Ö

Totalkostnadsberäkning:
Användning av MNV

Känslighetsanalys:
Enkelt med 2Ö, svårt med MNV
Variation av åtgärds tidpunkter, kostnadsvariationer, förändring i trafikvolymen

Vägvärdelningen Tomas Winnerholt



Bilaga I

**Föredrag av Ola Mattisson:
“Beställarstrategier och konkurrensutsatt
upphandling”
OH-bilder**

Beställarstrategier

Ola.Mattisson@fek.lu.se

FoU om Infrastruktur för tillväxt
Institutet för ekonomisk forskning
Lund universitet

<http://www.lri.lu.se/tekprog/index.htm>
<http://kefu.fek.lu.se>

Samhälle i brytningstid

- Infrastrukturens roll?
- Många drivkrafter:
 - ekologi
 - teknologi
 - individualisering
 - samhällets ansvarsfördelning
 - centrum/periferi

FoU om infrastruktur för tillväxt

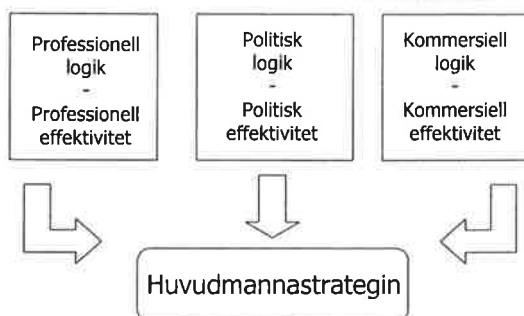
FoU-miljöns inriktning

- Fyra programområden
 - Tekniska försörjningssystemens branschstruktur
 - Tekniska kontorens organisationsutveckling och lärande
 - Tekniska kontorens styrsystem
 - Kalkyler för tekniska försörjningssystem

En kommunal huvudmannastrategi

- Inom kommunen garanteras mångfald
- Strategin utgör en komplex sammansättning av
 - olika aktörer
 - som utifrån olika intressen
 - följer olika logiker

Huvudmannastrategins tre logiker



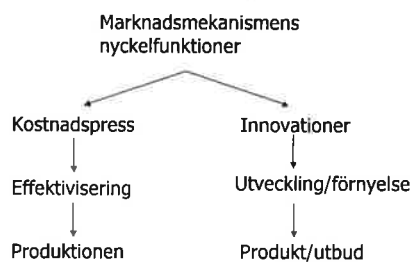
En beställarstrategi

- Konkurrensstrategi
 - Egen regi – innehåll och andel
 - Konkurrensutsättning – innehåll och andel
 - Hur konkurrensutsätta
 - Koncessioner - helhetsåtaganden
 - Aktiviteter
 - Geografiska områden
 - Funktioner
- Upphandlingsstrategi
 - Hur upphandla?

Två beställarstrategier



Marknadens nyckelfunktioner



Lagen om offentlig upphandling (LOU)

- Baseras på en klassisk inköpsyn
- Antar rationalitet och förutsägbarhet
- Betonar tävlan framför samarbete
- Antar välkänd och standardiserad produkt
- Formaliserad process – procedur viktigare än läroprocess
- Ingen vikt vid transaktionskostnader

Konsekvenser av LOU

- Betonar riskminimering (göra rätt) framför utveckling (förnyelse)
 - Form (procedurer) är viktigare än innehåll
 - Tenderar att betona pris (mest ekonomiskt fördelaktigt?)
 - Påvisbarhet alltid helt avgörande
- ➡ Hur beställer man då innovationer??

Alternativ syn på inköp

- Konkurrerande förädlingskedjor
- Vertikala samarbeten vanligt
- Investera i relationer – förtroende!
- Lärande och utveckling gemensamt
- Både konkurrens och samverkan

Frågor kring offentliga inköp

- Är det en demokratisk organisations uppgift att betala för utveckling i löpande kontrakt? (dvs blanda utveckling och produktion)
- Är det rimligt att offentliga beställare försöker påverka marknadsstrukturen? (motverka fusioner och stimulera mångfald)
- Är det rimligt att offentliga beställare utvecklar egen produktionskapacitet för att öka förhandlingsstyrkan?

fler frågor ...

- Är det rimligt att beställarens utvecklingsansvar omfattar:
 - Produktutveckling
 - Metod- eller produktionsutveckling?
 - Marknadsutveckling - exportfrämjande
- Är det rimligt att betala för sådan utveckling med offentliga (skatte)medel?
- Är det rimligt med långsiktiga leverantörsrelationer inom skattefinansierade verksamheter

Enligt gällande normer är svaret:

• **Nej**

- men är det rimligt??

Slaget om huvudmannaskapet och strategin....

- står mellan olika aktörslogiker
 - politiken efterfrågar mer kommersiell logik
 - kommersiella aktörer pekar på synergier
 - professionens logik betonar långsiktighet
- som alla söker sin roll/plats
- på den kommunala arenan