



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R25:1983

# Projektering med hänsyn till drift och underhåll

Ulf Olsson

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	Plac Ser

R  
And

Byggeforskningsrådet

R25:1983

PROJEKTERING MED HÄNSYN TILL DRIFT OCH UNDERHÅLL

Ulf Olsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 790158-7 från statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för Anläggningsteknik, Högskolan i Luleå

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt  
anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till  
åsikter, slutsatser och resultat

R25:1983

ISBN 91-540-3898-7

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1983



	<u>INNEHÅLL</u>	<u>SIDA</u>
	<b>FÖRORD</b>	1
<b>1.</b>	<b>SAMMANFATTNING</b>	2
<b>2.</b>	<b>BEHOV AV NY METODIK</b>	4
<b>3.</b>	<b>ALTERNATIVKALKYLER - principer</b>	6
<b>4.</b>	<b>PRAKTIKFALL ALTERNATIVVAL</b>	10
4.1	Val av beläggningskvalitet	
4.2	Utformning av gång- och cykeltunnel	
4.3	Bygga om eller ej?	
<b>5.</b>	<b>KALKYLFÖRUTSÄTTNINGAR</b>	19
5.1	Val av kalkylelement	
5.2	Känslighetsanalys av praktikfallen	
5.2.1	Val av beläggningskvalitet	
5.2.2	Utformning av gång- och cykeltunnel	
5.2.3	Bygga om eller ej?	
<b>6.</b>	<b>ERFARENHETSÅTERFÖRING</b>	27
6.1	Kostnadsavvikelser (exkl index) under byggskedet	
6.1.1	Entreprenörernas kalkylavvikelser vid anbuds-kalkylering	
6.1.1.1	Anbudens spridning samt kalkylavvikelser	
6.1.1.2	Bakgrund och felkällor	
6.1.2	Beställarens kostnadsavvikelser under byggnadstiden	
6.1.3	Anbudsspridning och kostnadsavvikelser	
6.1.4	Användning av resultatet från avvikelseanalysen vid beräkning av kalkylsäkerheten	
6.1.4.1	När anbud antagits	
6.1.4.2	Innan anbud antagits	
6.2	Redovisningssystemet	
<b>7.</b>	<b>KALKYLSÄKERHET</b>	46
7.1	Motiv	
7.2	Kalkylsäkerhet hos praktikfallen	
7.2.1	Utformning av gångtunnel	
7.2.2	Bygga om eller ej?	
7.2.3	Val av beläggningskvalitet	
<b>8.</b>	<b>LITTERATURREFERENSER OCH BEGREPP</b>	60
8.1	Litteraturförteckning	
8.2	Begrepp	



## FÖRORD

Rapporten utgör en del av projektet "Förvaltning av vägar och gator i kallt klimat" och avhandlar kopplingen mellan projektering och kostnader för förvaltning av anläggningar.

Målgrupp är ingenjörer som arbetar med konstruktion, teknisk beskrivning, kalkylering samt upphandling av anläggningar.

Referensgrupp: Professor Torsten Grennberg, Högskolan i Luleå  
Vägdirektör G. Börje Åström, Statens Vägverk, Luleå  
Ingenjör Alfons Eriksson, "  
Gatuchef Gustav Mäki, Luleå kommun  
Ingenjör Anders Björk, "

Manuskript: Assistent Solveig Rehnström och Barbro Ribert  
Figurer: -"- Barbro Ribert

Luleå i juni 1982

Ulf Olsson

Detta är en delrapport från projektet "Förvaltning av vägar och gator i kallt klimat", som bygger på forskningsanslag från Statens Råd för Byggnadsforskning (nr Bfr 790158-7), Statens Vägverk och Luleå kommun till Professor Torsten Grennberg och forskningsingenjör Ulf Olsson vid Högskolan i Luleå.

## 1. SAMMANFATTNING

Rapporten beskriver hur de senaste resultaten av forskning och utveckling om årskostnadskalkylering och kalkylsäkerhet kan tillämpas när nya anläggningar projekteras. Tre konkreta fall (val av beläggningskvalitet, utformning av gångtunnel, bygga om för billigare förvaltning) bildar utgångspunkt för att **visa hur föreslagen metodik kan användas i praktiken.**

Rapportens budskap är ej att peka ut enstaka anläggningar som "felprojekterade", utan att **visa en metodik som duger** för alternativval vid projektering av anläggningar. Budskapet består av en rekommendation att **följa en modell i tre steg:**

### I. Arbeta med alternativa lösningar

### II. Klargör kalkylförutsättningarna

### III. Bedöm kalkylsäkerheten

Denna trestegsmodell innebär en höjning av ambitionsnivån jämfört med dagens arbetsätt. Höjningen motiveras av att bristen på pengar hos förvaltarna har skapat en press på beslutsfattare och projektörer att välja lösningar som har god totalekonomi även från drift- och underhållssynpunkt (hittills har byggkostnadsaspekter helt dominerat valsituationerna). Modellen genererar en kunskapsutveckling om förvaltningsfasen hos projektörerna.

**STEG I Arbeta med alternativa lösningar** så länge som möjligt under projekteringen. Detta är av stor betydelse för att bibehålla möjligheten att välja rätt från drift- och underhållssynpunkt. Kostnadsskillnaden mellan alternativen beskrivs med **årskostnadskalkylering**, där den årliga kostnaden för byggande, underhåll och drift beräknas så att man kan välja den totalekonomiskt bästa lösningen.

**STEG II Klargöra kalkylförutsättningarna** är speciellt viktigt när kalkylen innehåller data från både byggande och förvaltning. Problemet är av pedagogisk natur därför att förvaltningsaspekter oftast fångas upp genom att ritningar och kalkyler skickas på remiss till nyckelpersoner inom förvaltningen. Förutom förvaltningsexpertisen är också beslutsfattare och övriga intressenter hjälpta av möjligheten att få poster i kalkylerna förklarade i exempelvis bilageform. Den som har behov av en djupanalys måste enkelt kunna bläddra fram kalkylens förutsättningar. Dessa förutsättningar kan presenteras i form av **känslighetsanalys** och **beskrivning av hur styrande variabler** bedömes. Om man utnyttjar datorstöd för att utföra kalkylerna och avstämmer dessa bör datorns stora lagringskapacitet utnyttjas så att viktiga bakgrundsdata kan bläddras fram vid behov.

I kapitlet "klargör kalkylförutsättningarna" visas tillämpningen av enkel känslighetsanalys på tre typexempel inom gatuprojektering.

**STEG III Bedöma kalkylsäkerheten** är nödvändigt, eftersom exempelvis alternativval annars lika gärna kan utföras genom att singla slant. Sannolikheten för att kalkylresultatet stämmer kan beräknas med beskrivande statistik, trots att statistiskt material i konventionell mening oftast saknas. Kalkylsäkerheten för ett uttalande om årskostnaden kan beräknas om kalkylingenjören känner det troliga, lägsta och högsta värdet för de kalkylposter som ingår. Kunskaperna om dessa storheter finns i form av erfarenhet hos vissa nyckelpersoner som kalkylingenjörer, arbetsledare m fl.

Till den ovan skisserade trestegsmodellen för kalkylering kan läggas ytterligare ett, nämligen **erfarenhetsåterföring**. Att systematiskt fånga upp och avstämma verkliga data mot beräknade orkar inte många beställare med i dag. I byggfasen kan detta motiveras av att "varje bygge är unikt" (ex. varierar produktionsmetoder och geotekniska förutsättningar m m).

Inom drift- och underhållsverksamhet bör detta skäl ej accepteras, eftersom processen upprepas med vissa intervall under en brukstid på 40 år. **Principerna för ett nytt redovisningssystem**, som utgår från planeringsingenjörernas och projektörens databehov, utreds för närvarande inom detta forskningsprojekt och kommer att **presenteras i slutrapporten** (beräknas utkomma år 1984).

#### **Förutom kalkylmetodikerna som sådan visas**

- \* Att **beställarens kostnadsavvikelse** (exklusive prisutveckling) under byggtiden i genomsnitt **är 20%** av anbudssumman. (Bygger på analys av 9 st gatuentreprenader som utfördes i Norrbottens kustland åren 1977-1980).
- \* Att arbeten med **underbyggnaden** (röjning, grundförstärkning, schaktning, återfyllning) **bidrar med ca 60%** av kostnadsavvikelsen.
- \* Att **beställaren redan i anbudsstadiet**, genom att studera anbudens spridning, **kan förutsäga om kostnadsavvikelsen** (exklusive prisutveckling) under byggskedet **blir höga** eller låga.

Anbudens spridning kan således uppfattas som ett mått på projekterings kvaliteten.

- \* Att **forskning om underhållsintervall** för slitlager **bör prioriteras**. Orsaken är att kunskaperna idag är så svagt underbyggda att det för en projektör är matematiskt omöjligt att med acceptabel säkerhet välja mellan två näraliggande kvaliteter.
- \* Att **den relativt höga kalkylräntan** (realränta = 8%) för gatuinvesteringar **gynnar alternativ** som är **billiga att bygga** men **dyra att förvalta**. En kalkylränta som slår mer rättvist mellan investeringar av olika slag är en angelägen utredningsuppgift som bör lösas utan dröjsmål.

**Resursförbrukningen har här beräknats endast med utgångspunkt från förvaltarens nivå**, d v s kostnader för exempelvis trafiksäkerhet, bränsleåtgång för trafikanter, slitage på rullande materiel o s v ingår ej i kalkylexemplen. Dessa poster undersöks för närvarande i ett parallellprojekt inom avdelningen för Anläggningsproduktionsteknik vid Högskolan i Luleå.

## 2. BEHOV AV NY METODIK

Dagens metodik vid projektering av markanläggningar domineras av byggarsynpunkter.

När exempelvis en blivande gata projekteras hos en kommun sker detta ofta med konsulthjälp. Följande projekteringskedan och kalkyltillfällen kan urskiljas.

I **utredningsskedet** studeras och utvärderas alternativa lösningar (ex. markanvändning, miljö och trafik). Redovisning sker i form av utredningsplan (i tätort kan detta redovisas i stadsplan). För varje gatualternativ presenteras sträckning i plan och längdprofil och större konstbyggnaders placering. Med utgångspunkt från utredningsplanen görs en första **grov kostnadskalkyl** (kalkyltillfälle 1), som innehåller bl a kalkylposterna projektering, marklösen och byggande. Utredningsplanen remitteras normalt till myndigheter och övriga intressenter som berörs. Utredningsskedet avslutas med beslut om val av alternativ (linjesträckning och geometrisk standard).

Under **arbetsplaneskedet** begränsas projekteringen till framställning av dokument som erfordras som underlag för markanskaffning och myndigheternas prövning av projektet. Bl a ingår följande handlingar; översiktskarta, betänkande, plan- och profilritningar, normal- och tvärsektioner. Arbetsplanen utställs därefter för allmän granskning. **Kostnadskalkyl** (kalkyltillfälle 2) utförs enligt standardformulär. Kostnadsposterna sorteras i indexgrupper, så att exempelvis röjning och terrasserings-, överbyggnadsarbeten och beläggningar särredovisas. Arbetsplanen överlämnas till Länsstyrelsen som bl a **ställer ut** planen för granskning. Efter eventuella justeringar **fastställs** arbetsplanen slutligen.

**Bygghandlingsskedet** ger som resultat färdiga bygghandlingar. Om arbetet skall bedrivas på entreprenad ingår de i ett **förfrågningsunderlag** som sänds ut till entreprenörer för prissättning, d v s anbudsräkning. Förfrågningsunderlaget innehåller bl a ingenjörsgelogiska utredningar, plan- och längdprofil, normalsektioner, tvärsektioner, teknisk beskrivning, mängdförteckning, mättningsbestämmelser samt entreprenadjuridiska regler.

Om arbetet skall bedrivas på entreprenad så finns inga starka motiv hos beställaren att göra en ny kostnadskalkyl under **bygghandlingsskedet**, eftersom marknadsläge, ledig kapacitet hos entreprenörerna o s v är svåra att bedöma.

När anbud infordrats och förmånligaste anbudsgivare tagits fram, befinner sig beställaren vid **kalkyltillfälle 3**. Även **kostnadskalkyl 3** grundad på anbud och prissatt mängdförteckning sammanställs på en av Vägverket standardiserad blankett.

Kostnadsförändringar (exkl prisutveckling) under byggskedet täcks in med ett schablontillägg på 10% av anbudssumman. (I kapitlet kalkylsäkerhet analyseras det verkliga utfallet av kostnadsändringar för 9 st gatubyggnadsobjekt i BD län).

De tre kalkyltillfällena **utredning**, **arbetsplan** och **bygghandling** kan väl jämföras med skedena **utredning**, **systemhandling** och **bygghandling** vid projektering av industrier, hus eller andra anläggningar än gator.

**Drift- och underhållskostnader** finns normalt **ej med** vid de tre kalkyltillfällen som infaller vid projektering och upphandling av gator. Kalkylerna innehåller enbart investeringskostnader.



**Förvaltningsaspekterna inhämtas vanligen på så sätt att bygghandlingarna skickas på remiss till driftingenjörer i kommunens tjänst. Svårigheterna att kvantifiera förvaltningskonsekvenserna och föra fram egna genomarbetade byggalternativ medför ofta att drift- och underhållssynpunkterna får en undanskymd plats i valet av lösning. Vanligen binder sig projektören vid en lösning i ett relativt tidigt skede av projekteringen.** Attityden från projektörernas sida blir då att argumentera för den lösningen, i stället för att ta till sig konstruktiv kritik som leder till bättre totalekonomi. Tidsbrist och otillräckliga drift- och underhållskunskaper hos projektörerna bidrar också till att dessa oftast inte orkar välja tekniska lösningar med längre tidsperspektiv än slutbesiktningdagen.

**Nyckelpersonen är uppenbarligen projektören.** Det är denne som har den reella möjligheten att ta fram lösningar som är totalekonomiskt bättre än dagens.

Om man studerar antalet ingenjörstimmar som läggs ner när en anläggning projekteras så är andelen timmar för analys av förvaltningskonsekvenserna försvinnande liten jämfört med tiden för konstruktionstekniska beräkningar, beskrivningar och mängdberäkning. Byggandet pågår i några få år medan drift och underhåll återkommer årligen i kanske 40 år. Drift och underhåll av anläggningar kostar ungefär lika mycket per år som den totala nyproduktionen. Även om nybyggnadsvolymen sjunker så blir det ändå ett årligt tillskott till förvaltningsvolymen. Det är bl a därför motiverat att ägna mer tid åt analys av förvaltningskonsekvenser (bör ej ske på bekostnad utan som ett komplement till ingenjörstimmar som läggs ned för konstruktion, upphandling och byggande). Analysen behöver ej bli mer teoretiskt besvärlig än t ex dimensionering av överbyggnaden för en slakarmerad betongbro.

En mer ambitiös analysmetod än den som tillämpas idag är att arbeta i följande tre steg:

- STEG I     Arbeta med alternativa lösningar
- II     Klargöra kalkylförutsättningar
- III    Bedöma kalkylsäkerheten

De efterkalkyldata från drift och underhåll av gator som finns att tillgå i dag är relativt grova jämfört med kalkyldata i byggfasen. Kostnadsuppgifter finns ofta som summa kostnad för samtliga kommunens gator sorterade enligt ersättningsform (statsbidrag eller ej). Nivån är för grov för att man skall kunna förse projektörerna med data för årskostnadskalkylering enligt modellen i denna rapport.

**Datorstöd** bör utnyttjas för att klara lagring och sortering av stora datamängder (vid erfarenhetsåterföring) och som snabb räknemaskin (vid alternativkalkyl och kalkylsäkerhetsberäkning).

**Nålsögat i dag inom förvaltningsfasen är emellertid inte nya datormodeller, utan i stället bristen på systematiskt insamlade kunskaper och praktisk användbar drift- och underhållsteori.**

Forskningsprojektets fortsättning skall handla enbart om förvaltningsfasen och möjligheterna att tillämpa systematisk kunskapsinsamling samt teori.



### 3. ALTERNATIVKALKYLER - principer

Kapitlet inleds med en kort beskrivning av kalkylmetoder och sedan visas ett tillämpningsexempel. Mer nyanserade synpunkter på kalkylelementen ränta, livslängd och brukstid lämnas i kapitlet känslighetsanalys.

#### ÅRSKOSTNADSKALKYLER

När en anläggning projekteras dyker valsituationer upp, exempelvis måste projektören välja mellan olika materialkvaliteter. Det finns bara ett sätt att välja, nämligen att göra en ekonomisk kalkyl i någon form. **Årskostnadskalkyler** (se BFR-rapport R104:1980) som kalkylmetod slår igenom allt mer, bl a vid fastighetsprojektering.

**ÅRSKOSTNADEN = SUMMAN AV DE ÅRLIGA KAPITALKOSTNADERNA, UNDERHÅLLSKOSTNADERNA OCH DRIFTKOSTNADERNA FÖR EN BYGGNAD ELLER BYGGNADSEDEL** (enligt Forsaeus/Matsson).

Beräkning av årskostnaden genomförs precis som vilken investeringskalkyl som helst. De gängse kalkylmetoderna, annuitetsmetoden och dess omvändning nuvärdesmetoden, används. Pay-off-metoden är olämplig, eftersom intäkter på anläggningar typ vägar och broar inte entydigt kan kopplas till anläggningsobjektet. **Nuvärdesmetoden** medför att investeringsutgiften och drift- och underhållskostnader görs jämförbara genom att flytta dem till en och samma tidpunkt, oftast tidpunkten för byggande. Drift- och underhållskostnaderna diskonteras med hjälp av kalkylräntan till investeringstillfället. **Kalkylresultatet blir en nuvärdes-summa** som består av investeringskostnad samt nuvärdet av drift- och underhållskostnaderna.

**Annuitetsmetoden** går ut på att

- \* Byggnadskostnaden fördelas på brukstiden som lika stora årliga kostnader (i fortsättningen betecknad med KAPITALKOSTNAD = K).
- \* Underhållskostnaden (U) beräknas också genom att fördela underhållsutgiften per gång som en genomsnittlig årlig UNDERHÅLLSKOSTNAD = U.
- \* Driftkostnaden (D) som föranleds av aktiviteter som utförs varje år (ex. snöröjning och städning) anges som årlig genomsnittskostnad.

$$\text{Å} = \text{ÅRSKOSTNAD} = K + U + D$$

Skillnaden mellan drift och underhåll är att: **Driftkostnader** föranleds av aktiviteter som utförs varje år på anläggningen eller delar av den och inte ger värden som varar mer än 1 år, d v s kostnaden behöver ej fördelas mellan olika år. (Ex. snöröjning).

**Underhåll** är kostnader för åtgärder som har en varaktighet som är längre än 1 år och kostnaden behöver därför fördelas på flera år inom underhållsintervallet. (Ex. nytt slitlager).

Forsaeus/Matsson (se litteraturförteckning punkt 2) rekommenderar att annuitetsmetoden används av det skälet att kalkylresultatet årskostnad är lättare att förstå och använda än årskostnadssumma (som blir nuvärdesmetodens resultat).

**I föreliggande rapport används därför uteslutande annuitetsmetoden.**

För att underlätta förståelsen av de redovisade typkalkylerna för läsare som sällan använder annuitetsmetoden, inleds kalkylavsnittet med ett enkelt exempel på hur årskostnaden av en blivande gata beräknas.

### Exempel ÅRSKOSTNADSBERÄKNING

**Problem** = att med annuitetsmetoden beräkna årskostnaden för en förestående gatutillbyggnad.

**Givet** = en gata med två körfält i Luleå skall byggas till, så att 2 nya körfält erhålls enligt figur, Längd = 4,71 km, Brukstid = 40 år, Kalkylränta = 8%.

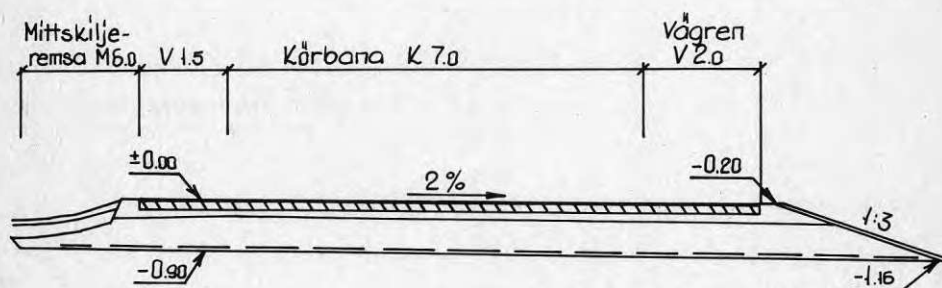


Fig. 1 Normalsektion för tillbyggnad

**Lösning:** Årskostnaden fås enligt  $A = K + U + D$ .

#### K ÅRLIG KAPITALKOSTNAD.

Investeringskostnaden  $I = 1,975,000$  kr per km (exkl. konstbyggnader).  $I$  fördelas med hjälp av räntan 8% och brukstiden 40 år till en genomsnittskostnad per år under brukstiden med hjälp av annuitetsfaktorn, Ur tabell<sup>(1)</sup> fås annuitetsfaktorn = 0,08386.

$K = \text{annuitetsfaktor} \times \text{grundinvestering} = 0,08386 \times 1,975 = 165,6$  tkr/år och km

(1) Annuitetstabeller återfinns i gymnasiets läroböcker i företagsekonomi. Det matematiska uttrycket för annuitetsfaktorn är:

$$\frac{0,0R(1,0R)^n}{(1,0R)^n - 1}$$

där  $R = \text{ränta}$  och  $n = \text{brukstid}$

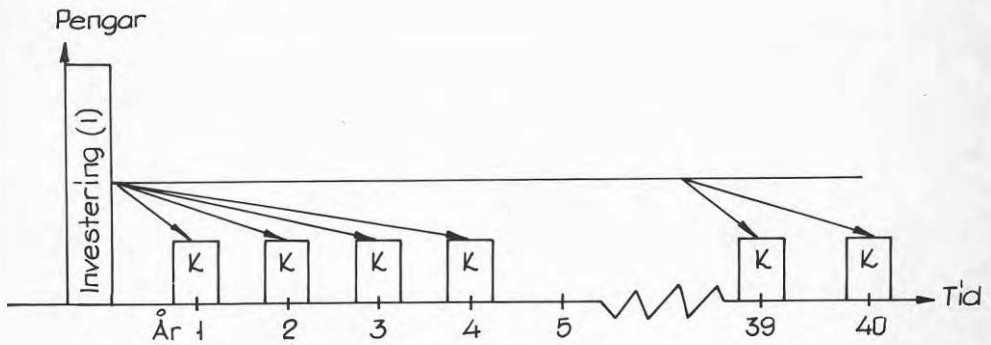


Fig. 2

K:s storlek är lika för varje år och innehåller en räntedel (vad det kostar att få tillgång till pengar för att investera) och en amorteringsdel (återbetalning av investeringsbeloppet). Räntedelen är hög och amorteringsdelen låg i periodens början, men förhållandet ändras successivt med tiden så att amorteringsdelen ökar allt mer.

#### U ÄRLIG UNDERHÅLLSKOSTNAD.

Underhållet består i huvudsak av beläggningsåtgärder, exempelvis hjulspårlagningar och nytt slitlager. För att fördela U till årlig kostnad krävs som för K kännedom om brukstid = 40 år och ränta = 8%, men dessutom behöver man veta **underhållsintervallens längd**.

Antag att intervallen för utläggning av ny asfalttopp är 7 år.  
Kostnad = 220.500 kr per km gata vart 7:e år.

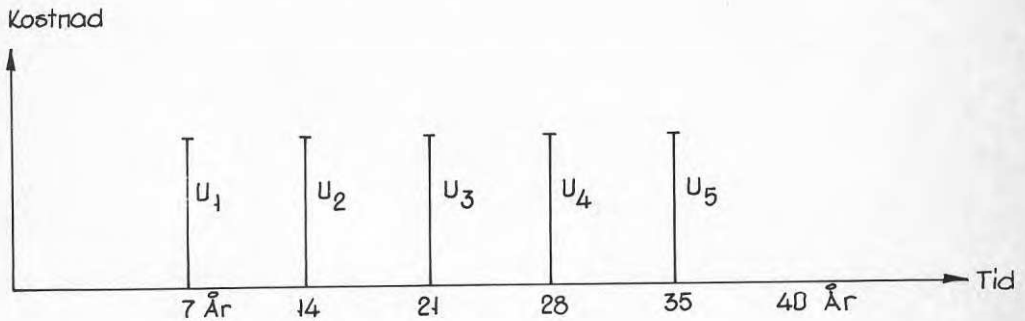


Fig. 3

Justering och ny topp påföres år 7, 14, 21, 28 och 35 (restvärde år 40 = 0).

Underhållsinsatsen vart 7:e år kräver också en kapitalinsats, d v s räntan (hyran för att använda kapitalet) kan användas för att som för grundinvesteringen fördela utgiften till årlig kostnad.

Beräkningstekniskt flyttas först underhållsinvesteringarna till nuvärde, därefter fördelas nuvärdessumman så att en årlig underhållskostnad (U) bildas med hjälp av annuitetsfaktorn.

$$\text{NUVÄRDESSUMMA} = 220.500 \left( \overset{(1)}{0,5835} + \overset{(1)}{0,3405} + \overset{(1)}{0,1987} + \overset{(1)}{0,1159} + \overset{(1)}{0,0676} \right) = 288.017$$

År 7      År 14      År 21      År 28      År 35

$$\text{UNDERHÅLLSKOSTNAD} = \text{ANNUITETSFAKTOR} \times \text{NUVÄRDESSUMMA} = 0,08386 \times 288.017 = \mathbf{24.150 \text{ kr/km gata}}$$

#### D ARLIG DRIFTKOSTNAD.

Resursförbrukningen för de aktiviteter som måste till varje år, exempelvis snöröjning, halkbekämpning och renhållning, varierar naturligtvis mellan olika år, beroende av bl a klimatfaktorer. Driftkostnaden beräknas här som den **genomsnittliga** årliga kostnaden under brukstiden.

Enligt **driftkostnadsutredningen** (se litteraturlista punkt 12) har Luleå en genomsnittskostnad av 8,4 kr/m<sup>2</sup> körbaneyta, vilket med körbanebredd = 7 m ger

$$8,4 \times 7 \times 1000 = \mathbf{58.800 \text{ kr/km gata}}$$

**Resultat: Årskostnaden** för gatan blir

$$\mathbf{\bar{A}} = K + U + D = 165.600 + 24.150 + 58.800 = \mathbf{248.550 \text{ kr/km gata}}$$

Omräknat till årskostnad per m<sup>2</sup> vägyta fås

$$\mathbf{\bar{A}} = 23,7 + 3,4 + 8,4 = \mathbf{35,50 \text{ kr/m}^2 \text{ körbaneyta}}$$
 (årskostnad dividerad med K = 7) eller

$$\mathbf{\bar{A}} = 15,8 + 2,3 + 5,6 = \mathbf{23,70 \text{ kr/m}^2 \text{ belagd yta}}$$
 (årskostnad dividerad med 10,5 - den belagda vägrenen ingår).

Prisläget = 1981-01-01

**Detta enkla exempel visar principen för beräkningarna.**

- (1) Diskonteringsfaktor som med given ränta och underhållscykel fås ur tabell. Matematiskt kan diskonteringsfaktorn beräknas som

$$\frac{1}{(1+0,0R)^I}$$

där R = Ränta i %, I = Underhållsintervall

#### 4. PRAKTIKFALL

**Årskostnaden** för en ny anläggning är intressant ur budget- och finansierings-synpunkt.

**I en kalkylsituation där projektören måste välja mellan flera tänkbara alternativ är det skillnaden (differensen) i årskostnad mellan alternativen som är av betydelse.**

**Arbetsgången** blir att först analysera vilka kostnadsposter som blir lika stora oavsett val av alternativ. Därefter kan kalkylen begränsas till poster som ger skillnader med  
s k **differenskalkyl**.

I följande kapitel visas exempel på **kalkylsituationer** och **val av alternativ** med **årskostnadsdifferensmetoden**, i tre typfall nämligen

- 4.1 Val av beläggningskvalitet
- 4.2 Utformning av gång- och cykeltunnel
- 4.3 Bygga om eller ej?

##### 4.1 Val av beläggningskvalitet

**Kalkylsituation:** Projektering av en statsbidragsberättigad gata pågår. Gatans geometri föreslås enligt fig. 1, sidan 7).

Projektören undersöker två alternativa beläggningskvaliteter för slitlagret:

- A. 80 HAB 16 T (tjocklek ca 3,2 cm)
- B. 60 MAB 12 T (tjocklek ca 2,4 cm).

Skillnaden mellan A och B är förutom tjockleken att A innehåller max 16 mm stenar, medan B har max 12 mm stenar. Alt. A är tillverkad med hårt bindemedel, medan M betyder mjukt bindemedel. De praktiska konsekvenserna antas bli att 80 HAB 16 T tål nötning och belastning bättre så att underhållsintervallen kan förlängas.

**Lösning:** Endast **skillnaden** i årskostnad är intressant när projektören skall välja alternativ. **Investeringskostnaderna** för väggroppen - utom beläggnings - (d v s underbyggnad, förstärkningslager och bärlager) är **lika** stora i bägge fallen.

Geometrin är också identisk, vilket medför att **driftkostnaden** kan **antas** vara **lika** stor i bägge fallen.

**Skillnaden i årskostnad** återfinns således dels i **beläggnings anläggningskostnad**, och dels i **beläggningsunderhållet**.

**Anläggningskostnaden (I)** för beläggnings

Alt. A = 80 HAB 16 T är  $17 \text{ kr/m}^2$   
Alt. B = 60 MAB 12 T är  $12,5 \text{ kr/m}^2$

Per km ny gata (belagd bredd = 10,5 m) fås för

Alt. A  $17 \times 10,5 \times 1000 = 178.500 \text{ kr/km}$ . Alt. B  $12,5 \times 10,5 \times 1000 = 131.250 \text{ kr/km}$

## KAPITALKOSTNADEN K

Vägverkets kalkylränta = 8% och brukstid = 40 år ger en annuitetsfaktor = 0,08386

Kapitalkostnad K = ANNUITETSFAKTOR x INVESTERINGSUTGIFT ger för

Alt. A:  $K = 0,08386 \times 178.500 = 14.969 \text{ kr/km}$

Alt. B:  $K = 0,08386 \times 131.250 = 11.007 \text{ kr/km}$

**Differens** i årlig kapitalutgift = **3.962 kr/km**

## UNDERHÅLLSKOSTNADEN U

Årlig underhållskostnad beror bl a av underhållsstrategin, d v s **intervall** och **omfattning** vid underhållstillfället.

Antag att beläggningsunderhållet sker enligt följande strategi:

Innan ny topp läggs på utföres maskinjustering av ojämnheter (i form av exempelvis spårbildning).

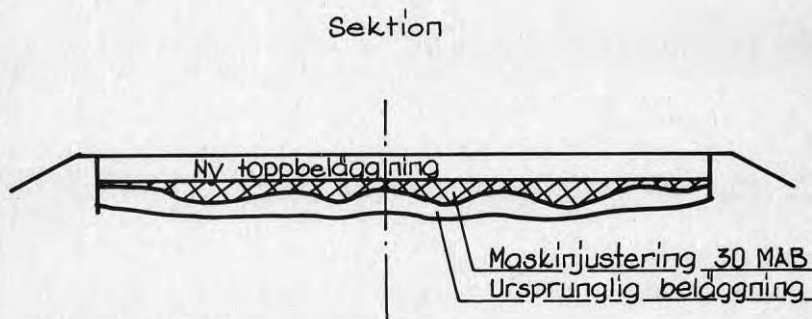


Fig. 4 Beläggningsunderhåll i princip (ej skalenlig).

**Maskinjustering** med i genomsnitt 30 MAB (ca 12 mm tjocklek) och 3 m bredd per körfält trafikeras 1-2 år innan ny topp påföres.

**Underhållsintervallen** blir ursprungsbeläggningsens medellivslängd adderad med tidsperiod som maskinjusteringen trafikeras. Trafikmängden är 10.000 fordon per årsmedeldygn.

I praktiken är man **idag** benägen att **acceptera** längre underhållsintervall än de medianlivslängder som framkom i Vägverkets beläggningsinventering 1977.



Underhållsintervallen har i denna rapport beräknats genom att låta 3 erfarna beläggningstekniker (en från vardera Vägverk, kommun och entreprenör) bedöma de troligaste underhållsintervallen för denna typ av väg och med given trafikmängd och lokalisering. Bedömningen gjorde beläggningsexperterna ovetande av varandras medverkan.

**Medelvärdena** blev

10,8 år för 80 HAB 16 och

8,2 år för 60 MAB 12.

Alt. A: Justering (30 MAB) kostar 7 kr/m<sup>2</sup> och ger (2 körfält à 3 m)

$$7 \times 3 \times 2 \times 1000 = 42.000 \text{ kr/km}$$

Ny topp (80 HAB) kostar 17 kr/m<sup>2</sup> vilket ger

$$17 \times 10,5 \times 1000 = 178.500 \text{ kr/km}$$

**Justering och ny topp** kostar således 42.000 + 178.500 = **220.500 kr/km** och utföres med intervallen **10,8 år**.

Alt. B: Justering (med 30 MAB) kostar 42.000 kr/km

Ny topp (60 MAB) kostar 12,7 kr/m<sup>2</sup>, vilket ger

$$12,7 \times 10,5 \times 1000 = 133.350 \text{ kr/km}$$

**Justering och ny topp** kostar således 42.000 + 133.350 = **175.350 kr/km** och utföres med intervallen **8,2 år**.

För att få den årliga underhållskostnaden bildas först nuvärdessumman av underhållsinvesteringarna, varefter årlig kostnad beräknas som ANNUITETSFAKTOR x NUVÄRDESSUMMAN.

#### NUVÄRDESBERÄKNINGAR

Ränta = 8%, Brukstid = 40 år (enligt Statens Vägverk, referens nr 10).

Alt. A (80 HAB 16):

Underhållsintervall = 10,8 år

Diskonteringsfaktor =  $(1,08^{-n})$

År n = 10,8

= 0,4355

n = 21,6

= 0,1897

n = 32,4

= 0,0826 (restvärde = 0)

Summa

= 0,7078

NUVÄRDESSUMMA = SUMMA DISKONTERINGSFAKTOR x

UNDERHÅLLSINVESTERING PER TILLFÄLLE = 0,7078 x 220.500 = 156.070 kr/km

UNDERHÅLLSKOSTNAD (U) = ANNUITETSFAKTOR x NUVÄRDESSUMMA =

= 0,08386 x 156.070 = **13.088 kr/km**



Alt. B (60 MAB 12):

År n = 8,2	= 0,5320
= 16,4	= 0,2830
= 24,6	= 0,1506
= 32,8	= 0,0801
= 40,0	= 0
Summa	= <u>1,0457</u>

NUVÄRDESSUMMA =  $1,0457 \times 175.350 = 183.363$  kr/km

UNDERHÅLLSKOSTNAD (U) =  $0,08386 \times 183.363 = 15.377$  kr/km

Differens i årligt underhåll blir  $15.377 - 13.088 = 2.289$  kr till alt. A:s förmån.

Resultat skillnaden i årskostnad blir

	80 HAB 16T	60 MAB12T	Differens
Årlig kapitalkostnad	14.969	11.007	3.962
Årlig underhållskostnad	<u>13.088</u>	<u>15.377</u>	<u>2.289</u>
Summa	28.057	26.384	<u>1.673</u> kr $\approx 1.670$ kr

Alt. A (80 HAB) har en årskostnad som är ca 1670 kr/km högre än alt. B (60 MAB). Kalkylen visar årskostnadsfördelar för den lägre kvaliteten.

**Slutsatser:** Med intervallen 10,8 år resp 8,2 år för beläggningsunderhållet blir skillnaden i årskostnad så liten att SÄKER SKILLNAD TILL 60 AB:s fördel EJ KAN HÄVDAS. Analys av KALKYLSÄKERHETEN (enl kap 7) visar att t o m om enbart osäkerhet i intervalllängd kalkyleras in så kan man ej med godtagbar säkerhet hävda att det är god årskostnadsekonomi att välja 60 MAB före 80 MAB.

Om underhållsintervallens längd i stället hämtas ur VV:s beläggningsinvestering 1977 fås

Alt. A (80 HAB)  $1,3 + 5,9 = 7,2$  år  $\approx 7$  år

Alt. B (60 MAB)  $1,3 + 5,4 = 6,7$  år  $\approx 6,5$  år

NUVÄRDESBERÄKNINGAR

Ränta = 8%, Brukstid = 40 år

Alt. A (80 HAB)

Underhållsintervall = 7 år

Diskonteringsfaktor

År 7	0,5835
" 14	0,3405
" 21	0,1987
" 28	0,1159
" 35	0,0676
Summa	<u>1,3062</u>

NUVÄRDESSUMMA = SUMMA DISKONTERINGSFAKTOR x  
UNDERHÅLLSINVESTERING =  
=  $1,3062 \times 220.500 = 288.017$  kr/km

Alt. B (60 MAB)

Underhållsintervall = 6,5 år		Diskfaktor
	År 6,5	0,6064
	" 13	0,3677
	" 19,5	0,2229
	" 26	0,1352
	" 32,5	0,0820
	" 39	<u>0,0082</u>
	Summa	1,4224

Anmärkning

År 39 utföres endast justering.

$$\text{NUVÄRDESSUMMA} = 1,422 \times 175,350 = 249,348$$

$$\text{Brukstiden} = 40 \text{ år och räntan} = 8\% \text{ ger annuitetsfaktorn} = 0,08386$$

ÅRLIG UNDERHÅLLSKOSTNAD (U) = ANNUITETSFAKTOR x NUVÄRDESSUMMA  
ger

$$\underline{\text{Alt. A}} \quad U_A = 0,08386 \times 288,017 = 24,153 \text{ kr/km}$$

$$\underline{\text{Alt. B}} \quad U_B = 0,08386 \times 249,348 = 20,910 \text{ kr/km}$$

**Resultat:** Skillnaden i årskostnad mellan alt. A och alt. B blir

Årlig kapitalkostnad	= 14,969 - 11,007	= 3,962
Årlig underhållskostnad	= 24,153 - 20,910	= 3,205
Summa differens		= <u>7,205</u> kr/km

**Slutsatser:** Alt. A (HAB 80) är ca 7.200 kr/km dyrare i årskostnad än alt. B (60 MAB). Kalkylen visar att om beläggningsinventering 1977 tas som utgångspunkt för val av underhållsintervall så blir det en tydlig skillnad i årskostnadsekonomi mellan alternativen. Praktikernas val av intervall idag stämmer emellertid inte alls med kurvorna i beläggningsinventering 1977 (för denna typ av väg). Beräkningen med intervall enl beläggningsinventering 77 har tagits med för att visa den stora skillnaden i resultat jämfört med den strategi som tillämpas idag. Skillnaden i resultat stöder ytterligare behovet av forskningsinsatser ägnade att klargöra lämplig underhållsstrategi för slitlager.

## 4.2 Utformning av gång- och cykeltunnel

**Kalkylsituation:** Projektering av en gång- och cykelväg (GCM-väg) pågår. Gång- och cykeltrafiken separeras från motorfordonstrafik, varvid passage via en 32 m lång tunnel under blivande gata blir nödvändig. Projektören undersöker två alternativa fria höjder i GCM-tunneln.

Alt. A Fri höjd  $h_A = 2,5$  m (motsvarar minsta tillåtna höjd enl RIGU 73)

Alt. B Fri höjd  $h_B = 2,8$  m

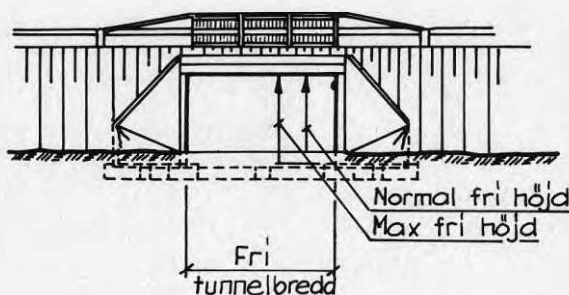


Fig. 5 Elevation av gång- och cykeltunnel

**Lösning:** Skillnaden i årskostnad mellan alt. A ( $h = 2,5$  m) och alt. B ( $h = 2,8$  m) blir för:

### INVESTERINGSKOSTNADEN.

Förutsättning 1 = att tunneln tillverkas monteringsfärdig och att höjden kan varieras inom samma elementhöjd så en höjning av fria höjden med 30 cm endast medför ökad schaktningsmängd.

Förutsättning 2 = att funktionen ur trafikantens synvinkel blir likvärdig, d v s lutningarna i nedfarterna får ej bli större vid alt. B än alt. A (enl. RIGU).

**Skillnaden i byggfasen blir att för alt. B tas en tilläggschakt med djupet 30 cm ut under gångtunneln och i nedfarterna med tillhörande slänter.**

Alt. B ( $h = 2,8$  m) ger en tilläggschakt =  $820 \text{ m}^3(\text{vf})$

A-pris =  $12 \text{ kr/m}^3$  (om det tas ut i samband med byggandet av gatan)

Tilläggschakten består av aktiviteterna schaktning (inkl lastning) samt transport (ca 2 km) i blivande väglinje.

ARBETE	ENHET	MÄNGD	KR/ENHET	KRONOR
Schaktning	$\text{m}^3(\text{vf})$	820	6,5	5330
Transport	"	"	5,5	4510
Summa	$\text{m}^3(\text{vf})$		12	9840

**Investeringskillnaden** inkl kostnadsavvikelser (i genomsnitt 20% enligt kap. 6) under byggtiden

$$I_2 = 9840 \times 1,2 = 11808 \approx 11800 \text{ kr (KOSTNAD när anläggningen är slutbesiktigad och godkänd)}$$

Ränta = 8%, Brukstid = 40 år, vilket ger annuitetsfaktorn = 0,08386, vilket ger SKILLNAD I KAPITALKOSTNAD =  $K = \text{Annuitetsfaktor} \times I_2 = 0,08386 \times 11800 = 990 \text{ kr}$

Underhållskostnaden är ungefär lika stor för båda alternativen.

#### DRIFTKOSTNADEN.

Förutsättning 3 är att snöröjningen utförs på entreprenad med någon av maskinerna enligt följande tabell:

FABRIKAT, TYP	ANTAL	FORDONS-HÖJD (m)
Volvo BM, LM 621	5	2,64
" LM 641	28	2,64
" 4200	12	2,75
" 4300	5	2,97
Case V14	13	3,10

(Snöröjningsmaskiner hos entreprenörer i Luleåområdet 1981).

Förutsättning 4 = Alt. A (h = 2,5 m) medför en extraförflyttning vid varje snöröjningstillfälle på 0,7 km (eftersom GCM-väg och gatan är trafikseparerad). Dessutom tillkommer tid för rensning av tunnelöppning samt backning och vändning. Antal snöröjningstillfällen (inkl efterarbeten) är 47 ggr/år.

**Skillnaden i driftkostnad** mellan alt. A (h = 2,5 m) och alt. B (h = 2,8 m) blir **D = 3.750 kr/år till alt. B:s fördel.** (Hur denna beräknats framgår av kapitel 5, sid. 25).

**Resultat:** Skillnaden i **årskostnad** mellan alt. A (h = 2,5 m) och alt. B (h = 2,8 m) blir

$$3.750 - 990 = 2.760 \text{ kr/år,}$$

d v s alt. med h = 2,5 är ungefär 2.800 kr/år dyrare än alt. med h = 2,8 m.

Analys av kalkylens förutsättningar (se kap. 5) samt bedömning av kalkylsäkerheten (kap. 7) ger;

**Sammanfattning:** Med 95% säkerhet blir årskostnaden större än 2.000 kr för alternativet med h = 2,5 m.

Ytterligare ett alternativ bör kalkyleras, nämligen årskostnad vid inköp av ytterligare en egen låg arbetsmaskin.

Välj alternativet med fri höjd = 2,8 m.

En följdfråga blir då naturlig, nämligen;

Är det årskostnadsekonomi att bygga om befintliga tunnlar med fri höjd 2,5 till = 2,8 m?

#### 4.3 Bygga om eller ej?

**Kalkylsituation:** Drift- och underhållspersonal hos en kommun hävdar att vissa gångtunnlar är felbyggda ur förvaltningssynpunkt och föreslår ombyggnad av 1 st tunnel från fri höjd = 2,5 m till fri höjd = 2,8 m.

**Lösning:** Skillnaden i årskostnad för alt. A ( $h = 2,5$  m) och ombyggnadsalternativet ( $h = 2,8$  m) beräknas.

Skillnaden i driftkostnad fås enligt typexempel 2 till  $D = 3,750$  kr/år och tunnel.

Skillnaden i årlig kapitalkostnad (K).

Förutsättning 1: Höjden kan ökas utan ingrepp i konstbyggnaden, d v s det finns möjlighet att öka öppningens höjd inom utrymmet mellan bottenbalkar och takelement.

Förutsättning 2: Ombyggnad till  $h = 2,8$  utföres enligt figur:

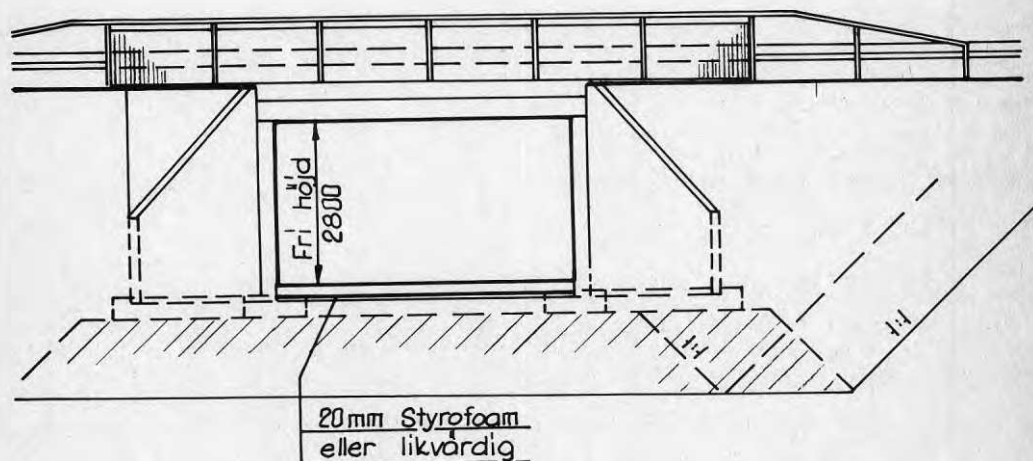


Fig. 6 Tunnel ombyggd för  $h = 2,8$  m. Elevation 1:100

Avsänkning av tunnelbotten medför bl a att frostskyddet (2 m grus) minskas med 30 cm. Bortfallet av frostskydd kompenseras med 20 mm styrofoamplast eller likvärdig.

Förutsättning 3: Ombyggnaden får ej medföra sämre funktion ur trafikanternas synpunkt. Detta medför att lutningarna i nedfarterna ej ökas. Ombyggnadsalternativet medför avsänkning och nyasfaltering av båda nedfarterna i hela sin lutande längd.

**Ombyggnadsinvesteringen** blir 38.400 kr per tunnel (förutsätter ombyggnad av tunnel på entreprenad).

#### MÄNGDER OCH PRISER

ARBETE	ENHET	MÄNGD	LÄGSTA ANBUD	TROLIG BYGGKOSTNAD
Rivning	m <sup>2</sup>	315	4440	
Schaktning	m <sup>3</sup>	730	15330	
Ombyggnad av nedfarter	m <sup>2</sup>	315	13230	
Ombyggnad av tunnelgolv (exkl slitlager)	m <sup>2</sup>	80	8000	
Summa			41000	49200
Avgår: Nytt slitlager (1)			9000	10800
Differens			32000	38400

Differensen i årlig kapitalkostnad blir om

Aterstående Brukstim = 30 år, Ränta = 8%, vilket ger **Annuitetsfaktor** = 0,0888.

$K = \text{Annuitetsfaktor} \times \text{investering} = 0,0888 \times 38.400 = 3.410 \text{ kr/år} \approx 3.400 \text{ kr}$

**Resultat:** Alt. h=2,5 Ombyggnad

D	+ 3,750	-
K	-	+ 3,400

**Skillnad** 3,750 - 3,400 = 350 kr/år och tunnel.

Analys av kalkylförutsättningarna och kalkylsäkerhet (se kap. 5 och 7) ger att man inte med godtagbar säkerhet kan hävda att det blir skillnad av ekonomisk betydelse i årskostnad till ombyggnadsalternativets fördel.

**Sammanfattning:** Årskostnadsekonomi blir ej nämnvärt bättre av en ombyggnad.

(1) Nytt slitlager måste ändå utföras efter 10-15 år. Enligt kalkylförutsättningen har 10 år förflutit av brukstiden.



## 5. KALKYLFÖRUTSÄTTNINGAR

### INLEDNING

Att klargöra sina kalkylförutsättningar är ju vad de flesta projektörer gör i dag, dels innan kalkylen genomförs, och dels i samband med att kalkylen föredras inför närmaste chef eller någon beställarrepresentant. Det finns motiv för att utöka detta förfarande till att **omfatta** en **systematiskt** upplagd **skriftlig dokumentation** av kalkylförutsättningarna, exempelvis som bilagor till kalkylen.

Motiven är för det första att **ge förvaltningsexpertisen** (som får ärendena på remiss) en ärlig **chans** att inse den ekonomiska vikten av förvaltningsaspekterna. För det andra blir det lättare för beställarens beslutsfattare och övriga **intressenter** i projektet att **spåra** eventuella **vinklingar mot en speciell lösning**. Det är ett högst mänskligt drag (även hos projektörer) att för tidigt ta ställning för en lösning och sedan försvara denna lösning mot attacker från förvaltningsexpertis och andra intressenter. Det tredje skälet är att framtida datorstöd för kalkylering och avstämning av kalkyldata förutsätter att kalkylingenjören vid behov kan bläddra fram kalkylförutsättningar.

Kapitlet inleds med en motivering av valet av kalkylelement för typkalkylerna och avslutas med en elementär känslighetsanalys.

### 5.1 Val av kalkylelement

**Kalkylräntan** är ett mått på vad det kostar att få tillgång till pengar, bl a med tanke på alternativ användning. (Pengarna kan t ex sättas in på bank, vilket ger ränteinkomster).

Kalkylräntans storlek beror bl a på om inflationen räknas in eller ej. (Inflation = varors och tjänsters värde ökar i förhållande till penningheten). Om inflationen ingår talar man om **nominell ränta** som oftast används vid investeringskalkylering inom privatindustrin. Den nominella räntans storlek ligger idag i intervallet 12-25%.

En **nominell kalkyl** bygger på **prognoser över kostnadsutvecklingen** för exempelvis olja, löner och underhållsmaskiner. I en årskostnads kalkyl beräknas driftkostnaden som en genomsnittlig årlig driftkostnad inkl genomsnittlig inflation under brukstiden. Underhållsinvesteringar (kostnad vid u-tillfället) anges i löpande priser.

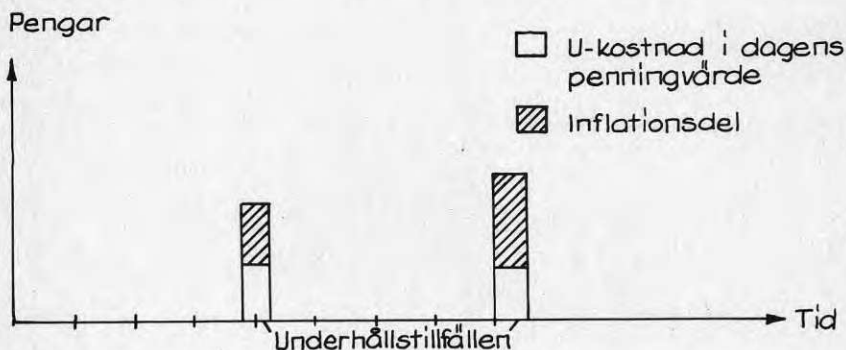


Fig. 7



Svårigheterna att göra prognoser över inflationsutvecklingen under brukstiden (= 40 år för markanläggningar) gör att **reala kalkyler** börjar slå igenom vid årskostnads-kalkylering (rekommenderas bl a vid fastighetsprojektering av Forsaeus/Matsson, se litteraturförteckning punkt 3).

**Reala kalkyler** innebär att beräkningarna genomförs utan inflationshänsyn. Den reala räntan blir lägre än den nominala. Sambandet kan approximeras som Nominal ränta ( $R_N$ ) = Real ränta ( $R_R$ ) + inflation ( $i$ ). Det korrekta sambandet är  $(1+R_N) = (1+R_R)(1+i)$  (enligt G Bergendahl, litteraturförteckning punkt 2).

Typexemplen har kalkylerats med realräntemetoden. Realräntan = 8% är den nivå som Statens Vägverk rekommenderar enligt "Angelägenhetsbedömning av gatuobjekt" (se litteraturförteckning punkt 10).

Objekten är här statsbidragsberättigade (där 95% av investerings-, underhålls- och driftkostnaden för de flesta delarna av anläggningen med undantag av ex. belysning ersätts av staten), vilket motiverar användning av Statens Vägverks realränta.

Realräntenivån 8%, som Vägverket bedömt som lämplig, ter sig vid jämförelser relativt hög.

"Det bör exempelvis inte vara så att man inom vägväsendet använder sig av en real kalkylränta i storleksordningen 8% och trots detta inte kan genomföra samtliga lönsamma projekt, samtidigt som man inom elsektorn gör investeringar som enbart klarar lönsamhetskrav omkring 4%". (Citat ur Brister i offentliga myndigheters kalkylmetodik vid samhällsinvesteringar av G Bergendahl).

Vid relativt hög räntenivå påverkas årskostnads-kalkylen så att kapitalkrävande alternativ slås ut tidigare (se beräkningsexempel under känslighetsanalys).

Effekten av räntans storlek blir att den påverkar den vikt framtida underhållskostnader får i jämförelse med investeringskostnaden.

**Ju högre räntan väljs, desto mindre betydelse = vikt får de framtida underhållskostnaderna.**

#### UNDERHÅLLSSTRATEGI

Att göra en prognos på hur beläggningar underhålls om exempelvis 20 år, bl a med tanke på den tekniska utvecklingen av underhållsmaskiner, beläggningar, fordon och knapphet på material är en uppgift värdig en klärvoajant och inte en ingenjör.

Projektörens kalkyl måste utgå från dagens konkreta underhållsstrategier. Tendensen i dagens beläggningsunderhåll är att man väntar en längre tid än medianlivslängd enligt Vägverkets beläggningsinventering. Samlad och systematisk statistik över det kommunala beläggningsunderhållet saknas idag.

Vad är det kalkylen säger om exempelvis teknisk utveckling när man räknar med en underhållsteknik som är likvärdig med dagens? I princip antar kalkylingenjören att den förväntade tekniska utvecklingen inte medför reella kostnadsförskjutningar mellan kalkylelementen kapital-, underhålls- och driftskostnad.

Vid säkra utvecklingstendenser som pekar på realkostnadsförskjutningar (realkostnadsutveckling = hur kostnadsrelationerna mellan varor och tjänster förändras) bör kalkylingenjören kontrollera hur rangordningen mellan alternativen påverkas vid rimliga förskjutningar. Exempelvis har en utveckling mot återanvändning av gamla beläggningar tagit fart, framförallt i USA. Den tjockare beläggningen 80 HAB 16 gynnas av en sådan utveckling, men hur mycket har ej analyserats i denna rapport p g a avsaknaden av svenskt erfarenhetsmaterial.

Om något kalkylelement anses få en annan realkostnadsutveckling kan detta approximativt vägas in i kalkylen genom att man minskar kalkylräntan med förväntad realutveckling.

## DRIFTSTRATEGI

Ambitionsnivån vid snöröjning och halkbekämpning är ytterst en politisk fråga. (Framkomlighets- och trafiksäkerhetsproblem som berör alla samhällsmedborgare, exempelvis framkomlighet för ambulans och brandkår). I dag är det befogat att spekulera i lägre ambitionsnivåer, åtminstone på lågtrafikerade gator. Snöröjning av gång- och cykelvägar kan kanske minskas i storleksordningen 1/3.

Om nivån på vinterväghållningen bestäms av politiker så är det ingenjörens uppgift att beräkna resurskonsekvenser av olika tänkbara nivåer. (Kalkyl- och uppföljningsmetodik av vinterväghållning behandlas i detalj i projektets slutrapport).

## 5.2 Känslighetsanalys av praktikfallen

Känslighetsanalysens **uppgift** är att visa i vilken grad variationer av olika faktorer påverkar kalkylresultatet. En känslighetsanalys kan således **peka ut viktiga kalkylelement som kanske måste analyseras ytterligare** innan beslut kan fattas med tillräcklig säkerhet.

En enkel känslighetsanalys är att studera hur mycket enstaka kalkylelement måste ändras för att de studerade alternativen blir likvärdiga ur årskostnadssynpunkt.

Känslighetsanalys tillämpad på kalkylexemplen ger:

### 5.2.1 Val av beläggningskvalitet

**Ränta:** Om realräntan tillåtes variera mellan 0-10%, hur påverkas då årskostnadsskillnaden? Speciellt intressant är realräntor lägre än 8%, eftersom 8%-ig realräntenivå (för denna typ av anläggning) troligen är något för hög.

Kalkylförutsättningar enligt sid 13 gav vid 8% ränta

	Alt. A 80 HAB	Alt. B 60 MAB	Skillnad (kk) (Alt.A-Alt.B)
Kapitalkostnad K	14.969	11.007	3.962
Underhållskostnad U	13.088	15.377	2.289
Årskostnad A = K+U	28.057	26.384	1.673

Beräkning av **årskostnadsskillnaden** vid räntan 2%, 5%, 8% och 10% ger

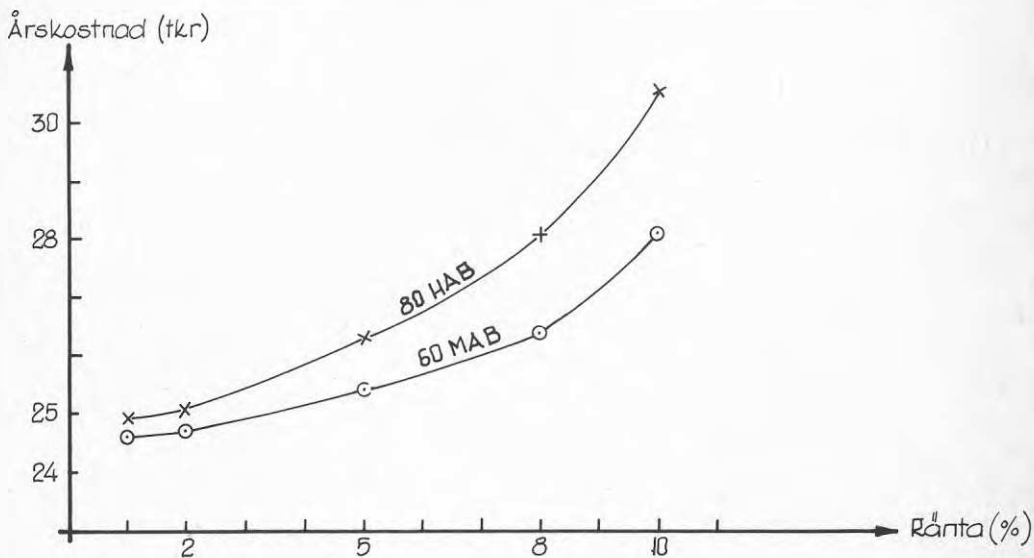


Fig. 8 Årskostnad vid olika val av kalkylränta

**Slutsatser:** Skillnaden i årskostnad minskar med sjunkande (real)ränta ( $R > 0$ ) och ökar med stigande ränta. **Räntan avgör ej ensam rangordningen mellan alternativen.**

Underhållsintervallen bygger på medelvärdet av tre beläggningsteknikers bedömning av det troliga intervallen.

En befogad fråga vid en känslighetsanalys blir; Hur stor livslängd krävs för den högre kvaliteten för att rangordningen mellan alternativen skall ändras? Övriga faktorer hålls konstanta.

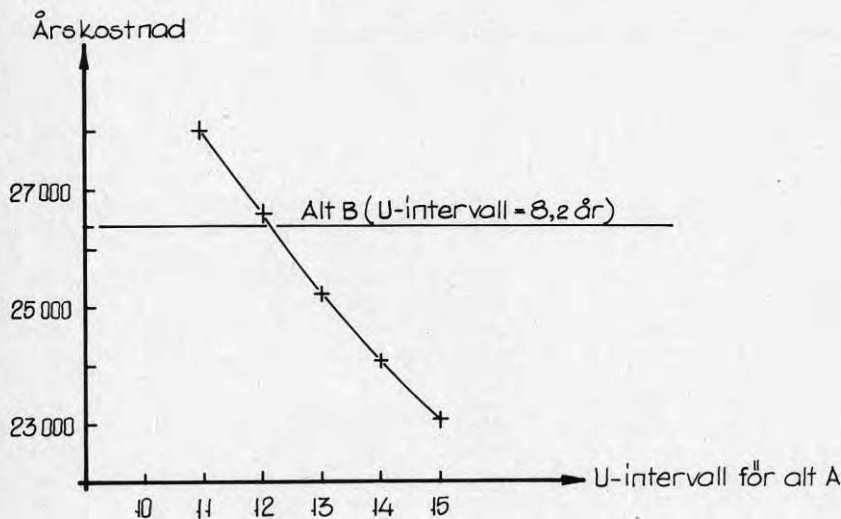


Fig. 9 Varierande underhållsintervall för alternativ A.

**Slutsatser:** Om alt. A:s (80 HAB 16t) underhållsintervall blir ca 12 år i stället för 10,8 år blir årskostnaden lika. Felbedömning av A:s underhållsintervall i denna storleksordning 10% är inte alls orimlig. Intervalllängden är således en känslig faktor.

#### ANDRA UNDERHÅLLSSTRATEGIER

I stället för justering på 3 m bredd som trafikeras 2-3 år (enligt Beläggningssinverteringen 77) samt ny toppbeläggning efter ytterligare ett antal år kan andra underhållsstrategier tänkas.

**Alternativ 1:** Även alt. A = 80 HAB 16 underhålls med justering 30 MAB samt topp av 60 MAB. Underhållscykeln för alt. A blir då vid första tillfället 10,8 år och därefter 8,2 år. Årskostnadsdifferensen förändras så att alt. B blir ännu gynnsammare. (Missgynnar alt. med högre byggnadskostnad).

**Alternativ 2:** Bägge alternativen underhålls med justering (30 MAB) samt enkel ytbehandling (Y1). Efter 1:a underhållsnykeln 10,8 resp 8,2 år får bägge alternativen lika lång underhållsnykel (ungefär 4 års nykel). Denna strategi missgynnar också det kapitalkrävande alternativet.

**Alternativ 3:** Den tekniska utvecklingen går mot återanvändning av gamla beläggningar. Vid kallfräsning av beläggningar är en tjockare beläggning att föredra framför en tunnare. Utvecklingen går mot stora maskiner som i en sammankopplad process fräser upp och lägger ny topp efter sig. Den tekniska utvecklingen talar således för den tjockare beläggningen 80 HAB 16 (tjocklek = 32 mm framför 60 MAB som har tjockleken = 24 mm).

När den tekniska utvecklingen klarnar kan man tänka sig att ta hänsyn till tjockleksbehov när man lägger på ny topp. Det kan bli så att det tunnare alternativet får en topp enligt alt. A eller ännu tjockare för att passa återanvändning.

### 5.2.2 Utformning av gång- och cykeltunnel

Valet står mellan att bygga en tunnel med fri höjd 2,5 m (alt. 1) resp en med fri höjd 2,8 m (alt. 2).

**Att använda låga maskiner** (typ Lundbergs) är ett sätt att lösa problematiken för att klara 2,5 m tunnelhöjd. Motiv för väghållaren att själv skaffa specialmaskiner av denna typ finns om maskinerna kan beredas sysselsättning under barmarksperioden. Vid kalkyltillfället (1981-01-01) hade väghållaren redan inköpt 3 st s k Lundbergare för att bli klara av driftåtgärder på de vägavsnitt som spärrats av med två på varandra följande gångtunnlar med lägre fri öppning än 2,5 m. Dessutom utnyttjas de små midjestyrda maskinerna till att snöröja och sanda övriga trånga passager i innerstaden. Maskinerna är fullbokade vintertid och kan sysselsättas med parkarbete under barmarksperioden.

**ÅRSKOSTNADEKONOMIN vid anskaffning av ytterligare en egen låg maskin bör undersökas som ett tredje handlingsalternativ.** (Denna årskostnadskalkyl genomförs ej i denna rapport).

Räntan är inte avgörande för valet, eftersom det krävs en annuitetsfaktor =

$$\frac{\text{skillnad i investering}}{\text{skillnad i driftskostnad}} = \frac{11800}{3750} = 3,15$$

(vilket motsvarar en realränta som är > 30%)

**Driftkostnaden** beror bl a på den **ambitionsnivå** som gäller för snöröjningen. Luleå kommun har under den senaste 5-årsperioden tillämpat en nivå som resulterat i 30 plogningstillfällen i genomsnitt. Vid vissa tillfällen erfordras p g a ihållande snöfall flera rundor (8 ggr). Efterarbeten i form av rensning (6 ggr) kring gångtunnelöppningar samt halkbekämpning 3 ggr ger sammanlagt 47 svängar i genomsnitt per år som hjullastaren kör på gång- och cykelvägen.

**Skillnaden i driftkostnad har beräknats som**

**Antalet rundor x extratid p g a trång tunnel x å-pris för förare och maskin**

Extratiden består av två delar, nämligen  
dels tid för att backa upp med röjd snö ur gångtunnelnedfarter och vända maskinen, tid ca 12 min per öppning,  
eller  $\frac{2 \times 12}{60} = 0,4$  tim per röjningstillfälle, vilket ger  $47 \times 0,4 = 18,8$  tim/år

dels tid för att köra runt med maskin till tunnelns andra ände. Denna extra förflyttning blir lika med hela slingans längd om start och avslutning av plogning sker vid samma punkt. Antag att extra förflyttning = 1,0 km och medelhastigheten = 5 km/tim.

Detta ger extratid för förflyttning =  $\frac{47 \times 1}{5} = 9,4$  tim/år

**Summa extratid** blir  $18,8 + 9,4 = 28,2$  tim/år

Timpris = 132,8 kr/h (ur kommunens avtal med entreprenörerna)

**Driftkostnad** =  $28,2 \times 132,8 = 3.745 = \text{ca } 3.750$  kr/år

Driftkostnaden ( $D = 3.750$  kr/år) kan indelas i två relativt oberoende kalkylposter:

$D_1$  = Snöröjning samt efterarbeten i form av snöbortforsling, toppavskärning, snödikning,

$D_2$  = Halkbekämpning.

Den troliga fördelningen dem emellan uppskattas till;  $D_1 = 3.500$  kr och  $D_2 = 250$  kr.

Den faktor som lätt kan ändras under brukstiden är det genomsnittliga antalet rundor. Resursknapphet kan tvinga politikerna att sänka ambitionsnivån med exempelvis 30%. Vad innebär detta för kalkylresultatet?

Sänkning innebär färre antal plogningstillfällen. Väghållaren får låta det snöa något mer innan uttryckning sker och trafikanterna får självklart en sämre service.

Nivån på halkbekämpningen är en känsligare fråga, eftersom kopplingen till trafiksäkerheten är så uppenbar.

Om enbart  $D_1$  sänks med 30% fås

$D = 0,7 \times D_1 + D_2 = 0,7 \times 3.500 + 250 = 2.700$  kr/år,

d v s årskostnadsdifferensen blir  $2.700 - 990^{(1)} = 1.710$  kr, i stället för 2.760 kr.

(1) Se sid. 16.

**Slutsats: Årskostnadsdifferensen till fördel för alternativet med fri höjd 2,8 m är tydlig även om ambitionsnivån för snöröjning sänkes med 30%.**

### 5.2.3 Bygga om eller ej?

Valet står mellan att bygga om en gångrunnel med fri höjd  $h = 2,5$  till höjden  $h = 2,8$  m eller att låta bli.

**Valet av kalkylränta** påverkar rangordningen mellan alternativen, så att dyrare kapital (högre ränta) missgynnar ombyggnadsalternativet.



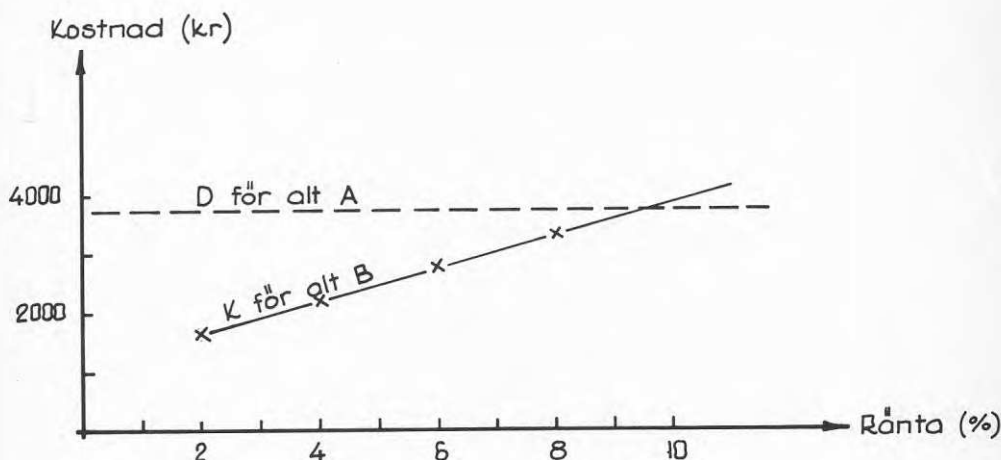


Fig. 10 Räntans betydelse.

Figuren visar att vid 4% ränta tjänar förvaltaren ca 1.500 kr/år på att bygga om tunneln.

**Brukstiden** efter ombyggnad antogs vara i genomsnitt 30 år för den ombyggda tunneln. Om kalkylräntan är 8% blir alternativen likvärdiga vid antagen brukstid på ca 13 år, d v s resultatet är ej särskilt känsligt för variation av brukstiden.

**Ombyggnadskostnaderna** har beräknats med en å-priskalkyl där "normal" konkurrenssituation antagits. Hur stor felbedömning av ombyggnadskostnaden tål kalkylen innan alternativen blir likvärdiga? (Övriga faktorer läses fast, d v s ränta 8%, brukstid = 30 år och skillnad i driftkostnad blir 3750 kr).

Ombyggnaden får kosta

$$\frac{\text{DRIFTKOSTNAD}}{\text{ANNUITETSAKTOR}} = \frac{3.750}{0,0888} = 42.215 \text{ kr}$$

innan alternativen blir likvärdiga, d v s en felbedömning av kostnaderna på

$$\frac{42.215}{38.400} = 1,09 \text{ eller ca } 10\%$$

En felbedömning av kostnaderna i storleksordningen 10% i beställarens kalkyl är vanlig. (Se kapitel 6 om erfarenhetsåterföring).

**Slutsats:** En sänkning av ambitionsnivån på driften ger  $D = 2.700$  (se sid. 25), d v s årskostnadsdifferensen  $A = K - D = 3.400 - 2.650$  väger över klart till alternativet att inte bygga om.

## 6. ERFARENHETSÅTERFÖRING

### 6.1 Kostnadsavvikelser (exkl. index) under byggskedet

Som grund för avvikelseanalysen har mängd- och kostnadsdata från 9 st väg- och gatuobjekt utnyttjats. Objekten byggdes på generalentreprenad åt två olika beställarkategorier (Statens Vägverk 3 objekt, Luleå kommun 4 objekt och Piteå kommun 2 objekt) i Norrbottens kustland under åren 1977-80.

Mängd- och kostnadsdata har analyserats för att besvara följande frågor:

- Fråga 1: Vad är gatubyggarens/entreprenörens praktiskt möjliga kalkylsäkerhet vid anbudsräkning?
- Fråga 2: Vad blev de genomsnittliga kostnadsavvikelserna (sådana som ej beror av prisutveckling) under byggnadstiden?
- Fråga 3: Bidrar vissa delar av projektering med större andel än andra till kostnadsavvikelserna?
- Fråga 4: Kan beställaren genom att studera hur anbuden ligger sinsemellan säga något om risken för stora kostnadsökningar under byggskedet?
- Fråga 5: Vilken storleksordning på lägsta och högsta värde bör utnyttjas vid bedömning av kalkylsäkerheten enligt metoden som föreslås i kapitel 7?

Med beställarens kostnadsavvikelser under byggtiden avses hela kostnadsändringen i jämförelse med antaget anbud (kontraktsumman), d v s både ändringar som det finns avtalade à-pris på och andra innefattas.

#### Byggprocessen

Innan en anläggning i mark kan byggas, måste den definieras tekniskt och ekonomiskt. Beställarens (stat, kommun eller privat) projektörer definierar anläggningen genom mätningar av marktopografi, geotekniska undersökningar, och tillverkning av ritningar och beskrivningar. Dessa handlingar kompletterade med juridiska bestämmelser bildar ett s k förfrågningsunderlag, som skickas ut till ett antal (ofta ca 10 st) byggfirmor för prissättning (anbudsräkning). Beställaren får in och prövar de olika anbuden mot varann. Lägsta anbudsgivaren vinner (oftast) tävlingen och får uppdraget att bygga anläggningen. Detta förutsätter givetvis att lägsta anbud inte överskrider beställarens investeringsram.

Analysen begränsas till att studera beställarens kalkylavvikelser i två skeden, nämligen före anbudsstadiet och när anbud föreligger.

I byggnadsteknisk litteratur är siffror på  $\pm 10\%$  som byggarens genomsnittliga absoluta kalkylavvikelser vanliga, när bygghandlingar föreligger. Om man då avser entreprenörens kalkylsäkerhet eller beställarens är oftast oklart. Vad är då skillnaden?

**Beställarens kostnadsavvikelser, före anbud antagits, beror bl a av;**

1. Allmän osäkerhet i anbudens nivå.

2. Osäkerhet i entreprenörens kalkylmetoder och kalkylunderlag (verkliga mängder och priser).
3. Fel och brister i förfrågningsunderlaget.
4. Att projektförutsättningarna ändras under byggskedet.
5. Osäkerhet i prisutvecklingen under byggtiden.

Analysen inleds med att undersöka storleksordningen på punkt 1 och 2 genom att studera entreprenörernas (E:s) kalkylavvikelser vid anbudskalkylering. Därefter studeras beställarens (B:s) kostnadsavvikelser under byggskedet, som beror av punkterna 3 och 4. Punkten 5 rensas (vid anläggningsentreprenader) ut redan i anbudsstadiet genom att anbud infordras både som rörligt pris (i anbudsdagens prisläge) och fast pris (inkl kostnadsindex under byggtiden). En viss osäkerhet finns dock kvar, eftersom kostnader för ändringar och tillägg också indexregleras.

**Det som är intressant ur beställarens synvinkel är naturligtvis den slutliga anläggningskostnaden inklusive ändringar och tillägg under byggnadstiden.**

Anbudssumman får i praktiken betraktas som en lägsta tänkbara kostnad för beställaren. (Objekt som upphandlas med reglerbar mängdförteckning i förfrågningsunderlaget kan teoretiskt sluta på lägre slutkostnad än anbudet om minskande mängder ger större avdrag på anbudssumman än vad ökande mängder ger i tillägg. Detta önskeläge för beställaren inträffar dock sällan eller aldrig i praktiken bl a därför att tilläggs- och ändringsarbeten som ej förutsetts i mängdförteckningen är regel snarare än undantag.)

### 6.1.1 Entreprenörernas kalkylavvikelser vid anbudskalkylering

Ett sätt att få en bild av entreprenörernas kalkylsäkerhet är att jämföra deras anbud för ett antal objekt (9 st i denna analys).

#### 6.1.1.1 Anbudens spridning samt kalkylavvikelser

**ENTREPRENÖRENS GENOMSNITTLIGA KALKYLAVVIKELSE VID ANBUDSKALKYLERING** beräknas här för varje objekt genom att först bortse från lägsta och högsta anbud och därefter beräkna kalkylavvikelsen som halva skillnaden mellan högsta och lägsta dividerat med medelvärdet av anbuden.

Anbudssammanställningar hämtade från 9 st objekt (i tusentals kronor).

Objekt 1	Objekt 2	Objekt 3	Objekt 4	Objekt 5
(1866,0)	(2440,0)	(4049,0)	(4266,3)	(4747,5)
1973,0	2802,0	4369,0	4435,7	4988,0
2395,0	3114,0	4693,0	4522,0	5100,0
2465,0	3390,3	4695,0	4535,5	5126,0
2490,0	3437,0	4868,0	4776,5	6489,0
2550,0	3715,0	(5771,0)	4861,0	6530,0
(2749,0)	3871,0		5062,9	(7320,00)
	(4539,0)		(5583,3)	

Objekt 6	Objekt 7	Objekt 8	Objekt 9
(5564,0)	(6440,0)	(8888,0)	(9300,0)
5697,0	6619,0	9096,0	9351,0
6018,5	6976,0	9825,0	9352,0
6215,0	7195,0	10448,0	9870,0
6466,0	7264,0	10577,0	10400,0
6679,0	7664,0	10916,0	11494,0
6924,0	7774,0	10950,0	12580,0
6959,0	8050,0	(11800,0)	(13175,0)
6999,0	8412,0		
(7274,0)	(8980,0)		

Fast pris inkl index = Objekt nr 2, nr 4 och nr 6.

Övriga objekt exkl index.

( ) Högsta och lägsta anbud utgår för att rensa ut vissa marknadsfaktorer.

#### Procentuell absolut kalkylavvikelse från medelanbudet.

Objekt nr	Medelvärde	$\frac{H-L}{2}$	Procentuell avvikelse från medelanbudet
1	2374,6	288,5	12,2
2	3388,2	534,5	15,7
3	4656,2	249,5	5,4
4	4698,9	313,6	6,7
5	5446,6	771	14,2
6	6547	651	9,9
7	7494,3	896,5	12,0
8	10302	927	9,0
9	10507,8	1614,5	15,4
Medelavvikelse			= 11,1 + 10% kring medelvärde

Avvikelserna ligger i intervallet från 5% upp till 16%.

(Beräkningarna har utförts enligt följande exempel (för objekt nr 1):

$$\text{Medelvärde} = \frac{1973+2395+2465+2490+2550}{4} = 2374,6 \text{ kkr}$$

$$\text{Högsta} - \text{Lägsta} = 2550 - 1973 = 577 \text{ kkr}$$

$$\frac{H-L}{2} = \frac{577}{2} = 288,5$$

Avvikelse från medelanbudet i %

$$\frac{288,5}{2374,5} \times 100 = 12,2$$

o s v)

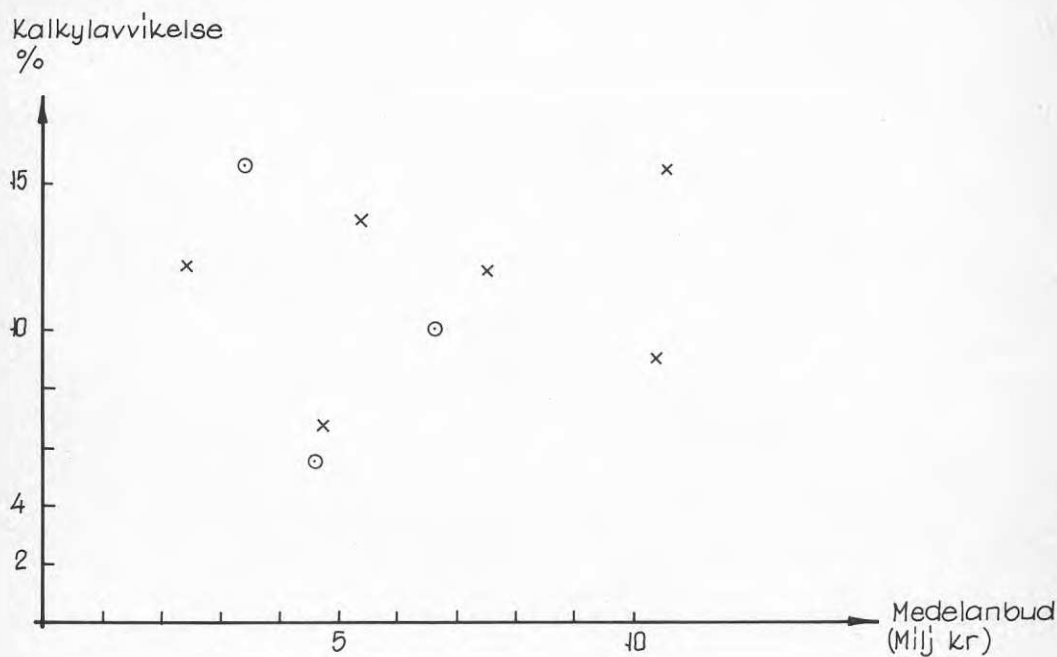


Fig. 11 Anbudens spridning  
x Kommunal beställare  
o Vägverket "

Den grafiska bilden av sambandet mellan medelanbudets storlek och den procentuella kalkylavvikelsen visar:

\* att kalkylavvikelsen i % verkar vara oberoende av medelanbudets storlek (åtminstone i det studerade intervallet).

**Slutsatser:** Medelavvikelsen = 10% stämmer väl med uppgifter som förekommer i bygglitteratur, men observera att detta gäller entreprenörens kalkylsäkerhet vid anbudskalkylering.

Eftersom entreprenörerna äger nyanserade produktionstekniska kunskaper, så är de bäst skickade att prestera en så säker prognos på anläggningskostnaden som överhuvudtaget är möjligt. Detta i sin tur innebär att beställarens projektörer som bäst kan närma sig denna kalkylprecision när anbudets storlek skall uppskattas i bygghandlingsskedet.

### 6.1.1.2 Bakgrund och felkällor

**Skillnaden** i pris mellan anbudena uppfattas här som ett mått på kalkylsäkerheten. I anbudsdifferenserna ingår dock även andelar som inte beror av kalkylprocessen (sättet att kalkylera och samla kalkylerfarenhet) utan också av andra faktorer, exempelvis:

- a) Fel och brister i förfrågningsunderlaget
- b) Entreprenörens resurstillgångar vid anbudstillfället
- c) Anbudsgivarens marknadssituation (orderstock)
- d) Klimatfaktorn under byggnadstiden
- e) Eventuell kartellbildning.

Det gäller således att försöka **rensa ut de faktorer som inte är direkt kopplade till kalkylkunnandet.**

Punkt a) borde ha betydelse för den nivå som anbudet hamnar på. Orsaken är att brister i förfrågningsunderlaget som upptäcks av anbudsräknade entreprenörer kan leda till att spekulationer av typen: vi lämnar ett relativt lågt anbud eftersom möjligheterna att få ändrings- och tilläggsarbeten är goda. Entreprenören är ej skyldig att påtala brister i förfrågningsunderlaget, som han upptäcker, förrän anbud antagits (AB 72, kap. 1:13). De juridiska reglerna i AB 72 förutsätter att anbudssumman regleras för fel och brister i handlingarna med två undantag, nämligen detaljer som uppenbarligen ingår (kap. 1:2) och sådant som kunnat förutsättas enligt fackmässigt bedömande (kap. 1:12).

Det sistnämnda begränsas i praktiken till krav på okulärbesiktning (1:9) och detaljer enligt kap. 1:2 har marginell ekonomisk betydelse. Att rensa ut de anbud som bygger på spekulation i chanserna till extraräkningar är svårt. Om det lägsta eller två lägsta anbudena stryks kan effekten i någon mån minskas.

Punkterna b och c är andra faktorer som är svåra att rensa ut. En bidragskalkyl kan exempelvis motiveras av sysselsättningsläget hos den enskilde anbudsgivaren. Det gäller att överleva i väntan på bättre tider. I motsatta fallet kan en anbudsgivare ha räknat på sig "för många" objekt och lägger på extra vinstpålägg i sin anbudskalkyl.

Punkt d) klimatfaktorn innebär en osäkerhet som entreprenören får ta på sig, eftersom AB 72 vid extrema väderleksförhållanden tillåter tidsförskjutning men utan extra ersättning eller vite för entreprenören (AB 72, kap. 4:3 och 5:4). Denna faktor antas här ej nämnvärt påverka de relativa förhållandena mellan anbudens storlek, eftersom samtliga kalkyler förutsätter ett medelvärde för orten ifråga.

Inverkan av vinklade anbud enligt punkterna b och c kan i **någon mån rensas** genom att man bortser från lägsta (den som fick jobbet) och högsta anbudet (den minst intresserade).

Punkt e är svår att komma åt, åtminstone på kort sikt. Tendenser till kartellbildningar kan spåras om stora beställare i regionen som rutin fortlöpande analyserar varandras (och sina egna) upphandlingsprotokoll för att spåra eventuella mönster.



Förskott begärs av de flesta anbudsgivarna, oftast 10% av anbudssumman. I de fall förskottens relativa storlek inte varierat har beställarens kostnad för att utbetala förskott ej tagits med i jämförelsen.

**Om bara vissa (ej de flesta) anbud är "för låga" när förfrågningsunderlaget är "risigt" borde detta framgå av en ansamling av anbudena mot det lägsta.**

Genom att betrakta den grafiska bilden av hur anbudena ligger för objekten, se fig. 12, kan följande **slutsatser** dras:

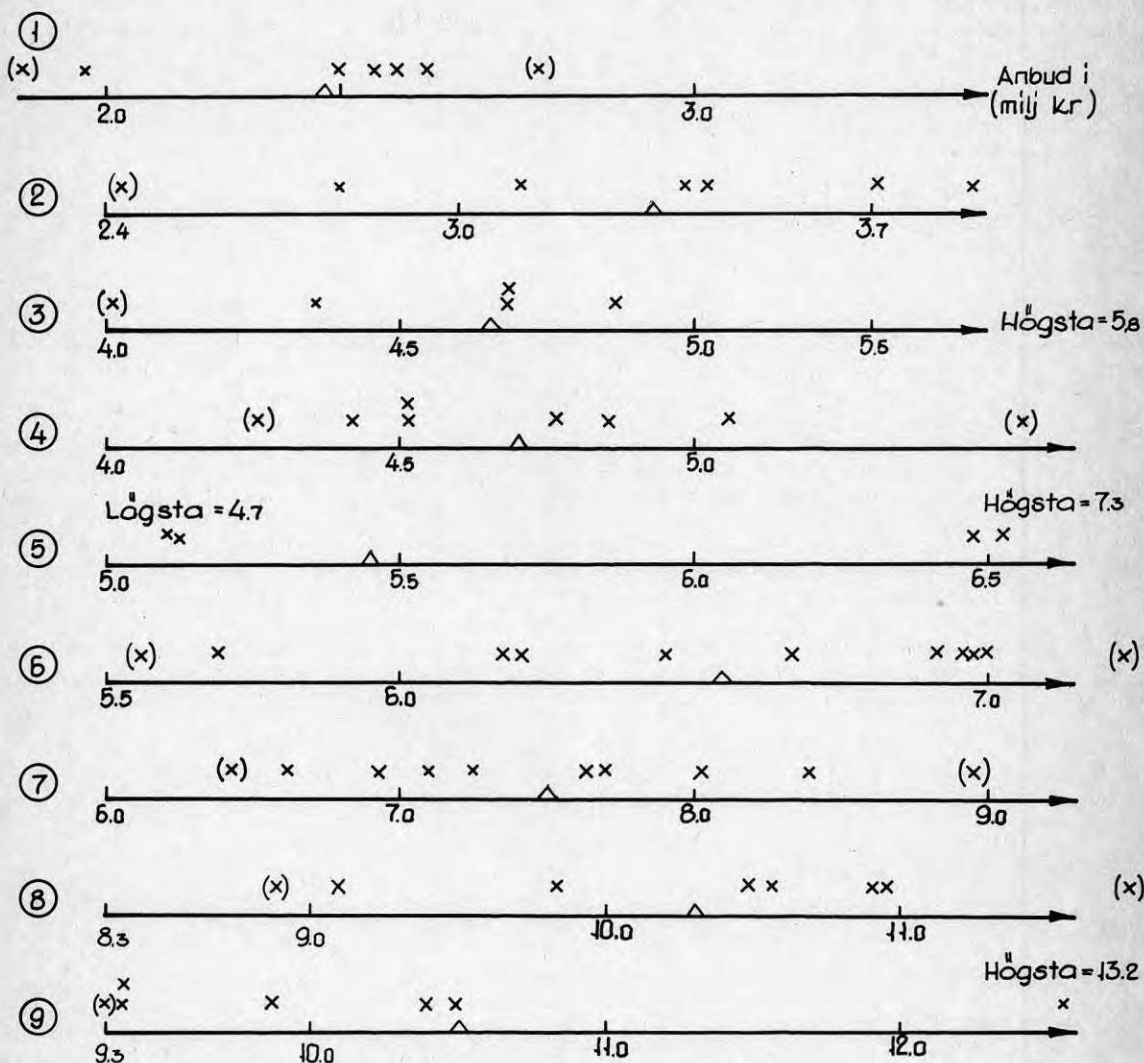
**Ansamlingar mot lägsta anbudet kan ej utläsas.** I stället visar bilden en approximativ symmetrisk fördelning av anbudena kring ett tänkt medelanbud. Objekten 1, 2 och 5 (som gav de största relativa kostnadsräkningarna under byggtiden) visar heller ingen tendens i detta avseende.

Att bara ett fåtal anbudsgivare upptäcker brister i förfrågningsunderlaget (när projekteringen är bristfällig) och lämnar in "för låga" anbud i spekulations syfte är således en myt som bör avlivas. I stället är det så att om spekulering förekommer så deltar de flesta anbudsgivarna så att de flesta anbudena förskjutes nedåt. Samtidigt ökar spridningen mellan anbudena när kvaliteten på förfrågningsunderlaget sjunker (visas i avsnitt 6.1.3). Med andra ord ger sjunkande kvalitet på förfrågningsunderlaget både försämrad noggrannhet (anbudens nivå) och precision (anbudens spridning) i anbudsgivningen.

**Punkt a inverkar som felkälla om de utvalda objekten byggdes med extremt bra eller dåliga anbudshandlingar.** För att avgöra om så är fallet måste undersökningen utökas att omfatta fler objekt som är slumpmässigt utvalda.

**Den grafiska fördelningen visar också det rätta i att utgå från medelanbudet (och inte det lägsta) när spridningen i anbudspriserna skall beräknas.**

Objekt  
nr



x markerar anbudets storlek  
 (x) " lägsta eller högsta anbud  
 Δ " medelanbudets storlek

Skalan för objekt 7, 8 och 9 är annorlunda än för de övriga.

Fig. 12 Anbudens grafiska lägen.

### 6.1.2 Beställarens kostnadsavvikelser under byggnadstiden

**Beställaren behöver före byggstart kunna uppskatta genomsnittliga kostnadsavvikelser under byggnadstiden för att avstämna mot givna kostnadsramar. Ett vanligt schablon tillägg är 10% på anbudssumman (kontraktssumman).**

Det enda sättet att få en bild av de verkligt förekommande kostnadsavvikelserna är att jämföra anbud (kontraktssumman är mer exakt) och verkliga kostnader inklusive extraräkningar för ett antal objekt. Att skilja på orsakerna fel och brister i projektering samt ändrade projektförutsättningar ger en svår tolknings-situation som jag avstår ifrån. **D v s endast anbud i fast pris och total verklig byggkostnad jämföres. Jämförelsen görs i fasta priser, d v s prisutveckling (index) under byggtiden ingår i de kostnadsavvikelser som redovisas här.**

Beställarens kostnader består egentligen av fler poster än anbudet, nämligen marklösen och projekteringskostnader. Marklösen för de olika objekten bör ej belasta utgångssumman för beräkning av kalkylavvikelser, eftersom marklösen beror av andra faktorer än projekterings- och kalkylkompetens. Däremot borde projekteringskostnaden tas med, eftersom en mer omfattande projekteringsinsats bör minska antalet dyra projekteringsfel.

Ett givet anbud + hög projekteringskostnad bör ge lägre total kostnadsavvikelse än summan av anbud + låg projekteringskostnad, förutsatt att projekteringen i det första fallet ger ökad precision.

För B är det av intresse att jämföra anbud med summan av projekteringskostnad och extraräkningar, eftersom de två senare beror av varann. Optimeringsproblemet blir att söka lägsta kostnad för projekteringskostnad + anbud + kostnadsändringar under byggtiden vid given teknisk lösning. P g a svårigheter att avgöra priset på de tre B:s egna projekteringsinsatser avstod jag från denna jämförelse och studerar **enbart kostnadsavvikelser i förhållande till antaget anbud** (kontraktssumman).

Det **statistiska materialet** består som tidigare av 9 st vägar och gator som byggdes i Norrbottens kustland (Piteå-, Luleå- och Bodenregionerna) under åren 1978-80.

#### SÖKES = BESTÄLLARENS GENOMSNITTLIGA KOSTNADSAVVIKELSER UNDER BYGGNADSTIDEN.

Objekt	Antaget anbud kkr	Beställare	Kostnadsökning kkr	Kostnadsökning %	Anm
1. Älrvägen	1963	Piteå kommun	691,5	35,2	
2. E4-an Haparanda	2440	Vägverket	581,3	23,8	Huvuddel I
3. Väg 356,760	4282	"	339,4	8,0	
4. Svartövägen	4266	Luleå kommun	640,7	15,0	
5. Haparanda-vägen	5170	"	1368,0	26,4	Ettapp I
6. Väg 1052	5564	Vägverket	293,9	5,3	
7. Norra Ringen	6440	Piteå kommun	1476,1	23,0	
8. Varvsleden	9722	Luleå kommun	1562,0	16,1	
9. Bodenvägen	9945	"	2113,0	21,3	

Medelavvikelsen = 19,4% 20%

Grafisk representation av sambandet mellan anbudssumma och procentuell kostnadsavvikelse under byggnadstiden visar:

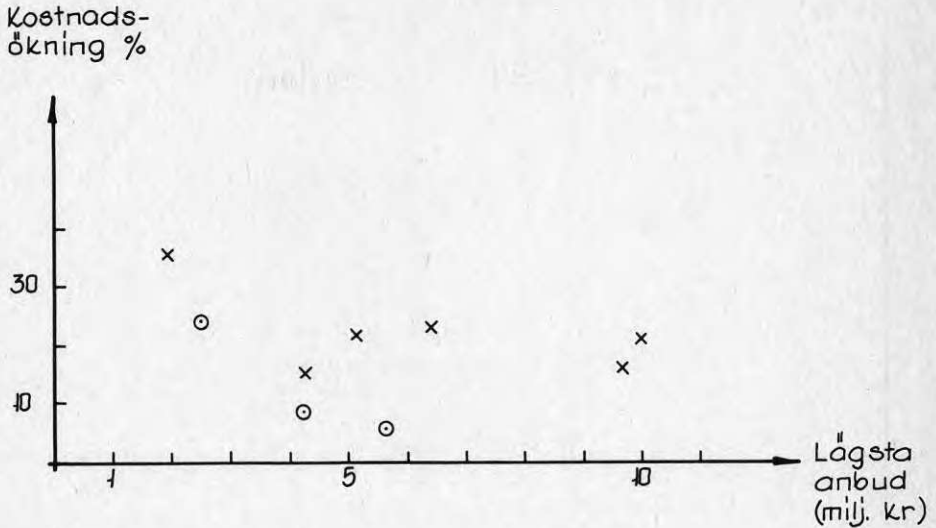


Fig. 13 Beställarens kostnadsökning (exkl prisutveckling).

x Kommunalt objekt  
o Vägverkets objekt

#### För beställarens kostnadsavvikelser under byggtiden gäller

- \* Att medelkostnadsavvikelsen var ungefär 20% (19,4%)
- \* Att största avvikelserna var ca 36% och lägsta avvikelserna var ca 5%
- \* Att samband mellan anbudsstorlek och den relativa kostnadsavvikelsen under byggtiden ej kan påvisas.
- \* Att Vägverkets objekt har en tendens till lägre kostnadsavvikelser (kan bero på att ju närmare stadskärnan objekten ligger, desto större är risken för oväntade kollisioner med befintliga ledningar m m och skillnader i projekteringsinsats).
- \* Kostnadsavvikelserna beror ej i första hand av osäkerhet i priser, utan i stället fel och brister i projekteringen. Detta innebär att mängderna som förutsattes i förfrågningsunderlaget har ändrats och tilläggsarbeten som ej framgick av förfrågningsunderlaget har utförts. Det är således fråga om en projekteringsosäkerhet och inte en prisosäkerhet.

**Vilka aktiviteter bidrar mest till kostnadsavvikelserna (exkl prisutveckling) under byggnadstiden?** Om aktiviteterna sorteras i indexgrupper enligt Vägverket och SBEF fås:

Index-grupp	Avvikelse tusentals kr	Avvikelse i % av hela kostnadsändringen
I	2901,6	31,4
II	2828,4	30,6
III	1312,0	14,2
IV	1731,3	18,8
V	90,9	1,0
IV	367,5	4,0
Summa:	9231,7	100 %

**Slutsatser:** Indexgrupp I och II bidrar tillsammans med 62% av den relativa kostnadsavvikelsen (i pengar ca 5,6 milj kr för dessa 9 objekt). Beställare av denna typ av objekt bör i första hand skärpa sin projektering för aktiviteter inom dessa indexgrupper.

Analysen kan naturligtvis drivas åtminstone ett steg till genom att studera vilka koder inom indexgrupperna I och II som bidrar mest till kostnadsavvikelserna. Detta analyssteg ingår ej i detta projekt. Därför får resten av avsnittet ses som ett försök att strukturera problemet ur beställarens synvinkel samt spekulera i åtgärder som kan tänkas medverka till att dämpa extraräkningarnas relativa storlek.

Vad innehåller indexgrupp I och II för typ av aktiviteter?

Indexgrupp I innehåller röjnings-, grundförstärknings- och terrasseringsarbeten. Terrasseringsarbetena omfattar schaktning, sprängning samt återfyllningsarbeten för väggroppens underbyggnad (d v s förstärknings- och bärlager ingår ej). Återfyllnadsmassorna tas ofta ur blivande väglinje eller dess närhet (skärningar kan exempelvis breddas).

Indexgrupp II innehåller bl a avlopps- och dräneringsarbeten (inkl schakt och återfyllning) samt vissa konstarbeten som vägräcken, huggen sten samt markarbeten för vägmärken och signaler.

Vilken särprägel hos dessa arbetsuppgifter medför att kostnadsändringarna blir så stora under byggfasen? I och II är arbeten som samtliga berör ingrepp och **hantering av befintliga jord- och bergmassor.**

Kostnadsökningar under byggskedet kan indelas i två grupper, dels de som beställaren initierar genom att direkt beställa ändringar eller tillägg, dels de som entreprenören med stöd av AB 72<sup>(1)</sup> (kap. 2, § 3) hävdar utgör ändring eller tillägg av anbudssumman.

(1) Allmänna Bestämmelser för byggnads-, anläggnings- och installationsentreprenader, utgivna av Svenska Teknologföreningen.

Den första kategorien beror så gott som uteslutande på brister under projekteringsfasen (fel som beror av projektörer eller oklara projekteringsförutsättningar). Kostnadsökningar av detta ursprung medförde vid jämförelse mellan två av de undersökta objekten en differens på 5% (0,5 milj kr på anbudssumman = 10 milj). De två objekten hade samma geotekniska förutsättningar, standarden på slutprodukten var likvärdig. Objekten byggdes av samma entreprenör, men skilda projektörer anlätades. Denna typ av extraräkningar kan naturligtvis minskas genom att beställaren ställer större krav på de projektörer som anlitas.

Att analysera orsakerna och minska storleken av ändringar och tillägg som beställaren inte beställt är betydligt mer komplext. Bl a följande faktorer inverkar på kostnadsavvikelsens storlek:

- \* Kompetensen hos geoteknikerna och undersökningsmetodernas begränsningar.
- \* Beställarens och entreprenörens förhandlingskicklighet
- \* De entreprenadjuridiska ramarna

**Fråga: Tar AB 72 hänsyn till de geotekniska utlåtandets särprägel i jämförelse med övriga bygghandlingar?**

Vid markarbeten verkar ett entreprenadavtal med AB 72 så att minsta avvikelse mellan förfrågningsunderlaget och den geotekniska utredningen ofta leder till att entreprenören ställer krav på extra ersättning (med hänvisning till AB 72, kap 1:13 och 2:3). Beställaren bestrider oftast dessa krav, varefter förhandlingar om rimlig ersättning startar.

Beställaren åläggs (enl AB 72 och motiv AB 72) i själva verket ett strikt ansvar för följderna av oriktiga uppgifter i de geotekniska utredningarna. (Med strikt ansvar menas att beställaren ansvarar för följderna oavsett om han varit vårdslös eller ej).

Vad påverkar då storleken på dessa extraräkningskrav och vilka är beställarens möjligheter att dämpa ned dessa?

Utgångspunkten, definitionen av arbetet utgörs av det **ingenjörsgеologiska utlåtandet**. Dagens prospektering tillåter endast att punktvisa geotekniska informationer samlas, varefter förhållandena mellan undersökningspunkterna extrapoleras bl a med hjälp av områdets kvartärgeologi. Detta leder till att avvikelser i någon form mellan verkligheten och det geotekniska utlåtandet nästan alltid uppkommer.

Förutsättningar som jordlager, följder, mäktigheter och vattenytor som ofta har förutsägbar horisontell utsträckning stämmer oftast väl. Däremot uppstår svårigheter med exempelvis blockförekomst, gränzoner mellan jord och berg, schaktbarhet o s v.

**Om de verkliga geotekniska förhållandena jämförs med förutsägelserna i den geotekniska utredningen borde det ur produktionsteknisk synvinkel lika ofta bli bättre som sämre förhållanden. Det senare förhållandet tar entreprenören betalt för, medan bättre produktionstekniska förhållanden aldrig märks i beställarens plånbok.**

Jag ställer mig frågan om AB 72 tar en för parterna rättmätig hänsyn till de geotekniska projekteringsmetodernas särprägel i jämförelse med övriga projekteringsmetoder. Är det faktum att beställaren får ta på sig ett strikt ekonomiskt ansvar en rättvis fördelning av det ekonomiska risktagandet mellan parterna?



### Hur kan beställaren minska storleken på denna typ av extraräkningar?

En åtgärd är att öka kompetensen hos beställarens aktörer, d v s geotekniker, markprojektörer, ombud och kontrollanter. Andra mer tidskrävande åtgärder är att öka forskningsinsatserna samt se över gällande entreprenadregler.

#### 6.1.3 Anbudsspridning och kostnadsavvikelser

Om man studerar den **samlade bilden** av anbudens spridning och beställarens kostnadsökning under byggtiden objektvis fås

Objekt nr	Anbudens spridning %	Kostnadsökning under byggtid %
1	12,2	35,2
2	15,7	23,8
3	5,4	7,9
4	6,7	15,0
5	14,2	26,4
6	9,9	5,3
7	12,0	22,9
8	9,0	16,0
9	15,4	21,2

eller grafiskt, se nästa sida.

Kostnadsökning  
under byggskedet %

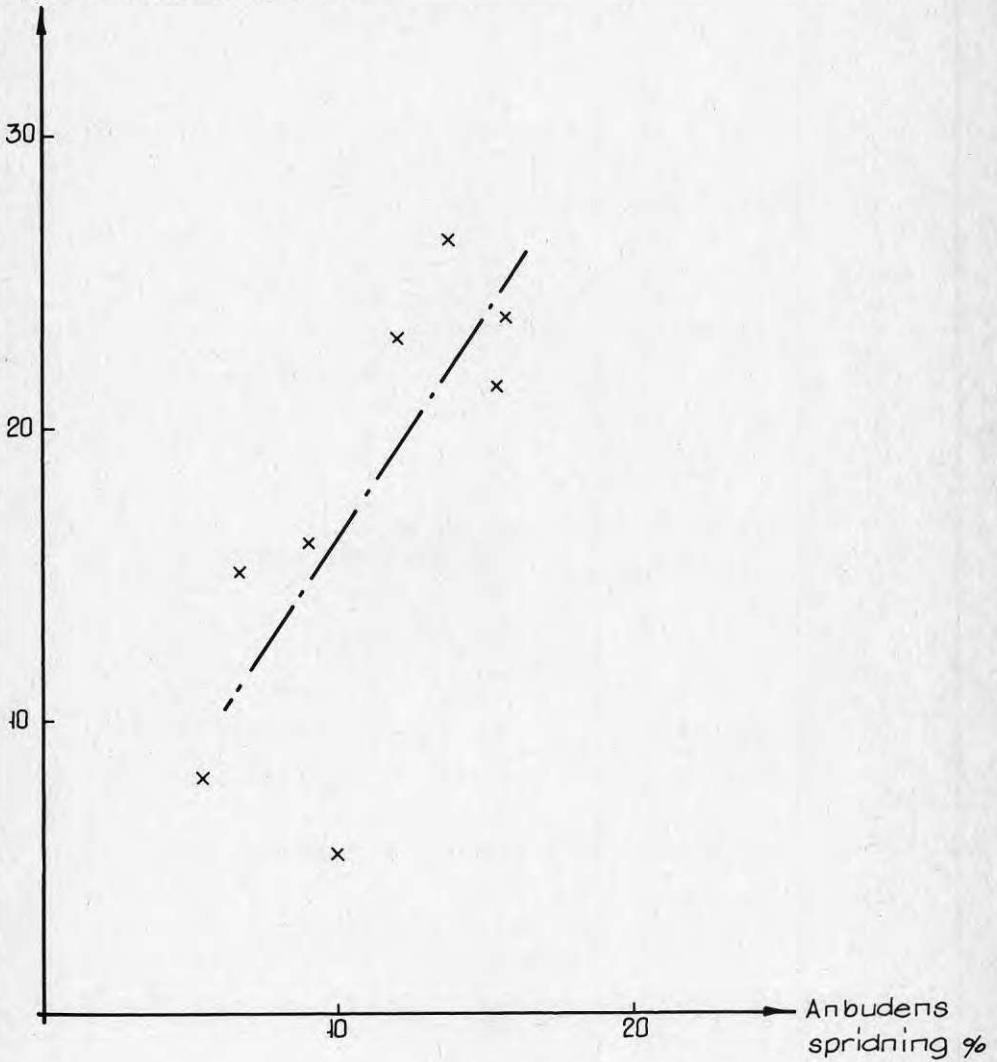


Fig. 14 Samband mellan anbudens spridning och kostnadsökningar under byggtiden.

--- Skattning enligt minsta kvadratmetoden

## Tolkning

- \* Det finns ett tydligt samband mellan anbudens spridning och storleken på beställarens kostnadsavvikelse under byggtiden.  
(Anm. Anbudens spridning har beräknats genom att först bortse från lägsta och högsta anbud och sedan beräkna spridningen som halva skillnaden mellan högsta och lägsta dividerat med medelvärdet av anbudet).
- \* Väl samlade anbud antyder att andelen extraräkningar kommer att bli låg. Anbudsspridning lägre än 6% ger en trolig kostnadsökning under byggtid på mindre än 10% av kontraktsumman. Detta är inte särskilt förvånande eftersom välgjord projektering borde kunna läsas av i en större precision hos anbudsgivarna. Troligtvis ligger anbudet också på en realistisk nivå eftersom förfrågningsunderlaget ej inbjuder till spekulation i extraräkningar i nämnvärd omfattning.
- \* Spridda anbud antyder att det är risk för stora kostnadsökningar under byggtiden. Anbudsspridning större än 12% ger kostnadsavvikelse på mer än 20%. Att dåliga handlingar ger en bredare tolkning av kalkylförutsättningarna, är inte heller det förvånande. Dåliga handlingar inbjuder dessutom till låga anbud som entreprenören sedan måste kompensera med tilläggsarbeten under byggtiden. Dessutom är ju entreprenören "herre på täppan" under byggtiden. (Enl AB 72 har E både rättighet och skyldighet att utföra ändrings- och tilläggsarbeten under byggtiden d v s konkurrenssituationen är borta och priserna kan ej pressas som i anbudsstadiet).
- \* Sambandet kan beskrivas matematiskt med en rät linje. Linjen kan anpassas till mätpunkterna med hjälp av regressionsanalys (minsta kvadratmetoden) med godtagbara modellförutsättningar, om man bortser från den lägsta anbudssummans mätvärden (obs, nr 1).  
B:s avvikelser =  $1,1 + \text{anbudsspridning} \cdot 1,5$ .  
En ökning av anbudens spridning med en enhet ger sålunda en ökning av extraräkningarna med ca 1,5 procentenheter.
- \* Linjens lutning beror troligen av bl a objekttyp, objektstorlekar och entreprenadform. Varje beställare bör därför ta fram sina egna typiska samband mellan anbudsspridning och förväntade kostnadsavvikelse under byggtiden.

Hur kan ovanstående analys utnyttjas praktiskt av beställaren (B)?

- Redan i anbudsstadiet får beställaren en vink om nivån på de kostnadsökningarna under byggskedet som beror av missar i projekteringen. (Risk för hög nivå kan utläsas).
- Om anbudet har stor spridning kan det vara en god affär för B att se över sin projektering, göra kompletteringar och en ny upphandling.
- Kan tjäna som vägledning för vilka entreprenadjobb som bör ges de skickligaste ombuden och kontrollanterna.

### 6.1.4 Användning av resultatet från avvikelseanalysen vid beräkning av kalkylsäkerheten

När projektören jämför anläggningskostnader för olika alternativ är det den **totala anläggningskostnaden** som är av intresse. Detta innebär ackumulerad kostnad på dagen för godkänd slutbesiktning. För att undvika svåra prognoser i tidiga projekteringskedan bör kalkylen ändå utföras i kalkyldagens penningvärde.

Helhetsbilden av **beställarens** kalkylavvikelser kan beskrivas grafiskt enligt nedan:

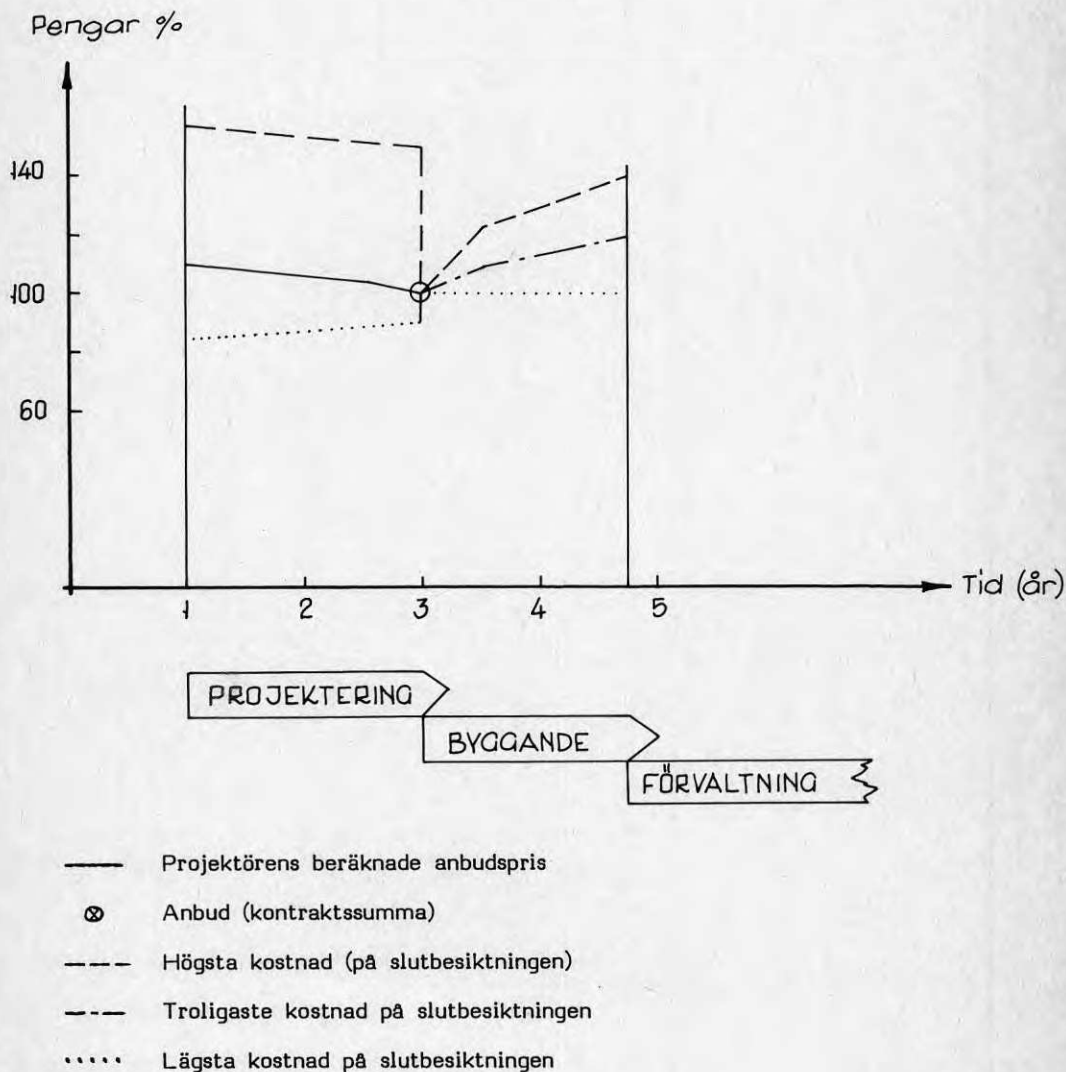


Fig. 15 Beställarens kalkylavvikelser.

**Om den totala kostnadsavvikelsen (exkl prisutveckling) mellan förkalkyl och verkligt utfall (slutkostnad efter godkänd slutbesiktning) jämförs så gäller;**

#### 6.1.4.1 När anbud antagits

Lägsta möjliga slutkostnad (a) = anbudssumman. (När prissatt mängdförteckning används kan summan teoretiskt bli lägre).

Trolig slutkostnad (m) = anbud + medelkostnadsavvikelsen (20%) under byggskedet.

Variationen kring den troliga ökningen med 20% kan beskrivas på samma enkla sätt som variationen i lämnade anbud. Medelvärdet av skillnaderna mellan avvikelsen hos varje objekt och den troliga avvikelsen (20%) blir:

summan,  $(35,2-20) + (23,8-20) + (20-8) + (20-15) + (26,4-20) + (20-5,3) + (23-20) + (20-16,1) + (21,3-20) = 65,3$ , dividerad med antalet objekt (9 st), vilket ger

$$\frac{65,3}{9} = 8 \%$$

Detta innebär att kostnadsavvikelser under byggtiden blir  $20 \pm 8\%$  eller ungefär  $20 \pm 10\%$ .

**När anbud föreligger bör slutkostnaden anges som antaget anbud  $\times 1,2 \pm 10\%$ .**

(Vid analys av kalkylsäkerhet enligt kap. 7 kan som lägsta värde anbudet och högsta värde anbud  $\times 1,4$  väljas. Dessa värden kan tillsammans med de ovan nämnda representeras av en rektangelfördelning).

#### 6.1.4.2 Innan anbud antagits

Om man följer tidsaxeln bakåt kan tre kalkylstadier urskiljas;

- I. **Bygghandlingskedet** där beställarens kalkylingenjör har tillgång till ritningar, beskrivningar och mängdförteckning som i detalj definierar den blivande anläggningen. I detta skede tillkommer osäkerheten om nivån på det lägsta anbudet. Denna osäkerhet är **minst** lika stor som entreprenörernas avvikelser mellan lämnade anbud, d v s i genomsnitt  $\pm 10\%$  och i sämsta fall 16%.
- II. **Arbetsplaneskedet** (motsvarar systemhandlingskedet) då mängdförteckning, teknisk beskrivning och administrativa föreskrifter ännu ej utarbetats. Konstbyggnader (broar, stödmurar m m) finns markerade med läge och yta.
- III. **Utredningskedet** som består av gatualternativens läge i plan och profil samt läget för konstbyggnader.

För att lättare kunna överblicka genomsnittlig kalkylprecision samt bedöma högsta och lägsta värde indelas lämpligen kalkylen i två steg;

Steg 1. Beräkning av nivån på lägsta anbud.

Steg 2. Beräkning av anläggningens troliga slutkostnad.

### Steg 1 = Nivån på lägsta anbud

I slutet av **bygghandlingsskedet** består kalkylunderlaget av fullständiga bygghandlingar, d v s mängdförteckning, beskrivningar och ritningar. Beställarens kalkylingenjör kan i bästa fall uppnå den kalkylsäkerhet som entreprenörerna har under anbudskalkylering, d v s **kalkylavvikelsen är i genomsnitt + 10%**. Detta bör tolkas så att det är lika troligt att anbudet hamnar på kalkylerat värde, kalkylerat värde + 10% eller kalkylerat värde - 10%. (Lägsta värde blir ca - 15% och högsta värde ca + 20%, vilket ger rektangulärfördelning om kalkylsäkerheten bedöms enligt modellen i kap. 7).

Kalkylerna i **tidiga projekteringsskeden** utförs oftast som enkel yt/volymkalkyl. Ex. beräknas byggnadskostnaden som gatuarea multiplicerad med medelkostnad/m<sup>2</sup> och konstbyggnader som konstbyggnadens längd multiplicerad med medelpris per längdmeter konstbyggnad. Medelpriset utgörs av medelvärdet av nyligen byggda liknande objekt. Om man jämför en kalkyl som utförs i ett tidigt stadium (utrednings-) med verkligt anbudspris ligger den genomsnittliga avvikelsen på 20-30%.

**Följande medelavvikelser verkar rimliga:**

**Anbud = kalkylerat anbudspris ± 20% i arbetsplaneskedet**

**Anbud = kalkylerat anbudspris ± 30% i utredningsskedet.**

Kalkylprecisionen i utredningsskedet kan ökas med i genomsnitt 7% om kalkylen utförs med hjälp av regressionsanalys i stället för enkel area/volymmetod. (Enligt byggforskningsrapport R103:1980).

Även användning av den senare metoden bygger på de uppgifter om den blivande anläggningen som finns tillgängliga, nämligen areauppgifter för olika användarkategorier. Skillnad mot enkel area/volymkalkyl är att data från relativt många objekt fordras och att dator utnyttjas för att få fram formeln för kostnadsberäkningen.

Om regressionsanalys utnyttjas är det praktiskt att dela upp kalkylen i steg 1 och 2 enligt ovan, eftersom anbudssummor för liknande objekt är lätta att ta fram jämfört med verkliga slutkostnader för motsvarande objekt.

### Steg 2 = Anläggningens slutkostnad.

I **bygghandlingsskedet** blir den troliga slutkostnaden **kalkylerat anbudspris + 20%**. Uttalande om kalkylprecisionen blir svårare att göra, eftersom även osäkerhet i bedömningen av kostnadsavvikelser under byggtiden tillkommer. Variationen kring den troliga ökningen med 20% var ca ± 10%.

Dessutom tillkommer osäkerheten om nivån på lägsta godtagbara anbud, d v s genomsnittliga kalkylavvikelser på i storleksordningen + 10%.

Följande uttalande om slutkostnaden verkar rimligt:

**Slutkostnaden hamnar i intervallet (kalkylerat anbudspris x 1,2) ± 20%.**

(Absolut lägsta värde kan sättas som kalkylerat anbudspris x 0,85 och högsta värde som kalkylerat anbudspris x 1,6).

I **tidiga kalkylskeden (utredningsskedet)** tillkommer osäkerheter i storleksordningen 10-20% för de troliga värdena. **Benägenheten att bedöma slutkostnaden för lågt** slår igenom tydligare, varför **intervallet för slutkostnaden** kan tänkas få följande principiella utseende:



Nedre intervallgräns:

**Kalkylerat anbudspris  $\times 1,2 = b$**

Övre intervallgräns:

**Kalkylerat anbudspris  $\times 1,2 \times 1,35 = c$**

(Lägsta värde  $a = 0,85 \times b$  och högsta värde  $d = 1,50 \times c$ )

## 6.2 Redovisningssystemet

**Vilka egenskaper bör förvaltarens redovisningssystem ha för att underlätta framtida kalkylering enligt trestegsmodellen?**

Årskostnadsformeln  $A = K + U + D$  består av tre kalkylelement, nämligen:

$K$  = byggkostnaden fördelad som årlig kapitalkostnad

$U$  = årlig underhållskostnad (för aktiviteter med större tidsintervall än 1 år)

$D$  = årlig driftskostnad (aktiviteter som utförs varje år).

**För att erhålla godtagbara kalkyldata krävs att redovisningssystemet innehåller koder (aktiviteter), som är strikt sorterade i delsummer som ansluter till  $K$ ,  $U$  eller  $D$  aktivitet.**

**För att underlätta statistisk bearbetning och analys av utdata bör man vid framtagandet av aktivitetskoder sträva mot så statistiskt oberoende aktiviteter som möjligt.**

Två former av beroenden mellan aktiviteter kan urskiljas (ur Bestämning av kalkylsäkerhet, referensnr 1).

1. Ändring av resursåtgång för aktivitet A påverkar direkt resursåtgång för aktivitet B eller vice versa.
2. Resursåtgången för aktivitet A och B påverkas av en eller ett antal gemensamma faktorer i samma (olika) riktning.

Fördelarna med oberoende koder är stora ur analysynpunkt. Bl a ges möjligheter att vaska fram vilka aktiviteter som bidrar med den relativt sett största osäkerheten. Detta i sin tur ger möjlighet att koncentrera sin uppföljning och analys på aktiviteter som kan ge det bästa ekonomiska utbytet.

Anm. Slutrapporten kommer att behandla denna fråga mer i detalj och även innehålla praktikexempel.

**Om varje kalkylelement i årskostnadsformeln studeras för sig gäller:**

### **Kalkylelement K:**

Årlig kapitalkostnad (byggkostnaden fördelad som årlig kostnad).

För uppföljning av byggkostnader finns idag väl fungerande kostnadsuppföljningssystem hos förvaltarna. Verkliga byggkostnader följs upp objektsvis med kostnaderna uppdelade i indexgrupper. Indexgrupperingen ger möjlighet att uppdatera priser

att gälla vid kalkyltillfället. Förutom verkliga kostnader per indexgrupp kan även beräknade och verkliga materialmängder utläsas för entreprenader som upphandlas med mängdförteckning.

Verklig uppmätt mängd per aktivitet är uppgifter som beställaren i de flesta fall kan lita på. Däremot måste å-pris per mängdförteckningspost av beställaren behandlas som enbart en prognos. Entreprenörens uppföljning av verkliga å-priser har karaktären av affärshemlighet och är omöjliga för beställaren att få tillgång till.

Beställarens projektörer bör därför nöja sig med att använda uppföljda mängd- och kostnadsdata på indexgrupp-nivå och inte mängdkods-nivå. När mängdförteckningens koder summerats till indexgrupper har "felen" i viss mån jämnat ut sig.

Avvikelseanalys per indexgrupp, ex. enligt detta kapitel, bör sedan genomföras, åtminstone för större objekt. Avvikelseanalysen ger bl a följande fördelar:

- Kalkylingenjörerna får ett brett register av priser, kostnadsavvikelser och mängdavvikelser.
- Projektörerna får en provkarta på de dyraste och vanligaste tabbarna vid projektering.

### Kalkylelement U och D

Kalkyldata finns hos de flesta förvaltare, men på en relativt grov nivå. Driftkostnadsutredningen har dock för kommunala anläggningar systematiskt samlat och bedömt kostnader på typvägsnivå.

Finansieringsvillkor, som exempelvis statsbidrag, kräver uppdelning i barmarks- respektive vinterunderhåll, men summering sker ofta för hela kommunens bestånd av anläggningar.

Eftersom utdelade statsbidrag på gator (enligt DKU:s bedömning) stämmer dåligt med de verkliga kostnaderna, ger denna sortering ett dåligt mått på förvaltningskostnadernas storlek. Dessutom förekommer överföringar för att täcka andra oväntade kostnader.

Kalkyldata som duger för årskostnadskalkylering kan idag endast fås genom att tekniker i förvaltningsfasen subjektivt bedömer troliga värden.

En annan svårighet vid tolkning av förvaltningsdata är att nivån (kvaliteten) hos drift- och underhållsåtgärderna oftast är oklar. Kommunalpolitiker, driftingenjörer, arbetsledare och maskinförare har under årens lopp tillsammans utvecklat en nivå som känns riktig ur deras synvinkel. På sikt måste penningbristen tvinga fram noggrant definierade nivåer, där valet av nivå (exempelvis hur snabbt olika gator ska snöröjas) avgörs av politikerna. Förvaltningsteknikernas uppgift blir sedan att utifrån givna nivåer beräkna resursåtgången för förvaltning och konsekvenser på anläggningarnas beständighet samt välja och utveckla en rationell produktionsteknik.

**I projektets slutrapport (utkommer 1984) kommer ett redovisningssystem, som gör det möjligt att kalkylera resursåtgång vid val av alternativa drift- och underhållsnivåer, att definieras.**

## 7. KALKYLSÄKERHET

### 7.1 Motiv

Prognoser för bygg-, drift- och underhållskostnader innehåller osäkerheter som exempelvis kan bero av metodval, marknadssituationen, projektörens kompetens, kalkylskicklighet o s v. Det förefaller förnuftigt att på något sätt **hantera** och **beskriva** denna osäkerhet genom att t ex försöka ange intervall inom vilka kostnaden med en viss given säkerhet hamnar. Om projektören t ex jämför alternativa lösningar och en kostnadskalkyler visar att det ena alternativet har lägre årskostnad än det andra, är följande fråga av intresse:

**Med vilken säkerhet kan kalkylingenjören påstå att det existerar en skillnad (positiv riktning) i årskostnad mellan alternativen?**

**Teori och begrepp** i detta kapitel är en direkt tillämpning av de rekommendationer som L Abrahamsson, CTH lämnat i sin rapport "Bestämning av kalkylsäkerhet med hjälp av riskanalys". (Referens nr 1).

**Utgångspunkt för beräkningarna är de kalkylunderlag som idag praktiskt går att få tag på.** Statistiskt underlag i konventionell mening (som slumpmässigt valda stickprov ur given population) finns ej att tillgå i byggsammanhang. Det som finns är personer med produktionstekniskt och/eller kalkylkunnande, som bedömer den troliga (m) kostnaden för en viss bygg- eller förvaltningsaktivitet. Dessutom kan lägsta (a) kostnad (optimistisk bedömning) och en högsta (b) kostnad anges. Dessa tre kalkylvärden bildar sedan utgångspunkt för att beräkna kalkylsäkerheten.

Formler och övriga beräkningssteg som utnyttjas vid beräkning av kalkylsäkerheten kan programmeras in på en vanlig räknedosa (av typ TI 58C eller likvärdig). Genom att mata in kalkylposternas troliga, lägsta och högsta värden kan sedan kalkylsäkerheten beräknas med några få tryckningar på räknedosans knappar.

I kapitel 6 analyseras kostnadsdata från 9 st utförda gatuobjekt för att visa rimliga värden för lägsta och högsta anläggningskostnad vid gatubyggandet.

### 7.2 Kalkylsäkerhet hos praktikfallen

Av pedagogiska skäl tas typfallen i ordningen; utformning av gångtunnel, bygga om för rationell drift och sist val av beläggningskvalitet.

#### 7.2.1 Utformning av gångtunnel

**Givet:** Två alternativ för fri höjd hos en gångtunnel (enl typex 2, kap 4).  
 Årskostnadsskillnaden =  $D - K = 2766$  kr/år till fördel för alt. B med  $h = 2,8$  m. (D och K avser skillnader i drift- respektive kapitalkostnad i detta fall).

**Problem:** Med vilken **säkerhet** kan kalkylingenjören påstå att det är en skillnad (till alt. B:s fördel) i årskostnad?

**Lösning:** Kalkylingenjören har (med stöd av produktionstekniker) bedömt lägsta, troligaste och högsta värde för;

### Skillnaden i driftkostnad (D)

D består av kalkylposterna snöröjning inkl efterarbeten ( $D_1$ ) + halkbekämpning ( $D_2$ ).

#### **Snöröjning $D_1$**

Troligt värde =  $44 \times 0,6 \times 132,8 = 3506$  kr

Lägsta värde =  $\frac{3506}{1,3} = 2697$  kr (nivåsänkning 30%)

Högsta värde =  $1,2 \times 3506 = 4207$  kr (osäkerhet i prisnivån)

#### **Halkbekämpning $D_2$**

Troligt värde =  $3 \times 0,6 \times 132,8 = 239$  kr

Lägsta värde =  $\frac{240}{1,1} = 217$  kr

Högsta värde =  $1,2 \times 240 = 287$  kr

$D_{TROLIG} = D_1 + D_2 = 3506 + 239 = 3745$  kr

### Skillnad i kapitalkostnad (K)

K består av kalkylposterna schaktning  $K_1$  och transport  $K_2$

**Schaktning  $K_1$**  (inkl lastning) Troligt värde (m) =  $1,2 \times 447 = 536$  kr

Lägsta värde (a) =  $5330 \times 0,0839 = 447$  kr

Högsta värde (b) =  $1,4 \times 448 = 626$  kr

**Transport  $K_2$**  m =  $1,2 \times 378 = 454$  kr

a =  $4510 \times 0,0839 = 378$  kr

b =  $1,5 \times 378 = 567$  kr

Transportlängd = 2 km i medeltal

$K_{TROLIG} = m_1 + m_2 = 536 + 454 = 990$  kr

**Om triangelfördelning antas representera valet** av indata (för kalkylposterna  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $K_1$  och  $K_2$ ) fås:

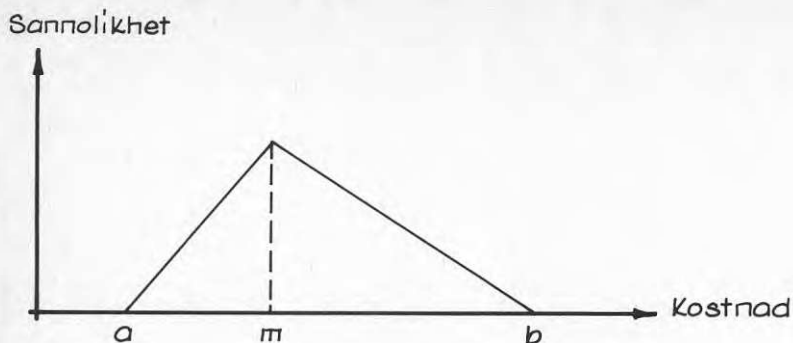


Fig. 16 Triangelfördelning.

Väntevärde  $E(x)$  och varians  $\sigma^2$  fås ur formlerna

$$E(x) = \frac{a+m+b}{3}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{18} [(b-a)^2 + (b-m)(a-m)]$$

#### D Driftkostnadens väntevärde och varians

Snöröjning

$$E(D_1) = \frac{2697+3506+4207}{3} = 3470$$

$$(\sigma_{D_1})^2 = \frac{1}{18} [(4207-2697)^2 + (4207-3506)(2697-3506)] = 95166$$

Halkbekämpning

$$E(D_2) = \frac{217 + 239 + 287}{3} = 248$$

$$(\sigma_{D_2})^2 = \frac{1}{18} [(287 - 217)^2 + (287 - 239)(217 - 239)] = 214$$

Om  $D_1$  och  $D_2$  kan anses oberoende gäller för (skillnaden i) driftkostnad  $D$

$$E(D) = E(D_1) + E(D_2) = 3470 + 248 = 3718 \text{ (att jämföras med } D=3745)$$

$$(\sigma_D)^2 = (\sigma_{D_1})^2 + (\sigma_{D_2})^2 = 95166 + 214 = 95380$$

#### K Kapitalkostnadens väntevärde och varians

Schaktning  $E(K_1) = \frac{447+536+626}{3} = 536$

$$(\sigma_{K_1})^2 = \frac{1}{18} [(626-447)^2 + (626-536)(447-536)] = 1335$$

Transport  $E(K_2) = \frac{378+452+567}{3} = 466$

$$(\sigma_{K2})^2 = \frac{1}{18} [(567-378)^2 + (567-454)(378-454)] = 1507$$

Om  $K_1$  och  $K_2$  kan anses oberoende gäller för differensen i **kapitalkostnad** ( $K$ )

$$E(K) = E(K_1) + E(K_2) = 536 + 466 = 1002$$

(Att jämföras med värdet som bedömts som troligt  $K = 990$ )

$$(\sigma_K)^2 = (\sigma_{K1})^2 + (\sigma_{K2})^2 = 1335 + 1507 = 2042$$

För årskostnadsdifferensen gäller  $\bar{A} = \text{Trolig driftkostnad} - \text{trolig kapitalkostnad} = 3745 - 990 = 2755 \text{ kr}$

**För att göra uttalande om kalkylsäkerheten betraktas spridningen kring differensen i väntevärden**

$$E = E(D) - E(K) = 3718 - 1002 = 2716 \text{ kr}$$

Om  $D$  och  $K$  anses oberoende så gäller för **årskostnadsdifferensens varians**

$$= \sigma_K^2 + \sigma_D^2 = 95380 + 2842 = 98222 \text{ och } \sigma = \sqrt{98222} \text{ ger } \sigma \approx 314 \text{ kr}$$

Årskostnadsdifferensen blir (enligt centrala gränsvärdessatsen) approximativt normalfördelad.

För normalfördelad årskostnadsdifferens gäller:

Frekvensfunktion

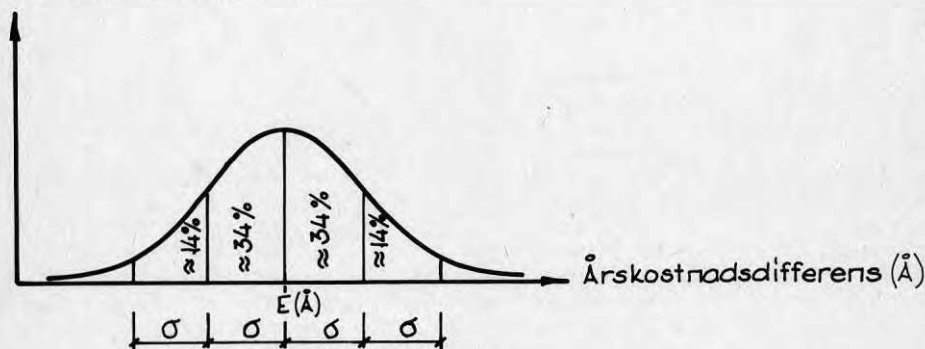


Fig. 17 Normalfördelad årskostnadsdifferens.

- \* Med 90% sannolikhet ligger årskostnadsdifferensen i intervallet  $E(\bar{A}) \pm 1,65 \times \sigma$ , vilket ger intervallet  $2716 \pm 1,65 \times 314$ , vilket ger att årskostnadsdifferensen blir lägst  $2716 - 1,65 \times 314 = 2198$  och högst  $= 3234 \text{ kr}$ .

Tolkning = sannolikheten för att en slumpmässigt vald årskostnadsdifferens (får tänka sig många liknande byggobjekt) skall ligga i detta intervall är 0,90 d v s 90%.



- \* Med 95% sannolikhet ligger årskostnadsdifferensen i intervallet  $E(\bar{A}) \pm 1,96 \times \sigma$ , som ger intervallet  $2716 \pm 1,96 \times 314$ , vilket ger att  
Årskostnadsdifferensen blir lägst = 2101 kr, högst = 3332 kr.
- \* Med 99% sannolikhet ligger årskostnadsdifferensen i intervallet  $E \pm 2,58 \times \sigma = 2716 + 2,58 \times 314$ , vilket ger  
Lägsta årskostnadsdifferens = 1906 kr  
Högsta årskostnadsdifferens = 3526 kr

**D v s om kalkylingenjören vill vara till 99% säker så ligger skillnaden i årskostnad lägst på 1900 kr/år till fördel för alt. med högre fri höjd.**

**Innan slutsatserna kan dras måste förutsättningarna för de statistiska räknereglerna kollas.**

### Diskussion om kalkylens förutsättningar

Tre **förutsättningar** ligger till grund för de statistiska resonemang som används:

1. Kalkylposterna antages vara approximativt **oberoende** (åtminstone ej hårt beroende) av varandra.
2. Kalkylresultatet (årskostnadsskillnaden) antages vara **approximativt normalfördelat** (enligt centrala gränsvärdesatsen).
3. Bedömningen av troligt, lägsta och högsta värde stämmer någorlunda.

1. Kalkylposternas **oberoende/beroende testas** genom att besvara följande frågor: (Enligt rapport 8 från CTH, se referensnr 1).

**Fråga A:** Om kalkylingenjören fick veta en given kalkylposts (P1:s) värde skulle han/hon då revidera sin bedömning av den andra kalkylpostens (P2:s) intervall? (Bedömning av lägsta och högsta värde).

**Fråga B:** Skulle kalkylingenjören, om denne fick reda på värdet av en viss faktor av potentiell betydelse för kalkylposternas värde, revidera sina tidigare gjorda bedömningar om bådas värde? (Lägsta och högsta värde för kalkylposterna).

Om **svaren på båda frågorna är nej** bör han betrakta **kalkylposternas värden** (i vissa mängdintervall) som **oberoende**.

Om **svaret på någon fråga är ja** kan **antingen** beroendet **kvantifieras enligt rapport 8, eller** kalkylposternas värden **buntas ihop** innan variansen beräknas. Enligt det senare förfaringssättet reduceras antalet kalkylposter tills man anser sig ha oberoende kalkylposter. (Observera att en ny bedömning av lägsta, troligt och högsta värde för den buntade kalkylposten är nödvändig).

Det är en fördel vid tolkning av resultatet om antalet oberoende kalkylposter är så många som möjligt, ty ju fler oberoende kalkylposter som hanteras, desto bättre blir approximation av normalfördelningen (enligt centrala gränsvärdesatsen) får man.

**Är valda kalkylposter i detta exempel oberoende i frågorna A och B:s mening?**

Driftkostnads- och kapitalkostnadsdifferenserna är oberoende av varandra i den meningen att om kalkylingenjören får veta det sanna värdet på K, så påverkas ej hans bedömning av det intervall som D ligger i. Gemensamma faktorer som påverkar både D och K finns ej, eftersom alla aktiviteter som leder till kapital-kostnader är slutförda när D-aktiviteterna tar sin början.

D:s kalkylposter snöröjning respektive halkbekämpning beror av olika klimatfaktorer och halkbekämpningen har inte någon nämnvärd marginal för nivå-sänkning. Däremot finns ett positivt beroende (om snöröjning ökar så ökar även halkbekämpning) med avseende på kostnadsutvecklingen (per hyrestimme) för arbetsmaskiner. Om intervallen ökas något kan kalkylposterna behandlas som oberoende.

Kalkylposterna urgrävning respektive transport, som ingår i K, kan också anses oberoende i frågorna A och B:s nej-mening. Urgrävningen och transporten ingår i ett större markarbete med en total schaktmängd på ca 30.000 m<sup>3</sup>(vf).

Kostnadsutvecklingen under byggtiden påverkar både schaktnings- och transport-kostnadens verkliga värde, men tidsperspektivet är så kort att bedömningen av intervallen kvarstår, trots att kalkylingenjören får reda på storleken på kostnads-utvecklingen.

## 2. Hur stämmer antagandet om att kalkylresultatet i form av årskostnads-differens är approximativt normalfördelat?

Om kalkylposterna inte är alltför få och ej alltför hårt beroende, så kan kalkylresultatet (i form av årskostnadsskillnad) visas vara approximativt normal-fördelat. (Följer av centrala gränsvärdessatsen).

Antalet kalkylposter som ingår i kalkylen är 4 (D och K bidrar med två vardera).

**Duger denna ungefärliga normalfördelning (som bygger på linjärkombinationer med fyra variabler) för att uttala sig med 90, 95 eller t o m 99%-ig sannolikhet för årskostnadsskillnaden?**

För att besvara frågan krävs en statistisk analys i varje särskilt fall. I analysen studeras skillnader mellan exakt normalfördelning och den aktuella approximationen. Simulering <sup>(1)</sup> med datorstöd är en praktiskt framkomlig metod för att se om man är på "säkra sidan" eller ej i sin kalkyl. För detta exempel gav simulering som resultat att kalkylresultatet ligger på "säkra sidan" för det 95- och 99-procentiga intervallet.

## 3. Hur inverkar felbedömningar av triangelfördelningens ingångsvärden på kalkylresultatet?

Utgångsvärdena för triangelfördelning (som består av lägsta = a, troligt = m och högsta = b värde) bedöms subjektivt. Det troliga värdet bygger oftast på medel-värden från verkligheten, medan lägsta och högsta värde bedöms intuitivt. Risken för att framförallt lägsta och högsta värde bedöms fel finns naturligtvis. Även inverkan av denna felkälla kan studeras genom att ansätta varierande lägsta och högsta värden samt köra simulering med datorstöd.

I projektets fortsättning ingår bl a att i samarbete med statistiker ta fram några för anläggningsbyggande typiska kalkylfall, som sedan bearbetas med simulering. Avsikten är att visa under vilka förutsättningar kalkylingenjören ligger på den "säkra sidan" i sina kalkyler.

(1) Datorsimuleringen redovisas ej i denna rapport.

Om möjlighet till noggrann analys av förutsättning 2 och 3 ej föreligger kan följande förenklade arbetssätt användas:

- \* Använd **ej högre kalkylsäkerhet än 90%** för uttalanden om intervall vid sammanfattningen och rekommendation av alternativval.
- \* **Utöka detta 90%-iga intervall** så att det omfattar  $E(A) \pm 2 \cdot \sigma$ .  
(Detta motsvarar intervalllängden för en 95%-ig kalkylsäkerhet)<sup>(2)</sup>

I själva verket beräknas då ett 95%-igt intervall (som är bredare än det 90%-iga), men man nöjer sig med att uttala sig med 90%-ig säkerhet för att i någon mån rensa ut inverkan av oklara kalkylförutsättningar.

Intervalllängderna ökas med minst 20%. För jämna 10-tal fås följande **utökade intervall**:

KALKYLSÄKERHET %	INTERVALLLÄNGD
90	$E(A) + 2 \cdot \sigma$
80	$E(A) + 1,6 \cdot \sigma$
70	$E(A) + 1,2 \cdot \sigma$
60	$E(A) + 1,0 \cdot \sigma$
50	$E(A) + 0,8 \cdot \sigma$

**Slutsatser:** För detta typexempel fås då uttalandet: Med 90% sannolikhet kommer årskostnadsskillnaden mellan alternativen med  $h = 2,8$  m och  $h = 2,5$  m att ligga mellan 2050 kr och 3300 kr.

Eftersom kalkylresultatet antas vara ungefär normalfördelat råder även symmetri, så att ca 5% (av många tänkta årskostnadsdifferenser) kommer att hamna under 2050 kr och 5% över 3300 kr. Av intresse i denna valsituation är i första hand när årskostnadsdifferenserna blir låga och går mot noll (alternativen likvärdiga). Slutsatsen enligt ovan kan därför omformuleras som;

**Med 95% sannolikhet blir årskostnadsdifferensen större än 2050 kr till fördel för alternativet med fri höjd 2,8 m.**

- (2) **Anmärkning.** Slutsatserna om att intervalllängderna bör ökas p g a viss osäkerhet i kalkylförutsättningarna är författarens egna och kan sålunda ej härledas till referenslitteraturen.

### 7.2.2 Bygga om eller ej?

**Problem:** Är det årskostnadsekonomi, och i så fall med vilken säkerhet, att bygga om en gångtunnel med fri höjd = 2,5 m till fri höjd = 2,8 m.

#### Underlag för beräkning av varians och väntevärde

Komponent	Enhet	Mängd	A-pris	Radsumma (kr)
Rivning av				
- beläggning	m <sup>2</sup>	395	6,9	2740
- bärlager	m <sup>3</sup>	49	10	490
- förstärkn.lager	m <sup>3</sup>	121	10	1210
Schakt (30 cm)	m <sup>3</sup>	730	21	15330
Ombyggnad i nedfarter (inkl slitlager)	m <sup>2</sup>	315	42	13230
Ombyggnad tunnel - styrofoam, sandavjämning, bärlager, koner	m <sup>2</sup>	80		8000
SUMMA OMBYGGNAD (1 st tunnel)				41000
AVGÅR: Nytt slitlager som ändå utföres som underhåll vart 10-15:e år				9000
SUMMA INVESTERING =				32000

Innan lägsta och högsta värden bedömes, bör kalkylingenjören ta fram de kalkylposter som är

- oberoende (i den meningen att de ger Nej-svar på frågorna A och B enligt sid. )
- klart beroende
- tveksamma fall (om de är oberoende eller ej).

Som första ansats buntas beroende kalkylposter ihop.

I detta exempel är rivningsaktiviteterna beroende sinsemellan och ombyggnad i nedfarter (exkl beläggning) beroende av schakten (bl a eftersom material återanvänds i den nya överbyggnaden).

Oberoende kalkylposter blir

Arbete	Lägsta		Trolig		Högsta	
	Invest kostn	K	Invest kostn	K	Invest kostn	K
- Rivning	4440	394	5330	473	6660	591
- Urgrävning o ombyggnad av nedfarter	19560	1739	23470	2084	27385	2432
- Tunnelgolv exkl slitlager	8000	710	9600	852	11200	995
SUMMA	32000		38400	3409		

(där  $K = \text{Annuitetsfaktor} \times \text{investeringskostnad}$  där annfaktor = 0,0888).

Om triangelfördelning antas gälla blir väntevärden och varianser:

$$\text{Rivning } E(K1) = \frac{394+473+591}{3} = 486$$

$$\sigma_1^2 = \frac{1}{18} [(591-394)^2 + (591-473)(394-473)] = 1638$$

**Urgrävning och ombyggnad av nedfarter**

$$E(K2) = \frac{1737+2084+2432}{3} = 2084$$

$$\sigma_2^2 = \frac{1}{18} [(2432-1737)^2 + (2432-2084)(1737-2084)] = 20126$$

$$\text{Tunnelgolv } E(K3) = \frac{710+850+995}{3} = 852$$

$$\sigma_3^2 = \frac{1}{18} [(995-710)^2 + (995-852)(710-852)] = 3384$$

Om kalkylposterna är oberoende gäller

$$E(K) = E(K1) + E(K2) + E(K3) = 486 + 2084 + 852 = 3422$$

$$\sigma_K^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 = 1638 + 20126 + 3384 = 25148$$

Väntevärde och varians för skillnaden i driftkostnad blev enligt föregående exempel.

$$E(D) = 3718 \text{ kr}$$

$$\sigma_D = 95389$$



För **Årskostnadsdifferensen** gäller

$$E(A) = E(D) - E(K) = 3718 - 3422 = 296 \text{ kr} \quad 300 \text{ kr}$$

$$\sigma^2 = D^2 + K^2 = 95389 + 24852 = 120241$$

$$\sigma = 347 \text{ kr}$$

Årskostnadsdifferensen antages vara approximativt normalfördelad (enligt centrala gränsvärdessatsen).

**Med 68% sannolikhet ligger Årskostnadsdifferensen i intervallet**

$$E(A) \pm \sigma \text{ ger}$$

$$296 \pm 347 \text{ kr, d v s lägst } - 51 \text{ kr och högst } 643 \text{ kr.}$$

Intervallet innehåller årskostnadsdifferenser som är mindre än 0, d v s alternativet **att ej bygga om kan ha gynnsammare Årskostnad.**

Med 60% sannolikhet ligger årskostnaden i intervallet

$$E(A) \pm 0,84 \cdot \sigma = 296 \pm 0,84 \cdot 347, \text{ vilket ger lägst } 296 - 292 = 4 \text{ kr} \approx 0 \text{ och högst } 588 \text{ kr.}$$

För att **rensa ut osäkerheter i kalkylens förutsättningar** utökas det 60%-iga intervallet (enl sid ) att omfatta  $E(A) \pm 1,0 \cdot \sigma$ , vilket ger lägst - 51 kr.

Med 50% sannolikhet och utökat intervall fås  $296 \pm 0,80 \cdot 347$ , d v s lägst + 18 kr och högst 574 kr.

Eftersom normalfördelningen är symmetrisk gäller att 25% av årskostnadsdifferenserna ligger under 18 kr och 25% ligger över 574 kr. Av största intresse för kalkylingenjören är andelen differenser som är lägre än 18 kr. **Symmetrin ger att sannolikheten för Årskostnadsdifferenser som är större än 18 kr ( 0 kr) blir 79%.**

**Beräkningarna enligt ovan kan utföras på ett mer direkt sätt för att besvara frågorna:**

1. Vad är sannolikheten för att årskostnadsdifferensen blir större än 0?
2. Vad är sannolikheten för att tjäna mer än 500 kr per år i årskostnad om gångtunneln byggs om?

**Direkt beräkningsmetod:**

1. Bestäm  $P(x > 0)$ , där  $x$  = årskostnadsdifferensen när väntevärdet  $E(A) = 296$  och standardavvikelsen  $\sigma = 347$  är givna.

Lösning: Genom att transformera till den s k standardiserade normalfördelningen kan  $P(x \leq 0)$  fås ur tabell;  $P(x > 0) = 1 - P(x \leq 0)$ .

Transformation  $z = \frac{x - E(A)}{\sigma}$ , vilket ger

$$z = \frac{0 - 296}{347} = -0,85 \text{ för } P(x < 0)$$



Positiva x-värden finns tabellerade i de flesta läroböcker i statistik. (Ex. tabell II i Praktisk statistik del 1 av Lars Nilsson - Ingenjörsläroverket).

För att bestämma arean för negativa x-värden utnyttjas relationen

$$\Phi(-x) = 1 - \Phi(x)$$

$$\Phi(-0,85) = 1 - \Phi(0,85), \text{ där tabell ger } \Phi(0,85) = 0,8023, \text{ vilket ger}$$

$$\Phi(-0,85) = 0,2, \text{ d v s } P(x > 0) = 1 - 0,2 = 0,8$$

Med 80% säkerhet gäller att årskostnadsdifferensen blir positiv. För att kompensera för de osäkra kalkylförutsättningarna kan sannolikheten minskas med 5% (motsvarar ungefär den ökning i intervallängd som tillämpats på sid 51).

**D v s med 80-5 = 75% säkerhet gäller att årskostnadsdifferensen blir positiv.**

2. Bestäm  $P(x > 500)$

Lösning:  $P(x > 500) = 1 - P(x < 500)$

Transformation ger

$$\Phi\left(\frac{500-296}{347}\right) = \Phi(0,59)$$

Tabell ger  $\Phi(0,59) = 0,7224 = P(x \leq 500)$

$$P(x > 500) = 1 - 0,72 = 0,28$$

**D v s sannolikheten för att tjäna mer än 500 kr per år genom att bygga om gångtunneln är ca 25%.** (Sänk till närmaste 5-tal för att i någon mån rensa oklara kalkylförutsättningar). **Således är det ej säkert årskostnadsekonomi att bygga om tunneln.**

### 7.2.3 Val av beläggningskvalitet

Givet: Valet står mellan kvaliteterna 80 HAB 16 T och 60 MAB 12.

Problem: Med vilken **säkerhet** kan kalkylingenjören påstå att det är en skillnad (till 60 MAB 12 alternativets fördel) i årskostnad?

Tre erfarna beläggnings tekniker (från Vägverket, entreprenör och Luleå kommun) gjorde ovetande av varandra följande bedömningar av troligaste (m), lägsta (a) och högsta (b) underhållsintervall i år:

BEDÖMARE	BELÄGGNINGSKVALITET					
	60 MAB 12			80 HAB 16		
	a	m	b	a	m	b
A	7	9	12	10	12	14
B	7	9	11	8	12	15
C	6	6,5	7	7	8,5	10
Medelvärde			<b>8,2</b>			<b>10,8</b>

Lägsta respektive högsta värde blir således

a = 6 år, b = 12 år för 60 MAB och a = 7 år, b = 15 år för 80 HAB.

### Skillnad i underhållskostnad

För att förenkla beräkningarna studeras endast **en underhållscykel**.

KVALITET	KOSTNAD/GÅNG (kr)	INTERVALL (år)
80 HAB	220,500	10,8
60 MAB	175,350	8,2

Den årliga underhållskostnaden (U)

$U = \text{Annuitetsfaktor (en cykel)} \times \text{Diskonteringsfaktor} \times \text{Underhållsinvestering (per gång)}$ .

Antag att brukstid, ränta, annuitetsfaktor och underhållskostnaden är exakta (d v s bidrar ej med osäkerhet i kalkylen).

Diskonteringsfaktorn =  $(1,0R)^{-n}$  (där  $n = \text{intervalllängd}$  och  $R = \text{räntan} = 0,08$ ) kan approximeras med polynomet  $0,819 - 0,0356 \cdot n$  (Approximationen har beräknats med Taylors formel kring punkten  $n = 10$ ).

Om triangelfördelning antas representera valet av intervalllängd fås för

#### Alternativ A (80 HAB):

$$\text{Väntevärde } E(I) = \frac{a+m+b}{3} = \frac{7+10,8+15}{3} = 10,9 \text{ år}$$

$$\text{Varians } \sigma_I^2 = \frac{1}{18} [(15-7)^2 + (15-10,8)(7-10,8)] = 2,67$$

Väntevärde för underhållskostnaden blir

$$E(U_A) = \text{Annuitetsfaktor för underhållsbyggnaden} \times \text{Diskonteringsfaktor} \times \text{Underhållsinvestering} = 0,1417 \times (0,819 - 0,0356 \cdot 10,9) \cdot 220,500 = 13,465$$

$$\sigma_A^2 = 2,67 \times (220,500 \cdot 0,1417 \cdot 0,0356)^2 = 3,303,453 \text{ (kkkr)}^2$$

#### Alternativ B (60 MAB)

$$\text{Underhållsintervalllets väntevärde } E(I) = \frac{6+8,2+12}{3} = 8,7 \text{ år}$$

$$\text{Varians } \sigma^2 = \frac{1}{18} [(12-6)^2 + (12-8,2)(6-8,2)] = 1,54 \text{ (år)}^2$$

Underhållskostnadens väntevärde och varians

$$E(U_B) = 0,1710(0,819 - 0,0356 \cdot 8,7) \cdot 175,350 = 15,271 \text{ kkr}$$

$$\sigma_B^2 = (0,1710 \cdot 0,0356 \cdot 175,350)^2 \cdot 1,54 = 1,754,787 \text{ (kkkr)}^2$$

Om  $U_A$  och  $U_B$  är oberoende gäller för differensen  $U_B - U_A$

$$\text{Väntevärde } E(U) = U_B - U_A = 15,271 - 13,466 = 1,805 \text{ kr}$$

$$\sigma^2 = \sigma_B^2 + \sigma_A^2 = 3,303,453 + 1,754,787 = 5,058,240$$

$$= 2.249 \text{ kr}$$

**Skillnaden i årlig kapitalkostnad** är 3,962 kr till alt. 60 MAB:s fördel.

Om lägsta värde  $a = 0,8 \cdot 3,962 = 3,170$  och högsta värde  $b = 1,4 \cdot 3,962 = 5,547$  väljs, fås

$$\text{Väntevärde } E(K) = \frac{3,170 + 3,962 + 5,547}{3} = 4,226$$

$$\text{Varians } \sigma_K^2 = \frac{1}{18} [(5,547 - 3,170)^2 + (5,547 - 3,962)(3,170 - 3,962)] = 244,156$$

**Skillnaden i årskostnad**

$$\begin{aligned} \text{Väntevärde } E(A) &= E(K) - E(U) \\ E(A) &= 4,226 - 1,805 = 2,421 \text{ kr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Varians } \sigma^2 &= \sigma_K^2 + \sigma_U^2 = 244,156 + 5,058,240 = 5,302,396 \\ \sigma &= 2,303 \end{aligned}$$

Årskostnadsskillnaden är approximativt normalfördelad (enl centrala gränsvärdes-satsen).

**Vad är sannolikheten för att alternativet med 60 MAB blir billigare?**

Bestäm  $P(x > 0)$  när  $E(A) = 2,421$  kr och  $\sigma = 2,303$  är givna.

Lösning: Transformation till den standardiserade normalfördelningen ger för  $P(x < 0)$

$$P\left(\frac{x - E(A)}{\sigma}\right) = P\left(\frac{0 - 2,421}{2,303}\right) = P(-1,5)$$

Räknedosa med statistikmodul eller tabell (ex. i Praktisk statistik, del 1 av Lars Nilsson) ger

$$\Phi(1,05) = 0,85 \text{ för } P(\leq \Phi) \text{ fås}$$

$$\Phi(-1,1) = 1 - 0,85$$

$$P(x > 0) = 1 - P(\leq 0) = 1 - (1 - 0,85) = 0,85$$

För att hamna på "säkra sidan" i sitt kalkyluttalande bör erhållen sannolikhet minskas med minst 5%, vilket ger  $85 - 5 = 80$ ,  $\approx 80\%$ .

Med 80% säkerhet kan kalkylingenjören påstå att alternativet med 60 MAB är billigare än alternativet med 80 HAB. (Obs. att hänsyn till spridning i underhållskostnaden ej är medtagen).

**En annan fråga av intresse är hur stort det ekonomiska utbytet kan förväntas bli.**

Vad är sannolikheten för att tjäna 1000 kr/år genom att välja alternativet 60 MAB?

Bestäm  $P(x > 1000)$

Lösning:  $P(x > 1000) = 1 - P(x \leq 1000)$

För  $P(x \leq 1000)$  fås

$$\Phi\left(\frac{1000 - 2,421}{2303}\right) = \Phi(-0,62)$$

$$\Phi(0,62) = 0,73$$

För  $P(x \leq 0)$  fås

$$\Phi(-0,33) = 1 - 0,63 = 0,37$$

$$P(x > 1000) = 1 - (1 - 0,37) = 0,37$$

Avdrag p g a osäkerhet i kalkylförutsättningar med minst 5% ger  $63 - 5 = 58 \approx 65\%$

**Sannolikheten för att tjäna mer än 1000 kr per år genom att välja alternativet 60 MAB är ca 65%.**

**Redan med dessa gynnsammare kalkylförutsättningar (bl a har underhållskostnaden antagits vara exakt), så kan man ej med godtagbar säkerhet hävda att det är god årskostnadsekonomi att välja alternativet med 60 MAB.**

Exemplet visar att bedömningen av underhållsintervallens längd bidrar med så stor varians att ett val mellan dessa två kvaliteter ej kan göras med godtagbar säkerhet.

**Slutsatser:** För att få ett godtagbart beslutsunderlag vid val mellan olika beläggningskvaliteter måste precisionen vid bedömning av underhållsintervallen ökas. Detta kan ske bl a genom ökad forskning om beläggnings beständighet.

**Sammanfattning:** Kalkylsäkerhetsberäkningarna för de tre typexemplen visar att enbart årskostnadskalkyl inte räcker till för att visa vilket alternativ som bör väljas. Årskostnadskalkylen bör kompletteras med känslighetsanalys och en analys av kalkylsäkerheten.

## 8. LITTERATURREFERENSER OCH BEGREPP

### 8.1 Litteraturförteckning

1. Abrahamsson, L.  
Bestämning av kalkylsäkerhet med hjälp av riskanalys (Rapport från CTH 1978).
2. Bergerdahl, G.  
Brister i offentliga myndigheters kalkylmetodik vid samhällsinvesteringar (Göteborgs universitet 1980).
3. Forsaeus, G., Matsson, B.  
Årskostnadskalkylering i projekteringsarbetet (BFR-rapport R104:1980).
4. Grennberg, T., Jüriado, J.  
Produktionssystem anläggningar (BFR-rapport R107:1980).
5. Hahr, A.  
Kalkylering och kostnadsstyrning (BFR-rapport R103:1980)
6. Jangholm, S.  
Drift och underhåll av vägar inom tätorter (BFR-rapport G37:1980)
7. Johansson, S.  
Störningar i entreprenadarbeten (BFR 781359-2)
8. Mohlin, F.  
Ansvar för kalkyler (BFR-rapport R78:1977)
9. Sjögren, L.  
Byggherrens kostnadsstyrning (Handelshögskolan 1978)
10. Planeringsavdelningen vid Statens Vägverk.  
Angelägenhetsbedömning av väg- och gatubyggnadsobjekt.
11. Statens Vägverk.  
Beläggningsinventering 1977.
12. Svenska Kommunförbundets arbetsgrupp.  
Driftkostnadsutredningen.
13. Statens Vägverk och Svenska Kommunförbundet.  
Riktlinjer för gators geometriska utformning (RIGU 73).

## 8.2 Begrepp

**Anbud** = Den kostnad som entreprenör åtager sig att bygga anläggningen för.

**A-pris** = Pris - exkl mervärdesskatt - för enhet av arbete. Priset avser samtliga kostnader inkl kostnader för räntor, administration samt vinst.

**Brist** = Del som fattas.

**Byggekostnad** = Anläggningens kostnad inkl ändrings- och tilläggsarbeten under byggskedet.

**Brukstid** = Tidsperiod som avser bedömd användningstid.

**Entreprenadsumma** = Kontraktssumma med tillägg och avdrag exkl mervärdesskatt.

**Drift** = Aktiviteter som utförs varje år på (eller i) del av anläggning. Drift tillför ej ekonomiska värden som varar mer än 1 år till anläggningen.

(För Statens Vägverk är drift ett begrepp som innehåller även underhållsåtgärder. Vägverkets servicebegrepp motsvarar ungefär drift i rapportens mening).

**Fel** = När del av entreprenaden inte utförts enligt kontraktet.

**Förfrågningsunderlag** = De handlingar i form av ritningar, beskrivningar, mängdförteckningar m m, som definierar den blivande anläggningen.

**Index** = Benämning på statistiska relationstal, som bl a beskriver kostnadsutvecklingen för byggmaterial (byggnadskostnadsindex).

**Kapitalkostnad** = Årlig kostnad för förräntning och avskrivning av det i anläggningen nedlagda kapitalet.

**Kalkylsäkerhet** = Med kalkylsäkerhet för en kalkylpost eller en summa (eller differens) av kalkylposter förstås ett intervall inom vilket kalkylpostens eller summans (eller differensens) värde med en given grad av sannolikhet hamnar.

**Kontraktssumma** = I avtalet (kontraktet) mellan entreprenör och beställare angiven ersättning exkl mervärdesskatt.

**Prisutveckling** = Inflation och reell kostnadsutveckling. (Kostnadsändringar som ej beror på fel och brister i kontraktet).

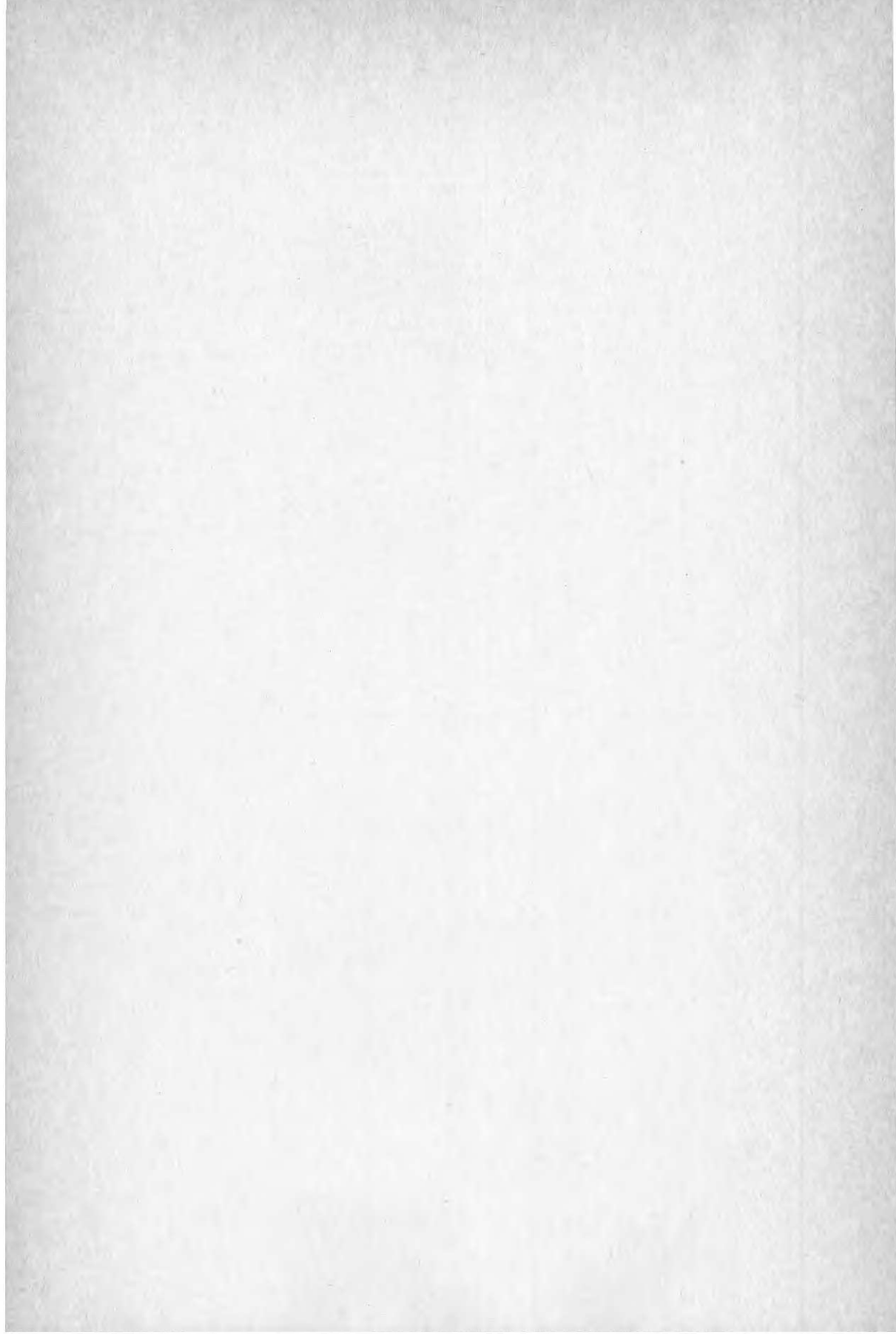
**Projektering** = Aktiviteter som syftar till att definiera den blivande anläggningen tekniskt, ekonomiskt och juridiskt.

**Årskostnad** = Summan av kapitalkostnader, underhållskostnader och driftkostnader.

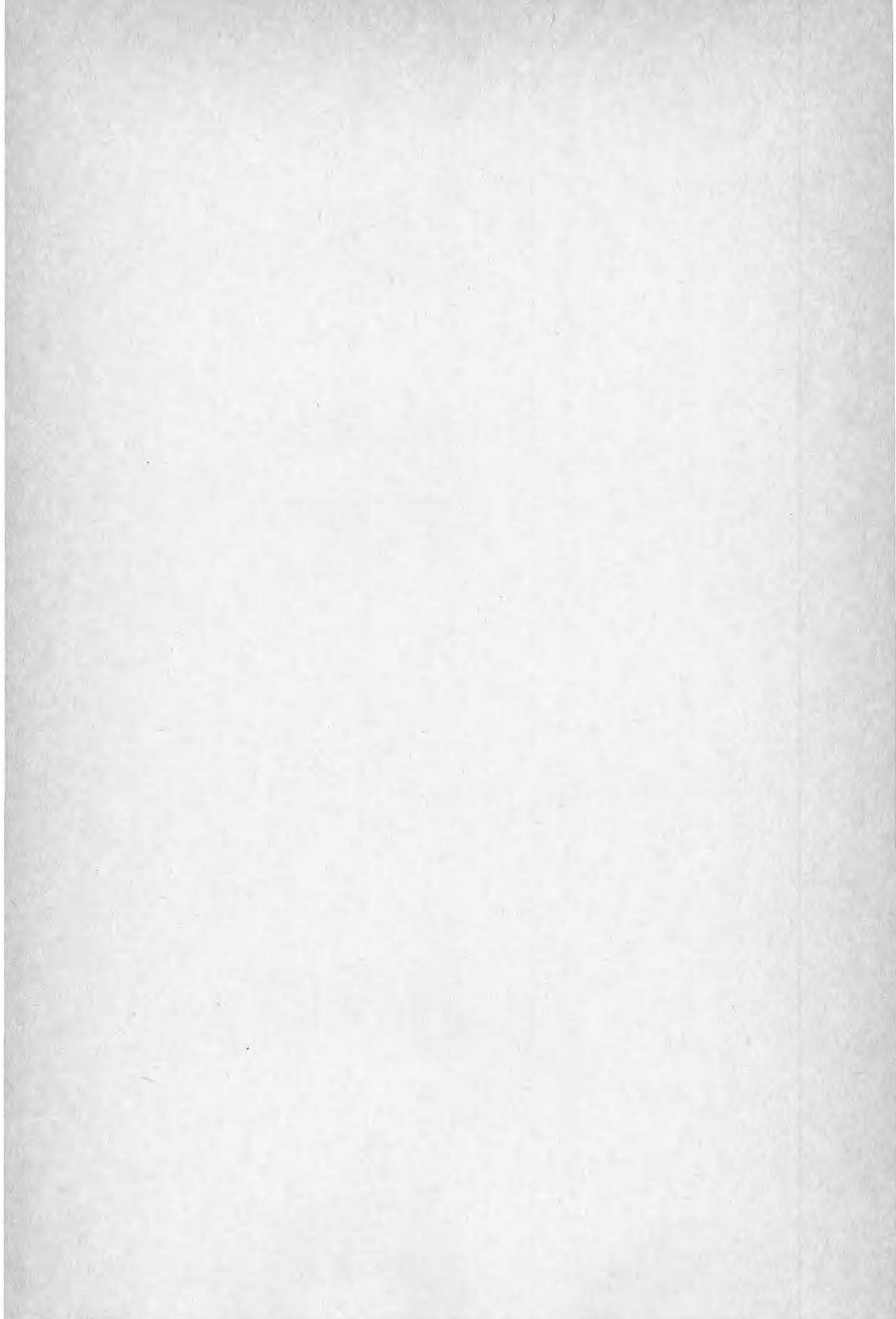
**Underhåll** = Aktiviteter som utförs på den färdiga anläggningen och har en varaktighet på flera år.



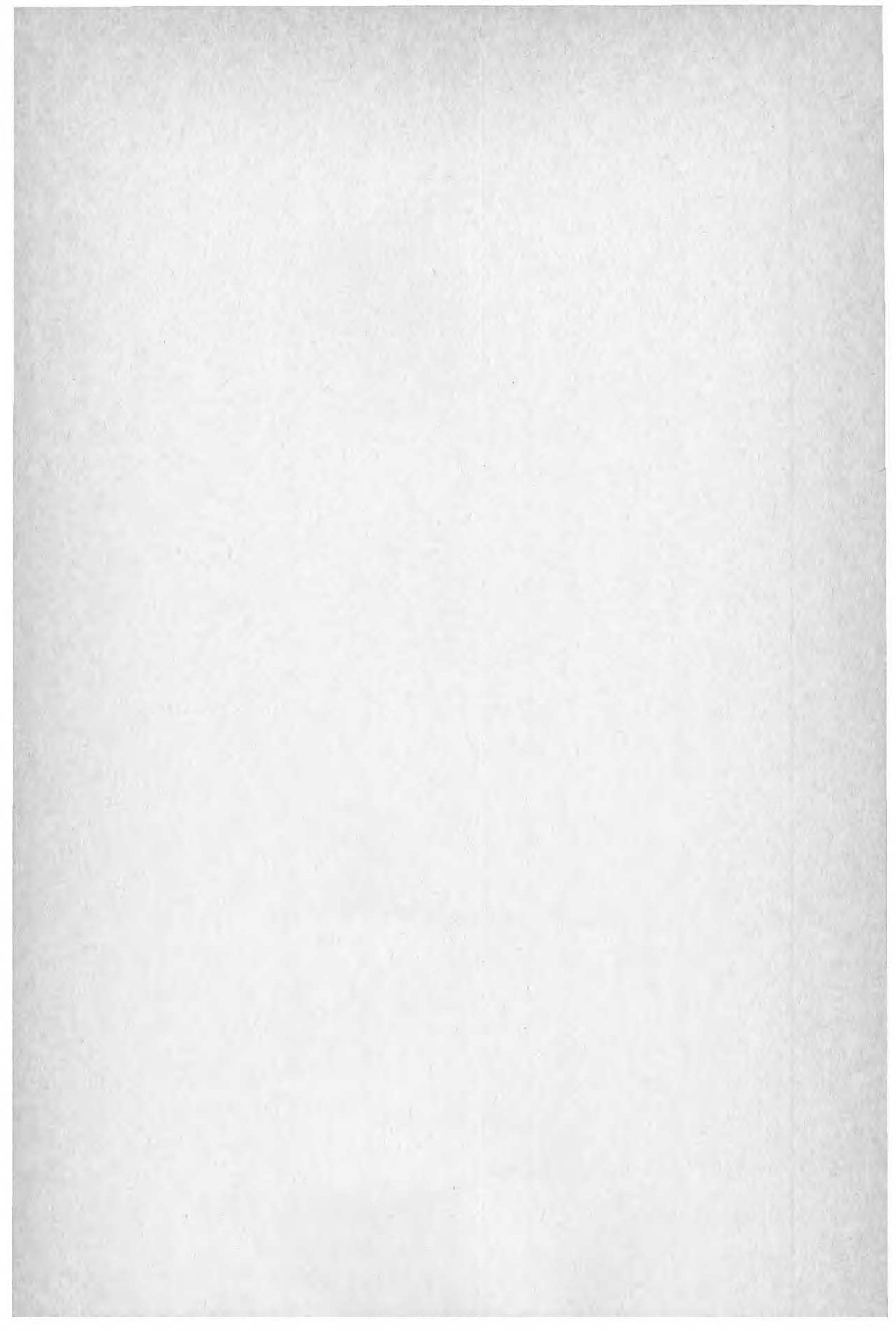
















**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
790158-7 från statens råd för byggnadsforskning  
till Insyitutionen för Anläggningsteknik,  
Högskolan i Luleå**

**R25:1983**

**ISBN 91-540-3898-7  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr:6700725**

**Abonnemangsgrupp:  
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirkapris: 25 kr exkl moms**