



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.



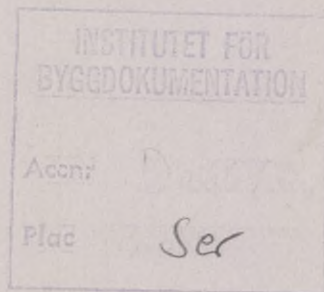
**Rapport**

**R20:1992**

# **Underhållsstrategier för kommunal infrastruktur**

**En studie i planering, prissättning  
och finansiering**

**Göran Bergendahl  
Henrik Jönsson**



**Byggeforskningsrådet**

R20:1992

UNDERHÅLLSTRATEGIER FÖR KOMMUNAL INFRASTRUKTUR

En studie i planering, prissättning och finansiering

Göran Bergendahl  
Henrik Jönsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 880230-9 från Bygghörsningsrådet samt anslag från Svenska Kommunförbundet till Göteborgs universitet, Företagsekonomiska institutionen, Göteborg.

## REFERAT

Projektets huvudsyfte har varit att utveckla planeringsmetoder och operativa riktlinjer för att skapa effektivitet i underhåll och drift av de kommunala försörjningssystemen. För att garantera en direkt praktisk relevans för projektet har detta utvecklingsarbete knutits till lämpliga objekt för fallstudier. De teoretiska modeller och ansatser som utnyttjas och utvecklas utgår därmed från konkreta problemställningar.

Resultaten från projektet är både principiella och tillämpbara. Vi menar att de principiella bidragen rör val mellan reinvestering, förebyggande underhåll och löpande underhåll. Vi visar att en ökad användning av förebyggande underhåll på ett effektivt sätt kan senarelägga reinvesteringsbehoven. Därmed sparar man räntor och undviker likviditetskriser på ett sätt som är samhällsekonomiskt effektivt.

De tillämpade bidragen rör användningen av datoriserade beräkningsmetoder för att i en kommun kunna finna bästa tidpunkter och volymer för underhållsinsatser - såväl förebyggande som löpande. Metoderna är inte mer avancerade än att de kan brukas på en persondator.

Föreliggande rapport utgör ett koncentrat av de forskningsresultat som erhållits inom ramen för projektet *Planering, prissättning och finansiering rörande underhåll av kommunal infrastruktur - Huvudstudie* (projektnummer 880230-9) som bedrivits vid avdelningen för kostnads- och intäktsanalys, institutionen för företagsekonomi, Handelshögskolan vid Göteborgs Universitet under perioden juli 1988 - juni 1991. Projektet har finansierats till lika delar av Byggforskningsrådet och Svenska Kommunförbundet.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R20:1992

ISBN 91-540-5456-7  
Byggforskningsrådet, Stockholm

**gotab** 95813, Stockholm 1992

## INNEHÅLL

0. Sammanfattning .....	4
1. Val av underhållsstrategier .....	4
1.1 Motiv .....	4
1.2 Investering, reinvestering, löpande underhåll och förebyggande underhåll .....	6
1.3 Mål och restriktioner för effektiva underhållsstrategier .....	12
1.4 Underhållsuppgifterna - en sammanfattande formulering .....	16
2. Grundläggande underhållsstrategier .....	18
2.1 Strategi 2a: Enbart löpande underhåll fram till en reinvestering .....	19
2.2 Strategi 2b: En väl avvägd insats av förebyggande underhåll och reinvesteringar .....	22
3. Ekonomi och strategi avseende vatten och avlopp .....	26
3.1 Utvecklingstendenser hos svenska kommuner .....	26
3.2 Strategier i olika kommuner .....	27
3.3 Tillstånd hos vatten- och avloppsledningar .....	28
3.4 Ekonomiska möjligheter och svårigheter att välja olika strategier .....	28
3.5 Finansiering och prissättning .....	30
4. Ekonomi och strategi avseende vägar och gator .....	33
4.1 Utvecklingstendenser hos svenska kommuner .....	33
4.2 Strategier i olika kommuner .....	33
4.3 Tillstånd hos vägar och gator .....	33
4.4 Ekonomiska möjligheter och svårigheter att välja olika strategier .....	34
4.5 Finansiering och prissättning .....	35
5. Underhållsplanering i litteraturen .....	37
5.1 Metoder för det fundamentala planeringsproblemet .....	37
5.1.1 VA-sektorn .....	37
5.1.2 Gatu- och vägsektorn .....	38
5.2 Metoder för det kompletterande styrproblemet .....	40
5.2.1 VA-sektorn .....	40
5.2.2 Gatu- och vägsektorn .....	41
6. Metodutveckling inom VA-sektorn .....	42
6.1 Objektanalys .....	44
6.2 Resursallokeringsanalys: Samordnad underhållsplanering för alla objekt .....	45
6.3 Metoder för objektanalys .....	47
6.4 Metoder för resursallokeringsanalys .....	48
6.5 Sammanfattningar av interna projektrapporter .....	49
7. Metodutveckling inom vägsektorn .....	54
7.1 Objektanalys och resursallokeringsanalys .....	54
7.2 Sammanfattningar av interna projektrapporter .....	56
8. Slutsatser och rekommendationer .....	58
9. Referenser .....	60
Appendix A: Interna projektrapporter .....	64



## FÖRORD

Projektet *Planering, prissättning och finansiering rörande underhåll av kommunal infrastruktur - Huvudstudie* har bedrivits vid avdelningen för kostnads- och intäktsanalys, institutionen för företagsekonomi, Handelshögskolan vid Göteborgs Universitet under perioden juli 1988 - juni 1991. Projektet har finansierats till lika delar av Byggforskningsrådet och Svenska Kommunförbundet.

Projektets huvudsyfte är utveckling av planeringsmetoder och operativa riktlinjer för att skapa effektivitet i underhåll, investering och drift av de kommunala försörjningssystemen. Utifrån detta huvudsyfte indelas projektet i tre delområden, nämligen:

- 1) metoder för att härleda vilken omfattning, vilka principer och vilka åtgärder avseende underhåll och investering som i ekonomisk mening är optimala på lång sikt,
- 2) ansvars- och organisationsformer som bäst befrämjar effektivitet i underhåll och drift,
- 3) prissättningsprinciper för effektivitet i resursanvändningen.

Arbetet har genomförts i samarbete med en styrgrupp med följande sammansättning:

Jane Cederqvist	Svenska Kommunförbundet, Stockholm
Jan Söderström	Svenska Kommunförbundet, Stockholm
Yvonne Hander	Svenska Kommunförbundet, Stockholm
Jan Adamsson	VA-verket, Göteborg
Alf Matsson	Gatukontoret, Västerås
Mats Bohman	Stockholms universitet

Författarna vill härmed uttrycka sin tacksamhet för den hjälp och kritik som erhållits, dels från styrgruppen, dels från många andra som bidragit med tid för diskussioner och skriftliga underlag som har varit mycket värdefullt för projektets genomförande.

Handelshögskolan vid Göteborgs universitet i oktober 1991

Göran Bergendahl

Henrik Jönsson

Företagsekonomiska institutionen, avd. för kostnads- & intäktsanalys  
Handelshögskolan vid Göteborgs Universitet  
Vasagatan 3  
411 24 GÖTEBORG  
Tel: 031-631495  
Fax: 031-119378

## 0. SAMMANFATTNING

Föreliggande rapport utgör ett koncentrat av de forskningsresultat som erhållits inom ramen för projektet *Planering, prissättning och finansiering rörande underhåll av kommunal infrastruktur - Huvudstudie* (projektnummer 880230-9) som bedrivits vid avdelningen för kostnads- och intäktsanalys, institutionen för företagsekonomi, Handelshögskolan vid Göteborgs Universitet under perioden juli 1988 - juni 1991. Projektet har finansierats till lika delar av Byggforskningsrådet och Svenska Kommunförbundet.

Projektets huvudsyfte har varit att utveckla planeringsmetoder och operativa riktlinjer för att skapa effektivitet i underhåll och drift av de kommunala försörjningssystemen. För att garantera en direkt praktisk relevans för projektet har detta utvecklingsarbete knutits till lämpliga objekt för fallstudier. De teoretiska modeller och ansatser som utnyttjas och utvecklas utgår därmed från konkreta problemställningar.

Resultaten från projektet är både principiella och tillämpbara. Vi menar att de principiella bidragen rör val mellan reinvestering, förebyggande underhåll och löpande underhåll. Vi visar att en ökad användning av förebyggande underhåll på ett effektivt sätt kan senarelägga reinvesteringsbehoven. Därmed sparar man räntor och undviker likviditetskriser på ett sätt som är samhällsekonomiskt effektivt.

De tillämpade bidragen rör användningen av datoriserade beräkningsmetoder för att i en kommun kunna finna bästa tidpunkter och volymer för underhållsinsatser - såväl förebyggande som löpande. Metoderna är inte mer avancerade än att de kan brukas på en persondator.

## 1. VAL AV UNDERHÅLLSSTRATEGIER

### 1.1 Motiv

Om man för Sveriges kommuner beräknar det kapital man årligen investerar i infrastruktur i förhållande till motsvarande återanskaffningsvärden då finner man minst tre gånger så hög investeringsaktivitet för telekommunikation, energi och avfallshantering som för trafik, vatten och avlopp (se tabell 1.1). Man frågar sig då om dessa sistnämnda anläggningar förslits i en mindre grad än vad gäller tele och energi. Eller utgör de kanske ett försummat område för upprustning?

Samtidigt har man i en rad sammanhang betonat att vi underhåller vår infrastruktur i en alldeles för låg utsträckning. Flera är de som hyst farhågor för att vi under nittioalet kommer få ett "berg" av underhållsbehov, ett berg som förorsakats av 50- och 60-talens stora utbyggnadssatsningar.



Område	Återanskaffningsvärde		Investering 1987		Årskostnad		Investering i förhål-
	Totalt Distributionsnät		Totalt Distribu-		Drift	Kapital	lande till återanskaff-
			tionsnät				ningsvärde %
Vatten	100	70	1.2	0.9	1.4	1.3	1.2
Avlopp	150	100	1.8	1.3	2.0	2.0	1.2
Avfall	5	1	0.2	0.1	4.0	0.5	4.0
Energi	90	65	3.4	2.6	20.0	8.0	3.8
Tele	75	48	3.5	1.5	5.0	6.0	4.7
Trafik	150	150	1.6	1.6	2.8	-	1.1

Tabell 1.1 Några ekonomiska dimensioner på infrastrukturområden inom Sveriges städer och tätorter 1987. Enhet: Miljarder kr. Källa: Svedinger [1989, s 13].

Efterkrigstidens snabba bostadsexpansion i kombination med kraftigt höjda standardkrav vad gällde köksutrustning, belysning, bad- och tvättmöjligheter, avlopp- och sophantering, kommunikation m m kom alltså att ställa stora krav på en kraftigt ökad kommunal service.

Den plötsliga och snabba uppbyggnaden av den kommunala infrastrukturen fick två väsentliga effekter:

a) Snabbhet kom att premieras på bekostnad av kvalitet. "Miljonprogrammet" för lägenheter innebar ofta att vägar och VA-nät måste byggas så snabbt, att vägbeläggning och ledningsnät fick ske med illa uttestat material. Kvaliteten i 50- och 60-talens infrastruktur kom därför ibland att bli underlägsen den som tidigare använts. När vi idag talar om investering i kommunal infrastruktur är det därför ofta en fråga om att ersätta investeringarna under dessa "förlorade" år.

b) Koncentrationen av investeringar till dessa båda sekel har inneburit, att spridningen i åldrandet är liten och utbytesbehoven uppstår nästan samtidigt i många av våra kommuner. Detta medför stora finansieringsproblem. Att tänja på utbytet genom ett fortsatt underhåll kan därför betyda att man lättar på finansieringsbehoven för dagen.

Det är stora värden som nu står på spel inom områden som vatten, avlopp och trafik. Med ett sammanlagt återanskaffningsvärde på c:a 400 miljarder kronor representerar dessa tre sektorer en betydande del av vår gemensamma förmögenhet. Det är därför logiskt att man regelbundet analyserar vilka åtgärder som bör vidtas för att inte denna förmögenhetsmassa skall reduceras.

Det är mot en sådan bakgrund man skall se denna rapport. Den avser att visa

- de ekonomiska motiv som ligger bakom en ökad satsning på underhåll av kommunal infrastruktur,
- de principer som måste vara vägledande vad gäller prioritering mellan alternativa satsningar, samt
- de rekommendationer som en ekonomisk analys av kommunal infrastruktur förväntas ge avseende underhållsinsatser.

Vi har utformat denna rapport i övertygelsen om att kommunala förvaltningar bör minst en gång om året redovisa en plan för sin underhållsverksamhet. Vad gäller vägar och gator, vatten och avlopp så bör en sådan plan specificera vilken form av underhåll som är aktuell samt var och när åtgärderna bör sättas in. Vi menar att den kommunala infrastrukturen har

en sådan omfattning och påverkar samhället i övrigt i en sådan grad, att det är ytterligt nödvändigt att det föreligger väl utarbetade planer för verksamheten. Politiska motiv och budgetmässiga krav kan ta överhanden i många sammanhang. Detta rättfärdiggör däremot inte att man försummar en ekonomisk planering och prioritering. Det är just i sådana situationer som planer behövs. Politiker och tjänstemän måste bli medvetna om de konsekvenser som blir följden av att de då styrs av andra mål än ekonomisk välfärd.

Vi rekommenderar här att varje kommun tar fram en underhållsplan i två steg<sup>1</sup> genom att:

**Steg 1:** Genomföra objektanalyser för alla delar av infrastrukturanläggningen som är i behov av underhållsinsatser den närmaste framtiden. I objektanalyserna görs då för varje objekt en prioritering mellan olika ambitioner av insatser och tidpunkter för underhållet.

**Steg 2:** Göra en resursallokeringsanalys för att åstadkomma en prioritering av hur begränsade resurser skall fördelas mellan olika objekt. Denna görs lämpligen år för år över ett antal kommande budgetår.

Med objekt i steg 1 avser vi en sådan del av en infrastrukturanläggning, som har ett likartat "tillstånd" samt en "rimlig" geografisk utbredning. Att ett objekt ska ha lika tillstånd motiveras av att det inte är intressant att använda samma underhållsstrategi för olikartade delar. Ett exempel kan vara en 5 km lång vägsträcka, där de första två kilometrarna är i mycket dåligt skick och de senare tre så gott som nya. Då bör dessa två respektive tre kilometer delas upp i två objekt, där man eventuellt avvaktar med en objektanalys för de senare tre kilometrarna till dess att ett behov uppstår.

Avsikten med resursallokeringsanalysen i steg 2 är att avgöra hur de knappa resurserna (främst i form av kapital) skall fördelas mellan de olika objekten. Den centrala frågeställningen i detta sammanhang kan vara att avgöra om man bör göra större underhållsinsatser för ett relativt litet antal objekt, eller mindre underhållsinsatser för relativt många objekt. I analysen beräknas då det samhällsekonomiska överskottet (underskottet) för de olika alternativen och de bästa alternativen bör i princip ingå i åtgärdsplanen. Dock är det möjligt att ansvariga beslutsfattare ändå väljer ett alternativ som ej ger ett största överskott. Skälen kan vara att aspekter som inte kunnat vägas in i den formella analysen (exempelvis miljökonsekvenser) bör få en avgörande inverkan.

Innan vi presenterar principer för dessa båda planeringssteg kommer vi nu att ange vilka typer av åtgärder som kan vara aktuella i denna planering.

## **1.2 Investering, reinvestering, löpande underhåll och förebyggande underhåll.**

Under en lång följd av år har statliga och kommunala tjänstemän ägnat mycken tid åt att beräkna lönsamheten av att göra satsningar inom energisektorn. Kan detta vara ett motiv till att energisektorn inom kommuner är mer investeringsintensiv än VA-sektorn eller trafiksektorn? Om så inte är fallet, vilka är de frågor som måste besvaras för att öka satsningarna på vatten och avlopp, vägar och gator?

Kommunal infrastruktur innebär oftast anläggningar i form av nätverk. Typiska exempel är vattendistribution, avloppssystem, vägnät, gasledning etc. För att kunna mäta lönsamhet av och prioritera mellan olika underhållsinsatser är det nödvändigt att dela upp sådana nätverk i delar eller "objekt" (t ex distrikt eller gator). Beräkningar av lönsamhet bör då kunna användas för att svara på följande frågeställningar:

---

<sup>1</sup> Dessa två planeringssteg diskuteras utförligare i kapitel 6 för VA-sektorn och i kapitel 7 för gatu- och vägsektorn.

1. Vilka objekt behöver underhållas under ett givet år?
2. Vilken typ av underhåll skall då användas?
3. Hur skall man prioritera mellan olika underhållsinsatser?

Det är uppenbart att dessa tre frågor inte kan besvaras var för sig, utan det blir nödvändigt att hantera dem samtidigt. För frågorna 1 och 2 bör svaren bero på vilka olika former av grundläggande strategier man satsar på. Exempel på sådana strategier är<sup>2</sup>:

#### **1. Enbart akutunderhåll.**

Genomför endast underhåll när det är nödvändigt. Detta är en ytterligt passiv strategi som garanterar att man inte gör underhåll i onödan. Den kan enbart försvaras när underhållsbehovet är litet, när konsekvenserna är små, när tidiga insatser är dyrbara och när de dessutom ger föga effekter på livslängden.

#### **2. Värst först**

Byt ut eller reparera olika delar av ett system i ordning efter hur stora skadorna är. Detta är ett klassiskt sätt, som går ut på att med hjälp av avancerad teknik identifiera objekt (främst vägar och broar) där det råder risk för ras och andra betydande skador. Denna strategi kan dock bli mycket kostsam när skador ej står i proportion till nyttjandet.

#### **3. Utnyttja samordningsfördelar**

Genomför renoveringar eller utbyten i samband med löpande/förebyggande underhåll. Hit hör exempelvis möjligheten att reparera vattenledningar i samband med gaturparationer/vägbeläggningar.

#### **4. Reguljära underhållsintervall**

Utför underhåll och utbyten med regelbundna intervall. Detta underlättar planeringen, men kan betyda att man åtgärdar anläggningar som klarar sig flera år till.

#### **5. Renovera riskutsatta anläggningar**

Identifiera och renovera anläggningar där riskerna för framtida akutinsatser bedöms som stora. Problemen ligger häri att utföra relevanta prognoser för framtida skador.

#### **6. Förebygg framtida underhåll**

Satsa på åtgärder som reducerar framtida behov av löpande underhåll. Detta program innefattar löpande inspektion och utvärdering. Det bygger på en föreställning om att man kan dämpa de nedbrytande krafter (åldersprocesser) som verkar på en anläggning och därmed förlänga dess livslängd.

#### **7. Reducera utnyttjandet och därmed underhållet.**

Styr sättet att använda en anläggning bort från sådana processer som kan ge upphov till framtida underhållsbehov. Samtidigt betyder detta också att man satsar på högre investeringskostnader om dessa leder till lägre underhållskostnader.

Det är ytterst ovanligt att en förvaltning helt koncentrerar sig på en av dessa strategier även om "Enbart akutunderhåll" och "Värst först" tycks ha många förespråkare. Om man tar en ekonomisk utgångspunkt så framstår "Förebygg framtida underhåll" som ett betydelsefullt alternativ. En sådan strategi måste baseras på föreställningen om att man skall kunna göra en effektiv avvägning mellan förebyggande underhåll (FU) och löpande underhåll (LU). Samtidigt har den rönt ett stort intresse genom att ett förebyggande underhåll inte enbart leder till lägre löpande underhåll utan också till en senareläggning av reinvesteringarna (RI).

---

<sup>2</sup>Jmf Hatry & Steinthal, [1984, s 6]

Det råder ett starkt beroende mellan de investeringsinsatser som görs och det följande behovet av underhållsåtgärder. En effektiv underhållsplanering bygger i själva verket på att man kan skatta sambanden mellan reinvestering och underhåll. Men en sådan underhållsplanering får inte bara beakta kommunernas olika kostnader. För att borga för samhällsekonomisk effektivitet måste man också ställa kommunernas kostnadsbesparingar mot de förändringar i service som användarna får.

De direkta sambanden mellan förebyggande underhåll, löpande underhåll och reinvestering är svåra att fastställa. Ett sätt att göra dessa samband operationella är att definiera och mäta en anläggnings "tillstånd". Såväl en reinvestering som ett förebyggande underhåll förutsätts då öka tillståndsnivåerna och därmed också reducera det löpande underhållet. Tillståndsbegreppet får ofta två funktioner - en för producenterna och en för konsumenterna. För producenterna ger tillståndsbestämningen en *signal* rörande val av insatser vad gäller investering och underhåll. För konsumenterna ger tillståndet en indikation på *nyttan* av den kommunala servicen.

Uppgiften att fastlägga och prognosticera en anläggnings tillstånd kommer därmed att bli central för planering och prioritering av underhållsåtgärder. Ett sätt att utföra detta på är att poängsätta anläggningens skick eller kondition. En sådan poängsättning ("rating" eller "ranking") är vanligt förekommande i många länder<sup>3</sup>. En hög poäng antas ge låga användarkostnader och små kostnader för löpande underhåll. En svårighet med detta förfarande är att bedömningen kan bli mycket subjektiv och därmed leda till att man satsar på åtgärder som inte är lönsamma.

Ett alternativ till en poängsättning är att söka ange tillstånd i form av kapacitet, dvs den maximala produktionsvolymen per tidsenhet. Detta betyder t ex att man för en väg eller gata mäter antal fordon per timme och för en vattenledning antal kubikmeter per timme. När kapaciteten då sjunker på grund av förslitningar i vägbanor eller avlagringar i ledningar så sjunker samtidigt standarden

*Planering och prioritering av underhållsåtgärder innebär alltså att bestämma bästa resursinsatser och bästa användarnytta genom att utgå från en anläggnings tillstånd. För detta behöver vi använda oss av ett antal definitioner:*

**Tillstånd =**

ett mått i en eller flera dimensioner av en anläggnings skick (kondition). Tillståndet redovisar hur pass bra en anläggning är på en skala mellan "i skick som ny" och "helt utsliten och oanvändbar". En sådan skala definieras för varje typ av tillstånd som är av betydelse. För användning i ekonomiska kalkyler är det lämpligt att ange tillståndsnivåer med hjälp av numeriska värden.

**Kapacitet =**

den maximala "produktionsvolymen" per tidsenhet. Kapaciteten är ett mått på en anläggnings tillstånd.

**Standard =**

en miniminivå vad gäller tillstånd eller kapacitet. Att en anläggnings tillstånd eller kapacitet har en viss standard betyder då att den uppfyller uppställda minimikrav t ex vad gäller genomströmning, kvalitet och säkerhet.

---

3 Se t.ex. Hatry & Steintal [1984, s 16-30]

**Nyinvestering (NI) =**

ett upprättande av en ny anläggning (eller tillbyggnad till en existerande anläggning). Nyinvesteringen medför att kapacitet skapas för produktion av servicetjänster och/eller teknisk försörjning.

**Reinvestering (RI) =**

ett sådant utbyte av en existerande anläggning (eller en del av en anläggning), som antingen innebär att *tillståndet höjs* utöver de nivåer som skapades vid investeringstillfället, eller att *kostnaden för nyttjande och löpande underhåll sänks* (i reala termer) under den nivå som gällde vid investeringstillfället.

**Förebyggande underhåll (FU) =**

en sådan förbättring av en existerande anläggning (eller en del av en anläggning), som innebär att tillståndsnivåerna som mest kan höjas upp till de nivåer som rådde vid investeringstillfället.

**Förnyelse =**

ett förebyggande underhåll av en sådan omfattning att tillståndsnivåerna återställs till de som gällde vid investeringstillfället.

**Löpande underhåll (LU) =**

relativt små underhållsinsatser avseende delar av en existerande anläggning vilka fördröjer och/eller förhindrar en fortlöpande försämring av anläggningens tillstånd. Det löpande underhållet förutsätts endast leda till marginella tillståndsförbättringar och insatserna sker regelbundet under anläggningens livslängd.

**Akutunderhåll (AU) =**

akutunderhåll avser relativt små underhållsinsatser avseende en begränsad del av en existerande anläggning som tillser att den del av anläggningen som slutat fungera repareras så att driften kan återupptas. Som framgår av namnet måste åtgärden vidtagas snarast möjligt efter ett funktionsbortfall. Denna underhållsform innefattas vanligen i begreppet löpande underhåll.

**Tillsyn =**

regelbundet återkommande inspektioner och justeringar av anläggningsdelar för att säkerställa anläggningens tillstånd och därmed dess funktion. Denna verksamhet ingår såväl i löpande som i förebyggande underhåll.

**Drift =**

aktiviteter som utförs vid normal användning av en anläggning och regelbundet förekommande åtgärder som krävs för upprätthållande av anläggningens funktion. Drift, som inte leder till att anläggningens tillstånd förbättras, kan sägas ingå i löpande underhåll.

Gränserna mellan de olika investerings-, underhålls- och driftsåtgärder som definieras ovan är givetvis inte knivskarpa. Investeringar indelas vid behov i nyinvesteringar respektive reinvesteringar (se ovan). I praktiken förekommer också många olika beteckningar för samma typ av åtgärder, såväl inom en viss sektor som mellan olika sektorer. Som exempel kan nämnas att det på VA-sidan förekommer att allt det som ovan betecknas *löpande underhåll*, *akutunderhåll*, *drift* eller *tillsyn* inordnas under begreppet *drift*. En definition av underhållsinsatser med exemplifiering redovisas i VAV [1990].

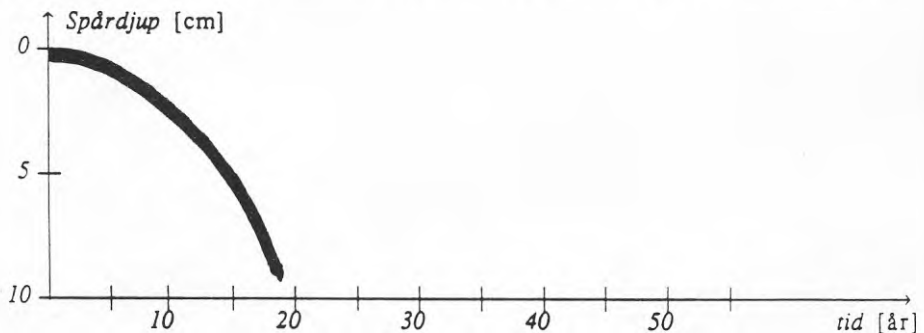
I föreliggande skrift avser vi med *löpande underhåll* allt som inryms under begreppen *löpande underhåll*, *akutunderhåll* och *tillsyn*.

Att göra tillståndsbedömningar och tillståndsprognoser för olika delar av en infrastrukturanläggning är av vital betydelse för bestämning av effektiva underhållsåtgärder. Detta betonas i de delrapporter som producerats inom ramen för projektet. Förklaringen till

detta är dels att det "sunt förnuftsmässigt" är naturligt att vidta åtgärder när tillståndet har blivit så dåligt att minimikraven och/eller ekonomin tvingar fram dem, dels att tillståndsutvecklingen avseende vissa anläggningar kan ske i mycket olika takt. Detta innebär att användning av ett programmerat underhåll med förutbestämda tidsintervall kan leda till underhållsinsatser vid felaktiga tidpunkter. En viss anläggning, detta gäller speciellt VA-ledningar, kan under vissa förutsättningar fungera väl i decennier (ofta i 50-100 år), medan motsvarande anläggning under lite annorlunda förutsättningar kan uppvisa problem redan efter 10-20 år.

Den "normala" tillståndsutvecklingen för en anläggning illustreras i figur 1.1, i exemplet spårdjupet på en väg där initialnivån är tillståndet vid investeringstillfället. Denna dimension av tillståndet är normalt inte den enda utan tillståndet uttrycks också i antal sprickor per ytenhet, förekomst av longitudinella "vågor" m m. Erfarenheten och forskningen visar att spårdjupet inledningsvis ökar relativt sakta för att med tiden successivt öka allt snabbare som en följd av vägens försämrade förmåga att återta sin form efter nedtryckningar vid allt större antal ackumulerade antal axelpassager av standardtyp. Istället för att ha tiden på den horisontella axeln skulle man kunna använda det ackumulerade antalet axelpassager (vid en konstant trafikvolym över tiden blir de dock utbytbara).

I andra fall kan det tvärtom vara så att tillståndet håller sig konstant (eller praktiskt taget konstant) under en lång tid. Detta gäller t ex för väl fungerande VA-ledningar där det kan dröja en lång tid innan förändringar i tillståndsnivåerna kan observeras. Under vissa omständigheter måste denna uppfattning omprövas, t ex då det visat sig att en ledning är angripen av korrosion och börjat läcka. För att vara beredd på sådana fall av "språng" i tillståndsnivån är det motiverat att vid planeringen utföra stokastiska beräkningar som avbildar denna typ av slumpmässiga beteenden. Detta gäller speciellt första gången man upptäcker plötsliga läckage. Därmed kan då misstänkta ledningsavschnitt specialbehandlas.



Figur 1.1 En normal tillståndsutveckling, exempelvis spårdjup på en körbana.

Dessa förlopp bygger således på att varje anläggning följer en viss takt av nedbrytning och därvid en regelbunden accelererad form av tillståndssänkning. Om sådana förlopp är generellt förekommande så betyder de att en observerad nedbrytning av en anläggnings tillstånd är ett tecken på att denna nedbrytning kommer att fortsätta i en accelererad takt. Paterson [1987, s 64] har visat detta i form av en accelererad försämring ("roughness") av en vägs ytlager (slitlager). Simmonds [1990] rapporterar en studie av vattenledningar,

som helt stöder tesen att varje ovserverad tillståndsförsämring är en klar indikation på att tillståndet kommer att försämrats i en accelererad takt.<sup>4</sup>

För att klarare illustrera några av de begrepp som vi pekat på, använder vi nu ett exempel från underhåll av vägar och gator.

**Nyinvestering:**

Den investering som görs när en väg byggs.

**Reinvestering:**

En ombyggnad av vägen så att kapaciteten utökas (från ex vis två till fyra körbanor) eller läggning av en ny toppbeläggning av en högre kvalitet (t ex från en standardbeläggning med 50 kg asfalt per m<sup>2</sup> till en kvalitetsbeläggning med 80 kg asfalt per m<sup>2</sup>).

**Förebyggande underhåll:**

Att göra en hjulspårslagning som förlänger beläggningens livslängd några år eller att lägga en ny toppbeläggning av samma kvalitet som ursprungsbeläggningen, eventuellt med en komplettering av bärighetslagret före toppbeläggningen.

**Löpande underhåll:**

Reparation av lokala skador genom "fyllningar" med asfalt, t ex reparation av pothål och åtgärder efter vattenledningsreparationer.

**Akutunderhåll:**

Detta skulle kunna avse återställning av gata efter reparation av rörbrott på en vattenledning.

**Tillsyn:**

Detta kan vara en regelbunden inspektion av vägnätet inom kommunens ansvarsområde vars resultat utgör grund för underhållsplaneringen.

**Drift:**

Ett typexempel på drift är snöröjning.

En insats vad gäller nyinvestering, reinvestering eller förebyggande underhåll leder normalt till att spårdjupet återförs till den initiala nivån (i princip även vid en hjulspårslagning). Skillnaden mellan de båda senare insatserna är att reinvesteringsinsatsen sannolikt "höjer" tillståndskurvan något, d v s den sjunker inte så snabbt som en funktion av tiden (eller av antalet axelpassager). Volymen på det löpande underhållet, akutunderhållet respektive driften har en mycket ringa, eller ingen, inverkan på spårdjupsutvecklingen. Tillsynen kan rimligen leda till en insats av tillståndshöjande åtgärder, till en fördröjning av underhållsinsatser, till begränsningar av axeltrycket m fl olika åtgärder.

Helt naturligt så leder en nyinvesterings-, reinvesterings- eller förebyggande underhållsinsats till att behovet av underhåll (löpande underhåll, akutunderhåll) minskar högst väsentligt under tiden närmast efter insatsen, för att sedan öka igen i takt med att tillståndsnivån sjunker. Behovet av drift och tillsyn minskar inte. Omvänt så leder inte insatser av löpande underhåll eller akutunderhåll till att behovet av nyinvestering,

---

<sup>4</sup> Simmonds [1990, s 4] har undersökt vilka faktorer som ligger bakom brott och läckor i vattenledningar. Han prövade 1) material i rören, 2) storlek på ledning, 3) tid för installation, dvs ålder, 4) längd, 5) material i jorden, 6) typ av skarvar, 7) linjesträckning och 8) tidigare erfarenhet av brott och läckor. En stor dataundersökning visade att tidigare skador var den enda klara indikationen på en accelererad försämring av tillståndet hos en anläggning.

reinvestering eller förebyggande underhåll minskar i någon nämnvärd omfattning, helt enkelt därför att tillståndsnivån inte förbättras.

Underhållsinsatserna påverkar användarna av anläggningarna och samhället som helhet på många sätt. I det aktuella vägexemplet innebär höga tillståndsnivåer en större säkerhet vid framförandet av fordon och därmed färre olyckor, vilket leder till minskat mänskligt lidande och stora kostnadsreduktioner för samhället som helhet, framförallt i form av lägre sjukhus- och rehabiliteringskostnader samt minskat inkomstbortfall. Det kan i och för sig hävdas att alltför höga tillståndsnivåer leder till fartökningar som motverkar de förutsedda olycksreduktionerna, möjligen ett faktum som bl a leder till införandet av farthinder på gator och vägar med jämn och fin beläggning.

Vidare leder högre tillståndsnivåer till minskat slitage på fordonen, vilket givetvis minskar fordonskostnaderna för nyttjarna av vägen. I princip leder högre tillståndsnivåer också till kortare restider, vilket ger lägre restidskostnader, vars omfattning är starkt beroende av hur dessa tidsvinster värderas för privatresor respektive arbetsresor samt om värderingen görs före eller efter skatt. I områden med låga tillåtna maxhastigheter är förmodligen "spårdjupeffekten" på hastigheten försumbar. Kortare restider betyder också högre genomsnittshastigheter vilket ökar olycksrisken, jämför diskussionen ovan, om det inte är så att den högre genomsnittshastigheten åstadkommes genom en förbättrad trafikreglering eller ökad kapacitet (t ex dubbla körbanor i vardera riktningen).

### **1.3 Mål och restriktioner för effektiva underhållsstrategier**

Att välja underhållsstrategi betyder att avväga användningen av löpande och förebyggande underhåll mot nyinvestering och reinvestering. Att välja underhållstrategi är därför en oerhört viktig planeringsuppgift för en kommunal förvaltning - det må vara ett VA-verk, ett gatukontor eller ett energiverk.

En planering kan göras effektiv om man klargör målen som den syftar mot. När det som här gäller att på bästa sätt utforma en kommunal verksamhet så blir målen såväl ekonomiska som standardbetonade. Vi menar:

- att de ekonomiska målen måste baseras på samhällsekonomisk effektivitet, dvs att man bygger på
  - a) vad kommuninvånarna (konsumenterna) är villiga att betala för sin kommunala service - de samhällsekonomiska intäkterna - och
  - b) vilka faktiska kostnader kommunen och samhället i övrigt får för att leverera denna service - de samhällsekonomiska kostnaderna
- att de standardbetonade kraven utgör minimikrav medborgarna har att ställa på sin kommunala service. Det är här begreppet tillstånd hos en anläggning blir så centralt, eftersom medborgarnas minimikrav direkt måste kunna omvandlas till miniminivåer vad gäller en anläggnings tillstånd.

Men de ekonomiska målen är sällan så renodlade att man för att nå effektivitet enbart behöver bestämma betalningsviljan för och kostnaderna av en kommunal service. De kommunala verksamheterna styrs dessutom i hög grad av

- a) vilka priser man faktiskt (enligt kommunallagen) kan ta ut av nyttjarna,
- b) vilka finansieringsmöjligheter man har för att åstadkomma koncentrerade insatser i form av förebyggande underhåll och reinvestering, samt
- c) vilka förväntningar man har vad gäller framtida behov och teknikutveckling.

Krav på självfinansiering (främst inom VA-sektorn) och på "rättvis" fördelning av kommunala budgetmedel (främst påverkande för vägsektorn) kan därvid förhindra ett genomförande av effektiva resursinsatser. Detta kan t ex leda till att man investerar i reservkapacitet för att gardera sig mot leveransavbrott (ett sådant exempel är en dubblering av VA-ledningar till vissa sjukhus).



Det övergripande målet och problemet för den offentliga verksamheten, som t ex väghållningen och VA-systemen utgör en del av, är enligt Turvey [1971, s 15]:

"the aim of the public enterprise should be to maximize:

Social Benefit minus Social Cost

subject to any relevant constraints. By "Social" I mean to society as a whole"

Detta mål bör gälla för de offentliga verksamheterna även i Sverige. Det återstår då att identifiera och kvantifiera de olika delarna i denna problembeskrivning, d v s de samhällsekonomiska intäkterna, de samhällsekonomiska kostnaderna och aktuella servicekrav och andra restriktioner. För att lösa detta problem är det ytterst väsentligt att alla "relevanta" åtgärdsprogram kan tas fram och ställas mot varandra i den ekonomiska kalkylen. Uppgiften blir sedan att välja den kombination av åtgärdsprogram som ger den totalt sett bästa lösningen.

Samhällsekonomiska intäkter:

Medborgarnas samlade, totala värdering av den offentliga nyttighet som erbjuds. Principiellt sett kan den bestämmas genom en uppskattning av alla individers, både privatpersoners och juridiska personers, betalningsvilja för den offentliga nyttigheten.

Samhällsekonomiska kostnader:

De totala kostnaderna för samhället för att tillhandahålla en offentlig nyttighet. I dessa kostnader ingår dels direkta kostnader för stat och kommun (inklusive kostnader i samband med driftavbrott), dels indirekta kostnader i form av sådana externa effekter på andra individer och på miljön som följer av produktionen/användningen av den offentliga tjänsten.

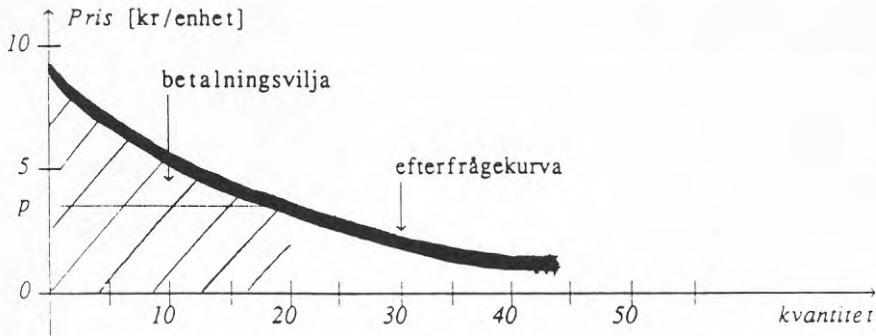
Servicekrav och andra restriktioner:

bland dessa återfinns de tekniska, ekonomiska och legala villkor som existerar i samhället. Utöver dessa finns en mängd minimikrav på den tjänst som erbjuds. Ett exempel är att det vatten som levereras ska vara tjänligt dricksvatten i erforderlig mängd och med tillfredsställande tryck. Det är viktigt att kunna omsätta dessa servicekrav m m till miniminivåer på en anläggnings tillstånd.

Betalningsviljan uttrycks i princip med hjälp av en efterfrågekurva som visar sambandet mellan storleken på de efterfrågade kvantiteterna och priserna på den offentliga tjänsten. Denna kurva kan illustrera att samhällsmedlemmarna endast är villiga att köpa små kvantiteter för de allra nödvändigaste behoven när priset är mycket högt, medan de efterfrågade kvantiteterna sedan ökar med sjunkande priser. Den sammanlagda ytan under en sådan efterfrågekurva t o m den aktuella efterfrågade kvantiteten uttrycker konsumenternas summerade betalningsvilja för tjänsten. I denna betalningsvilja ingår alla individers värdering av sin konsumtion av produkten, från den som värderar produkten högst till den som värderar den lägst. Varje individs betalningsvilja utgörs alltså av det pris man är villig att betala multiplicerat med antalet enheter man vill köpa. Det sagda illustreras i figur 1.2. Givetvis är det svårt att i praktiken bestämma en sådan efterfrågekurva, och i många fall kan man enbart bestämma dess utseende kring en aktuell punkt. En betydligt utförligare beskrivning av begreppet betalningsvilja återfinns exempelvis i Bohm [1986].

Prissättningen avseende väganvändningen i Sverige sker för närvarande via skatter i form av inkomstskatt, fordonsskatter och bränsleskatter. Argumenten för denna form av prissättning är,

- 1) det är mycket lättare att administrera ett sådant indirekt system än att införa direktbetalning via vägavgifter överallt,
- 2) vägsystemet är en allmän nytta som bidrar till en ekonomisk utveckling som kommer alla till del och därför bör alla vara med och betala (genom bränsleskatterna ökar betalningen i proportion till användningen).



Figur 1.2 Illustration av efterfrågekurva och betalningsvilja. Alla betalar priset  $p$ .

Intäkterna utgörs av den samlade betalningsviljan både för företag och privatpersoner för de transporttjänster, som genomförs. Ökar priset leder det till att mängden transporttjänster som utförs på vägnätet minskar och därmed givetvis också de sammanlagda intäkterna. Omvänt leder lägre priser till en ökad användning och därmed högre intäkter.

Samhällets kostnader för vägnätet och trafiken ökar med ökande volymer. Större och bättre vägnät leder till stora kostnader för investeringar och underhåll. Kostnaderna för restider, fordon, olyckor och miljöpåverkan stiger med ökande utnyttjandegrad.

Det övergripande målet är alltså att dimensionera och underhålla systemet på ett sådant sätt att nuvärdet av överskotten över tiden (periodvisa skillnader mellan samhällsekonomiska intäkter och kostnader) maximeras m h t servicekrav, säkerhetskrav m fl restriktioner. Aspekter som inte kan värderas i dessa termer kan alternativt hanteras i form av restriktioner, ex vis genom trafikregleringar för att värna om miljön. Underhållets genomförande i detta sammanhang har givetvis en stor inverkan på resultatet. Intäktsidan påverkas genom snabbare och säkrare transporter som en följd av bättre underhåll, men det är svårt att exakt mäta omfattningen av dessa. Kostnadssidan påverkas givetvis direkt av underhållskostnaderna och därför är det naturligtvis av intresse att genomföra dem så effektivt som möjligt. Här uppstår ett ekonomiskt avvägningsproblem mellan frekvens och omfattning på underhållsinsatserna. Ett mer frekvent underhåll minskar kravet och kostnaderna på varje underhållsinsats och vägnas tillstånd hålls på en genomsnittligt högre nivå, men underhållskostnaderna blir stora när många insatser görs. Lägre underhållsfrekvenser får motsatta effekter. Utöver vägunderhållskostnaderna tillkommer merkostnader för fordon och olyckor om underhållets omfattning orsakar låga tillståndsnivåer.

Beträffande ett kommunalt VA-system är prissättningen av en avgörande betydelse för VA-verkets intäkter. Normalt sett utgörs taxan (=priset) av initiala anslutningsavgifter samt fasta årsavgifter och rörliga avgifter per  $m^3$  förbrukat vatten. Dessa avgifter avser både vatten- och avloppsförsörjning. I vissa kommuner finansieras en del av VA-verkets verksamhet med skattemedel som ett komplement till avgifterna. VA-abonnenterna som själva betalar VA-räkningarna, t ex villaägare eller hyresgäster med individuell vattenmätning, och industrier uppvisar en priskänslighet sådan att man vid tillräckligt stora prisändringar ändrar sin förbrukning. Andra nyttjare av VA-tjänster, som t ex flertalet hyresgäster med kollektiv vattenmätning, kan betraktas som mycket prisokänsliga m a p vattentaxan. Däremot är deras hyresvärdar ibland priskänsliga och kan tänkas vidta åtgärder för att reducera vattenförbrukningen vid större prisändringar, t ex att installera vattenbesparande utrustning i lägenheterna eller att mana hyresgästerna till en minskad vattenförbrukning för att undvika hyreshöjningar.

Det övergripande målet borde även för VA-verksamheten vara att maximera nuvärdet av det samhällsekonomiska överskottet med hänsyn till servicekrav och andra restriktioner. Värdet av VA-försörjningen utgörs av individernas betalningsvilja för detta, på motsvarande sätt som för vägförsörjningen. Kostnaderna för VA-systemet avser framförallt VA-verkets kostnader för investering, underhåll och drift av VA-systemet (omfattande råvattenanskaffning, vattenrening, distribution av vatten, uppsamling och avledning av avlopp och dagvatten samt avloppsvattenrening). Övriga betydande kostnader som uppstår är kostnader för skador på fastigheter, vägar och miljöskador vid vattenläckor och/eller översvämningar. Skador som medför ingrepp i gator och vägar orsakar störningar i trafikarbetet och därmed för verksamheten i området kring skadan vilket drabbar näringsidkare, boende och passerande trafikanter. Restriktioner vid denna verksamhet är framförallt att det levererade vattnet skall vara tjänligt att dricka samt att tillgängligheten är god (d v s få driftavbrott per år och abonnent). Denna typ av restriktioner kan sägas vara servicekrav som utgörs av ett antal uppställda minimikrav avseende olika tillståndsnivåer, d v s att en viss standard upprätthålls.

Tillgängligheten kan t ex mätas som genomsnittligt antal dagar per hushåll och år som vattenleveranserna fungerar utan komplikationer. Denna anges ofta indirekt genom komplementhändelsen, d v s genom att man anger otillgängligheten som ex vis genomsnittligt antal avbrott i vattenleveranserna per hushåll och år. Ett ofta använt servicemått utgörs av minimikrav på en genomsnittlig tid mellan källaröversvämningar per fastighet, ex vis högst en källaröversvämning per fastighet under en 10-årsperiod. Dessa standardkrav ställer vissa minimikrav på underhållsinsatserna i VA-systemet. I princip skulle samhället via lagstiftning och naturvårdande myndigheter etc kunna sätta ett sådant pris eller avgift på att underskrida de uppsatta standardkraven att det kostar mer för producenten av den offentliga nyttigheten (kommunen) att inte uppfylla kraven än omvänt. Exempel på en sådan avgift är en miljöavgift för miljöskador vid bräddning av avlopp (utsläpp av orenat avlopp och dagvatten till vattendrag och hav). Med en sådan prissättning för oönskad miljöpåverkan skulle miljökraven automatiskt uppfyllas.

I praktiken är det dock oftast svårt att bestämma priser för ex vis dålig service eller negativ miljöpåverkan, och därför används ofta metoden att införa standardkrav (absoluta minimikrav avseende tillståndsnivåerna). Rent allmänt existerar också en sådan motvilja mot, eller praktiska svårigheter, att sätta ett pris i dessa sammanhang, att man istället föredrar att definiera "oeftergivliga" standardkrav. Minimikraven kan variera beroende på om abonnenten är ett sjukhus, en restaurang, en verkstadsindustri eller en privatperson, vilket då i praktiken avspeglar olika samhällsekonomiska kostnader vid störningar i VA-tjänsterna för olika abonnentgrupper.

De finansiella begränsningarna som gäller för både gatu- och vägsidan och för VA-verksamheten kräver att underhållsinsatserna hålls inom vissa ramar och på en relativt konstant nivå över tiden. Detta kan givetvis leda till ineffektiviteter i systemet om det existerar lönsamma underhållsalternativ för ett antal objekt, men de finansiella resurserna inte räcker till för att genomföra åtgärderna för alla objekten vid de lämpligaste tidpunkterna. Istället kan man tvingas välja mindre bra underhållsåtgärder, som ställer mindre finansiella krav, eller skjuta på tidpunkterna för vissa insatser vilket också medför merkostnader. När denna typ av problem föreligger är det av intresse att undersöka huruvida en lånefinansiering av de lämpligaste underhållsinsatserna är lönsam.

På gatu- och vägsidan är det normalt gatukontoren i kommunerna som via statsbidrag för statskommunala vägar och den kommunala budgeten erhåller medel för investering, underhåll och drift. Dessa medel erhålls i konkurrens med andra kommunala verksamheter och det är de politiska värderingarna av nyttan av gator- och vägar som ställs i relation till kostnaderna för dem. Här ställs beslutsfattarna ofta inför valet att välja en av ett antal kombinationer av standardnivå på gatu- och vägsystemet och kostnaderna för detta. Möjligheterna för gatukontoren att själva besluta om att finansiera större underhållsinsatser med lånefinansiering är relativt begränsad. Den främsta anledningen är

givetvis att en ökning av externfinansieringen för detta ökar kommunens totala upplåning och detta måste godkännas av kommunstyrelsen.

På VA-sidan är situationen annorlunda genom avgiftsfinansieringen av verksamheten. I princip innebär detta att man kan söka den kombination av åtgärder, inklusive lånefinansiering, som maximerar nuvärdet av det samhällsekonomiska överskottet m h t servicekrav och övriga restriktioner och därmed åstadkommer största möjliga nytta för abonnenterna. I de fall då en betydande del av VA-verksamheten finansieras via den kommunala budgeten (d v s via skattsedeln) torde situationen bli mer lik gatu- och vägsidan. I vissa kommuner är detta det normala när det gäller underhållsbudgeten.

#### **1.4 Underhållsuppgifterna- en sammanfattande formulering**

Ovanstående avsnitt (1.1-1.3) bör ha tydliggjort de kommunala underhållsuppgifterna samt svårigheterna att lösa dem på ett effektivt sätt. Vi kan redan nu särskilja två steg i en process att lösa dessa underhållsuppgifter.

**Det första steget** blir då att för givna servicekrav finna en samhällsekonomiskt sett effektiv avvägning mellan löpande underhåll, förebyggande underhåll, reinvestering och nyinvestering. Vi kallar detta första steg för att *lösa det fundamentala planeringsproblemet*.

**Det andra steget** blir sedan att anpassa denna avvägning till kommunala budgetprocesser, externa finansieringsmöjligheter, principer för kommunal prissättning m m. Vi kallar detta andra steg för att *lösa det kompletterande styrproblemet*.

**Det fundamentala planeringsproblemet:** Att för ett existerande eller potentiellt nät av anläggningar med osäker tillståndsutveckling (beroende på förslitning, åldrande, yttre påverkan m m) fastställa för en överblickbar tidshorisont de tidpunkter och utformningar av

- a) löpande underhåll,
- b) förebyggande underhåll,
- c) reinvestering och
- d) nyinvestering.

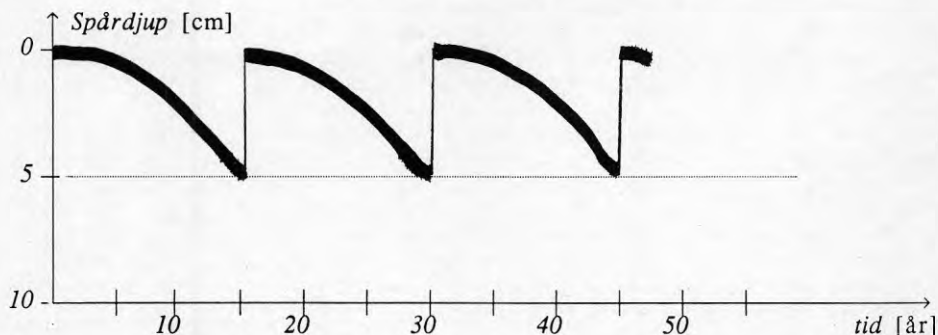
som leder till högsta möjliga samhällsekonomiska effektivitet vid givna miniminivåer vad gäller service och tillståndsnivåer. Här blir uppgiften att väga kostnaderna för investering och förebyggande underhåll mot kommunens kostnader för löpande underhåll och användarnas försämrade servicenivå.

**Det kompletterande styrproblemet:** Givet en samhällsekonomiskt sett effektiv lösning av det fundamentala planeringsproblemet finna de styråtgärder i form av priser och finansiering som leder till att denna lösning kan verkställas.

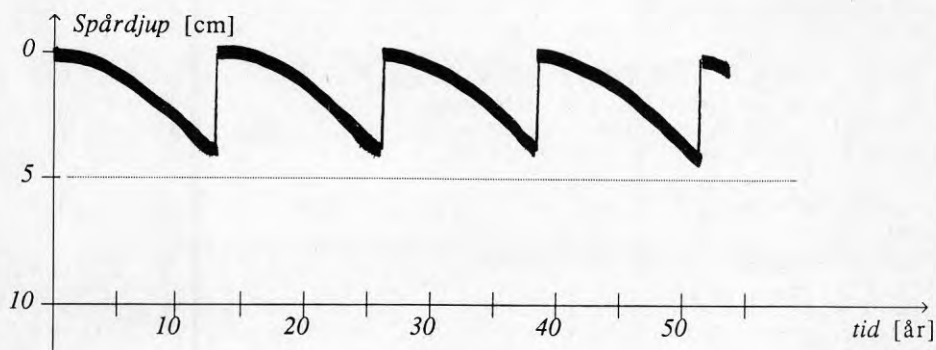
Två typer av principiellt intressanta lösningar till det fundamentala planeringsproblemet avseende ett enstaka underhållsobjekt illustreras med hjälp av figurerna 1.3 och 1.4. Illustrationerna avser en vägsträcka med en spårdjupsutveckling som den i figur 1.1. Vi har här antagit att de standardbetonade minimikraven på service gör att spårdjupet inte får överstiga 5 cm. Vi antar också att vi kan bruka en förebyggande underhållsåtgärd, som återställer spårdjupet till nollnivån.

I det första typfallet, se figur 1.3, är kostnaderna för ett förebyggande underhåll så stora, att det inte lönar sig att eliminera spårdjupet förrän det nått ner till miniminivån 5 cm. Här blir det alltså minimikraven, som avgör när ett förebyggande underhåll skall sättas in. Lösningen blir alltså att det förebyggande underhållet görs vart 15:e år. Rent principiellt brukar man kalla detta för en "**bang-bang**"-lösning.

I det andra typfallet, se figur 1.4, är istället de samhällsekonomiska kostnaderna när spår djupet närmar sig 5 cm så stora att det av kostnadsskäl är optimalt att göra underhållet redan när spår djupet blir 4 cm, d v s vart 13:e år. Detta kan inträffa när kostnaderna för återställningen av spår djupet och/eller trafikant- och fordonskostnaderna ökar progressivt med spår djupets storlek. Här påverkas således inte det förebyggande underhållet av minimikraven, utan sätts in vid en tidpunkt när förändringen i spår djupet ger en sådan kostnadsökning för användarna och en sådan ökad insats av förebyggande underhåll att dessa överstiger vinster av en senareläggning i form av räntebesparingar och ett ökat framtida värde av anläggningen. (En senareläggning av förebyggande underhåll antas öka det framtida värdet genom att åtgärderna blir modernare och genom att anläggningen får en längre livslängd). Här är det samhällsekonomi som avgör, och vi kan kalla denna optimala avvägning mellan kostnader och intäkter för en "Boiteux"-lösning (efter den franske ekonomen Boiteux, som tidigt utformade de grundläggande principerna för val mellan investering och underhåll; se Boiteux 1955).



Figur 1.3 Illustration av spår djupets utveckling när lösningen bestäms av minimikrav avseende tillståndet.



Figur 1.4 Illustration av spår djupets utveckling när lösningen bestäms av kostnadsfunktionens utseende (d v s minimikravet avseende tillståndet uppfylls automatiskt vid minimeringen av kostnaden).

Rent allmänt gäller det att en lösning till underhållsproblemet ofta utgörs av en kombination av ovanstående två "extrem-lösningar" avseende olika tillståndsdimensioner. Det är ofta så att underhållsinsatserna ska göras när gränsvärdena nås i ett fåtal olika tillståndsnivåer, exempelvis som i figur 1.3 ovan, medan anläggningens alla andra

tillståndsnivåer ligger över miniminivåerna när insatsen görs, på motsvarande sätt som i figur 1.4 (för en annan tillståndsdimension, exempelvis bärighet).

## 2. GRUNDLÄGGANDE UNDERHÅLLSSTRATEGIER

Underhållsplaneringen kan göras på olika nivåer i organisationen och i olika detaljeringsgrad. På en överordnad nivå kan mål och kriterier bestämmas för prioriteringarna som skall göras vid val av underhållsinsatser. Resurser kan sedan tilldelas olika avdelningar för genomförande av underhållet enligt de formulerade målen och kriterierna, där man sedan i detalj väljer omfattning och typ av underhållsinsatser för de olika underhållsobjekten. Ett exempel på sådana prioriteringar ges i PRIVA-rapporten, VAV [1987], där vattenledningar indelas dels i konsekvensledningar (med omfattande konsekvenser vid driftavbrott), dels i riskledningar (som löper stor risk att drabbas av driftavbrott). Vid planeringen av underhållsinsatserna är av naturliga skäl ledningar som är både konsekvens- och riskledningar högst prioriterade och i andra hand kommer ledningar som endast faller inom den ena kategorin.

Denna typ av prioritering sker automatiskt i ekonomiska kalkyler av det slag som diskuteras i kapitel 1.3, under förutsättning att värderingen av de ekonomiska effekterna av driftavbrott för konsekvens- respektive riskledningar i kalkylen är riktiga. Det kommer då att visa sig vara effektivast att underhålla ledningar som är både konsekvens- och riskledningar i första hand och därefter vidta åtgärder för mindre angelägna underhållsobjekt. Av detta skäl redovisas i detta kapitel exempel på ekonomiska kalkyler avseende ett antal renodlade underhållsstrategier för enstaka underhållsobjekt. De renodlade strategierna utgörs av:

2a Enbart löpande underhåll fram till en reinvestering

2b En väl avvägd insats av förebyggande underhåll och reinvesteringar

Normalt används dessa strategier ensamma eller i kombination med varandra. Principerna för de ekonomiska kalkylerna används också vid lösning av det fundamentala planeringsproblemet, se kapitel 1.4.

Av stor betydelse är också tillståndsutvecklingen över tiden. Vi betraktar dels fallet med en konstant tillståndsnivå eller åtminstone med en förändringstakt som är mycket svårbestämd (kan ex vis vara äldre vattenledningar i stabil kondition), dels fallet med en kontinuerlig försämring av tillståndet över tiden.

Exemplen indelas i 4 olika fall baserat på typ av insats respektive tillståndsutveckling enligt:

		TILLSTÅNDSUTVECKLING	
		1. KONSTANT	2. FÖRSÄMRAS
UNDERHÅLLS- STRATEGI	2a	2a-1	2a-2
	2b	2b-1	2b-2

Figur 2.1 Fyra olika kombinationer av underhållsstrategier och tillståndsutveckling som beaktas.

## 2.1 Strategi 2a: Enbart löpande underhåll fram till en reinvestering

Denna strategi exemplifieras med underhåll avseende VA-ledningar där det typiskt kan vara så att man för en ledning i ett förhållandevis stabilt tillstånd fortsätter med löpande underhåll i form av punktvisa vattenläcksreparationer, tills dess att en reinvestering (eller ett förebyggande underhåll) görs för att bättra ledningens tillstånd.

Efterfrågan för VA-tjänster kan betraktas som tämligen oelastisk, d v s den ändras inte nämnvärt vid förändrade pristariffer. Inte heller påverkas efterfrågan nämnvärt av att kvaliteten i servicen förbättras genom att ett förhållandevis litet antal VA-ledningar förnyas medelst reinvesteringar och förebyggande underhåll. Därför är VA-intäkternas storlek i stort sett oberoende av marginella förändringar i tillståndet hos VA-ledningssystemet. På intäktsidan i en samhällsekonomisk analys bör vi också ta med värdet av den ökade service som erhålls med förbättringar av VA-nätet och minskad driftavbrotts-tid, men värdet av de effekterna är mycket svårbestämt och vi har därför avstått från en kvantifiering. Uppgiften blir därför att söka den underhållsstrategi som minimerar nuvärdet av de samhällsekonomiska kostnaderna med hänsyn till servicevillkor m m.

Strategin 2a går ut på att endast genomföra löpande underhåll tills dess att anläggningen av tekniska eller ekonomiska skäl måste ersättas via någon form av förnyelse. De tekniska skälen utgörs av fallet att anläggningarnas tillstånd blir så dåligt att det helt enkelt är omöjligt att fortsätta driften med den existerande anläggningen. Sådana tekniska skäl kan vara att miljökrav inte uppfylls eller att driftavbrotten kommer för ofta. De ekonomiska skälen omfattar fallen att anläggningens tillstånd har nått ner till lägsta acceptabla nivå (exempelvis att driftstörningarna överstiger en föreskriven maximinivå) eller tills dess att besparingen i de löpande underhållskostnaderna överstiger kostnaderna för ränta och ökad värdeminskning efter en reinvestering i form av en renovering/omläggning (de ekonomiska skälen omfattar också olika typer av servicekrav som ställs på anläggningen). Detta är den klassiska strategin, där det uppstår stora krav på löpande underhåll och det föreligger risker för stora och plötsliga behov av reinvesteringar.

Användningen av denna strategi illustreras med några enkla exempel avseende underhåll av VA-ledningar. I det ena fallet, 2a-1, antas tillståndsnivån vara stabil (inga bra förutsägelser kan i vilket fall göras om hur tillståndet kommer att ändras) och problemet består då i att avgöra om vi skall reinvestera omedelbart eller fortsätta med enbart löpande underhåll tills en förändring av tekniska och/eller ekonomiska förhållanden ändrar detta. I det andra fallet, 2a-2, antas tillståndsnivån försämrats kontinuerligt genom en konstant tillväxt i felfrekvensen, och problemet blir då att bestämma när reinvesteringen skall göras.

För att göra alternativen likvärdiga måste nuvärdet av kostnaderna bestämmas över samma tidshorisont för samtliga fall (inget fall kommer ju att ge ett positivt nuvärde i form av summerade, diskonterade intäkter minus kostnader när vi endast beaktar kostnaderna och därför kan vi inte använda det "normala" kriteriet att välja det lönsammaste projektet, d v s det som har högst nuvärde). Tidshorisonten bestäms därför av den åtgärd som har kortast livslängd (annars kan ju ytterligare en reinvestering krävas under tidshorisonten för vissa kortlivade åtgärder). Eventuella restvärden vid tidshorisonten slut beräknas enligt en linjär värdeminskningssmodell (varje år minskar värdet med  $1/T$  där  $T$  är anläggningens livslängd) och tas med som en intäkt.

I stället för att ange nuvärdet av kostnaderna kan istället årskostnaden anges för respektive alternativ. Denna årskostnad innebär helt enkelt att nuvärdet uttrycks som en ekvivalent serie av årliga betalningar av samma storlek under hela tidshorisonten.

### EXEMPEL 2a-1: VA: Löpande underhåll/Reinvestering. Konstant tillståndsnivå.

Detta exempel avser en VA-ledning med ett konstant, dåligt tillstånd. Detta manifesteras i form av återkommande vattenläckor. Ledningen ligger i ett småhusområde där reparationskostnader för rörbrott i genomsnitt är 29 kkr. Nyttjandekostnaderna för driftavbrott och trafikstörningar är relativt låga i detta område, endast 1 kkr per gång. Det löpande underhållet består i att fortsätta genomföra vattenläckagereparationer. Alternativet är att förnya ledningen via en reinvestering. Antag att följande förutsättningar gäller för en vattenledningssträcka:

Akutfelsfrekvens:	$f = 3 \text{ st}/(\text{km}, \text{år})$
Längd	$L = 0.2 \text{ km}$
Reparationskostnad	$c_1 = 29 \text{ kkr per gång}$
Nyttjandekostnad	$c_2 = 1 \text{ kkr per gång}$
Förnyelsekostnad	$G = 2500 \text{ kkr/km}$
Livslängd ny ledning	$T = 100 \text{ år}$
Kalkylränta	$r = 0.04$

Tidshorizonten för kalkylen väljs i detta fall till  $T=100$  år vilket gäller efter reinvesteringen. Detta betyder att restvärdet blir 0 för den förnyade ledningen.

#### Underhållsalternativ 1: Fortsatt löpande underhåll

$$\begin{aligned} \text{Nuvärde} &= \text{Nuvärdesfaktor} \cdot \text{Årskostnad} = (1 - (1+r)^{-T})/r * (c_1 + c_2) * f * L = \\ &= (1 - 1.04^{-100})/0.04 * (29+1) * 3 * 0.2 = 441 \text{ kkr} \\ \text{Årskostnad} &= (c_1 + c_2) * f * L = (29+1) * 3 * 0.2 = 18 \text{ kkr} \end{aligned}$$

#### Underhållsalternativ 2: Reinvestera idag

$$\begin{aligned} \text{Nuvärde} &= \text{Reinvesteringsbelopp} = G * L = 2500 * 0.2 = 500 \text{ kkr} \\ \text{Årskostnad} &= \text{Annuïtetsfaktor} * \text{Reinvesteringsbelopp} = r / (1 - (1+r)^{-T}) * G * L \\ &= 0.04 / (1 - 1.04^{-100}) * 2500 * 0.2 = 20.4 \text{ kkr} \end{aligned}$$

Av jämförelsen ovan framgår det att alternativen är, med hänsyn tagen till den stora osäkerheten i indata, tämligen likvärdiga. Om reparations- och nyttjandekostnaden vore  $500/441 * (29+1) = 34$  kkr per gång istället skulle de uppskattade nuvärdena vara lika stora.

### EXEMPEL 2a-2: VA: Löpande underhåll/Reinvestering. Försämrade tillståndsnivå.

Detta exempel avser VA-ledningar av exakt samma slag som ovan utom det att tillståndet (antalet akutfel per år och km) försämras med tiden. Någon gång under tidshorizonten kommer en förnyelse att visa sig vara kostnadseffektiv. Underhållsstrategin består i att fortsätta med löpande underhåll fram till förnyelsetidpunkten och då genomföra det förebyggande underhållet. Följande förutsättningar gäller för vattenledningssträckan (akutfelsintensiteten fördubblas på 100 år i alternativ 1 och på 50 år i alternativ 2):



Akutfelsfrekvens	Alt 1: $f(t) = 3 + 0.03*(t-1)$ st/(km,år)
	Alt 2: $f(t) = 3 + 0.06*(t-1)$ st/(km,år)
Längd	$L = 0.2$ km
Reparationskostnad	$c_1 = 29$ kkr per gång
Nyttjandekostnad	$c_2 = 1$ kkr per gång
Förnyelsekostnad	$G = 2500$ kkr/km
Livslängd ny ledning	$T = 100$ år
Kalkylränta	$r = 0.04$

Tidshorizonten för kalkylen väljs även här till  $T=100$  år. Detta betyder att restvärdet blir  $t/T * G * L$  om förnyelsen görs år  $t$ . Resultaten redovisas i tabell 2.1 för de 2 olika akutfelsfrekvenserna. Ändringskolumnen i tabellen anger huruvida nuvärdet ökar (+) eller minskar (-) när tidpunkten för reinvesteringen flyttas fram 1 år.

Ökning i $f(t)$ : 0.03				Ökning i $f(t)$ : 0.06			
Tid [år]	Nuvärde [kkr]	Ändring	Årskost [kkr]	Tid [år]	Nuvärde [kkr]	Ändring	Årskost. [kkr]
0	500.00		20.40	0	500.00		20.40
1	498.67	-	20.35	1	498.67	-	20.35
2	497.56	-	20.30	2	497.73	-	20.31
3	496.66	-	20.27	3	497.16	-	20.29
4	495.94	-	20.24	4	496.93	-	20.28
5	495.41	-	20.22	5	497.01	+	20.28
6	495.04	-	20.20	6	497.38	+	20.30
7	494.82	-	20.19	7	498.01	+	20.32
8	494.74	-	20.19	8	498.89	+	20.36
9	494.80	+	20.19	9	500.00	+	20.40
10	494.97	+	20.20	10	501.31	+	20.46
11	495.26	+	20.21	11	502.81	+	20.52
12	495.64	+	20.23	12	504.49	+	20.59
13	496.13	+	20.25	13	506.32	+	20.66
14	496.69	+	20.27	14	508.29	+	20.74
15	497.34	+	20.30	15	510.39	+	20.83
16	498.05	+	20.32	16	512.61	+	20.92
17	498.84	+	20.36	17	514.93	+	21.01
18	499.68	+	20.39	18	517.34	+	21.11
19	500.57	+	20.43	19	519.83	+	21.21
20	501.51	+	20.47	20	522.39	+	21.32

Tabell 2.1 Nuvärden och årskostnader för förnyelseinsatser vid olika tidpunkter i de två fallen.

Vi ser i tabellerna att den optimala förnysetidpunkten i det första fallet är efter 8 år och i det andra fallet efter 4 år. Den kortare tiden beror helt enkelt på att akutfelsfrekvensen ökar snabbare i det andra fallet. Vidare finner vi att valet av tidpunkt för förnyelsen inte är så kritiskt. Skillnaden i nuvärde (eller årskostnad) är liten vid små avvikelser från den optimala tidpunkten.

Effekter som inte omfattas av dessa kalkyler är t ex löpande underhållskostnader för den nya ledningen efter ett antal år. Plusposter som också kan bidra till att uppväga de aktuella skillnaden i kalkylerna är att tillståndsnivån för ledningsnätet har höjts vilket dels innebär färre störningar i samband med reparationer för abonnenter, trafikanter m fl, dels reduceras eventuella problem med metallutfällningar och dylikt i samband med korrosionsproblem och avlagringar i den gamla ledningen.

## **2.2 Strategi 2b: En väl avvägd insats av förebyggande underhåll och reinvesteringar**

Detta är en utveckling av strategi 2a, där man genom förebyggande underhåll söker minskade kapitalkostnader för reinvesteringar och söker undvika stora insatser av löpande underhåll. Förebyggande underhåll är engångsinsatser som avsevärt höjer tillståndsnivån och därmed flyttar fram behovet av reinvesteringarna i tiden. Tillståndshöjningen medför ett kraftigt minskat behov av löpande underhåll.

### EXEMPEL 2b-1: Förebyggande underhåll/Reinvestering. Konstant tillståndsnivå.

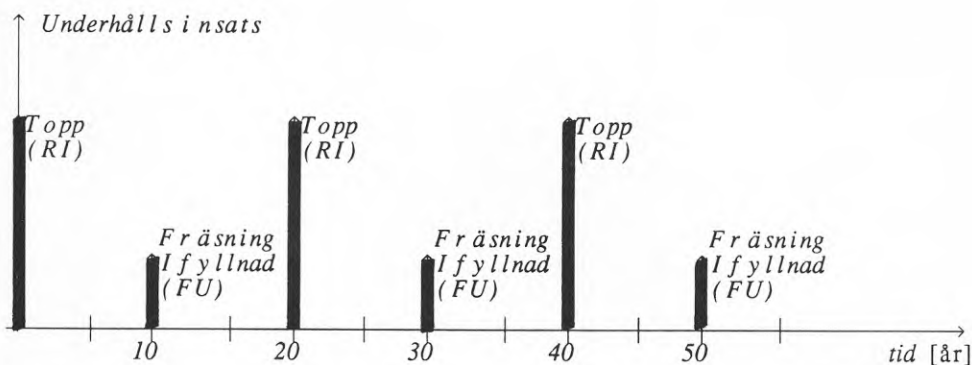
Utelämnas. Anledningen är att i ett fall utan en förändring av tillståndsnivåerna existerar inget behov av att göra ett förebyggande underhåll (såvida inte servicekraven förändras men det fallet beaktas ej här).

### EXEMPEL 2b-2: Gator; Förebyggande underhåll/Reinvestering. Försämrad tillståndsnivå.

Vi betraktar ett fall med beläggningsunderhåll av en vägsträcka på 1 km. Vägen är en genomfartsled med relativt hög trafikvolym och bra tillstånd. Trafikvolymerna förutsätts vara konstanta över tiden. Om så inte är fallet bören analysmetod som beaktar dynamiken i problemet väljas.

#### Underhållsstrategi nr 1:

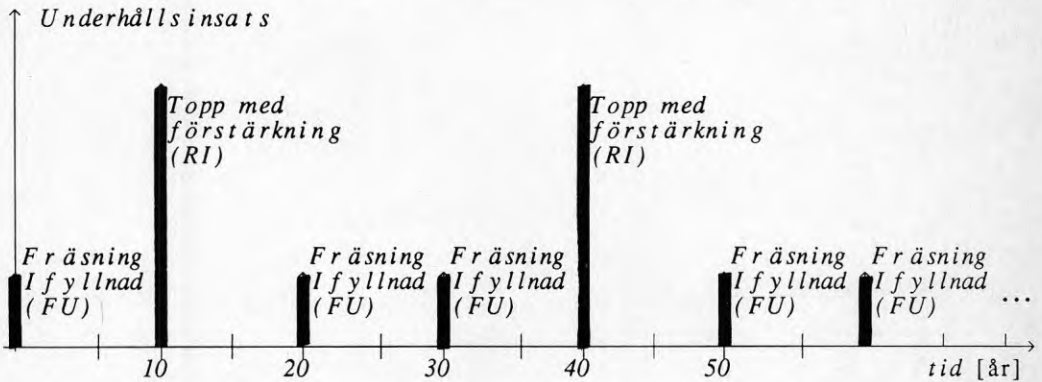
En förebyggande underhållsstrategi är att fortsätta med en planerad 20-årig underhållscykel genom att lägga en ny toppbeläggning nu och 10 år senare fräsa ur beläggningen i anslutning till hjulspåren och sedan lägga i en ny beläggning. Efter varje 20-årscykel upprepas detta. I strategin ingår alltså redan förebyggande underhållsinsatser. Detta illustreras i figur 2.2.



Figur 2.2 Illustration av den förebyggande underhållsstrategin nr 1.

### Underhållsstrategi nr 2:

Som en möjlig alternativ underhållsstrategi betraktas fallet att ersätta toppbeläggningen enligt ovan med ytterligare en urfräsning och hjulspårslagning idag och sedan efter 10 år göra en toppbeläggning som kombineras med en förstärkning. Förstärkningen är påkallad av den långa tiden sedan den föregående toppbeläggningen. Ytterligare 10 år senare görs en urfräsning och hjulspårslagning på nytt och efter 30 år är cirkeln sluten och vi är tillbaka i dagens läge, jämför med figur 2.3. Under de första 10 åren av varje underhållscykel är tillståndsnivån "ett steg" sämre än under de 20 åren som följer efter toppbeläggningen. Jämfört med strategi nr 1 ingår alltså mer förebyggande underhåll och en större reinvesteringssats för att återställa tillståndsnivån till den ursprungliga.



Figur 2.3 Illustration av underhållsstrategien nr 2 där reinvesteringen i form av en ny toppbeläggning fördröjs.

För att jämföra dessa båda strategier beräknas nuvärdena av kostnaderna över en gemensam tidsperiod. Den gemensamma tidsperioden väljs till 60 år som "rymmer" tre underhållscyklar av strategi nr 1 eller två underhållscyklar av strategi 2. Som alternativ redovisas även årskostnadsvärdena, jämför kapitel 2.1 och 2.2.

Kostnaderna för de olika åtgärderna antas vara:

$$c_{Topp} = 510 \text{ kkr/km} = \text{kostnad för en toppbeläggning med 20-årscykler}$$

$$c_{TFör} = 700 \text{ kkr/km} = \text{kostnad för en toppbeläggning kombinerad med en förstärkning}$$

$$c_{Fräs} = 190 \text{ kkr/km} = \text{kostnad för en urfräsning och ifyllnad}$$

Merkostnaderna för trafikanterna och andra berörda individer för tidsförluster, olycksrisker och fordonsslitage jämfört med om vägens tillstånd hade varit bästa möjliga antas vara:

$$c_{Nytt20} = 50 \text{ kkr/km} = \text{nyttjandekostnad för en 20-årscykel uttryckt i nuvärde}$$

$$c_{Nytt30} = 90 \text{ kkr/km} = \text{nyttjandekostnad för en 30-årscykel uttryckt i nuvärde}$$

### Underhållsstrategi nr 1:

Nuvärde = Nuvärdet av 3 konsekutiva 20-årscykler

$$= (c_{Topp} + c_{Nytt20} + c_{Fräs}(1+r)^{10})$$

$$+ (1+r)^{-20} * (c_{Topp} + c_{Nytt20} + c_{Fräs}(1+r)^{10})$$

$$\begin{aligned}
& + (1+r)^{-40} * (c_{Topp} + c_{Nytt20} + c_{Fräs}(1+r)^{10}) \\
& = (1 + (1+r)^{-20} + (1+r)^{-40}) * (c_{Topp} + c_{Nytt20} + c_{Fräs}(1+r)^{10}) \\
& = (1 + 1.04^{-20} + 1.04^{-40}) * (510 + 50 + 190/1.04^{10}) = 1146 \text{ kkr}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Årskostnad} & = \text{Annuitetsfaktor} * \text{Nuvärdet av 20-årscykeln} = \\
& = r / (1 - (1+r)^{-20}) * (c_{Topp} + c_{Nytt20} + c_{Fräs}(1+r)^{10}) = \\
& = 0.04 / (1 - 1.04^{-20}) * (510 + 50 + 190/1.04^{10}) = 50.65
\end{aligned}$$

#### Underhållsstrategi nr 2:

*Nuvärde = Nuvärdet av 2 konsekutiva 30-årscykler*

$$\begin{aligned}
& = (c_{Fräs} + c_{Nytt30} + c_{TFör}(1+r)^{10} + c_{Fräs}(1+r)^{20}) \\
& + (1+r)^{-30} * (c_{Fräs} + c_{Nytt30} + c_{TFör}(1+r)^{10} + c_{Fräs}(1+r)^{20}) \\
& = (1 + (1+r)^{-30}) * (c_{Fräs} + c_{Nytt30} + c_{TFör}(1+r)^{10} + c_{Fräs}(1+r)^{20}) \\
& = (1 + 1.04)^{-30} * (190 + 90 + 700/1.04^{10} + 190/1.04^{20}) = 1098 \text{ kkr}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Årskostnad} & = \text{Annuitetsfaktor} * \text{Nuvärdet av 30-årscykeln} = \\
& = r / (1 - (1+r)^{-30}) * (c_{Fräs} + c_{Nytt30} + c_{TFör}(1+r)^{10} + c_{Fräs}(1+r)^{20}) \\
& = 0.04 / (1 - 1.04^{-30}) * (190 + 90 + 700/1.04^{10} + 190/1.04^{20}) = 48.55
\end{aligned}$$

Nuvärdena enligt ovan är ganska lika vilket betyder att dessa strategier med de givna förutsättningarna i stort sett är jämbördiga. Strategi nr 2 har en kostnadsfördel på 47 kkr (2.10 kkr per år) eller 4.4 %. Det som i viss mån motverkar detta hos strategi nr 1 är fördelen av att ligga på den högre tillståndsnivån under hela cykeln. När strategi 2 används uppkommer vissa nackdelar för trafikanterna i form av något större olycksrisker och fordonsslitage under den del av underhållscykeln när man befinner sig på den lägre tillståndsnivån. Avsikten är att dessa skall speglas av den högre nyttjandekostnaden under tiden för denna strategi. Sannolikt krävs också ökadelöpande underhållsinsatser (lagning av pothål m m) under perioden med sämre tillstånd som bör inkluderas i kalkylen. Om de

uppskattade kostnaderna i kalkylen är korrekta och kostnaderna för ökat löpande underhåll i det andra fallet understiger 2.10 kkr per år föredras alltså strategi 2 för detta underhållsobjekt.

EXEMPEL 2b-2: VA; Förebyggande underhåll/Reinvestering. Försämrad tillståndsnivå.

På VA-sidan behandlas de "större" insatserna i form av relining, med eller utan rörspräckning, eller invändig cementbruksisolering behandlas i kalkylhänseende på samma sätt som reinvesteringar. Samtliga har en lång livslängd. Åtgärder som spolning av ledningar eller rensning av beläggning från rörväggar faller däremot inom ramen för definitionen av förebyggande underhåll. Emellertid kan denna typ av åtgärder kan också inordnas bland de löpande underhållsåtgärderna. Exempel på detta slags åtgärder är luftvattenspolning av vattenledningar för att undvika problem med järnutfällning, rotborttagning i avloppsledningar och högtrycksspolning för rensning av avloppsledningar.

Detta exempel avser en VA-ledning med ett stabilt tillstånd i alla avseenden utom ett, det är nämligen problem med utfällning av metaller på ledningens insida som successivt minskar ledningens kapacitet. Ledningen ligger i ett affärscentrum där abonnent- och trafikantkostnaderna vid en förnyelse är stora p g a att affärsverksamheten blir kraftigt störd av en uppgrävning och omläggning av ledningen. En omläggning skulle eliminera utfällningsproblemen genom användning av ett annat ledningsmaterial. Ett alternativ av förebyggande underhåll är därför att företa en rensningsoperation av ledningen varje gång beläggningen når den maximalt tillåtna tjockleken eller vid sådana tillfällen att nyttjande- och underhållskostnaderna över tidshorizonten minimeras.

Beläggningen på ledningen antas växa med 0.1 cm per år. Initialt är beläggningen 1 cm tjock. Nyttjandekostnaden antas öka kvadratisk med beläggningstjockleken när den överstiger 2 cm p g a en ökning av vattnets metallhalter, lägre flödeskapacitet och ökad risk för driftavbrott som en följd av tryckökningen. Följande förutsättningar antas gälla för vattenledningen:

Tjocklek beläggning	$f(t) = \begin{cases} 1.0 + 0.1*t \text{ cm/år} & \text{Initialt} \\ 0.1*(t-t_{FU}) \text{ cm/år} & \text{Efter FU år } t_{FU} \end{cases}$
Ledningslängd	$L = 1.0 \text{ km}$
Kostnad för FU	$c_1 = 50 \text{ kkr/km per gång}$
Nyttjandekostnad	$c_2(t) = \begin{cases} 2*(f(t)-2)^2 \text{ kkr/år} & \text{då } f(t) > 2 \\ 0 & \text{annars} \end{cases}$
Förnyelsekostnad inkl. användarkostnader	$G = 2500 \text{ kkr/km}$
Livslängd ny ledning	$T = 100 \text{ år}$
Kalkylränta	$r = 0.04$

Tidshorizonten för kalkylen väljs i detta fall till  $T=100$  år som är den uppskattade livslängden efter en reinvestering. Restvärdet blir  $t/T * G * L$  om förnyelsen görs år  $t$ .

Nuvärdesberäkningarna och årskostnaderna beräknas på i princip samma sätt som i exemplen ovan och för att spara utrymme formuleras dessa inte här. Istället redovisas endast resultaten för olika kombinationer av förebyggande underhåll och reinvesteringar i tabell 2.2.

Förebyggande underhåll	Nuvärde [kkr]	Årskost. [kkr]	Rensningstidpunkter [år]
Rensa då $f(t) = 2$	63.3	2.34	10 30 50 70 90
Rensa då $f(t) = 3$	38.9	1.59	20 50 80 <-bäst av dessa
Rensa då $f(t) = 4$	45.5	1.90	30 70
Rensa då $f(t) = 5$	75.9	3.10	40 90
Reinvestering	Nuvärde [kkr]	Årskost. [kkr]	Tidpunkt [år]
Då $f(t) = 2$	1684.0	68.72	10
Då $f(t) = 3$	1135.0	46.32	20
Då $f(t) = 4$	778.3	31.76	30
Då $f(t) = 5$	556.7	22.72	40
Då $f(t) = 9.3$	311.5	12.71	83 <- - optimal reinvestering

Tabell 2.2 Nuvärden och årskostnader för förebyggande underhållsprogram respektive reinvesteringar vid olika tidpunkter

Det framgår klart i detta exempel att alternativet att använda ett förebyggande underhållsprogram enligt något av de angivna alternativen är klart överlägset reinvesteringsalternativet. Exemplet illustrerar också att lösningen till det fundamentala planeringsproblemet avseende detta underhållsobjekt kan styras av tillståndets gränsnivå, jämför figur 1.3, vilket gäller vid gränsnivå 2 cm.

Om istället gränsnivån är 4 eller 5 cm är det inte optimalt att vänta med underhållet tills gränsnivån nås utan kostnaden minimeras vid ett mindre värde på  $f(t)$ , jämför figur 1.4. Anledningen är givetvis att kostnaden blir lägre om underhållet görs när  $f(t)=3$  (kostnaden minimeras i detta exempel för ett värde på  $f(t)$  mellan 2 och 4 cm).

### 3. EKONOMI OCH STRATEGI AVSEENDE VATTEN OCH AVLOPP

I Sverige har kommunerna det centrala ansvaret för uppbyggnad, underhåll, drift och förnyelse av den lokala infrastrukturen vad gäller gemensamma nyttigheter såsom vatten, avlopp, vägar, gator, energi mm. I vissa avseenden tar de ekonomiska avvägningarna här likartade former: Det gäller att utföra planer för markanvändning, att reservera plats för framtida nät för vägar och gator, att i nära anknytning till detta nät anvisa plats för ledningsdragning såväl för vatten och avlopp som för energi (el, fjärrvärme och naturgas) och att utforma organisationer, som tar ansvaret såväl för investering, drift och underhåll som för att motsvarande tjänster tillhandahålls fastigheter och industri. Vidare gäller det att allt detta utförs på ett sätt, som är effektivt såväl samhällsekonomiskt som kommunalekonomiskt sett, och dessutom samtidigt ger en tillfredsställande service för kommunens invånare. Begreppet tillfredsställande service kommer här i fokus och har flera valörer. En är att samtliga kommuninvånare skall kunna tillgodogöra sig en acceptabel miniminivå vad gäller kvaliteten hos de tjänster som ingår i servicen (ex att ej utsättas för leveransavbrott vad gäller vatten, el, naturgas, fjärrvärme mm under en tid överstigande x antal timmar; att avloppssystemen fungerar på ett sätt som inte innebär en sanitär olägenhet; att trafikaneläggningarna inte innebär onödiga risker för trafikolyckor, etc). Detta är svåra men samtidigt utmanande uppgifter.

#### 3.1 Utvecklingstendenser hos svenska kommuner

Hos de flesta svenska kommuner kom slutet av andra världskriget att innebära starten för en kraftig expansion vad gäller bostadsbyggandet under perioden 1950-70. Denna expansion kom att sammanfalla med att kommunerna tvingades att ta ett såväl

övergripande som operativt ansvar vad gällde vatten och avloppsfrågor inklusive de som avsåg miljö och hälsa. I många fall hade dessa tidigare skötts i privat regi. Följden blev, att vatten- och avloppssystemen kom att byggas i en takt som var snabbare än den som avsåg bostadsbyggandet. Samtidigt kom bilismens kraftiga utveckling att ställa mycket stora krav på byggandet av vägar och gator.

Ofta upplevdes expansionsbehovet så akut, att man inte fick tillfälle att utföra ordentliga beräkningar över valet mellan olika former av kommunala investeringsinsatser. I många fall kom detta att betyda att man satsade på strategier med låg investeringsinsats för att senare upptäcka att dessa strategier försummade kvalitet och genererade onödigt höga insatser vad gällde drift och underhåll. Femtio- och sextio-talens kraftiga expansion har på detta sätt betytt att man nu ställts inför stora svårigheter att kunna finansiera ett eskalerande behov av underhåll. De koncentrerade investeringsinsatserna betydde ofta att man på grund av bristande erfarenhet tvingades välja material, som var obeprövat och som i efterhand befanns vara undermåligt. Med dagens kunskap om arbetsteknik och materialbeständighet finner man därför ofta, att det lönar sig med betydande reinvesteringar. Allt detta sammantaget innebär att kommunerna nu känner sig ställda inför stora resursuppföringar, för vilka man:

- a) vill välja sådana kombinationer av drift, underhåll, nyinvestering och reinvestering att effektiviteten, samhällsekonomiskt sett, är så stor som möjligt. Det är detta vi har kallat **det fundamentala planeringsproblemet**. Det är mycket troligt att en samhällsekonomiskt effektiv lösning till detta problem innebär, att nyinvestering, reinvestering och förebyggande underhåll kommer att ske med oregelbundna tidsintervall.
- b) har begränsade finansiella resurser för nyinvestering, reinvestering och underhåll. Därför vill man ta ut avgifter, som samtidigt stimulerar till ett effektivt utnyttjande och till att nyttjarna bidrar till en rimlig del av finansieringen. Men genom att investering och förebyggande underhåll är en kapitalintensiv verksamhet, som kan behöva ske relativt oregelbundet, så kan man inte kräva, att nyttjarna ett år ensamma står för de kapitalinsatser, som råkar behövas just detta år. Därför önskar man finna moderna former för att finansiera denna verksamhet. Hur denna kombination av prissättning och finansiering bör organiseras utgör därför **det kompletterande styrproblemet**.

### 3.2 Strategier i olika kommuner

Den klassiska strategin hos många kommuner innebär, att man utför "tillsyn", dvs ett **löpande** ("vårdande") underhåll tills dess, att en akut eller fatal skada uppkommer. Först i detta läge reparerar man skadan alternativt renoverar ledningen eller ersätter den med en ny. På detta sätt har många kommuner valt att satsa på löpande underhåll, dvs olika kombinationer av tillsyn och akutunderhåll (se avsnitt 1.2).

Då det ofta är onödigt kostsamt att utföra en renovering eller reinvestering i samband med en skada, så har det varit naturligt att i vissa kommuner fråga sig om det inte vore bättre, att utföra en renovering innan dess att en skada uppstått. Exempel på ett sådant **förebyggande** underhåll är de åtgärder, som brukar kallas "foginjektering" och "relining" (Göteborgs VA-verk 1989, s 42-45).

Ett tredje alternativ är **nyinvestering** eller **reinvestering**. Detta är åtgärder, som bör utföras vid helt utslitna anläggningar eller då en anläggning blivit så omodern att det inte lönar sig att fortsätta med ytterligare underhållsåtgärder. Här kan man då ställas inför valet att helt ersätta den gamla ledningen med en ny, dvs reinvestering, eller att bygga en ny ledning längs en ny sträckning och med en ökad kapacitet, dvs nyinvestering.

### 3.3 Tillstånd hos vatten- och avloppsledningar

En av de stora svårigheterna vid val mellan ett löpande och ett förebyggande underhåll består i att uppskatta den kommande försämringen av tillståndet inom ett vatten- eller avloppssystem. Man måste alltså kunna skatta på vilket sätt en förebyggande underhållsåtgärd dels förbättrar tillståndet, och dels dämpar den årliga försämringen av detta tillstånd. Man kan säga att ett förebyggande underhåll på detta sätt har såväl en direkt som en dynamisk effekt. Dessa båda effekter får i sin tur tre konsekvenser: a) att behovet av ett löpande underhåll minskar, b) att kvaliteten på servicen till kunderna förbättras, samt c) att behovet av en reinvestering senareläggs.

Många kommuner har under en lång följd av år satsat på alternativen löpande underhåll och reinvesteringar. Ett skäl till detta val kan ha varit, att man inte klart kunnat avläsa vilka positiva effekter, som ett förebyggande underhåll skulle medföra. Detta kan ha berott på en brist på mätinstrument eller mätmetoder. Men det kan också varit en följd av, att dagens renoveringsmetoder inte varit tillgängliga.

Ett annat skäl kan ha berott på, att man haft en alltför stor betoning på kommunalekonomiska eller kommunfinansiella effekter, och att man därigenom inte observerat de samhällsekonomiska fördelar som ett förebyggande underhåll skulle generera. Begränsade budgettilldelningar, hinder att låna upp medel på de finansiella marknaderna, samt krav på att nyttjarna själva skall ha genererat tillräckligt med medel kan ha satt stopp för mera omfattande punktinsatser av de slag som här betecknas med förebyggande underhåll.

Men ett tredje och troligen avgörande skäl är förmodligen,

- a) att man inte kunnat avläsa förändringar i anläggningarnas tillstånd. Sådana avläsningar borde ha kunnat indikera risker att man var på väg ned mot en tillståndsnivå, som understeg brukarnas krav på en tillfredsställande service.
- b) att man inte kunnat bedöma om man nått eller förväntats nå ett läge där de samhällsekonomiska förlusterna från försämringen i anläggningarnas tillstånd översteg vinster i räntor och amorteringar av att skjuta en förebyggande åtgärd på framtiden.
- c) att kommunens finansiella situation medfört att man inte kunnat välja den bästa kombinationen av utformningar och tidpunkter vad gäller underhållsåtgärder och investeringar. Därigenom har man kommit att använda löpande underhåll, som är mindre kapitalintensivt, tills dess anläggningarna är helt utslitna och reinvesteringar eller nyinvesteringar blir nödvändiga.

Sammantaget betyder detta att man haft tre svårigheter i den hittillsvarande planeringen, som lagt hinder i vägen för en ekonomiskt sett effektiv styrning av underhåll av vatten och avlopp:

- a. svårigheter att mäta och prognostisera en anläggnings tillstånd,
- b. problem med att utföra samhällsekonomiska avvägningar,
- c. begränsade möjligheter att välja bästa strategi.

### 3.4. Ekonomiska möjligheter och svårigheter att välja olika strategier.

De ekonomiska principerna bakom en effektiv planering av vattenresursfrågor kom att först observeras i USA under femtioalet. En grupp forskare - med professorerna Kneese och Krutilla i spetsen - kom då att visa hur man skulle kunna göra tillfredsställande avvägningar mellan

a) de ekonomiska fördelar - s k producentöverskott - som hamnade i händerna på de företag som exploaterade vattenresurser och distribuerade dessa resurser till konsumenterna;



- b) de s k konsumentöverskott som uppstod hos utnyttjarna av vattenförsörjningen om man tillämpade en samhällsekonomiskt effektiv pris- och avgiftssättning; och  
 c) de nackdelar i form av s k externa effekter, som drabbade vissa samhällsgrupper i samband med exploateringen av dessa naturresurser.

Dessa principer är fortfarande gällande och bör ligga som grund för en kommuns planering av sin framtida VA-verksamhet. Syftet bör här vara inställt på att kunna avgöra de ekonomiska och servicemässiga konsekvenserna av en långsiktig plan, säg över en period av 10-15 år. En sådan plan bör i en kommun omfatta anläggningar för produktion av dricksvatten, för rening av avloppsvatten, ledningsnät för vatten och avlopp vardera uppdelade i lämpliga ledningsavsnitt och i pumpstationer. Det gäller således att identifiera och beteckna dessa anläggningar, ledningsavsnitt och pumpstationer och för var och en av dem specificera åtgärder och budgetar år för år. På detta sätt får man en åtgärdsmatris, där varje anläggning får ett radnummer och varje tidsperiod (år) får ett kolumnnummer. Åtgärderna bör indelas i fyra klasser (se avsnitt 1.2):

- a. löpande underhåll (LU): förväntade akutsatser och tillsyn,
- b. förebyggande underhåll (FU): återställande av anläggningarna till det tillstånd (servicemässigt), som rådde vid nyinvesteringstillfället,
- c. reinvestering (RI): ombyggnad av en anläggning,
- d. nyinvestering (NI): upprättande av en ny anläggning.

Planeringen bör ses som en "iterativ process", där man utgår från en existerande åtgärdsplan (tabell 3.1). Denna existerande plan skall nu successivt förbättras och utökas

Tidsperiod	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Projekt							
Pumpstation 1	FU/30	LU/20	LU/20	LU/20	LU/10	LU/20	LU/20
Pumpstation 2	LU/10	LU/10	LU/15	LU/15	LU/15	LU/15	LU/15
Ledning 1	LU/20	LU/20	LU/20	LU/25	LU/25	LU/25	LU/25
Ledning 2	LU/10	LU/15	LU/15	LU/15	LU/15	LU/15	LU/15
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Tabell 3.1. Ursprunglig åtgärdsplan för en kommuns VA-sektor.

tills man nått en plan, som är acceptabel vad gäller effektivitet, service och externa effekter.

Uppgiften är nu att söka förbättra denna åtgärdsplan, genom att pröva effekten från insatser av förebyggande underhåll (FU), reinvestering (RI) och nyinvestering (NI). Det kan exempelvis bli aktuellt att utföra ett förebyggande underhåll på pumpstation 2 år 1994, en reinvestering på ledning 1 under år 1995 och ett förebyggande underhåll på ledning 2 under år 1996. Effekten bör då bli att de löpande underhållen minskar, samtidigt som servicenivån mot nyttjarna förbättras. Detta leder då till en reviderad åtgärdsplan (tabell 3.2).

Tidsperiod	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Projekt							
Pumpstation 1	FU/30	LU/20	LU/20	LU/20	LU/10	LU/20	LU/20
Pumpstation 2	LU/10	LU/10	FU/80	LU/10	LU/10	LU/10	LU/10
Ledning 1	LU/20	LU/20	LU/20	RI/100	LU/5	LU/5	LU/5
Ledning 2	LU/10	LU/15	LU/15	LU/15	FU/40	LU/5	LU/5
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Tabell 3.2. Reviderad åtgärdsplan för en kommuns VA-sektor.

Den reviderade åtgärdsplanen (tabell 3.2) måste nu utvärderas i jämförelse med den ursprungliga (tabell 3.1). För att kunna göra detta måste man kunna uppskatta producentöverskott, konsumentöverskott och externa effekter.

Producentöverskotten är förmodligen de, som är mest kända och flitigast använda vid beslut om underhåll och reinvestering avseende vatten och avlopp. Varje kommunal förvaltning, som ansvarar för VA-frågor, har idag en mångårig erfarenhet vad gäller fastställande av fasta och rörliga avgifter (intäktssidan) och kostnader för investering, drift och underhåll (kostnadssidan). Det finns dock en uppenbar risk för att förvaltningarnas monopolsituation kan leda till att man sätter för höga priser och därmed får en för liten produktion och för få investeringar. Budgetkrav byggda på årsvis kostnads-täckning kan nämligen betyda att höga priser tränger undan ett önskat behov hos vissa kundkategorier. Höga avkastningskrav på investeringar - och därmed också på förebyggande underhåll - kan betyda att man i onödan förlänger användningen av existerande anläggningar.

Konsumentöverskott är skillnaderna mellan vad konsumenterna är villiga att betala för vattenförsörjning och avloppsservice, och vad de faktiskt får betala. Dessa överskott får av naturliga skäl störst betydelse inom sådana kundgrupper, som är starkt priskänsliga. Det finns anledning att tro, att hushållssektorn är mindre känslig för priser på vatten- och avloppstjänster än vad företagssektorn är. Det finns dock anledning att förmoda, att konsumentöverskotten har en ringa påverkan på åtgärdsprogrammen i jämförelse med vad producentöverskotten betyder.

Externa effekter uppstår främst på avloppsidan, och det gäller här att undersöka hur olika åtgärdsprogram kan dämpa och reducera miljöfarliga utsläpp. Det naturliga är förmodligen att hantera dessa effekter via normer, dvs såsom maximinivåer vad gäller utsläppskvantiteter. Detta betyder, att de externa effekterna inte utsätts för en ekonomisk avvägning, utan måste presenteras i form av absoluta krav. Ett annat sätt är att använda sig av s.k. skuggpriser på miljön (se kapitel 6 nedan).

Sammantaget innebär detta, att en utvärdering av en reviderad åtgärdsplan (t ex den i tabell 3.2) främst måste bygga på hur mycket producentöverskotten kan öka eller hur de externa effekterna kan minska. Det är sådana beräkningar som måste redovisas i samband med varje revision av ett åtgärdsprogram. Tabell 3.3 ger ett exempel på hur dessa beräkningar kan läggas upp.

Det kan uppenbart råda stora svårigheter att genomföra utvärderingar enligt det här angivna mönstret. Exempelvis är det svårt att utföra en relevant utvärdering av konsumentöverskott och av externa effekter. Dessutom kan det vara svårt att på ett korrekt sätt fastställa nivån på den kalkylränta, som skall representera de finansiella kostnaderna vid beräkningen av det samhällsekonomiska nuvärdet.

### **3.5 Finansiering och prissättning**

Den här presenterade metoden för samhällsekonomiska bedömningar och prioriteringar av vatten- och avloppsprojekt bör för en kommun ge en stabil grund för val av förebyggande underhåll, reinvesteringar och nyinvesteringar. Metoden bygger på att man väljer åtgärder på ett sätt, som leder till högsta möjliga samhällsekonomiska effektivitet. Detta förfarande baseras på ett antal grundförutsättningar, såsom:

1. Kommunen har obegränsade möjligheter att finansiera sina åtgärdsplaner till en kostnad, som motsvarar den för statliga verk och statliga företag. Finansieringskostnaden kommer på detta sätt att understiga den, som gäller för privata företag.
2. Kommunens VA-verk har fria möjligheter, att utföra projekt rörande förebyggande underhåll och reinvestering så snart dessa visar sig vara samhällsekonomiskt lönsamma.

I de flesta kommuner gäller inte dessa förutsättningar. Kommunstyrelsen kan ha ställt krav på självfinansiering, vilket innebär att förebyggande underhåll, reinvesteringar och nyinvesteringar kan genomföras först om VA-verket självt kan anvisa medel som intjänas

via (fasta) anslutningsavgifter eller (rörliga) volymavgifter. Speciella komplikationer uppstår i de fall en kommun vägrar låta sitt VA-verk fondera intjänade överskott för att använda dem ett kommande år.

Tidsperiod	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
<b>Projekt</b>							
<u>Pumpstation 1</u> : Ingen ny åtgärd							
-----							
<u>Pumpstation 2</u> : Förebyggande underhåll år 1994							
<b>Producentöverskott</b>							
1. Ändrade kommunala betalningar (tkr):							
Reviderad	LU/10	LU/10	FU/80	LU/10	LU/10	LU/10	LU/10
Ursprunglig	LU/10	LU/10	LU/15	LU/15	LU/15	LU/15	LU/15
Ändring:	0	0	-65	+5	+5	+5	+5
2. Ändrade försäljningsintäkter (tkr):							
	0	0	0	+5	+5	+5	+5
<b>Konsumentöverskott</b>							
	0	0	0	+1	+1	+1	+1
<b>Externa effekter</b>							
	0	0	0	+2	+2	+2	+2
<b>Summerade förändringar</b>							
	0	0	-65	+13	+13	+13	+13
<b>Samhällsekonomiskt överskott (nuvärde i tkr):</b>					<b>18</b>		
-----							
<u>Ledning 1</u> : Reinvestering år 1995							
<b>Producentöverskott</b>							
1. Ändrade kommunala betalningar (tkr):							
Reviderad	LU/20	LU/20	LU/20	RI/100	LU/5	LIU/5	LU/5
Ursprunglig	LU/20	LU/20	LU/20	LU/25	LU/25	LU/25	LU/25
Ändring:	0	0	0	-75	+20	+20	+20
2. Ändrade försäljningsintäkter (tkr):							
	0	0	0	0	+5	+5	+5
<b>Konsumentöverskott</b>							
	0	0	0	0	+2	+2	+2
<b>Externa effekter</b>							
	0	0	0	0	+2	+2	+2
<b>Summerade förändringar</b>							
	0	0	0	-75	+29	+29	+29
<b>Samhällsekonomiskt överskott (nuvärde i tkr):</b>					<b>37</b>		
-----							
<u>Ledning 2</u> : Förebyggande underhåll år 1996							
<b>Producentöverskott</b>							
1. Ändrade kommunala betalningar (tkr):							
Reviderad	LU/10	LU/15	LU/15	LU/15	FU/40	LU/5	LU/5
Ursprunglig	LU/10	LU/15	LU/15	LU/15	LU/15	LU/15	LU/15
Ändring:	0	0	0	0	-25	+10	+10
2. Ändrade försäljningsintäkter (tkr):							
	0	0	0	0	0	+2	+2
<b>Konsumentöverskott</b>							
	0	0	0	0	0	+1	+1
<b>Externa effekter</b>							
	0	0	0	0	0	0	0
<b>Summerade förändringar</b>							
	0	0	0	0	-25	+13	+13
<b>Samhällsekonomiskt överskott (nuvärde i tkr):</b>					<b>3</b>		
-----							

Tabell 3.3. Samhällsekonomiska effekter av ändrade åtgärdsplaner  
(Obs! Tabellen visar enbart effekter t o m år 1998, trots att det därefter uppstår betydande effekter bl a genom att den reviderade åtgärdsplanen leder till längre livslängder).

En grundläggande förutsättning för att upprätthålla effektivitet i kommunal VA-produktion är, att de rörliga avgifterna för vattenförsörjning och avloppstjänster sätts på en nivå, som motsvarar de marginella produktionskostnaderna. En kubikmeter vatten skall på detta sätt åsättas en avgift, som motsvarar den tillkommande kostnad, som uppstår för att på marginalen producera denna vattenvolym. För att en kund skall ha rätt att lämna ifrån sig en kubikmeter avloppsvatten så skall på samma sätt denna kund få betala kommunens marginella kostnad för att ta hand om denna volym. Observera, att dessa marginella kostnader även antas innefatta externa effekter på miljön (i vissa fall är dessa direkt märkbara via miljöavgifter - i andra situationer kan man bli tvingad till uppskattningar av de skador som uppstår).

Därutöver följer, att de fasta avgifterna kan sättas på en nivå, som möjliggör kommunal självfinansiering av drift och underhåll. Förutsatt att brukarna av vatten- och avloppstjänster inte visar någon priskänslighet vad gäller de fasta avgifterna, så skulle det inte behöva uppstå några svårigheter, att driva en effektiv investerings- och underhållspolitik avseende vatten och avlopp inom svenska kommuner.

Men verkligheten är annorlunda. För vatten- och avloppstjänster är de marginella kostnaderna mycket små. Man brukar säga att de fasta kostnaderna minst uppgår till 80% av ett VA-verks budget. Detta betyder, att rörliga avgifter efter marginella kostnader skulle bli mycket små, varför en politik baserad på pris efter marginella kostnader måste innebära en kraftig höjning av de fasta anslutnings- och årsavgifterna. Om man förutsätter, att priskänsligheten vad gäller fasta avgifter är störst inom företagssektorn, så skulle effektivitetskraven här leda till att två finansieringsalternativ står öppna:

1. kraftigt höjda fasta avgifter för hushållssektorn, och
2. en ökad skattefinansiering.

I många fall har det visat sig, att en ökad skattefinansiering leder till stora "systemkostnader", dvs extra kostnader för avgiftsinsamling och administration (se t ex Bergendahl & Bohm 1987, s. 17-21). Å andra sidan kan man föreställa sig, att krav på höjda fasta avgifter för hushållssektorn kan komma i strid med vad som anses vara en acceptabel fördelningspolitik för stat och kommun. Följden blir, att man kan tvingas att acceptera en "näst-bästa" lösning för kommunal VA-finansiering - en lösning, som innebär, att man i en så liten grad som möjligt söker avvika från vad som är ett samhällsekonomiskt effektivt handlande.

Det finns idag några olika sätt att hantera en situation, där man har stora svårigheter att anskaffa medel för finansiering av (förebyggande) underhåll och reinvestering. Ett sätt är att höja avkastningskravet på VA-åtgärder. Följden blir då en avsevärt högre kalkylränta än tidigare. I detta fall genomför man sin lönsamhetsbedömning precis som förut, men med ett avsevärt högre kalkylräntekrav. Ett annat sätt är att ställa upp kraftigt reducerade budgetkrav. Här gäller det nu, att man inte kan genomföra alla projekt, som redovisar ett positivt nuvärde av framtida samhällsekonomiska överskott. I stället måste man för samtliga projekt ställa nuvärdet i förhållande till den punktvisa utbetalningen för förebyggande underhåll eller reinvestering. Den kvot som därvid uppkommer blir på detta sätt projektets lönsamhetstal. Dessa tal användes sedan för att prioritera mellan åtgärder, varvid man genomför dem i ordning efter sjunkande lönsamhetstal. (Andra metoder visas också i kapitel 6).

## 4. EKONOMI OCH STRATEGI AVSEENDE VÄGAR OCH GATOR

### 4.1 Utvecklingstrender hos svenska kommuner.

En stor del av Sveriges kommuner har ansvar för kommunal väghållning. Detta ansvar går tillbaka till den tid, då städer och köpingar var enskilda väghållare och ansvarade för investering och underhåll undantagandes de fall då en riksväg eller länshuvudväg gick genom orten. Dock har staten bidragit med medel till finansiering av investering och underhåll. Denna kommunala verksamhet har sålunda vuxit kraftigt under de senaste 20-30 åren, dels på grund av ett ökat väghållningsansvar, dels därför att bilismen (och då särskilt den tunga delen) expanderat kraftigt.

Expansionen av det kommunala väghållningsansvaret har dock förorsakat betydande problem. Dessa beror exempelvis av:

a) att man funnit stora svårigheter i att utforma effektiva kombinationer av investering och underhåll, bl a därför att den statliga bidragsgivningen styr projektvalet, och

b) att man haft omfattande problem vad gäller att finansiera sin väghållning, bl a därför att man inte haft möjlighet att ta upp kommunala trafikskatter eller andra former av vägavgifter.

### 4.2 Strategier i olika kommuner.

Den klassiska strategin vad gäller väghållningsansvaret inom en kommun är att särskilja investerings- och underhållsverksamheterna. Investeringssidan - ofta finansierad med hjälp av bidrag från statens vägverk - har vanligen skötts med hjälp av privata entreprenörer. Underhållsverksamheten brukar däremot hanteras i egen regi. Verksamheten har då brukat baseras på "tillsyn", dvs man sköter ett antal regelbundna drifts- och underhållsuppgifter tills dess man råkar ut för en akut skada, där plötsliga insatser behöver sättas in. Denna verksamhet kan då kallas för löpande underhåll, där syftet är att bibehålla vägen eller gatan i ett någorlunda gott skick och samtidigt undvika ett alltför snabbt förvärrande av små skador, dels minska de trafikantrelaterade kostnaderna. Exempel på sådana driftsåtgärder är snöröjning, medan potthålslagning och tjälskadereparationer kan ses som exempel på löpande underhåll.

Ibland används den egna underhållsverksamheten till mera massiva punktinsatser i avsikt att återställa vägen eller gatan till sin ursprungliga kvalitet och kapacitet. Goda exempel på ett sådant förebyggande underhåll är förnyelse av vägbeläggning. Gränsdragningen mellan förebyggande underhåll och reinvestering är ofta svår. Ett lämpligt kriterium är, att en reinvestering är en mera komplett ombyggnad av en anläggning i avsikt att öka kapaciteten, medan ett förebyggande underhåll enbart avser att återställa den till sin ursprungliga volym.

### 4.3 Tillstånd hos vägar och gator

Begreppet "tillstånd" är mindre vanligt inom väg- och gatusektorn än inom vatten- och avloppsverksamheten.. Möjligen kan man här säga att "standard" här används som en direkt synonym, åtminstone när det gäller att faställa underhållets effekter på trafikanterna. Spårddjup är ett mått på tillstånd och då också på standard. I de s k Galant-systemet används fyra olika standardnivåer "1", "0", "-1" och "-2" (se t ex Gatukontoret i Göteborg m fl,1986). Standardnivåerna fastställs här av maximalt spårddjup, potthål, sättningar mm. Standardnivåerna har sedan en direkt inverkan på hur man skattar trafikanternas kostnader och externa effekter i form av trafikolyckor.

En av de stora svårigheterna med underhåll av gator och vägar har således varit att bestämma en vägs eller en gatas tillstånd. Exempelvis har man i Belgien för hela vägnätet försökt att etablera ett enda system för att fastlägga tillståndet hos en väg, genom att inspektera en väg varje 100 m vad gäller a) antal sprickor, b) jämnhet, c) antal pothål och d) vågbildningar. Dessa mätningar leder till att ett vägvagnsgraderas i fem tillståndsklasser (se Olivier 1985, Heleven m fl 1987 och Heleven 1989).

#### 4.4 Ekonomiska möjligheter och svårigheter att välja olika strategier.

De ekonomiska principerna bakom en effektiv vägplanering utvecklades under 1960-talet. Tonvikten lades då på väginvesteringar, medan underhållsplaneringen fick spela en underordnad roll (se t ex Bergendahl 1969 och Vägplan 70, Bilagor, 1969). De ekonomiska principerna är dock likartade, och det gäller här att välja ut de åtgärder i form av förebyggande underhåll, reinvestering och nyinvestering, som leder till de största samhällsekonomiska överskotten under en given planeringsperiod (vanligen 10-20 år). På samma sätt som vid planering av vatten och avlopp kan skattningen av dessa överskott delas in i beräkningar rörande:

- a. producentöverskott,
- b. konsumentöverskott, och
- c. externa effekter.

Centralt vid vägplanering är att fastlägga vad en marginell trafikant är villig att betala för sin resa, inte vad han faktiskt betalar. Skälet är, att det är mycket sällsynt att man tar ut direkta avgifter av trafikanterna. Viljan att betala skall då motsvara resursuppföringar i form av tidsförbrukning, fordonskostnader och olycksrisker. Detta betyder, att man vid en samhällsekonomisk bedömning av olika underhålls- och investeringsåtgärder har att taga hänsyn till dessa resursuppföringar i kombination med producentkostnader i form av nyinvestering, reinvestering, förebyggande underhåll och löpande underhåll. I likhet med vad som gäller för vatten och avlopp, så gäller det att identifiera och beteckna vägvagnsgrader och gatuavsnitt och för var och en av dessa avsnitt specificera åtgärder och budgetar år för år. På detta sätt får man också här fram en åtgärdsmatris, där varje väg- eller gatuavsnitt får ett radnummer och varje tidsperiod (år) får ett kolumnnummer. Åtgärdsmatrisen bör också här kunna delas in i fyra klasser (jmf avsnitt 1.2):

- a. löpande underhåll (LU): förväntade akutinsatser och tillsyn,
- b. förebyggande underhåll (FU): återställande av anläggningarna till det tillstånd (servicemässigt), som rådde vid nyinvesteringstillfället,
- c. reinvestering (RI): ombyggnad av ett befintligt väg- eller gatuavsnitt,
- d. nyinvestering (NI): upprättande av ett helt nytt väg- eller gatuavsnitt.

Denna planering skall också ses som en iterativ process, där man utgår från en existerande åtgärdsplan (tabell 4.1). Därefter lanserar man en reviderad åtgärdsplan (tabell 4.2) och jämför dess effekter med den ursprungliga. När man inte ser sig kunna nå ytterligare förbättringar via nya revideringar, bör man ha nått till en plan som är samhällsekonomiskt acceptabel.

En existerande åtgärdsplan kan exempelvis ha följande format:

Tidsperiod	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Projekt							
Vägvagnsgrader 1	LU/130	LU/120	LU/120	LU/120	LU/110	LU/120	LU/120
Vägvagnsgrader 2	LU/60	LU/60	LU/65	LU/65	LU/65	LU/65	LU/65
Gatudel 1	LU/120	LU/120	LU/120	LU/125	LU/125	LU/125	LU/125
Gatudel 2	LU/20	LU/25	LU/25	LU/25	LU/25	LU/25	LU/25
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Tabell 4.1. Ursprunglig åtgärdsplan för en kommuns gatusektor.

En reviderad åtgärdsplan kan nu få följande utformning:

Tidsperiod	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Projekt							
Vägavsnitt 1	LU/130	FU/320	LU/90	LU/90	LU/100	LU/100	LU/100
Vägavsnitt 2	LU/60	LU/60	LU/65	FU/600	LU/35	LU/35	LU/35
Gatudel 1	LU/120	LU/120	LU/120	LU/125	LU/125	FU/325	LU/75
Gatudel 2	LU/20	LU/25	LU/25	LU/25	LU/25	LU/25	LU/25
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Tabell 4.2. Modifierad åtgärdsplan för en kommuns gatusektor.

Resultatet av dessa modifieringar skall sedan beräknas. Det kan ske i enlighet med tabell 4.3.

#### 4.5 Finansiering och prissättning

Den här presenterade metoden för samhällsekonomiska bedömningar och prioriteringar av väg- och gatuprojekt bör ge en stabil grund för val av förebyggande underhåll, reinvestering och nyinvestering i en kommun. I likhet med vad som gäller för VA-sidan bygger metoden på att man väljer åtgärder på ett sätt, som leder till högsta möjliga samhällsekonomiska effektivitet. Detta förfarande baseras på ett antal grundförutsättningar, såsom att:

1. Kommunen har obegränsade möjligheter att finansiera sina åtgärdsplaner till en kostnad, som motsvarar den för statliga verk och statliga företag.
2. Kommunens gatukontor har fria möjligheter, att utföra projekt rörande förebyggande underhåll och reinvestering så snart dessa visar sig vara samhällsekonomiskt lönsamma.

I de flesta kommuner accepterar man inte dessa förutsättningar, utan ett oundgängligt krav för att genomföra reinvestering eller nyinvestering är att kommunen tilldelas statsbidrag. I fortsättningen kan man dock räkna med att ett antal kommuner kan komma att ta upp vägavgifter i avsikt att öka anslagen till investering och underhåll. Metoder för sådana avgiftsuttag är idag väl utvecklade (se t ex OECD 1987, ECMT 1989 och Bergendahl & Hartman 1989). Vad gäller förebyggande underhåll så söker man i många fall att finansiera sådana projekt med normala underhållsmedel. Genom att löpande underhåll är mindre kapitalkrävande än förebyggande underhåll, kan detta förhållande då komma att betyda, att effektiva åtgärder i form av förebyggande underhåll inte kommer att genomföras.

Precis som för VA-sektorn finns det idag inom väg- och gatusektorn några olika sätt att hantera en situation, där man har stora svårigheter att anskaffa medel för finansiering av (förebyggande) underhåll och reinvestering. Ett sätt är att höja avkastningskraven på investeringar och på förebyggande underhåll, vilket tar sig uttryck i en högre kalkylränta.

Ett annat sätt är att ställa upp kraftigt reducerade budgetnivåer. Här gäller det nu, att man inte kan genomföra alla projekt, som redovisar ett positivt nuvärde av framtida samhällsekonomiska överskott. I stället måste man för samtliga projekt ställa nuvärdet i förhållande till den punktvisa utbetalningen för förebyggande underhåll eller reinvestering. Den kvot som därvid uppkommer blir på detta sätt projektets lönsamhetstal. Dessa tal användes sedan för att prioritera mellan åtgärder, varvid man också här genomför dem i ordning efter sjunkande lönsamhetstal. (Andra metoder redovisas också i kapitel 7).

Tidsperiod	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
------------	------	------	------	------	------	------	------

### Projekt

#### Vägavsnitt 1: Förebyggande underhåll år 1993

##### Producentöverskott

##### 1. Ändrade kommunala betalningar (tkr):

Revidering	LU/130	FU/320	LU/90	LU/90	LU/100	LU/100	LU/100
Ursprunglig	LU/130	LU/120	LU/120	LU/120	LU/110	LU/120	LU/120
Ändring:	0	-200	+30	+30	+10	+20	+20

##### Konsumentöverskott

##### 2. Ändrade trafikantkostnader (tkr)

Tidkostnader	0	+50	-60	-60	-60	-60	-60
Fordonskostnader	0	0	-20	-20	-20	-20	-20

##### Externa effekter

##### 3. Ändrade kostnader (tkr)

Olyckor	0	0	-5	-5	-5	-5	-5
---------	---	---	----	----	----	----	----

##### Summerade förändringar

	0	-250	+115	+115	+115	+115	+115
--	---	------	------	------	------	------	------

Samhällsekoniskt överskott (nuvärde i tkr): 730

#### Vägavsnitt 2: Nyinvestering år 1995

##### Producentöverskott

##### 1. Ändrade kommunala betalningar (tkr):

Reviderad	LU/60	LU/60	LU/65	NI/600	LU/35	LU/35	LU/35
Ursprunglig	LU/60	LU/60	LU/65	LU/65	LU/65	LU/65	LU/65
Ändring:	0	0	0	-535	+30	+30	+30

##### Konsumentöverskott

##### 2. Ändrade trafikantkostnader (tkr)

Tidkost	0	0	0	+20	-40	-40	-40
Fordonskost	0	0	0	0	-10	-10	-10

##### Externa effekter

##### 3. Ändrade kostnader (tkr)

Olyckor	0	0	0	0	-5	-5	-5
---------	---	---	---	---	----	----	----

##### Summerade förändringar

	0	0	0	-555	+85	+85	+85
--	---	---	---	------	-----	-----	-----

Samhällsekoniskt överskott (nuvärde i tkr): 110

#### Gatudel 1: Förebyggande underhåll 1997

##### Producentöverskot

##### 1. Ändrade kommunala betalningar (tkr):

Revid	LU/120	LU/120	LU/120	LU/125	LU/125	FU/325	LU/75
Urspr	LU/120	LU/120	LU/120	LU/125	LU/125	LU/125	LU/125
Ändring:	0	0	0	0	0	-200	+50

##### Konsumentöverskott

##### 2. Ändrade trafikantkostnader (tkr)

Tidkost	0	0	0	0	0	0	-60
Fordonskost	0	0	0	0	0	0	-10

##### Externa effekter

##### 3. Ändrade kostnader (tkr)

Olyckor	0	0	0	0	0	0	-5
---------	---	---	---	---	---	---	----

##### Summerade förändringar

	0	0	0	0	0	-200	+125
--	---	---	---	---	---	------	------

Samhällsekoniskt överskott (nuvärde i tkr): 825

#### Gatudel 2: Ingen ändring

.....

Tabell 4.3: Samhällsekonomiska effekter av ändrade åtgärdsplaner

(Obs! Tabellen visar enbart effekter t o m år 1998, trots att det därefter uppstår betydande effekter bl a genom att den reviderade åtgärdsplanen leder till längre livslängder).



## 5. UNDERHÅLLSPLANERING I LITTERATUREN

Principen bakom en god underhållsplanering innebär att man måste välja mellan ett antal "strategier" och att valet skall styras av samhällsekonomiska konsekvenser. Detta var slutsatsen av den principiella analys som finns i kapitel 1 (speciellt i avnitten 1.3 och 1.4). Tillämpningen av dessa principer bör sedan ske i två steg (se avsnitt 1.4). Vi följer här dessa två steg och presenterar först metoder för att lösa det fundamentala planeringsproblemet (se avsnitt 5.1). Därefter visar vi hur vi tar hänsyn till det kompletterande styrproblemet (se avsnitt 5.2).

### 5.1 Metoder för det fundamentala planeringsproblemet

#### 5.1.1 VA-sektorn

Allmänna principer för prioritering av olika typer av VA-ledningar presenteras i PRIVA-studien, VAV [1987] (denna rapport är under revidering). Ledningsobjekt som är föremål för eventuella underhållsinsatser karaktäriseras antingen av att konsekvenserna av eventuella driftstörningar blir stora, så som konsekvensledningar, eller av att risken för driftstörningar är stor, så som riskledningar. Högst prioritet ges de objekt som uppfyller båda dessa karaktäristika. Arbetet med DRIVA-projektet har pågått under fyra år. Projektets syfte är att skapa ett enhetligt kontosystem hos VA-verken för redovisning av kostnaderna för drift, akut underhåll och förebyggande underhåll, jämför VAV-nytt [1991] och VAV [1990]. Kontosystemet kan ges en hierarkisk struktur som möjliggör olika detaljeringsnivåer i redovisningen för eget bruk, men också en aggregering av kostnadsdata så att rättvisande jämförelser kan göras mellan verksamheter i olika kommuner. Mycket arbete har satsats på att definiera vad som är akut respektive förebyggande underhåll.

Vattenforskningscentrat i Storbritannien, Water Research Centre, har utgivit en manual som bland annat anger hur underhåll av VA-system bör utföras. Delar av denna manual har en motsvarighet i den nämnda PRIVA-studien och introduktionen till densamma är Water Research Centre [1986].

Inom OECD har ett flertal studier rörande VA-systemfrågor gjorts. I OECD [1985] presenteras ett omfattande underlag för och rekommendationer avseende utförande av samhällsekonomiska analyser för VA-system. Studien innehåller ingen beskrivning av en ideal lösning på problemet att korrekt värdera alternativa investeringsobjekt i VA-systemet, utan den syftar till att göra politiker och utredare medvetna om den stora problemkomplexiteten. I OECD [1989] diskuteras hur miljöaspekter och marknadsimperfectioner måste integreras i den "normala" styrningen av VA-systemets verksamhet. Principer för utveckling av effektiva VA-system i u-länder diskuteras i Okun och Ernst [1987] och i kapitel 14 poängteras vikten av att upprätta ett väl fungerande informationssystem med kartor, manualer för drift och underhåll samt uppföljning av störningar.

Konkreta underhållsplaner för ett vattenrörnät i Sverige exemplifieras genom *Åtgärdsplan vattenrörnätet* (Göteborgs VA-verk [1989]). De strategiska underhållsfrågorna belyses av Ljunggren [1987] för vattenledningsnätet och av Persson [1987] för avloppsledningsnätet. Det operativa arbetet med att identifiera vattenläckor och att reparera/förnya berörda ledningar beskrivs av Kristensson [1987]. De faktiska alternativa åtgärderna vid förnyelse av vattenledningar beskrivs kortfattat i *Åtgärdsplan vattenrörnätet* och olika metoder för rörbrottsreparationer presenteras i Enander [1991].

Huledal, Stahre och Wirsenius har i ett antal rapporter analyserat underhållsstrategier för Malmös VA-system. En jämförelse görs mellan en ren akutunderhållsstrategi och en förebyggande underhållsstrategi av Huledal [1987]. Principer för åtgärdsplaneringen i Malmö redovisas i Huledal och Stahre [1988]. Vikten av att ha information tillgänglig bl a för denna planering understryks och informationsproblemet diskuteras utförligt i Stahre och Wirsenius [1987].

En uppföljning av störningar och deras orsaker är som nämnts mycket väsentligt för val av rätt insatser. Detta betonas starkt av Clark och Goodrich [1989] som också presenterar hur ett persondatorbaserat databassystem kan konstrueras för uppföljning av t ex ett VA-systems tillstånd. Exempel på utformning av informationssystem för vattenledningsnät i Stuttgart respektive Dortmund (i Tyskland) presenteras i Hofer [1987] och Holtschulte [1987]. Några exempel på svenska studier av driftstörningar är Reuterswärd-Wengström [1989] som kartlagt och analyserat driftstörningar på segjärmsledningar i Göteborg under perioden 1977-87. En motsvarande studie av driftstörningar på alla vattenledningar i Malmö under perioden 1980-89 presenteras i de Maré [1990]. Vidare redovisas resultatet av TV-inspekterade avloppsledningar i Malmö av Persson och Sundahl [1991].

I litteraturen återfinns många olika kvantitativa modeller för analys och dimensionering av olika delar av ett VA-system. Exempel på behandlade delsystem är färskvattenförsörjning, hydrauliska aspekter på ledningsnäten och avloppsreningsproblem. Modellerna kan vara analytiska, baserade på optimeringsprinciper eller utgöras av simuleringsmodeller. En del av den omfattande litteraturen i ämnet utgörs av Biswas [1981], Brown & Caldwell [1984], Clark et al [1977], Haimes [1977], Haimes et al [1987], Kelly O'Day et al [1986], Kuiper [1965], Linsley och Franzini [1972], Loucks et al [1981] och Smith och Morris [1969].

### Slutsatser

I de nämnda OECD-rapporterna diskuteras generella principer vid analys av investering i och underhåll av VA-system. Dessa kompletteras med praktiskt förankrade åtgärdsplaner från två VA-verksamheter i Sverige samt rekommendationer rörande åtgärdsprioriteringar från VAV. Totalt sett erhålls en bra bild över de existerande driftstörningarna och underhållsproblemen.

Genomgående framhålls vikten av att ha ett väl utvecklat system för uppföljning av systemets tillstånd för att det ska finnas möjlighet att välja de ekonomiskt lämpligaste åtgärderna. Beträffande kunskap om och prognostisering av tillståndsutvecklingen vore det intressant att se i vilken omfattning erfarenheterna rörande VA-ledningars tillståndsutveckling i Malmö kan överföras till andra VA-system i landet.

### 5.1.2 Gatu- och vägsektorn

Detta infrastrukturområde har uppmärksammats intensivt av OECD. Betydelsen av ett effektivt vägunderhåll belyses i OECD [1978] och en presentation görs av tekniker för olika beläggningsåtgärder och vägtyper. Man understryker också vikten av att övervaka gatu- och vägsystemets tillståndsutveckling, vilket också är en viktig utgångspunkt i OECD [1990a]. Detta utvecklas vidare till en katalog över skador på gator och vägar i u-länder i OECD [1990b]. En sådan katalog är viktig för upprättandet av en enhetlig tillståndsbedömning i olika geografiska områden. En motsvarande katalog över skador på gator och vägar i Sverige är under utarbetande i ett samarbete mellan Kommunförbundet, Vägverket och VTI, se Wägberg [1989]. Vägverket gör numera regelbundet mätningar av svenska vägars tillstånd med hjälp av RST-bilar för att skaffa kunskap om tillståndsutvecklingen och därmed om underhållsbehovet. Resultatet av studien som gjordes under perioden 1982-84 presenteras i Magnusson m fl [1988, bilaga 4, s 11]. Kopplingen mellan tillståndsbedömningar och underhållsbehovet illustreras av förnyelseplaneringen i Duisburg, se Weisser [1987].

Baserat på det stora behovet av underhåll av våra gator och vägar har ett flertal s k PMS-system (Pavement Management Systems) utvecklats. Avsikten med dessa system är ta fram en bra underhållsplan för gatu- och vägsystemet givet en tillståndsbeskrivning, en prognos för tillståndstvecklingen, konsekvenserna av olika underhållsåtgärder (för underhållsansvariga, trafikanter och övriga samhällsmedlemmar) samt kostnaderna för dessa. I OECD [1987a] ges en översikt över utvecklingen inom detta område i OECD-länderna. Ett avancerat sådant PMS-system presenteras utförligt i Ullidtz [1987]. Den optimeringsprocedur som ligger bakom de prioriteringar som görs i hans system presenteras i Ahmed et al [1978]. Ett tyskt PMS-system presenteras i Schmuck [1987]. Underhållstekniker och -planering anpassade för amerikanska behov redovisas i NCHRP [1981], och den följs upp med en empirisk studie av hur underhållsplaneringen bedrivs i USA:s delstater i NCHRP [1985]. Revisionsavdelning 2 [1986] har gjort en samhällsekonomisk analys av Vägnätets beläggningsunderhåll. De samhällsekonomiska effekterna som presenteras där bör kunna utnyttjas vid ekonomiska bedömningar av underhållsinsatser i kommunerna.

Några förekommande svenska PMS-system är Galant-systemet och GatuPling-systemet. I Galant-systemet uppskattas kostnaderna för att upprätthålla vissa användardefinierade flerdimensionella standardnivåer, se Gatukontoret Göteborg m fl [1986]. Standardnivåerna upprätthålls genom att olika underhållsprogram följs. GatuPling-systemet är mindre komplicerat och innehåller väsentligen en förteckning över gatuavsnittens bedömda standard på en ganska grov skala samt en användarspecifierad förnyelsetidpunkt, se VBB VIAK [1991]. Genom en sortering i tidsordning utgående från användarspecifierade förnyelsetidpunkter kan en prognos av förnyelsebehovet erhållas.

I ett omfattande Världsbanksprojekt har man analyserat frågor rörande vägbyggnad och -underhåll i u-länder, se Paterson [1987]. Betydelsen av att göra riktiga avvägningar mellan investerings- och underhållskostnader för vägar och användarkostnaderna betonas i rapporten. En mycket viktig del i detta arbete har varit att identifiera funktioner som beskriver tillstånds- och kostnadsutvecklingen för olika vägtyper/trafikvolymmer.

En modell för infrastrukturkapitalets utveckling över tiden med hänsyn till osäkerhet redovisas i Hochstrate [1987], Kuhfeld [1987] samt Enderlein et al [1988]. Exempelen i rapporterna avser bl a VA-ledningsnät i Stuttgart och kommunala gator och vägar i aggregerade termer.

I rapporten av Silborn [1990] erhålls en översikt av underhållsbehovet avseende gator och vägar i Sveriges kommuner. Behovet av korrekta tillståndsbedömningar för en bra planering påpekas.

Alternativa sätt och metoder för beräkning av fordons inverkan på tillståndsutvecklingen hos vägar presenteras av Salter [1988], och även interaktionen mellan fordon och vägar i olika tillstånd, t ex sladdningsbenägenhet. Två böcker med mycket innehåll av vägingenjörskunskap är O'Flaherty [1988] och Oglesby och Hicks [1982]. Diskussionen avseende underhållsinsatser är dock ganska ringa.

### Slutsatser

Inom denna sektor är det uppenbarligen av stor vikt att införskaffa och upprätthålla korrekt information om gators och vägars tillstånd som ett underlag för planering av underhållsinsatser. I Sverige pågår ett arbete med att ta fram en mall för enhetlig bedömning av gators och vägars tillstånd i kommunerna så att jämförelser kan göras, men detta genomförs ännu inte regelmässigt.

Sambanden mellan tillståndets utveckling över tiden och olika typer av kostnader (för underhåll, trafikanter, olyckor, miljöeffekter m m) saknas. Detta gör att modeller med den

typ av ekonomiska avväganden som diskuteras i Paterson [1987] och Ullidtz [1987] inte kan användas, utan planeringen av underhållsinsatser måste baseras på mer kvalitativa avvägningar. Detta kan vara en klar nackdel t ex i en diskussion rörande prioritering av anslag till olika kommunala sektorer. Kan man t ex visa på stora framtida kostnadsökningar som en följd av ett eftersatt underhåll, så är det möjligen lättare att få gehör för behoven. Vid val mellan underhållsinsatser på olika vägvägar är det givetvis också mycket viktigt att prioritera de platser där tillståndsförslagen, och därmed bl a reinvesteringskostnaderna, ökar kraftigt.

### Allmänt

Det finns en mängd litteratur som behandlar generella underhållsproblem och strategifrågor i anslutning till dessa. Några exempel är Dhillon och Reiche [1985], Jorgenson et al [1967], Moss [1985] och Smith [1988]. Ett exempel på hur statistisk analys används vid dimensionering av förebyggande underhåll ges i Gertsbakh [1977]. Wagner [1975] pekar på lämpligheten i att använda dynamisk programmering i allmänhet, och stokastisk programmering i synnerhet, för dimensionering av det förebyggande underhållet. Litteratur som behandlar teorin för samhällsekonomiska analyser i allmänhet är t ex Bohm [1986] och Turvey [1971].

## **5.2 Metoder för det kompletterande styrproblemet**

### 5.2.1 VA-sektorn

I rapporten OECD [1987c] definieras VA-service och principer för prissättning med hänsyn tagen till effektivitet, finansiering, rättvisa, hälsokrav och miljökrav. Olika tariffsystem och det därtill associerade mättningsproblemet tas upp. Vidare diskuteras marginalprissättning i praktiken och invändningar mot denna. Utöver detta behandlas priser för avloppshantering, vattenrättigheter i ett antal länder och subventionering av VA-system.

Finansieringen av den offentliga sektorns verksamhet blir alltmer aktuell (se t.ex. Petersson m.fl. 1984). Ett antal innovationer i detta avseende från ett antal OECD-länder beskrivs i OECD [1987d]. Dessa baseras framförallt på en starkare koppling mellan kostnader och intäktslag.

En mycket utförlig analys av prissättningsfrågor och samhällsekonomisk effektivitet avseende VA-system presenteras av Bohman [1983]. Skattnings- och priselasticiteter diskuteras bl a av James och Lee [1971].

### Slutsatser

Rent allmänt gäller att prissättningsproblemet är studerat i detalj i mängder av vetenskapliga och andra publikationer, av vilka endast ett fåtal nämns här. Även forskningen och den allmänna debatten rörande finansieringsfrågor har lett till väldigt mycket publikationer.

Det är klart att finansieringen kan klaras genom en mängd olika tarriffkonstruktioner, och den faktiska konstruktionen i de enskilda kommunerna blir en lösning som på något sätt uppfyller de ekonomiska kraven samtidigt som de politiska synpunkterna på en rättvis fördelning av kostnaderna uppfylls. En avgörande fråga är hur fördelningen mellan rörliga och fasta avgifter ska göras, och en annan är i vilken mån kostnaderna skall betalas via skatterna istället för genom avgifter.

### 5.2.2 Gatu- och vägsektorn

Den historiska utvecklingen rörande såväl vägavgifter och -finansiering, som den vägfinansieringsproblematik som möter ansvariga i OECD-länderna idag beskrivs i OECD [1987b]. De huvudsakliga existerande finansieringsmöjligheterna beskrivs inklusive tekniska och ekonomiska möjligheter att införa vägavgifter. En teknisk lösning som fungerar väl i praktiken kan exemplifieras med Hongkong-lösningen där varje fordon är utrustad med en identifieringsbricka som läses av och registreras på elektronisk väg vid alla vägtullar, och räkningarna skickas regelbundet till fordonsägarna (månadsvis). Vidare diskuteras fördelarna med vägavgifter ur ekonomisk synpunkt och de frågor som måste lösas för att kombinera en avgiftsbaserad tjänst med en tjänst som av tradition har funnits i offentlig regi.

Exempel på länder där vägavgifter används eller sannolikt kommer att användas är Belgien, Danmark, Frankrike och Schweiz, se European Conference of Ministers of Transport [1989]. Fördelarna med vägavgifter sammanfattas i den rapporten enligt (sid 43):

"- Road pricing is better able to restrain traffic levels in congested areas than parking controls or car ownership restraint;

- Road pricing enables higher car ownership levels to be absorbed than would otherwise be possible in a city;

- Road pricing provides an indication of the economic demand for road space and a source of revenue for future road building or improvements to other parts of the transport system, or environmental improvements;

- Road pricing will be most effective when introduced in conjunction with other forms of restraint, where a good public transport system already exists or improvements are credibly planned as part of the road pricing package, and there is some scope for activity re-scheduling."

I Winston [1991] diskuteras också fördelarna med ett vägavgiftssystem baserat dels på en avgift för den strukturella nedbrytningen av vägen, dels på en trängselavgift. Författaren anser att det skulle kunna ge ett effektivare utnyttjande av infrastrukturkapitalet i vägar. Beträffande problemet att administrera avgifterna hänvisar också han till Hongkong-lösningen.

#### Slutsatser

Nya metoder för finansiering av vägar vinner gehör på många håll samtidigt som datortekniken möjliggör en effektiv registrering och administration av ett avgiftssystem. Med ett avgiftssystem erhålls avsevärt bättre information om värdet av olika vägavsnitt, vilket kan användas som underlag för investerings- och underhållsinsatser i vägsystemet. Den direkta kopplingen mellan användningen av vägen och betalningen för densamma medför att systemet kan konstrueras så att en ökad samhällsekonomisk effektivitet uppnås.

## 6. METODUTVECKLING INOM VA-SEKTORN

Angreppssättet inom detta kapitel baseras på att en samhällsekonomisk analys görs av de objekt som är föremål för en eventuell underhållsinsats någon gång under de närmaste 5 åren (exempelvis). Dessa objekt ingår i en övergripande åtgärdsplan (indelningen av planeringen i olika steg har diskuterats i kapitel 1.4 och inledningsvis i kapitel 2). Målet borde vara att maximera nuvärdet av det samhällsekonomiska överskottet m h t servicekrav och övriga restriktioner. För det fall att förvaltarna av den kommunala infrastrukturen agerar med en annan målsättning borde incitament och regler för verksamheten införas så att den "kommunalekonomiskt" bästa lösningen närmar sig den samhällsekonomiskt bästa lösningen. Vid avsaknad av priskänslighet (prisoberoende intäkter) innebär detta en minimering av de samhällsekonomiska kostnaderna. Resultatet påverkas mycket av kalkylräntekravet. Vidare inverkar restvärdet hos en anläggning påtagligt analysresultatet, dock vanligen i mindre omfattning än kalkylräntenivån.

För varje objekt fastställs ett antal lämpliga kombinationer av underhållsinsatser, både avseende typ av åtgärder och tidpunkter för dessa, och resursåtgång avseende bl a budgetkrav för dessa kombinationer av åtgärder. En sådan kombination av underhållsinsatser kan vara ett nollalternativ som omfattar minsta möjliga underhållsinsats, t ex strategi 2a. De grundläggande underhållsstrategierna som vi refererar till här är:

2a. Enbart löpande underhåll tills dess att anläggningarnas tillstånd har nått ner till lägsta acceptabla nivå eller tills dess att besparingen i de löpande underhållskostnaderna överstiger kostnaderna för ränta och ökad värdeminskning efter en reinvestering/omläggning.

2b. En väl avvägd insats av förebyggande underhåll och reinvestering.

Övriga, mer "aktiva" strategier, kan sägas vara kombinationer av strategierna 2a och 2b där valet av åtgärdstidpunkter är viktigt.

I ett påföljande beslutsteg bör resultatet från objektanalysen kopplas till de tillgängliga resurserna (budgeten) så att de allokeras till de olika objekten på ett sådant sätt att den samhällsekonomiska nyttan blir så stor som möjligt. Denna allokering innebär alltså att en *prioritering* görs av alternativa åtgärder för samtliga objekt över exempelvis en 5-årsperiod med hänsyn tagen till de finansiella villkoren. Allokeringen kan t ex göras

- 1) med hjälp av enkla prioriteringskriterier som t ex nyttokostnadskvoter
- 2) med hjälp av mer eller mindre sofistikerade heuristiker som explicit söker maximera den sammanlagda "nettonyttan" med hänsyn till budgetkraven eller
- 3) med optimeringsmetoder som maximerar den sammanlagda "nettonyttan" med hänsyn till budgetkraven.

Hur väl de "enkla" metoderna, 1 och 2, fungerar kan uppskattas genom att jämföra med resultatet efter användning av alternativ 3. En ännu bättre jämförelse skulle, om möjligt, vara att jämföra med vad resultatet blir i verkligheten som en konsekvens av vilken planeringsmetod som används.

Planeringshorisontens längd och dess indelning i delperioder är givetvis av stor betydelse. För anläggningar i den kommunala infrastrukturen som har långa livslängder är det mycket viktigt med ett långsiktigt perspektiv, och det är därför väsentligt att ha en planeringshorisont som överstiger ett "årligt budgetperspektiv".

Centrala inslag i den samhällsekonomiska analysen av de olika objekten är:

- Tillståndsbedömningar: Prognos för utvecklingen  
Symptombaserad  
Provning (tryckfall, skadeanalyser m m)  
Videofilmning (avlopp)
- Kostnader för: Underhåll inklusive trafikstörningar  
Trafikanter (restid, fordonskostnader m m)  
Abonnentstörningar och skadeverkan  
Miljö
- Servicekrav avseende: Maximinivåer för störningar (trafik, utebliven  
vattenförsörjning, källaröversvämningar)  
Anläggningskrav  
Miljöaspekter

Tillståndsbedömningarna utgör grunden för prioritering av underhållsinsatserna. Anledningen är helt enkelt att tillståndet direkt eller indirekt avspeglar storleken på de löpande underhållskostnaderna, övriga samhällsekonomiska kostnader och den service som abonnenterna erhåller. Tillståndet anges normalt i flera dimensioner som vid behov kan sammanföras till ett endimensionellt värde, t ex ett värde på en skala från 1 till 10 (där 10 är bäst). Ett tillståndsmått kan t ex utgöras av problemsymptom som delar av VA-nätet uppvisar, framförallt antalet akutskador per km och år, men också problem med missfärgat eller illasmakande vatten. Genom mätning av t ex tryckfall i delar av VA-nätet under lågbelastning kan svaga ledningsavsnitt med vattenläckageproblem identifieras. I samband med reparation av vattenläckor kan prover på ledningarna tas för analys av korrosionsskadeförekomster, avlagringsnivåer m m. Avloppsledningar kan videofilmas och via analys av dessa filmer kan tillståndet hos ledningarna bedömas. Misstänkta korrosionsområden kan testas genom användning av en utrustning som trycker en spetsig kon mot ledningens insida. Går konen igenom ledningen så är den allvarligt rostskadad. För att göra en prioritering av underhållsinsatserna är det viktigt att göra prognoser för hur tillståndet kommer att utvecklas så att insatserna kan göras på rätt plats och i rätt tid. Dessa prognoser görs baserat på kunskapen om det befintliga VA-nätet i form av den historiska tillståndsutvecklingen och aktuella tillståndsmätningar och -bedömningar.

Exempel på prognos över förnyelsevolymerna, och därmed indirekt över tillståndsnivåerna, redovisas i Jönsson [1989b] som sammanfattas i kapitel 6.5.

För val av lämpliga underhållsinsatser måste kostnaderna för olika åtgärder och deras konsekvenser för omgivningen vara kända. De direkta kostnaderna för underhållsåtgärderna, reparationer, renoveringar, omläggning m m, är väl kända. I samband med förebyggande underhåll av olika slag är det också viktigt att känna till den ekonomiska livslängden så att kapitalkostnaderna kan beräknas på ett riktigt sätt. De skador som uppstår på gator och vägar i samband med VA-underhåll betalas normalt av VA-verket antingen genom reparation av beläggningen och ersättning för framtida fördyrat vägunderhåll, eller genom en direkt betalning till Gatukontoret för merkostnaderna till följd av VA-reparationerna. För VA-verket uppstår också en intäktsförlust som en följd av produktionsbortfallet.

Utöver kostnaderna ovan som faller inom VA-verkens budget, uppkommer andra samhällsekonomiska kostnader som ska ingå i en samhällsekonomisk kalkyl. Till dessa hör trafikantkostnader, abonnentkostnader och miljökostnader. Trafikantkostnaderna som är mer svårkvantifierade uppstår p g a trafikstörningar till följd av avstängning och trafikomledning. Detta orsakar trafikanterna längre restider och ökade svårigheter att finna parkeringsplatser, och värderingen av detta kan göras genom en multiplikation av det uppskattade antalet trafikanter som drabbas, den genomsnittliga förlängningen i restid och ett tidsvärde i kr/tim som uttrycker det genomsnittliga alternativvärdet av tidsförlusterna. Eventuella ökade fordonskostnader som trafikanterna drabbas av till följd av gatu- och vägskadorna i samband med VA-underhållet tillkommer.

Abonnentkostnader utgörs framförallt av källaröversvämningar och andra egendomsskador i samband med otillräcklig kapacitet eller skador på VA-nätet. Dessa kan uppskattas genom sammanställning av VA-relaterade försäkringsskadefall. Förekomsten av avbrott i vattendistributionen orsakar givetvis också kostnader för abonnenterna men dessa är dels svåra att kvantifiera, dels varierar de mycket mellan olika abonnenter. Kostnaderna för detta är högst för "vattenberoende" företag och institutioner, ex vis sjukhus, hotell, vissa processindustrier, restauranger, frisörer, medan kostnaderna för privatpersoner normalt inte är särskilt stora (det är få som skulle vilja betala mer för en ökad säkerhet i vattenleveranserna).

Miljökostnader uppstår också som en följd av VA-verksamheten genom utsläpp av föroreningar i naturen. Dessa uppstår dels i samband med otillräcklig rening av avloppsvattnet, dels då man drabbas av bräddning (mängden avloppsvatten är så stort att en viss mängd måste släppas ut orenat). Att bestämma en kostnad för detta är ännu svårare än för de ovan diskuterade kostnadsposterna. Ett sätt att indirekt bestämma dessa är via minimikrav på tillståndsnivåerna. De marginella miljökostnaderna uttrycks då av skuggpriset på de restriktioner som uttrycker dessa minimikrav, eller annorlunda uttryckt de marginella kostnaderna som uppstår för att uppfylla dessa minimikrav. Används miljökostnader bestämda på detta sätt erhålls i princip en allokering av underhållsinsatserna så att dessa restriktioner satisfieras.

Med anledning av svårigheterna att uppskatta VA-abbonenternas betalningsvilja (jämför kapitel 1.3) avstår man ofta från att söka en maximering av de samhällsekonomiska intäkterna och väljer att istället minimera de samhällsekonomiska kostnaderna med hänsyn till olika servicekrav som ett indirekt uttryck för betalningsviljan. Dessa servicekrav kan lämpligen knytas till tillståndsnivåerna och ex vis uttryckas som det maximala antalet driftsavbrott per km och år som tillåts för någon enskild ledningssträcka, som maximalt antal egendomsskador per km ledning och år, eller som maximalt genomsnittligt antal m<sup>3</sup> avloppsvatten per år som bräddas. Givetvis kan dessa servicekrav uttryckas i många fler dimensioner, men för att det inte ska bli alltför komplicerat att bestämma allokeringen av underhållsinsatserna bör servicekraven inte vara alltför många eller alltför komplicerade.

Stora delar av problembeskrivningen ovan och metoder för att lösa olika delar av problemet presenteras i Lofsten [1991], se sammanfattningen i kapitel 6.5. Analysen illustreras m h a fallstudier från VA-verksamheten i 4 kommuner.

## **6.1 Objektanalys**

Normalt sett är det alltför komplicerat att göra en analys av varje individuellt objekt samtidigt som hänsyn tas till allokeringen av gemensamma begränsade resurser, framförallt finansiella restriktioner men också personalresurser för ledningsarbeten m m. Vi föreslår därför en 2-steps analysprocess där man i det första steget gör en s k objektanalys av varje individuellt underhållsobjekt (t ex en 50 m:s vattenledning mellan två serviser eller alla vattenledningar i ett kvarter), och sedan i det andra steget väljer en kombination av åtgärder för samtliga objekt som satisfierar de gemensamma begränsade resurserna i en s k resursallokeringsanalys. Objektanalyser av detta slag utgör delar av det fundamentala planeringsproblemet medan resursallokeringsanalysen faller inom ramen för det kompletterande styrproblemet enligt formuleringarna i kapitel 1.4.

Fördelen med detta angreppssätt är att det dels, åtminstone delvis, överensstämmer med hur underhållsplaneringen sker i praktiken idag, dels att problemkomplexiteten reduceras väsentligt. En väsentlig nackdel är givetvis att beroendet mellan olika anläggningsdelar ej beaktas i kalkylen vid detta angreppssätt. Emellertid är det både svårt att uppskatta beroendet mellan olika delar av anläggningen och dess inverkan på kostnaderna samt att lösa ett problem som inkluderar många olika beroenden. Vad som kan göras är att följa



upp i vilken mån denna "brist" i analysen påverkar resultatet och att vidta åtgärder vid uppenbara felallokeringar av resurser på detta. Exempel på objektanalyser presenteras i kapitel 2.

I objektanalysen kan varje objekt analyseras i detalj och relativt komplicerade hänsynstaganden kan göras. Av samma skäl som diskuterats inledningsvis i kapitel 2.1 betraktas efterfrågan som oelastisk vilket medför konstanta intäkter och då blir problemet endast att minimera de samhällsekonomiska kostnaderna. Uppgiften blir därför att för varje objekt välja de underhållsstrategier, som minimerar de samhällsekonomiska årskostnaderna i form av underhålls-, abonnent-, trafikant- och miljökostnader med hänsyn till servicevillkor, tillståndsutveckling m m.

Motivet för att beakta årskostnaderna är att samtliga underhållsprogram blir jämförbara med varandra genom det implicita antagandet om en oändlig tidshorisont. I och med att vi endast beaktar kostnaderna kan inte något överskott erhållas för objektet utan endast olika stora kostnader, och när livslängden varierar med olika underhållsplaner räcker det inte att jämföra nuvärdena för de olika planerna med varandra. För att kunna använda nuvärdet som urvalskriterium måste planeringshorisonterna likställas för samtliga underhållsplaner, vilket i och för sig kan göras genom en justering medelst restvärdena i slutet av en gemensam planeringshorisont. Ett i många avseenden enklare alternativ är att istället använda årskostnadsmåttet (vilken överensstämmer med nuvärdeskriteriet för en oändlig tidshorisont).

Optimallösningen till objektanalysproblemet (6.1) kan bestämmas även för relativt komplicerade samband, och även om så inte är fallet kan effektiva heuristiska metoder konstrueras som resulterar i nästan-optimala lösningar. I den lösningsprocessen erhålls normalt ett antal lösningar som i stort sett ger samma kostnad men med de resurskrävande förebyggande underhållsinsatserna förlagda i olika perioder.

Normalt sett är inte lösningen av problemet (6.1) stötestenen i detta sammanhang utan de svåra delarna är att bestämma kostnads- och tillståndsparmetrarna. Utan denna information måste besluten fattas på det existerande, begränsade beslutsunderlaget. Behovet av indata diskuteras och exemplifieras, utöver vad som sagts tidigare i denna rapport, i rapportsammanfattningarna i kapitel 6.5.

Exempel på genomförande av objektanalyser redovisas i de interna projektrapporterna Jönsson [1990b, 1990d, 1991a, 1991d] respektive Jönsson och Stahre [1991b]. En allmän diskussion av denna typ av underhållsproblem och relaterade investeringskalkylproblem presenteras i Löfsten [1989a]. Empiriskt underlag redovisas i Löfsten [1989b]. Sammanfattningarna av dessa rapporter återfinns i kapitel 6.5

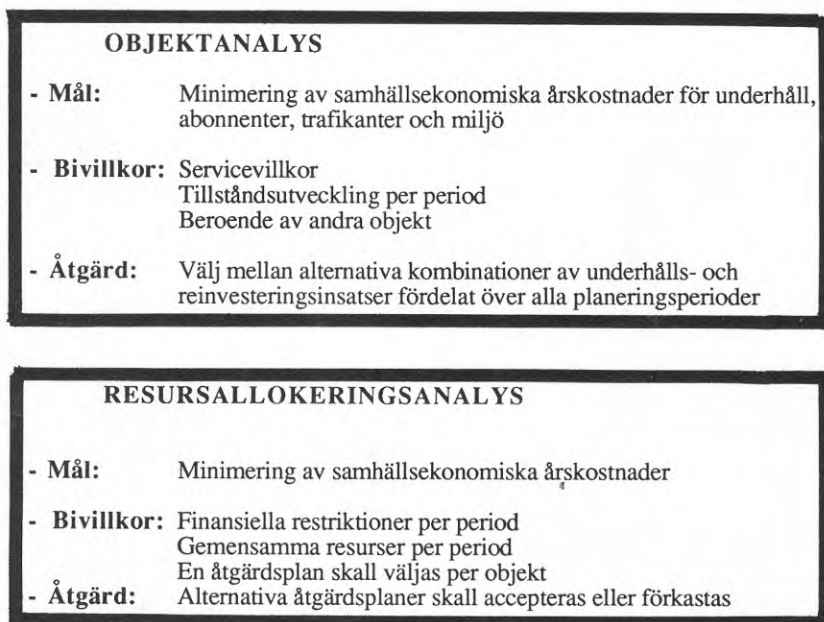
## **6.2 Resursallokeringsanalys: Samordnad underhållsplanering för alla objekt**

Detta andra, mer övergripande, steg i underhållsplaneringen går ut på att välja ut de underhållsplaner för de enskilda objekten som utnyttjar de begränsade resurserna på effektivast möjliga sätt. Formellt kan uppgiften formuleras som att välja exakt den åtgärdsplan som minimerar summan av årskostnaderna för alla aktuella objekt med hänsyn till finansiella restriktioner och övriga gemensamma resurser.

I denna uppgift ingår inte service- och tillståndsrestriktioner därför att dessa måste anses vara bemöta i objektanalysen. Denna uppgift kan lösas såväl med hjälp av standardprogram för sk blandad heltalsprogrammering, som med enklare heuristiska metoder (t ex att välja den åtgärdsplan som ger lägst årskostnad för varje objekt). Om samtliga restriktioner satisfieras av ett sådant urval så är lösningen effektiv. Om så inte är fallet kan man t ex successivt välja ut alternativa åtgärdsplaner som ökar årskostnaden så lite som möjligt samtidigt som restriktionerna "satisfieras bättre". Detta urval av

alternativplaner får fortsätta tills en acceptabel lösning erhålls, d v s en kombination av åtgärdsplaner som satisfierar samtliga restriktioner.

I figur 6.1 illustreras den stegvisa beslutsgången via individuella objektanalyser till en gemensam resursallokering till de lämpligaste kombinationerna av objekt och underhållsalternativ. Om en tillåten lösning inte erhålls tvingas man till anskaffning av ytterligare resurser så att underhållsplanen kan genomföras.



Figur 6.1 Stegvis analys och planering av ett underhållsprogram.

De "nya" metoder som använts eller föreslagits som användbara inom ramen för detta projekt för lösning av de olika analysproblemen sammanfattas enligt (en kortfattad beskrivning av de olika metoderna redovisas i kapitlen 6.3 och 6.4):

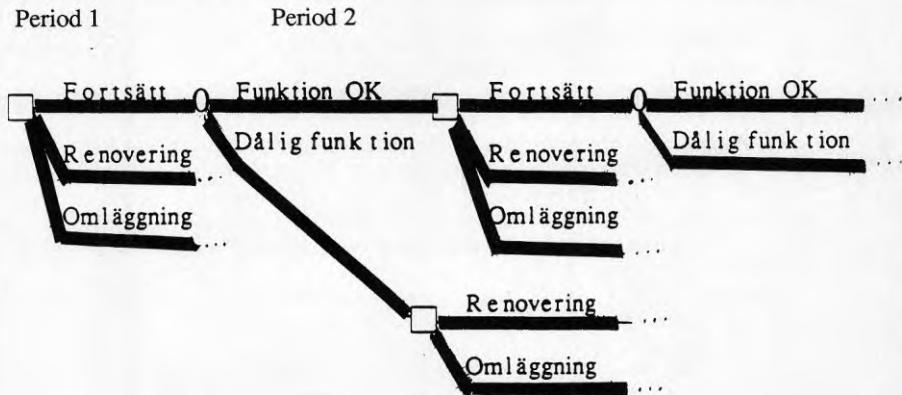
- **OBJEKTANALYS:** Beslutsträdsmetodik  
Dynamisk programmering  
Stokastisk dynamisk programmering  
Årskostnadsminimerande heuristiker
- **RESURSALLOKERINGSANALYS:** Blandad heltalsprogrammering  
Heuristiker  
Scenarioaggregering

I den kortfattade beskrivning som ges nedan utgår vi ifrån att målet är att minimera kostnaden i analogi med de två formulerade målen i problemen (6.1) och (6.2). Detta mål kan givetvis bytas ut mot t ex en maximering av det samhällsekonomiska överskottet.

Exempel på resursallokeringsmodeller baserade på objektanalyser återfinns i Jönsson [1990b, 1990d], se rapportsammanfattningarna i kapitel 6.5. En tillämpning av detta redovisas i Jönsson [1991a].

### 6.3 Metoder för objektanalys

Beslutsträdsmetodiken går ut på att avbilda olika beslutstillfällen och beslutsalternativ via beslutspunkter respektive slumpens val via chanspunkter i ett beslutsträd. Beslutspunkter avbildas normalt som fyrkanter och chanspunkter som cirklar i ett sådant träd, och från punkterna går det en gren för varje möjligt beslut respektive varje möjligt slumputfall. De inbördes placeringarna av olika punkter bestäms vanligen av deras tidsmässiga fördelning. I våra problem kan beslutsträdet exempelvis utgöras av en beslutspunkt i början på varje period och varje beslut följs av en chanspunkt som avbildar de möjliga konsekvenserna av besluten inom perioden och eventuellt i kommande perioder. Det principiella utseendet på ett beslutsträd av detta slag illustreras i figur 6.2. Beräkningen av trädets värde görs från höger till vänster med början i chanspunkterna där det förväntade värdet av det aktuella beslutet beräknas. Värdet i beslutspunkten bestäms som det minsta (vid kostnadsminimering) av det deterministiska värdet av respektive beslut plus värden från eventuella chanspunkter i slutet av grenarna. När hela beslutsträdet utvärderats erhålls det förväntade värdet för hela tidshorisonten med början i period 1 och det initiala beslut som leder till detta värde. Efter den första perioden beror kommande beslut på hur det faktiska utfallet blir i chanspunkterna (i verkligheten). Givet att förutsättningarna inte ändras har man i varje beslutspunkt som passeras redan bestämt det bästa beslutet. Exempel på användning av denna metod finns i Jönsson [1990b, 1991d] respektive Jönsson och Stahre [1991b], se kapitel 6.5.



Figur 6.2 Illustration av ett beslutsträd.

Dynamisk programmering baseras på att beslutsproblemet kan indelas i ett antal steg, t ex ett steg per period, vilket överensstämmer med problem (6.1). Dessutom måste beslutsproblemet i varje steg kunna hanteras oberoende av övriga stegs beslutsproblem. Beroendet mellan beslutsstegen redovisas i tillståndsbeskrivningen av systemet och dess utveckling över tiden. Tillståndet i systemet beskrivs av ett antal tillståndsvariabler vars värden dels påverkas av externa faktorer (beträffande röret ex vis omgivningsmaterial och klimat), dels av de beslut som fattas (ex vis ger en omläggning en hög tillståndsnivå). Om tillståndsvariablerna är kontinuerliga tvingas man göra någon form av intervallindelning så att inte antalet möjliga värden blir för stort. I varje tidsperiod har man kunnat nå ett begränsat antal av de möjliga tillstånden genom de beslut som tagits i tidigare skeden, och i varje sådant tillstånd beräknas vilka konsekvenser som beslutsalternativen leder till, d v s vilka de ingående tillståndsvariablerna blir i den kommande tidsperioden, och vilken kostnaden blir. Varje gång ett tillstånd uppnås till en lägre kostnad än tidigare förkastas den tidigare beslutskedjan som ledde dit och den nya sparas undan. Alternativa sekvenser av beslut som ger nästan minimala kostnader kan enkelt identifieras.

Faktum är att relativt komplicerade problem, som är indelningsbara i ett antal beslutssteg enligt ovan, kan lösas med denna metod. Den betydande nackdelen är att antalet beräkningar växer exponentiellt med antalet olika tillstånd som måste genomsökas, vilket praktiskt begränsar användningen till problem med relativt få tillståndsvariabler, t ex färre än 5 stycken (detta antal är givetvis beroende på antalet nivåer som är aktuella för varje enskild tillståndsdimension).

*Stokastisk dynamisk programmering* är en utveckling av "vanlig" dynamisk programmering där det slumpmässiga inslaget medför att målkriteriet uttrycks som väntevärdet av kostnaden. Vidare innebär slumpen att tillståndsvariabelförändringen blir styrd av densamma och icke-förväntade tillstånd kan nås, i vilket fall det bästa beslutet i den situationen kan avläsas. I princip är faktiskt denna metod identisk med beslutsträdsmetoden, och man kan säga att det är ett sätt att beräkningsmässigt klara av att bestämma den bästa beslutsstrategin i ett stort träd som är praktiskt omöjligt att rita upp och utvärdera på normalt sätt. Även vid användning av denna metod kan alternativa nästan-optimala lösningar bestämmas, särskilt i de fall där man fattar ett beslut om ett förebyggande underhåll under de närmast kommande perioderna, och utöver detta endast behöver utföra löpande underhåll av olika omfattning. En användning av stokastisk dynamisk programmering redovisas i Jönsson [1990d], se kapitel 6.5.

*Heuristiker* av olika slag kan konstrueras på oerhört många sätt. En heuristisk metod är en uppsättning regler som ska tillämpas en eller flera gånger, i ett beräkningsförfarande, för att generera underhållsplaner. Normalt erhålls ej optimala lösningar med en metod av detta slag (även om vissa steg av beräkningarna kan utgöras av en optimeringsprocedur), men förhoppningsvis erhålls tillräckligt bra lösningar. Den stora fördelen med en heuristik jämfört med optimeringsmetoder är att alla typer av problem, i princip, kan lösas med en sådan metod samt att det oftast går snabbare. Nackdelen är givetvis att erhållna lösningar vanligen ej är optimala. Vid förebyggande underhåll av en VA-ledning i form av t ex renovering/omläggning är det endast aktuellt att göra en reinvesteringsinsats under de kommande perioderna. En enkel heuristik är då att bestämma årskostnaden för olika förebyggande underhållsinsatser under olika perioder, och sedan välja den kombination av insats och tidsperiod som ger lägst kostnad. Några olika heuristiker presenteras i Jönsson [1990d, 1991a], se kapitel 6.5.

#### **6.4 Metoder för resursallokeringsanalys**

*Blandad heltalsprogrammering* är den standardmetod som kan tillgripas för att göra prioriteringen av insatserna för de olika objekten baserat dels på objektanalysresultaten, dels på de tillgängliga gemensamma resurserna (t ex tillgängliga finansiella medel). Standardprogram finns för såväl små som stora datorer. I denna tillämpning anges ett antal olika underhållsplaner för varje objekt, företrädesvis med insatstidpunkterna fördelade i olika tidsperioder eller med väsentligt olika resurskrav för de olika insatserna, samt den tillhörande resursförbrukningen i olika perioder. För varje objekt införs också ett villkor som kräver att exakt en underhållsplan väljs ut. Om servicevillkor m m så tillåter, kan en av de alternativa planerna innehålla en fördröjning av alla större underhållsinsatser till efter planeringshorisontens slut. Anledningen till att det blir en blandad heltalsprogrammeringsmodell är blandningen mellan kontinuerliga variabler som beskriver anskaffning och allokering över tiden av t ex de finansiella resurserna och heltalsvariabler av antingen-eller typ som anger huruvida en viss underhållsplan skall väljas eller inte. Exempel på heltalsmodeller presenteras i Jönsson [1990b, 1990d] och ett tillämpningsexempel redovisas i Jönsson [1991a], se kapitel 6.5.

Även för detta problem kan en mängd heuristiker användas. Som illustration beskrivs en möjlighet. Välj först ut den bästa underhållsplanen för varje objekt. För alla valda planer som medverkar till en resursöverskridning beräknas följande:

1. Kostnader för alternativa planer med resurskrav som faller inom de givna ramarna.

## 2. Kostnader för att utöka resurserna i olika perioder.

Slutligen väljer man i möjligaste mån ut alternativplaner med en merkostnad som understiger kostnaden för en resursutökning och byter ut relevanta underhållsplaner. När inga sådana byten längre kan göras så skulle man i ett andra steg på ett analogt sätt kunna byta mot planer som reducerar resursöverskridandet totalt sett, och när det är färdigt avsluta med att anskaffa resursförstärkningar.

*Scenarioaggregeringsmetoden* är ett sätt att analysera flerstegsproblem i en situation med ett antal möjliga framtida scenarier. Scenarierna kan t ex utgöras av olika volymer på de kommande förnyelsebehoven. Bakgrunden till metoden är att det ofta är tillräckligt att beakta ett relativt begränsat antal möjliga utfall i ett stokastiskt problem för att avspegla de väsentligaste aspekterna hos beslutsproblemet, samtidigt som det är praktiskt omöjligt att både ta hänsyn till ett stort utfallsrum och att generera utfallen. Idén är sedan att välja det beslut i den kommande perioden som ger ett så bra förväntat utfall som möjligt. Trots den förenkling som görs genom reduktionen av antalet scenarier så kan problemet snabbt bli alltför stort vid praktiska tillämpningar. En kortfattad presentation av metoden återfinns i Jönsson [1989a], se kapitel 6.5.

### **6.5 Sammanfattningar av interna projektrapporter**

Jönsson H: *Några synpunkter på det framtida förnyelsebehovet av VA-ledningar*, 1989b, 13 sid

---

Nyckelord: Tillståndsutveckling; Prognos

Denna rapport beskriver en prognosmodell för det framtida förnyelsebehovet av VA-ledningar. Idén går ut på att prognostisera den framtida förnyelsen av VA-ledningar på en aggregerad nivå givet olika förutsättningar beträffande sannolikhetsfördelningarna för livslängderna. Under vissa förutsättningar är behovet mer eller mindre konstant under de närmaste 50 åren, i andra fall uppstår en "behovspuckel" under tidigt 2000-tal eller också växer förnyelsebehovet under första halvan av 2000-talet. För att få en uppfattning om vilken situation som gäller för en kommun måste man känna till ålder och materialkvaliteter för nedlagda VA-ledningar, samt sannolikhetsfördelningarna för dessa ledningars livslängder. Ett underlag för en sådan utvärdering kan i princip erhållas genom en empirisk analys av gjorda ledningsförnyelser inom kommunen och i andra kommuner med likartade förhållanden.

Jönsson H: *Förnyelse av en dålig VA-ledning via omläggning eller renovering*, 1990b, 24 sid

---

Nyckelord: Objektanalys - Beslutsträd  
Resursallokering - Blandad heltalsprogrammering (modell)

I denna rapport diskuteras hur förnyelsen av en utjämt VA-ledning bör göras. Förutsättningarna är att en given VA-ledningen måste bytas ut någon gång under de närmaste åren p g a att antalet akutreparationer börjar bli alltför många och dyra. Sannolikhetsfördelningen för den återstående livslängden antas vara känd. Ett antal olika möjligheter att förnya VA-ledningen beaktas, t ex via en omläggning eller en renovering (med en sk relining) och kombinationer över tiden av dessa (t ex renovera först och gör senare en omläggning vid behov). Akutfelsutvecklingen för de olika förnyelsealternativen samt sannolikhetsfördelningarna för livslängderna antas också vara kända.

Att beräkna den förväntade, diskonterade totalkostnaden för akutunderhåll och investeringar under en planeringshorisont om t ex 100 år givet tidpunkter för förnyelseinsatserna kan göras i form av ett beslutsträd, jämför metoddiskussionen ovan. I rapporten används högst två olika tidpunkter för förnyelseinsatserna, vilket gör att man enkelt kan räkna igenom alla tänkbara alternativ och sedan välja det bästa. Även närliggande lösningar erhålls enkelt då detta förfarande med fullständig uppräknings används.

På motsvarande sätt som vid dimensionering av vägbeläggningsunderhåll, så måste de tillgängliga resurserna prioriteras mellan ett antal olika underhållsobjekt vilket behandlas i ett separat resursallokeringssteg. I rapporten beskrivs hur man kan formulera problemet att välja en förnyelseplan av

ett antal föreslagna planer för vart och ett av de aktuella underhållsobjekten. Målet är att minimera totalkostnaderna för samtliga underhållsobjekt med hänsyn tagen till resursvillkor av olika slag, t ex beträffande budget, arbetskraft och finansieringsmöjligheter.

Jönsson H och Stahre P: *Förnyelse av avloppsledningar genom punktreparation eller omläggning/renovering*, 1991b, 13 sid

---

Nyckelord: Objektanalys - Beslutsträd, avloppsledningar

Konditionen hos befintliga avloppsledningar kan bli undersökas genom videofilmning och materialskörhetsprovning. Ofta förekommer det att korta delar, upp till 5 m, av en längre ledning är i dålig kondition medan den resterande delen omfattande 50 - 150 m troligen kan fungera utan störningar i ytterligare 30-50 år.

I rapporten analyseras konsekvenserna av att använda en underhållsstrategi, som går ut på att punktrepamera ledningen. Detta innebär att den korta, dåliga delen av ledningen grävs upp och åtgärdas lokalt. Därmed kan tidpunkten för omläggning/renovering av hela sträckningen flyttas fram åtskilliga år. Den ekonomiska kalkylen görs med hjälp av en enkel beslutsträdsmodell där hänsyn tas till osäkerheten i livslängden för den punktrepamerade ledningen.

Med de givna förutsättningarna visar det sig vara utomordentligt lönsamt att genomföra förebyggande underhåll i form av punktreparationer.

Jönsson H: *Förnyelse av vattenledningar: En beslutsträdsanalys*, 1991d, 13 sid

---

Nyckelord: Objektanalys - Beslutsträd, vattenledningar

Det råder en påtaglig osäkerhet om konditionen hos befintliga vattenledningar som har drabbats av ett antal driftavbrott, vanligen på grund av vattenläckor, under de senaste åren. Det kan vara lokala problem som medelst akutunderhållsinsatser eller punktreparationer åtgärdas till lägsta samhällsekonomiska kostnad. Punktreparationerna kan vara av samma karaktär som beskrivs i Jönsson och Stahre [1991b]. I andra fall kan det vara bättre att göra en förebyggande underhåll i form av ett ledningsbyte.

Valet av underhållsåtgärder för en misstänkt dålig ledning beror på kostnaderna för akutunderhåll och driftavbrottsfrekvensen jämfört med kapitalkostnader och underhållskostnaderna för en ny vattenledning. Hänsyn kan härvid tas till eventuella samordningsmöjligheter med underhåll av gatubeläggningarna i området. Vidare påverkas valet av de uppskattade sannolikheterna för olika tillståndsutvecklingar hos ledningen. Givet olika förutsättningar kan man snabbt genomföra en beslutsträdsanalys och beräkna de olika alternativens förväntade värde som nuvärdet av kostnaderna sett över t ex en period om 100 år med hjälp av en persondator.

I rapporten redovisas resultatet av en sådan analys för 5 praktikfall från VA-verksamheten i Göteborg. Sammanfattningsvis kan man säga att man i 3 fall av 5 vidtog rätt åtgärd med de givna förutsättningarna avseende kostnader, felfrekvenser och sannolikheter.

Beräkningarna har gjorts med ett interaktivt datorprogram som kan köras på vilken IBM-kompatibel PC som helst. En kopia av programmet kan erhållas från författaren.

Jönsson H: *Analys av ersättningsinvesteringar avseende VA-ledningar med hänsyn till osäkerhet*, 1990d, 32 sid

---

Nyckelord: Objektanalys - Stokastisk dynamisk programmering / Årskostnadsheuristiker  
Resursallokering - Blandad heltalsprogrammering (modell)

När en VA-ledning börjar kräva alltför många akutreparationer per år måste ett förebyggande underhåll i form av en ersättningsinvestering av något slag utföras, som väsentligt förbättrar ledningens prestanda avseende driftsäkerhet och eventuell kapacitet. Normalt utgörs de möjliga alternativa underhållsinsatserna dels av omläggningar (= uppgrävning av gammal ledning och nedläggning av en ny) med olika omfattning och materialval, dels av olika renoveringsalternativ som kan genomföras med begränsad inverkan på verksamheten ovan mark.

Förutsättningar om statistiska livslängdsfördelningar för olika underhållsalternativ, reinvesterings-, drifts- och löpande underhållskostnader, samt den förväntade akutfelsutvecklingen antas kända. Denna typ av data kan skattas baserat på historiska uppgifter, men detta kräver omfattande statistisk analys av de reparations- och underhållsinsatser som gjorts för ledningar med olika förutsättningar avseende material, dimensioner, trafikbelastning, markförhållanden, ålder m m. Det är också klart att osäkerheten i de skattade parametrarna är betydande, men detta kan hanteras genom att riskbedömningar görs utgående från existerande osäkerhetsuppfattningar.

Beslutsvariablerna utgörs av val av tidpunkter för insats av det förebyggande underhållet, d v s när bör en omläggning eller renovering av den studerade VA-ledningen göras, och vilken typ av förebyggande underhåll bör utföras. Målet är att minimera de samhällsekonomiska kostnaderna för underhållsverksamheten, t ex att minimera nuvärdet av investerings-, drifts- och underhållskostnader samt "störningskostnader" för abonnenter och trafikanter över en tillräckligt lång planeringshorisont, t ex 100 år. För att beakta osäkerheten i problemet utnyttjas lösningsmetoden stokastisk dynamisk programmering, vilket som resultat ger en beslutspolicy med optimala beslut i varje förutsett, tänkbar situation samt den minimala förväntade kostnaden, jämför med metoddiskussionen avseende objektanalysen ovan. Denna metodik ger samma resultat som vanlig beslutsträdsanalys, men ett praktiskt genomförande av beräkningarna möjliggörs medelst en implicit uppräknig av alla alternativ.

Avsikten är att utnyttja resultaten av analysen avseende t ex de kommande 5 åren och planera in de underhållsinsatser som förväntas minimera nuvärdet av kostnaderna. Analysen av denna underhållsplanering kan upprepas med en rullande planeringshorisont (som t ex att upprepa analysen vartannat år). Vidare kan ett antal när-optimala lösningar enkelt fastställas. Möjlighet finns också att inkludera existerande besparingseffekter som erbjuds med en samordnad förnyelse av VA-ledningar och vägbeläggningsunderhåll (i form av inbesparade kostnader för återställning av gatubeläggningsen).

Dessutom föreslås två enkla, lättanvända heuristiska metoder baserade på årskostnadsberäkningar för att bestämma när och hur det förebyggande underhållet bör utföras. Genom en jämförelse av resultaten med dessa metoder och de när-optimala lösningarna från proceduren för stokastisk dynamisk programmering, erhålls en uppskattning av hur bra (eller dåligt) de heuristiska metoderna fungerar.

Slutligen redovisas en modell för allokering av en begränsad budget för förebyggande underhåll, där man väljer mellan ett antal olika åtgärdsalternativ för varje underhållsobjekt. De olika åtgärdsalternativen kan väljas bland de när-optimala lösningarna från optimeringsproceduren. Möjlighet att externfinansiera underhållsverksamheten inkluderas i modellen. Något numeriskt exempel på detta inkluderas ej, men tillvägagångssättet är i princip samma som i det redovisade exemplet i rapporten nedan.

Jönsson H: *Dimensionering av underhållsinsatser för VA-ledningar med hänsyn till risk, budgetrestriktioner, finansieringsmöjligheter och servicekrav, 1991a, 39 sid*

---

Nyckelord: Objektanalys - Årskostnadsheuristik  
Resursallokering - Blandad heltalsprogrammering (tillämpning)

Ett förebyggande underhåll av en VA-ledning måste utföras när det krävs alltför många akutreparationer per tidsperiod för att upprätthålla driften med en acceptabel servicenivå. Det förebyggande underhållet är en ersättningsinvestering av något slag som väsentligt förbättrar en VA-lednings driftsäkerhet. De alternativa underhållsinsatserna utgörs dels av omläggningarmed olika omfattning och materialval, dels av olika renoveringsalternativ som relining med respektive utan rörspräckning.

Det är i allmänhet besvärligt att skaffa fram det dataunderlag som krävs för att göra grundliga ekonomiska kalkyler, men icke desto mindre nödvändigt. Viktiga indata för kalkylerna är förväntade kostnader för befintliga ledningar och kostnader för alternativen. Vidare behöver man känna till sannolikheten för att den befintliga ledningen verkligen är dålig och att de aktuella problemen är bestående, så att risken att byta ut en väl fungerande ledning, bortsett från temporära störningar, kan beaktas. För att ta hänsyn till abonnenternas krav på systemet operationaliseras dessa genom att servicekrav inkluderas i kalkylerna. Vidare bör budgetrestriktioner och de finansiella möjligheter som står till buds för att påverka budgetens storlek beaktas.

Beslutsvariablerna består i att välja typ av och tidpunkt för det förebyggande underhållet. Målet är att minimera de förväntade samhällsekonomiska kostnaderna för underhållsverksamheten, t ex att minimera årskostnaden (annuitetsvärdet) av investerings-, drifts- och underhållskostnader för varje

aktuellt underhållsobjekt, där vederbörlig hänsyn tas till riskerna att fatta ett felaktigt beslut. Implicit innebär detta ett antagande om att anläggningen ersätts med likadana anläggningar efter utrangeringstidpunkterna i all framtid. Problemet består i att vidta bästa möjliga åtgärder med hänsyn tagen till olika villkor rörande budgetbegränsningar, finansieringsmöjligheter och servicekrav.

Ett alternativ för presentation av analysresultatet är att man på en persondator visar beslutsfattaren vilka konsekvenserna blir av att vidta olika åtgärder för de aktuella VA-ledningarna under t ex de närmaste 3-5 åren. Sedan är det enkelt att låta beslutsfattaren i en dialog med datorprogrammet markera när de olika VA-ledningarna skall åtgärdas, och snabbt beräkna årskostnaderna och finansieringsbehovet, samt markera huruvida budgeten överskrids i någon period och om några servicekrav är uppfyllda. Alternativa underhållsplaner kan lätt genereras och de lämpligaste kan sparas undan och skrivas ut vid behov. Existerande besparingseffekter som erhålls vid en samordnad förnyelse av VA-ledningar och vägbelägningsunderhåll kan inkluderas i analysen om så önskas.

Det ovan beskrivna problemet kan även formuleras som ett optimeringsproblem i form av en blandad heltalsprogrammeringsmodell. En lösning av det problemet ger en underhållsstrategi med de minimala årskostnaderna. Några potentiella svårigheter är att modellen kan bli så stor att den blir svår (eller omöjlig) att lösa på en persondator, att "interaktionen" mellan beslutsfattaren och analysen går förlorad, samt att det kan innebära vissa svårigheter att erhålla acceptans för en sådan modell bland praktiker.

I rapporten presenteras ett större numeriskt exempel som redovisar vad effekten kan bli av att använda denna resursallokeringsmodell i praktiken. Resultatet jämförs med en heuristisk metod som följer objektanalysernas åtgärdsförslag och sedan allokeras tillräckligt mycket extern finansiering till de perioder där behov uppstår och totalkostnaderna beräknas. Som vi kan vänta oss resulterar den optimerande resursallokeringsmodellen i en viss omfördelning av underhållsinsatserna i tiden, vilket leder till något större underhållskostnader men så mycket lägre finansieringskostnader att en lägre totalkostnad erhålls.

Jönsson H: *Stokastiska optimeringsproblem och -metoder: En översikt*, 1989a, 28 sid

---

Nyckelord: Stokastiska optimeringsproblem  
Tillämpningsmöjligheter; Objektanalys / Resursallokering

I rapporten ges en kort översikt över olika optimeringsmodeller som på olika sätt behandlar osäkerhetsaspekter i ett problem. Vid underhållsdimensionering finns en mängd olika osäkerheter och det bedöms därför vara högst relevant att känna till olika sätt att systematiskt hantera dessa. Några framtida faktorer för vilka osäkerheten är betydande är:

- Utvecklingen av trafikvolymerna på gator och vägar och den därtill hörande förslitningen.
- Det framtida behovet av VA-system och kvaliteten på dessa.
- Kommunernas framtida möjligheter att finansiera underhållsaktiviteter.

De "klassiska" metoderna nedan:

1. Riskbegränsade LP-problem (linjärprogrammeringsproblem)
2. Tvåstegs stokastiska LP-problem
3. Stokastisk dynamisk programmering

är var och en förknippad med begränsningar i användningsmöjligheterna som gör dem olämpliga och/eller omöjliga att använda för många verkliga problem.

Under de allra senaste åren har en ny metod, scenarioaggregering, föreslagits som representerar betydligt flexibla användningsmöjligheter. Metoden baseras på att ett antal olika framtidsscenarioer målas upp, eventuellt scenarier med mycket olika utseende. Varje scenario åsätts en antagen sannolikhet och i metoden vägs sedan olika scenarier samman på ett systematiskt sätt. Resultatet blir en lösning som anger det "optimala" sättet att agera under den närmaste perioden, vilket senare kompletteras med nya analyser givet utfallet i den första perioden.



Nyckelord: Kommun / Infrastruktur / Investeringsteori / Underhållsproblem

Denna inledande rapport syftar till att kartlägga den teoribildning som finns inom investerings- och underhållsområdet. Studien inleds med en beskrivning av problemområdet. Därefter redogörs för några olika forsknings- inriktningar inom investeringsteorin. De olika teknikerna och metoderna som presenteras avhandlas ur ett allmänt perspektiv och utmärkande aspekter rörande infrastrukturen tas upp i kommande rapporter. Studien visar att den teoribildning som finns inom investerings- och underhållsområdet främst är anpassad till industriella förhållanden. Många av de metoder som analyseras är dock tillämpliga vid kommunala investerings- och underhållsbeslut.

Löfsten H: *Studier av investerings- och underhållsplanering i svensk infrastruktur med några exempel från Göteborg*, Nr 1989:292, 1989b, 77 sid

---

Nyckelord: Kommun / Infrastruktur / Underhållsproblem i Göteborg

Syftet med rapporten är att belysa olika problemställningar och samband vilka är utmärkande för investerings- och underhållsplanering i infrastrukturen. Studien skall även utgöra underlag för kommande, mer detaljerade empiriska studier. Rapporten omfattar VA-sektorn samt väg- och gatusidan.

Rapporten har både teoretiska och empiriska inslag och speciellt studeras VA- och gatu/väg-verksamheten i Göteborg.

Några slutsatser som kan dras är att främst gatu- och vägsektorn står inför ett omfattande program- och planeringsarbete. För att klara denna uppgift krävs ett vittgående planeringsunderlag där anläggningarnas förhållanden, som t ex deras funktion och status, samt deras kopplingar till det övriga samhället, klarläggs.

Löfsten H: *Principer för planering, prissättning och finansiering av kommunal infrastruktur*, Delrapport 1991-05-28, 1991, 231 sid

---

Nyckelord: Kommun / Infrastruktur / Definitioner / Underhållsproblem; typiska Fallstudier / Integration; underhållsplanering - prissättning - finansiering

I denna rapport beskrivs den kommunala infrastrukturen i allmänhet och de relaterade underhållsproblemen. De förekommande ekonomiska avvägningsproblemen som skall lösas för att uppnå ett samhällsekonomiskt sett effektivt underhåll presenteras.

Sex olika principfall och modeller för ekonomiska kalkyler avseende dessa presenteras. De första, enklaste fallen avser lösning av det fundamentala planeringsproblemet. Problemställningarna kompliceras sedan i och med att det kompletterande styrproblemet successivt inkluderas i problemet. Med hjälp av bl a numeriska exempel kommer modellernas användbarhet och nytta att demonstreras.

I fyra olika fallstudier har den kommunala underhållsverksamheten belysts inom VA-området respektive gatuområdet. Avsikten är att m h a dessa studier och de olika modellerna belysa hur analys och lösning av det fundamentala planeringsproblemet och det kompletterande styrproblemet kan integreras med den existerande organisationen.

## 7. METODUTVECKLING INOM VÄGSEKTORN

Rent principiellt är angreppssättet i detta kapitel identiskt med det som beskrivits i kapitel 6. Detta gäller såväl objektanalysen som resursallokeringsanalysen. Den stora skillnaden ligger i avsaknaden av avgifter till vägproducenten vilka är kopplade till utnyttjandet. Eventuellt kan framtida vägavgifter bli ett alternativ för finansiering av underhållet.

### 7.1 Objektanalys och resursallokeringsanalys

I princip är målet även här att åstadkomma största möjliga samhällsekonomiska överskott. Beräkning av överskottet kan lämpligen ske enligt de principer och metoder som tillämpas inom vägverket för beräkning av samhällsekonomiska effekter av beläggningsunderhåll, se t ex Revisionsavdelning 2 [1986].

Planeringen av underhållsverksamheten kan lämpligen göras i två steg på motsvarande sätt som vid planering av VA-verksamheten. Det första steget (objektanalysen) motsvarar då den objektanalys som Vägverket använder vid samhällsekonomiska bedömningar av olika investerings- och underhållsinsatser. Resursallokeringssteget motsvaras närmast av de olika nyttokostnadskvoter som används inom Vägverket för bedömning av vilka insatser som är lönsamma. En nackdel med tvåstegsanalysen är givetvis att objekten kan komma att behandlas som oberoende av varandra, vilket de inte alltid är. Om exempelvis en vägsträcka indelas i två objekt kanske det krävs att underhållsinsatser görs för båda objekten om de beräknade överskotten ska erhållas. Delvis kan denna typ av fel motverkas med en lämplig objektindelning. Andra beroendeförhållanden mellan olika vägvagnsnitt är att ett förbättrat tillstånd på ett avsnitt kan medföra ökade trafikvolymerna där och motsvarande minskningar på annat håll vilket gör att tillståndsprognoserna ändras för ett flertal objekt. Emellertid är effekterna av denna typ av beroenden dels svåra att beräkna, dels blir modeller som beaktar dem komplicerade. Av detta skäl avstår vi i nuläget från att gå närmare in på detta.

Centrala inslag i den samhällsekonomiska analysen av de olika objekten är:

- Tillståndsbedömningar:      Prognos för utvecklingen (tillstånd, kostnader, trafikvolym, inverkan av underhåll)
  
- Kostnader/Intäkter för:      Underhåll  
   Trafikanter (restid m m)  
   Olyckor  
   Fordon  
   Miljö
  
- Servicekrav avseende:      Anläggningskrav  
   Miljöaspekter  
   Trafiksäkerhet  
   Restid

Att göra tillståndsbedömningar av vägar kan göras relativt enkelt i och med att de är tillgängliga för inspektion. I litteraturen redovisas också olika sätt att göra detta, se kapitel 5. Fortfarande råder en ganska stor osäkerhet om hur tillståndet utvecklas över tiden med hänsyn till trafikutvecklingen, externa faktorer som t ex klimatet m m, och om vilken inverkan på tillståndet som olika underhållsåtgärder har.

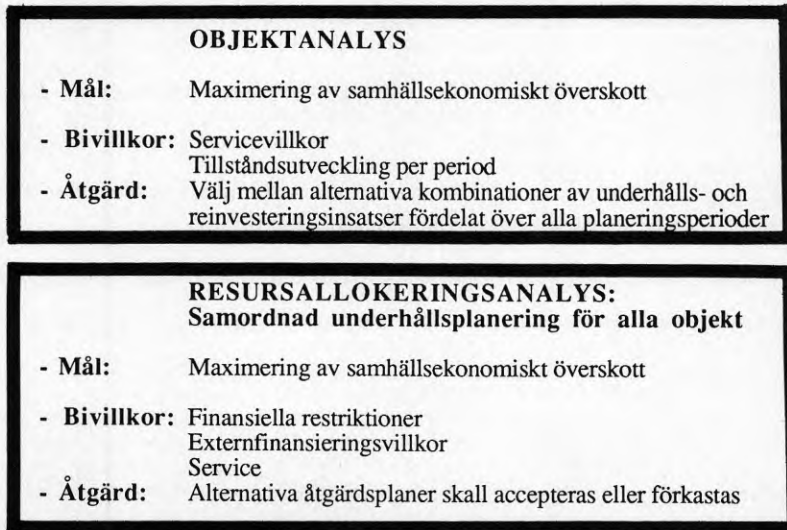
Beträffande kostnads- och intäktseffekterna så finns en beräkningsmodell för trafikant-, olycks- och fordons effekter i Riksrevisionsverkets rapport (Revisionsavdelning 2 [1986]). Tidsvinsterna erhålls genom uppskattade höjningar av genomsnittshastigheten som följd av bättre kvalitet på vägbeläggningen, dvs en högre tillståndsnivå, där varje km:s höjning ger ettvisst mervärde. Trafiksäkerheten ökar som en följd av mindre

spårbildning och sjunker som följd av hastighetsökningen. Nettoeffekten blir en minskning av det förväntade antalet olyckor och därmed minskade olyckskostnader. Fordonseffekterna indelas i kostnader/intäkter för bränsle, däck, reparationer, värdeminskning och hastighetsförändringar. Intäkterna uppstår typiskt i form av färre reparationer och mindre värdeminskningar, medan övriga effekter ger kostnadsökningar. På trafikantsidan kan också medräknas intäkter för den ökade komforten som en väg i gott tillstånd ger.

Underhållskostnaderna är väl kända av gatukontoren i kommunerna för de olika typer av underhållsarbeten som utförs, se ex vis *Långsiktig underhållsplan 1986* (Gatukontoret Göteborg m fl [1986]).

Miljöeffekterna bör också tas med i den samhällsekonomiska kalkylen. Detta kan t ex göras genom att man sätter ett pris per kg önskad restprodukter som bly, kväve, koloxider m m.

Servicekrav som ställs på gator och vägar kan uttryckas med hjälp av tillståndsnivåer. Ett centralt tillståndsmått är spårdjupet som påverkar trafiksäkerheten och som indikerar när risken för allvarliga skador på vägens bärlager kan uppstå. Detta tillstånd har också fördelen att det är lätt att mäta. I kommunerna kan man t ex fastställa maximalt tillåtna spårdjup på gatorna och vägarna, vilket också implicit innebär att ett pris sätts på de negativa effekter som kan uppstå vid större spårdjup (jämför med motsvarande diskussion i kapitel 6 rörande bräddning av avlopp). Ett exempel på servicekrav kan vara tekniska anvisningar för underhållsinsatser som är konstruerade så att en garanterad kvalitet erhålls efter underhållsinsatserna. Miljökrav i detta avseende kan t ex avse förbud mot genomfartstrafik nattetid i bostadsområden för att minska bullerstörningarna, vilket då förändrar trafikvolymen och därmed hastigheten hos vägbanans tillståndsförändring, t ex avseende spårdjupsökningen.



Figur 7.1 En tvåstegsprocess för planering av ett underhållsprogram.

Även på metodsidan är samma metoder som i kapitel 6 aktuella vid analysen, och därför hänvisas läsaren till den översiktliga metodredovisningen där. Uppställningen nedan sammanfattar de olika möjligheterna som tagits upp.

- PROBLEM:	METOD:
- OBJEKTANALYS:	Beslutsträdsmetodik Dynamisk programmering Årskostnadsminimerande heuristiker
- RESURSALLOKERINGS- ANALYS:	Blandad heltalsprogrammering Heuristiker

Objektanalysproblem behandlas i samtliga rapporter som refereras i rapportsammanfattningarna i kapitel 7.2. Empiriska studier avseende underhållsplanering och -problem i Göteborg redovisas i Löfsten [1989b]. Beträffande metodsidan så används beslutsträdsmetodik i Jönsson [1991c]. Dynamisk programmering används i Jönsson [1990a, 1990c]. En modell för resursallokering baserad på blandad heltalsprogrammering återfinns i Jönsson [1990a]. Metoddiskussioner avseende investeringskalkylering presenteras i Löfsten [1989a]. En övergripande analys av underhållsproblemen och metoder för dessa redovisas i Löfsten [1991], inklusive en genomgång av praktikfall från 4 kommuner.

## 7.2 Sammanfattningar av interna projektrapporter

Jönsson H: *Beläggningsunderhåll av lågtrafikerade gator och vägar*, 1991c, 16 sid

Nyckelord: Objektanalys - Beslutsträd

Beläggningsproblemen uppträder när beläggningsytan blir 20-30 år gammal och yttrar sig i form av uttorkning av ytan och sprickbildning. Detta leder till att vatten tränger in i väggkroppen och på sikt förstör beläggningsytan, framförallt vintertid. Grävarbeten för underhåll av VA-ledningar och annat nödvändigt ledningsunderhåll/-installation är en betydande orsak till behov av vägunderhåll, som vid större insatser kräver att en ny toppbeläggning läggs på vägbanan. En viktig orsak till nytt behov av beläggningsunderhåll i vissa områden är förekomsten av marksättningar som gör att vägbanan sjunker ner på vägsträckor av 10-100 meters längd.

I rapporten analyseras och jämförs två olika handlingsalternativ för beläggningsunderhållet avseende lågtrafikerade gator, vilka i de flesta kommuner svarar för en mycket stor andel av den totala belagda vägytan som kommunen är ansvarig för. Dessa två handlingsalternativ är i princip:

1. Lägg en ny toppbeläggning på vägen när tillståndsnivån för beläggningsytan underskrider gränsen för godkänt.
2. Starta en längre underhållscykel med en ny toppbeläggning som sedan följs av en slambeläggning för att motverka uttorkningen, innan underhållsnytt startar om.

Idén bakom strategi nummer 2 är göra slambeläggningar, t ex Slurry Sealbeläggningar, som förlänger livslängden med ca 10 år och därmed flyttar fram den större underhållsinsatsen som läggandet av en ny toppbeläggning utgör. Vidare inträffar det ofta att t ex mer omfattande VA-arbete måste utföras inom en sådan underhållscykel (efter vilket en ny toppbeläggning ofta behöver läggas). Då kan det ofta visa sig lönsamt att ha förlängt vägens livslängd fram till VA-arbetstidpunkten med den billigare slambeläggningsinsatsen.

De ekonomiska konsekvenserna av dessa två strategier i kombination med olika förutsättningar beträffande grävnings- och sättningssskador analyseras m h a beslutsträdsmetodik.

Nyckelord: Objektanalys - Dynamisk programmering med kontinuerlig tillståndsutveckling  
Resursallokering - Blandad heltalsprogrammering (modell)

Dimensionering av vägbeläggningsunderhåll diskuteras denna rapport. En förutsättning är att vägens tillstånd, och dess utveckling över tiden som en funktion av trafikvolym  $m$ , kan beskrivas i en eller flera dimensioner. I rapporten har det antagits att en relevant tillståndsbeskrivning erhålls  $m$ 's ett ytbeläggningstillstånd och ett bärighetstillstånd. Funktioner som beskriver tillståndsutvecklingen kan t ex skattas med användning av multipel regression och historiska data.

De samhällsekonomiska kostnaderna som en funktion av ändrade tillståndsnivåer antas vara kända. Dessa kan t ex beskrivas som i Galant-systemet (ett datorbaserat system framtaget av Göteborgs GK och Kjessler & Mannerstråle) för analys av underhållsinsatserna avseende gator och vägar i en kommun. I Galant-systemet anges de flesta kostnader/intäkter i form av avvikelser från fastställda basnivåer på tillstånden. Via systemet erhålls en konsekvensanalys som anger kostnaderna av att dimensionera underhållet så att basnivån erhålls respektive ett antal närliggande nivåer. Beslutsfattarna avgör sedan hur de knappa resurserna ska prioriteras mellan de olika underhållsobjekten. Vi utgår från ett användarbestämt antal olika underhållsinsatser i form av löpande underhåll och förebyggande underhåll under en period, där det förebyggande underhållet avser en ny vägbeläggning i varierande omfattning (eventuellt också kombinerat med en förstärkning av bärigheten). Effekterna av det förebyggande underhållet på tillståndsnivåerna och kostnaderna för detsamma antas också vara kända.

Givet detta kan vi, för en given planeringshorisont och ett givet underhållsobjekt, bestämma de underhållsinsatser som minimerar de sammanlagda diskonterade kostnaderna i form av trafikantkostnader och underhållskostnader med hänsyn tagen till enkla bivillkor av typen att vissa miniminivåer på tillstånden alltid måste vara uppnådda. Det är önskvärt att ta med alla kostnadskomponenter som ingår i en samhällsekonomisk kalkyl av underhållsverksamheten, och i detta fall skulle det kunna innebära att alla kostnader för trafikolyckor och miljöpåverkan som kan skattas på ett tillförlitligt sätt tas med i kalkylen. Detta problem utgör alltså objektanalysproblemet.

Den metod som har använts för att lösa detta underhållsdimensioneringsproblem är dynamisk programmering, vilket är en metod som passar utmärkt för att lösa beslutsproblem som är uppdelade i flera steg (i detta fall ett beslut per period). Ett krav är att antalet tillstånd inte blir alltför många ty beräkningstiderna växer mycket hastigt med antalet olika tillstånd. Metoden kan relativt enkelt implementeras på dator och kopplas till ett befintligt system för underhållsplanering, t ex GALANT-systemet. Ytterligare en fördel är att metoden ger oss ett antal olika underhållsplaner vars totala kostnader skiljer sig mycket litet från varandra.

Att prioritera användningen av resurserna mellan ett antal olika underhållsobjekt ingår inte i den ovan beskrivna metoden, utan det får behandlas i det separata resursallokeringssteget. I rapporten beskrivs hur man kan formulera problemet att välja en underhållsplan av ett antal föreslagna planer för vart och ett av de aktuella underhållsobjekten. Målet är att minimera totala kostnaderna för samtliga underhållsobjekt med hänsyn tagen till resursvillkor av olika slag, t ex beträffande budget, arbetskraft och finansieringsmöjligheter. Hur detta kan genomföras rent praktiskt redovisas i rapporten *Dimensionering av underhållsinsatser för VA-ledningar med hänsyn till risk, budgetrestriktioner, finansieringsmöjligheter och servicekrav* för ett analogt problem inom VA-sektorn. Denna rapport finns med i rapportssammanfattningen i kapitel 6.5.

Jönsson H: *Dimensionering av vägbeläggningsunderhåll baserat på Galant-systemet*, 1990c, 22 sid

---

Nyckelord: Objektanalys - Dynamisk programmering med diskret tillståndsutveckling  
Årskostnadsheuristik

Syftet med denna rapport är att visa hur en optimal allokering av underhållsresurser till vägbeläggningar kan göras. Förutsättningarna är att tillståndsnivåer för underhållsobjektet (en vägsträcka eller ett antal vägsträckor) och de därmed förknippade samhällsekonomiska kostnaderna kan beskrivas som i Galant-systemet (se Gatukontoret Göteborg m fl [1986]).

En metod för att minimera de kvantifierbara samhällsekonomiska kostnaderna i samband med vägbeläggningsunderhåll beskrivs. Metoden baseras på att tillståndsutvecklingen för en väg kan beskrivas med ett antal tillståndsvariabler. De underhålls- och trafikantberoende kostnaderna relateras till tillståndsvariablernas värden och förändring över tiden som en följd av underhållsbeslut. Den föreslagna metoden är dynamisk programmering, vilket är en lämplig metod för att lösa beslutsproblem som är uppdelade i flera steg (i detta fall ett beslut per period). Numeriska resultat presenteras för ett antal Linköpingsfall som analyserades med Galant-systemet (op cit).

Kostnadsjämförelser görs med den "heuristiska" metoden att välja samma standardnivå hela tiden för en viss väglklass och trafikklass. Resultaten visar att kostnadsskillnaderna, med de gjorda antagandena, kan bli ganska stora samt att lösningarna i vissa fall blir identiska.

Löfsten H: *En studie av investerings- och underhållsmodeller*, Nr 1989:288, 1989a, 37 sid

---

Se sammanfattning i kapitel 6.5.

Löfsten H: *Studier av investerings- och underhållsplanering i svensk infrastruktur med några exempel från Göteborg*, Nr 1989:292, 1989b, 77 sid

---

Se sammanfattning i kapitel 6.5.

Löfsten H: *Principer för planering, prissättning och finansiering av kommunal infrastruktur*, Delrapport 1991-05-28, 1991, 231 sid

---

Se sammanfattning i kapitel 6.5.

## 8. SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Val av metoder och strategier för underhåll av den kommunala infrastrukturen bör i möjligaste mån baseras på samhällsekonomiskt effektiva lösningar. Principer för genomförande av samhällsekonomiska kalkyler presenteras i kapitlen 3 och 4. För att åstadkomma detta krävs en bestämning av data avseende alla intäkter, kostnader och resursåtgång som är förknippade med olika åtgärdsalternativ. Intäkter och kostnader i den samhällsekonomiska kalkylen skall avse alla konsekvenser för producenter, konsumenter och övriga parter som berörs av hur den offentliga tjänsten produceras. Vidare måste tillgängliga resurstillgångar och relevanta servicekrav bestämmas.

För att erhålla en koppling mellan olika underhållsåtgärder, inverkan av externa faktorer och kostnader/intäkter rekommenderar vi att lämpliga tillståndsbeskrivningar används så att denna väsentliga information kan utnyttjas. Vi vill också betona betydelsen av att ta med förekommande aspekter på de inneboende risker som är förknippade med osäkerheten i den framtida tillståndsutvecklingen och riskerna av inte i tid göra nödvändiga underhållsinsatser.

Det är oerhört viktigt att införskaffa mesta möjliga information om en anläggnings tillstånd för att möjliggöra genomförandet av de samhällsekonomiska kalkylerna. Exempel på typ av indata som behövs har belysts i denna rapport och i de olika interna projektrapporterna som sammanfattats i kapitlen 6.5 och 7.2. Inom VAV har arbetet med DRIVA-projektet lett till förslag om en enhetlig redovisning av underhållskostnaderna, och i det påbörjade PRISEK-projektet arbetar man med att införa ett "utökat" samhällsekonomiskt synsätt som bl a involverar ett försök att bestämma kostnaderna för negativa externa effekter. På gatu- och vägsidan kan delar av de samhällsekonomiska värderingar som görs av Vägverket appliceras på den kommunala sidan av gatukontoren. För att få en uppfattning av tillståndets utveckling över tiden av gator och vägar, måste en uppföljning göras av dels vilka effekter olika underhållsinsatser får på tillståndet, dels hur

uppnådda tillståndsnivåer sedan förändras över tiden som en följd av trafikarbetet, klimat, ledningsåtgärder av olika slag (VA, fjärrvärme, telefon m m) etc. Denna uppföljning bör inkludera en statistisk analys, ex vis med hjälp av multipel regression, som leder till approximativa beskrivningar av tillståndets utveckling som en funktion av de olika påverkande faktorerna.

Givet denna information kan man i ett första steg lämpligen använda sig av objektanalyser för att bestämma individuella underhållsplaner för de olika objekten. Därigenom angriper man vad vi kallat det fundamentala planeringsproblemet. I steg två genomförs sedan en allokering av resurserna till de olika objekten så att samhällsekonomisk effektivitet uppnås. Detta är en väsentlig del av det kompletterande styrproblemet. Metoder för dessa två steg har presenterats i litteraturgenomgången i kapitel 5 samt bland delrapporterna i projektet som refereras i kapitlen 6 och 7.

Vår rekommendation blir att i ökad utsträckning göra samhällsekonomiska kalkyler av olika underhållsstrategier. Inledningsvis kan man använda enkla heuristiska metoder för val av åtgärd, vilka ofta kan ge nästan lika bra resultat som mer komplicerade metoder. Det viktigaste här är att ta fram bra metoder för tillståndsbedömningar och relaterade kostnads-/intäktseffekter så att ett bra beslutsunderlag erhålls.

Vid allokering av underhållsresurser med hänsyn till finansiella restriktioner kan ett antal enkla beslutsregler användas. För att öka effektiviteten i detta steg kan blandade heltalsprogrammeringsmodeller användas (relativt stora problem kan lösas på en persondator). För att åstadkomma en användning i praktiken av dessa resultat krävs att de som arbetar med det fundamentala planeringsproblemet har en god kunskap om principerna för de ekonomiska kalkylerna som ligger bakom lösningarna av dessa underhållsproblem. Denna kunskap kan, i den mån den saknas i dagsläget, antingen erhållas genom internutbildning eller genom rekrytering av utbildad personal.

Som hjälp vid implementering av metoderna kan användarvänliga, persondatorbaserade program konstrueras som beräknar vilka kombinationer av underhålls- och reinvesteringar som är effektivast. Vissa av kalkylerna kan också göras i de populära "kalkylark" som Excel, Lotus och Symphony som i mycket stor utsträckning används för ekonomiska kalkyler i praktiken. Vår övertygelse är att dessa system ger möjlighet till mer systematisk analys av förekommande underhållsproblem avseende val av när, var och hur insatser av löpande underhåll, förebyggande underhåll och reinvesteringar ska göras.

De underhållsprogram som erhålls vid lösningen av det fundamentala planeringsproblemet kan sedan, med lämplig design av systemet, automatiskt föras vidare till en resursallokeringsanalys för avgörande av vilka kombinationer av underhållsprogram som ger bästa möjliga resultat m h t att de totala resursbehoven över tiden för underhållsinsatserna räcker till. I den mån resurserna är otillräckliga är resursallokeringsuppgiften att avgöra hur mycket, och när, extra resurser skall införskaffas. Användning av blandad heltalsprogrammering för denna resursallokeringsanalys får än så länge dock betraktas som ett mycket avancerat beslutshjälpmedel.

Sammanfattningsvis anser vi att planeringen av den kommunala infrastrukturen bör baseras på:

- bestämning av ekonomiska och tekniska data (nuvarande värden och prognostiserad utveckling) avseende underhållsobjekten,
- samhällsekonomiska kalkyler för beräkning av effektiva underhållsprogram,
- effektiva, användarvänliga kalkylhjälpmedel, samt
- ekonomiskunskaper hos underhållsplanerare.

## 9. REFERENSER

- Ahmed N V, Lu D Y, Lytton R L, Mahoney J P och Phillips D T: *The Texas Rehabilitation and Maintenance District Optimization System*, Research Report 207-3, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Texas, 1978.
- Andersson R och Bohm P: *Samhällsekonomisk utvärdering av energiprojekt*, Nämnden för energiproduktionsforskning (NE 1981:12), 1981.
- Asztély S: *Investeringsplanering*, Norstedt & Söner, 1973.
- Bergendahl G: *Kostnads- och intäktsparametrar i målsättningsformuleringar för väginvesteringar*, Väg- och vattenbyggnadsstyrelsen, 1967.
- Bergendahl G: *Models for investment in a road network*, Bonniers, Stockholm, 1969.
- Bergendahl G och Bohm P: *Transportsektorns effektivitet och finansiering*, TransportForskningsBeredningen, Stockholm, 1987:10.
- Bergendahl G och Hartman T: "Finansiering och styrning av statlig väghållning", i Statens Vägverk: *Vägavgiftsutredning*, Borlänge 1989.
- Biswas A: *Models for Water Quality Management*, McGraw Hill, 1981.
- Bohm P: *Samhällsekonomisk effektivitet*, SNS, Stockholm, 1986.
- Bohman M: *Effektivitetsproblem inom vatten och avloppsområdet. En samhällsekonomisk studie av prissättning och investeringsinriktning*, Nationalekonomiska institutionen, Stockholms universitet, 1983.
- Boiteux M: *Réflexions sur la concurrence du rail et de la route, le déclassement des lignes non rentables et le déficit du chemin de fer*, *L'Economie électrique*, No 2 1955.
- Brown och Caldwell: *Utility Infrastructure Rehabilitation*. U.S. Department of Housing and Urban Development, Nov. 1984.
- Bruzelius N och Halloff U: *Lösamhetsbedömning av investeringar i transportsektorn - Utveckling av en samhällsekonomisk kostnads- och intäktsmodell för samtidig utvärdering av infrastruktur- investeringar inom väg-, järnväg-, flyg- och sjösektorerna*, TFB-rapport 1986:21, 1986.
- Clark R och Goodrich J: Developing a Data Base on Infrastructure Needs, *Journal AWWA*, Juli, 1989.
- Clark J, Viessman Jr W och Hammer M: *Water Supply and Pollution Control*, Harper and Row, New York, 1977.
- Dhillon B och Reiche H: *Reliability and Maintainability Management*, van Nostrand Reinhold, New York, 1985.
- Djårf L: *Asfaltbelagda vägars nedbrytning*, VTInotat nr V77, VTI, Linköping, 1988.
- Enander L: *Rörbrotsreparationer*, Göteborgs Vatten- och Avloppsverk, Göteborg, 1991.
- Enderlein H, Kuhfeld H och Kunert U: *Zukunfuger Finanzbedarf fur die Verkehrswege in Städten und Gemeinden unter besonderer Berücksichtigung von Ersatzinvestitionen*, Duncker & Humblot, Berlin, 1988.
- European Conference of Ministers of Transport: *Systems of Road Infrastructure Cost Coverage*, Report of the Eightieth Round Table on Transport Economics, Paris, 1989.
- Fredriksson R: *Regler för underhåll och drift*, Vägverket, Borlänge, 1990.
- Gatukontoret Göteborg och Kjessler & Mannerstråle AB: *LUP-86 (Långsiktig underhållsplan 1986)*, Gatukontoret Linköping, 1986.



- Gertsbakh I B: *Models of Preventive Maintenance*, North Holland, Amsterdam, 1977.
- Gynnerstedt G: *Värdering av vägens tillstånd och åtgärdsbehov*, VTI-rapport 263, VTI, Linköping, 1983.
- Göteborgs Vatten- och Avloppsverk: *Åtgärdsplan vattenröret, Göteborg*, 1989.
- Göteborgs Vatten- och Avloppsverk: *Årsberättelse 1989*, Göteborg, 1990.
- Haas R och Hudson R: *Pavement Management Systems*, McGraw-Hill, New York, 1978.
- Haines Y: *Hierarchical Analyses of Water Resources Systems; Modeling and Optimization of Large-Scale Systems*, McGraw-Hill, New York, 1977.
- Haines Y, Kindler J och Plate E J (Eds): *The Process of Water Resources Project Planning; A Systems Approach*, Studies and Reports in Hydrology, UNESCO, 1987.
- Harty H P och Steinthal B G: *Guide to Selecting Maintenance Strategies for Capital Facilities*. The Urban Institute Press, Washington D.C. 1984.
- Heleven L: *Le Dimensionnement des Rechargements en Belgique*, Ministerie van Openbare Werken, Bryssel, 1989.
- Heleven L, Verstraeten J och Veverka V: *Latest Developments in the Analytical Methods for the Design of the New Pavements and Strengthening Overlays in Belgium*, Ann Arbor, 1987.
- Hochstrate K: "Ein Alterungs- und Erneuerungsmodell für die mittelfristige Budgetplanung", i Köhl W och Herz R (red): *Erneuerung Städtischer Infrastruktur; Bedarfsprognos und Massnahmenplanung für die Erneuerung von Strassen und Leitungsnetzen*, Institut für Städtebau und Landesplanung, Universität Karlsruhe, 1987, sid 89-114.
- Hofer P: "Das Leitungsinformationssystem der Technischen Werke Stuttgart", i Köhl W och Herz R (red): *Erneuerung Städtischer Infrastruktur; Bedarfsprognos und Massnahmenplanung für die Erneuerung von Strassen und Leitungsnetzen*, Institut für Städtebau und Landesplanung, Universität Karlsruhe, 1987, sid 281-310.
- Holtschulte H: "Erfassung und Auswertung von Schadensdaten für vorbeugende planmässige Instandhaltung, Sanierung oder Erneuerung von Wasserrohrnetzen", i Köhl W och Herz R (red): *Erneuerung Städtischer Infrastruktur; Bedarfsprognos und Massnahmenplanung für die Erneuerung von Strassen und Leitungsnetzen*, Institut für Städtebau und Landesplanung, Universität Karlsruhe, 1987, sid 311-336.
- Huledal P: *Strategier för åtgärdsplanering - Klassindelning och Prioritering*, 87:5, Malmö Gatukontor, 1987.
- Huledal P och Stahre P: *Åtgärdsplanering på VA-nät*, 88:2, Malmö Gatukontor, 1988.
- James D och Lee R: *Economics of Water Resources Planning*, McGraw-Hill, New York, 1971.
- Jorgenson D W, McCall J J och Radner R: *Optimal Replacement Policy*, North Holland, Amsterdam, 1967.
- Kelly O'Day D, Weiss R, Chiavari S och Blair D: *Water Main Evaluation for Rehabilitation/Replacement*, AWWA Research Foundation, Denver, Colorado 1986.
- Kristenson S-E: Systematisk läcksökning, *Vatten*, Årgång 43, Nr 2, 1987, sid 166-169.
- Kuhfeld H: "Prognose des Erneuerungsbedarfs nach dem Perpetual-Inventory-Konzept", i Köhl W och Herz R (red): *Erneuerung Städtischer Infrastruktur; Bedarfsprognos und Massnahmenplanung für die Erneuerung von Strassen und Leitungsnetzen*, Institut für Städtebau und Landesplanung, Universität Karlsruhe, 1987, sid 115-133.

Kuiper E: *Water Resources Development; Planning, Engineering and Economics*, Butterworths, London, 1965.

Lemlin M, Ghilain E, Heleven L och Janssens R: *Basic Principles of a Maintenance Planning System for the Belgian Road Network*, Division Operationelle, Centre de Recherches Routiere, Brussels, 1989.

Liljedahl B: *Inventeringar i Nacka visar på underlagets betydelse för slitlagrets livslängd*, Meddelande Nr 3:86, Föreningen för Bituminösa Beläggningar, Stockholm, 1986.

Linsley R och Franzini J: *Water-Resources Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1972.

Ljunggren O: Åtgärdsplan för vattenledningsnätet, *Vatten*, Årgång 43, Nr 2, 1987, sid 150-159.

Loucks D, Stedinger J och Haith D: *Water Resource Systems Planning and Analysis*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1981.

Löfsten H: *Principer för planering, prissättning och finansiering av kommunal infrastruktur*, Arbetsrapport, Företagsekonomiska institutionen, HGU, 1991.

de Maré M: *Utvärdering av inträffade driftstörningar på vattennätet i Malmö*, VA-divisionen, Gatukontoret Malmö, 1990.

Magnusson R, Fredriksson R, Hagert C, Land P G, Löfling P, Magnusson S och Svantesson F: *Satsningsområde 6.3 Bärighet och beläggning Bilagor*, Projekt B&B, Vägverket, 1988.

Ministry of Public Works, Roads Department, Belgium: *Fundamental Principles of a System of Maintenance Management for the Belgian Road Network*, 1989.

Moss M: *Designing for Minimal Maintenance Expense*, Marcel Dekker, New York, 1985.

NCHRP - National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice: *Evaluation of Pavement Management Strategies*, Nr 77, Transportation Research Board, National Research Council, September 1981.

NCHRP - National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice: *Life Cycle Cost Analysis of Pavements*, Nr 122, Transportation Research Board, National Research Council, December 1985.

OECD: *Maintenance Techniques for Road Surfacing*, Road Research, Paris, 1978.

OECD: *Road Surface Characteristics: Their Interaction and Their Optimization*, Road Transport Research, Paris, 1984.

OECD: *Management of Water Projects; Decision-Making and Investment Appraisal*, Paris, 1985.

OECD: *Pavement Management Systems*, Road Transport Research, Paris, 1987a.

OECD: *Toll Financing and Private Sector Involvement i Road Infrastructure Development*, Road Transport Research, Paris, 1987b.

OECD: *Pricing of Water Services*, Paris, 1987c.

OECD: *Managing and Financing Urban Services*, Paris, 1987d.

OECD: *Water Resource Management; Integrated Policies*, Paris, 1989.

OECD: *Road Monitoring for Maintenance Management; Volume 1, Manual for Developing Countries*, Road Transport Research, Paris, 1990a.

OECD: *Road Monitoring for Maintenance Management; Volume 2, Damage Catalogue for Developing Countries*, Road Transport Research, Paris, 1990b.

- O'Flaherty C A: *Highways Volume 2 (3rd edition): Highway Engineering*, Edward Arnold, London, 1988.
- Oglesby C och Hicks G: *Highway Engineering (Fourth edition)*, John Wiley, New York, 1982.
- Okun D och Ernst W: *Community Piped Water Supply Systems in Developing Countries*, Technical paper no 60, World Bank, Washington D.C., 1987.
- Olivier L: *Entretien*, Association Royale Permanente des Congres Belges de la Route, Mons, 1985.
- Paterson W D: *Road Deteriation and Maintenance Effects; Models for Planning and Management*, The Johns Hopkins University Press, London, 1987.
- Persson B: Åtgärdsplan för avloppsledning, *Vatten*, Årgång 43, Nr 2, 1987, sid 170-176.
- Persson L och Sundahl A-C: *Utvärdering av TV-inspekterade avloppsledning i Malmö*, VA-divisionen, Gatukontoret Malmö, 1991.
- Peterson, G E, Bamberger R, Humphrey N och Steil K M: *Guide to Financing the Capital Budget and Maintenance Plan*. The Urban Institute Press, Washington D.C. 1984.
- Rapp B: *Models for Optimal Investment and Maintenance Decisions*, Almqvist & Wiksell International AB, Stockholm, 1974.
- Revisionsavdelning 2: *Vägverkets underhåll av belagda vägar - en samhällsekonomisk granskning*, Dnr 1986:248, Riksrevisionsverket, 1986
- Reuterswärd Wengström T: *Kartläggning av skador på segjärnsledningar i Göteborg 1977-1987*, Meddelande nr 88, Geohydrologiska forskningsgruppen, Chalmers Tekniska Högskola, 1989.
- Salter R J: *Highway Design and Construction (2nd edition)*, MacMillan Education, London, 1988.
- Schmuck A: "Pavement Management in kommunalen Strassenbau", i Köhl W och Herz R (red): *Erneuerung Städtischer Infrastruktur; Bedarfsprognos und Massnahmenplanung für die Erneuerung von Strassen und Leitungsnetzen*, Institut für Städtebau und Landesplanung, Universität Karlsruhe, 1987, sid 163-193.
- Silborn H: *Förnyelse och underhåll av kommunala gator och vägar, en delrapport i projekt Underhållsberget*, Kommunförbundet, Stockholm.
- Simmonds L: *Pipeline Replacement Program East Bay Municipal Utility District*, Oakland, 1990.
- Smith D: *Reliability and Maintainability in Perspective*, MacMillan Education, London, 1988.
- Smith E och Morris A: Systems Analysis for Optimal Water Quality Management, *Journal of the Water Pollution Control Federation*, Annual Conference Issue, 1969.
- SOU: *Vägtrafiken - Kostnader och avgifter*, Statens offentliga utredningar 1973:32 Kommunikationsdepartementet, 1973.
- Stahre P och Wirsenius S: *Hantering av VA-ledningsinformation - En verksamhetsanalys*, 87:2, Malmö Gatukontor, 1987.
- Svedinger B: *Infrastruktur - kunskaps- och programöversikt*, BFR, Stockholm, 1989.
- Svenska Kommunförbundet: *Kommunernas väghållning 1987*, Svenska Kommunförbundet, Stockholm, 1988.
- Svenska Kommunförbundet: *Kommunernas väghållning 1988*, Svenska Kommunförbundet, Stockholm, 1989.
- Turvey R: *Economic Analysis and Public Enterprises*, George Allen & Unwin Ltd, London, 1971.

Ullidtz P: *Pavement Analysis*, Elsevier, Amsterdam, 1987.

VAV (Svenska Vatten- och Avloppsföreningen): *PRIVA - Prioriteringsstrategi för underhåll, förnyelse och förbättring av VA-ledningsnät*, Publikation VAV P63, Mars 1987.

VAV (Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen): *DRIVA-projektet, VAV:s utredning om drift- och underhållskostnader för vatten- och avloppsnät*, Lägesrapport, Februari 1990.

VAV-nytt: *DRIVA - för jämförelsens skull*, Nr 1, VAV-nytt, 1991.

VBB VIAK: *Gatupling - System för underhållsplanering av gator, presentationsmaterial*, Stockholm, 1991

Viessman W och Welty C: *Water Management Technology and Institutions*, Harper & Row, New York, 1985.

Vägplan 70, Bilagor: Bilaga 8. *Ekonomisk kalkyl för förstärkningsarbeten*, SOU 1969:57, Stockholm, 1969.

Water Research Centre: *Introduction to the Water Mains Manual*, Henley, U K, 1986.

Wagner H: *Principles of Operations Research (2nd ed)*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N J, 1975.

Weisser G: *Zustandserfassung und Erneuerungsplanung im Strassennetz Duisburg*, i Köhl W och Herz R (red): *Erneuerung Städtischer Infrastruktur; Bedarfsprognos und Massnahmenplanung für die Erneuerung von Strassen und Leitungsnetzen*, Institut für Städtebau und Landesplanung, Universität Karlsruhe, 1987, s 195-211.

Winston C: "Efficient Transportation Infrastructure Policy", *Journal of Economic Perspectives*, Vol 5, Nr 1, 1991.

Wågberg L-G: *Handbok för tillståndsbedömning av belagda gator och vägar*, Svenska Kommunförbundet/Vägverket/VTI, Svenska Kommunförbundet, Stockholm, 1989.

## APPENDIX A: INTERNA PROJEKTRAPPORTER

Jönsson H: *Stokastiska optimeringsproblem och -metoder: En översikt*, FE-rapport Nr 1991:317, HGU, 1989a, 28 sid

Jönsson H: *Några synpunkter på det framtida förnyelsebehovet av VA-ledningar*, FE-rapport Nr 1991:318, HGU, 1989b, 13 sid

Jönsson H: *Diskussion av modeller för underhållsdimensionering, med exemplifiering avseende gator och vägar*, FE-rapport Nr 1991:319, HGU, 1990a, 53 sid

Jönsson H: *Förnyelse av en dålig VA-ledning via omläggning eller renovering*, FE-rapport Nr 1991:320, HGU, 1990b, 24 sid

Jönsson H: *Dimensionering av vägbeläggningsunderhåll baserat på Galant-systemet*, FE-rapport Nr 1991:321, HGU, 1990c, 22 sid

Jönsson H: *Analys av ersättningsinvesteringar avseende VA-ledningar med hänsyn till osäkerhet*, FE-rapport Nr 1991:322, HGU, 1990d, 32 sid

Jönsson H: *Dimensionering av underhållsinsatser för VA-ledningar med hänsyn till risk, budgetrestriktioner, finansieringsmöjligheter och servicekrav*, FE-rapport Nr 1991:323, HGU, 1991a, 39 sid

Jönsson H och Stahre P: *Förnyelse av avloppsledningar genom punktreparation eller omläggning/renovering*, FE-rapport Nr 1991:324, HGU, 1991b, 13 sid

Jönsson H: *Beläggningsunderhåll av lågtrafikerade gator och vägar*, FE-rapport Nr 1991:325, HGU, 1991c, c:a 15 sid

Jönsson H: *Förnyelse av vattenledningar: En beslutsträdsanalys*, Arbetsrapport, FE, HGU, 1991d, 13 sid

Löfsten H: *En studie av investerings- och underhållsmodeller*, Nr 1989:288, 1989a, 37 sid

Löfsten H: *Studier av investerings- och underhållsplanering i svensk infrastruktur med några exempel från Göteborg*, Nr 1989:292, 1989b, 77 sid

Löfsten H: *Underhåll av kommunal infrastruktur. Principer för planering, prissättning och finansiering av kommunal infrastruktur*, Delrapport 1991-10-09, 1991, 285 sid

Kopior av de delrapporter som finns listade i detta appendix kan beställas från Handelshögskolan vid Göteborgs Universitet på telefonnummer 031-631470.



Byggforskningsrådet och Svenska Kommunförbundet samarbetar kring forskning och utveckling för kommunerna. Prioriterade områden är social kunskap, naturresursplanering och infrastruktur. Denna rapport är ett resultat av detta samarbete.

R20:1992

ISBN 91-540-5456-7

Byggforskningsrådet, Stockholm

Art.nr: 6812020

Abonnemangsgrupp:  
X. Samhällsplanering

Distribution:  
Svensk Byggtjänst  
171 88 Solna

Cirkapris: 60 kr exkl moms