

CHALMERS



Underhållsplanering av vattenledningsnät – ett samhällsekonomiskt perspektiv

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och Vattenbyggnad

ANDREAS BÄCKSTRÖM
MAGNUS GUSTAFSSON

Institutionen för Bygg- och miljöteknik
Vatten Miljö Teknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2005
Examensarbete 2005:114

Examensarbete 2005:114

Underhållsplanering av vattenledningsnät
- ett samhällsekonomiskt perspektiv

Andreas Bäckström och Magnus Gustafsson

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Vatten Miljö Teknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2005

Underhållsplanering av vattenledningsnät - ett samhällsekonomiskt perspektiv
ANDREAS BÄCKSTRÖM OCH MAGNUS GUSTAFSSON

©ANDREAS BÄCKSTRÖM OCH MAGNUS GUSTAFSSON

Examensarbete 2005:114

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Vatten Miljö Teknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Chalmers reproservice / Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2005

Underhållsplanering av vattenledningsnät
- ett samhällsekonomiskt perspektiv
ANDREAS BÄCKSTRÖM OCH MAGNUS GUSTAFSSON
Institutionen för bygg- och miljöteknik
Vatten Miljö Teknik
Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

I de kommunala vatten- och avloppsverkens verksamhet ingår till stor del drift och underhåll av vattenledningsnäten. I takt med ledningarnas stigande ålder och ökande underhållsbehov lyfts frågor om underhålls- och förnyelsestrategier fram. Att välja rätt tidpunkt för underhålls- eller förnyelseåtgärder är centralt vid kommunal vatten- och avloppsplanering. Om rörnätens kondition degraderas alltför mycket innebär det höga abonnent-, miljö- samt andra samhällskostnader. Att byta ut ledningar innan de är uttjänta medför å andra sidan ett dåligt resursutnyttjande.

Tidigare forskning har visat att en individuell lednings ålder inte är användbar som prognos för återstående teknisk livslängd. Det bästa prognosunderlaget har visat sig vara utvecklingen av skadefrekvensen. Den ständigt återkommande frågan blir därmed vid vilken rörbrottsfrekvens, d.v.s. hur ofta får det uppstå läckor på vattenledningar för att optimala ekonomiska förhållanden ska råda för utbyte av ledningar? I detta examensarbete har vi försökt att komma än närmare ett svar på den här frågan och att ge ett stöd till underhållsplaneringen.

Studien har utvecklat olika verktyg för en resurseffektiv underhållsplanering, dels en multikriterieanalys och dels en beräkningsmodell för vattenledningsnät där nuvärdesberäkning tillämpas. Båda verktygen har konstruerats för att ta hänsyn till de områdesspecifika samhällskostnader som kan härledas från drift- och underhållsarbeten på vattenledningar. I beräkningsmodellen jämförs olika omläggningsalternativ för att beräkna optimalt underhåll i samhällsekonomiskt perspektiv. Det som skiljer alternativen åt är renoveringsområdets omfattning för att kunna påvisa eventuella vinster vid samordning av omläggningar.

Beräkningsmodellen har använts för att studera olika områden med förhöjd rörbrottsfrekvens i Göteborgs vattenledningsnät. Beräkningsmodellens resultat påvisar att omläggningar bör ske i högre takt än vad som görs idag då uppskattningen av samhällskostnader har givits stor hänsyn i beräkningarna. Påpekas bör dock att den erfarenhetsbaserade underhållsplanering som används idag ganska väl motsvarar studiens resultat. Beräkningsmodellen beräknar optimal tidpunkt för utbyte i ett samhällsekonomiskt perspektiv. För att ta hänsyn till eventuella budgetrestriktioner kan dock en rangordning av studerade områden göras då kapitalvärdeskvot, internränta, pay backperiod och första årets avkastning beräknas och kan jämföras.

Nyckelord: Underhållsplanering, vattenledningsnät, läcklagning, omläggning, nuvärdesanalys, samhällskostnader

Maintenance planning for water distribution systems
ANDREAS BÄCKSTRÖM OCH MAGNUS GUSTAFSSON
Department of Civil and Environmental Engineering
Water Environmental Technology
Chalmers University of Technology

Abstract

The continuous upkeep of the water distribution system is a major issue for the municipal water and sewage department. The development of effective strategies for maintenance planning become more and more important as the age and maintenance demand of the distribution systems increases. Severe degradation of the water supply system results in high expenses for the society, i.e., subscriber-, leakage-, environment- and other community costs put together. A too early re-modelling, on the other hand, leads to poor resource use. Thus, it is central to choose the right time for maintenance or re-modelling of the municipal water and sewage system.

Earlier research has shown that it is not useful to predict remaining lifetime of a pipe with its age. Instead, the development of pipe failure rates has shown to be the most reliable forecast foundation. The main question is how often pipe breaks can appear before it is economic to replace pipes. This report aims to give decision makers support in their maintenance planning by getting a little further trying to answer this question.

The study has developed different tools for estimation of a resource effective maintenance of water distribution systems. A multi criteria analysis and a calculation method have been designed for this purpose. Both tools have taken site-specific community costs in consideration. The calculation model compare different alternatives for replacing and determines the most cost effective strategy for the society. The distinguishing features of the alternatives are the extent of the replacing to illustrate the savings that can be made from replacement coordination.

The calculation model has been used to study different areas with enhanced pipe failure rates in the Gothenburg region. When society costs are taken in consideration the models results demonstrate that re-modelling should be performed in a larger scale than it is today. A remark to be made is that the present more experience based evaluation methods follows the models results quite well. The model calculates optimal point of time for replacement when cost to society is included. An order of precedence can however be made based on different ratios that are calculated in the model.

Keywords: Maintenance planning, water distribution systems, pipe failure, renewal, cost-benefit analysis, community costs

Förord

Denna rapport omfattar det examensarbete på 20 poäng som utgör den sista och avslutande delen i civilingenjörsutbildningen i väg- och vattenbyggnad vid Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg. Arbetet har utförts i samarbete med Göteborgs vatten och avloppsverk och utfördes under hösten 2005 till och med januari 2006.

Med hänsyn till den risk som finns att glömma någon av de många personer som hjälpt oss under examensarbetets gång, riktar vi ett tack till alla berörda på va-verket. Sedan vill vi rikta ytterligare ett tack till våra handledare, Olof Bergstedt, Göteborgs va-verk och Gilbert Svensson, CTH/DHI, som hjälpt oss genom examensarbetets alla moment på ett utomordentligt sätt och därigenom säkerställt dess kvalitet.

Göteborg, december 2005

Andreas Bäckström och Magnus Gustafsson

Innehållsförteckning

Sammanfattning	I
Abstract	III
Förord	V
Innehållsförteckning	VII
1 Inledning	3
1.1 PROJEKTBESKRIVNING	3
1.2 BAKGRUND	3
1.3 SYFTE	4
1.4 AVGRÄNSNINGAR	5
2 Vattenförsörjning	7
2.1 VATTENFÖRSÖRJNINGSSYSTEM	7
2.2 SÄRBARHET I VATTENFÖRSÖRJNINGEN	7
2.3 STÖRNINGAR I VATTENDISTRIBUTIONSNÄT	8
2.4 DRIFT, UNDERHÅLL OCH FÖRNYELSE AV VATTENDISTRIBUTIONSNÄT	8
2.5 MILJÖPROBLEM ORSAKADE AV VATTENDISTRIBUTION	8
3 Metod och resultat	8
3.1 CBA	9
3.2 SAMHÄLLSKOSTNADER I SAMBAND MED DRIFT OCH UNDERHÅLL PÅ VATTENLEDNINGSNÄTET	10
3.2.1 <i>Trafikanteffekter</i>	10
3.2.1.1 Simulering av icke ljusreglerad avstängning	11
3.2.1.2 M/M/1	11
3.2.1.3 Värdering av förseningar för trafikanter	12
3.2.1.4 Drivmedelseffekter	12
3.2.2 <i>Miljöeffekter</i>	12
3.2.2.1 Avgasemissioner	12
3.2.2.2 Buller	13
3.2.2.3 Bräddning	13
3.2.3 <i>Abbonenteffekter</i>	15
3.2.3.1 Leveranssäkerhet	15
3.2.3.2 Vattenkvalitet	16
3.2.4 <i>Kostnader för vattenläckage</i>	16
3.2.4.1 Bakgrundsläckage	16
3.2.4.2 Läckläckage	17
3.2.5 <i>Övriga effekter</i>	18
3.2.5.1 Olyckor	18
3.2.5.2 Tillgänglighet	19
3.2.5.3 Riskkostnad för läckage	19
3.3 RÖRBROTTSFREKVENNS	20
3.3.1 <i>Metod för rörbrottsfrekvensberäkning</i>	20
3.3.1.1 Utsortering av data ur SolenX	20
3.4 TEKNISK LIVSLÄNGD	22
3.4.1 <i>Ålder-/materialprofil</i>	22
3.5 MCA	23
3.6 UTVÄRDERING AV OMRÅDEN	24
3.6.1 <i>Magnetgatan</i>	25
3.6.2 <i>Bronsåldersgatan</i>	27
3.6.3 <i>Marklandsgatan</i>	29
3.6.4 <i>Tamburingatan</i>	31
4 Diskussion och slutsatser	33
4.1 CBA	33
4.1.1 <i>Effektens värdering</i>	33
4.1.1.1 Känslighetsanalys	33
4.1.2 <i>Kalkylränta</i>	34
4.1.2.1 Känslighetsanalys	34
4.2 RÖRBROTTSFREKVENSER OCH DESS UTVECKLING	35
4.2.1 <i>Känslighetsanalys</i>	35
4.3 RESULTAT FRÅN UTVÄRDERADE OMRÅDEN	35
4.4 TEKNISK LIVSLÄNGD	37

4.5	UTVÄRDERING AV MODELLEN	38
4.6	ÖVRIGA FUNDERINGAR	39
4.7	FÖRSLAG TILL FORTSATTA STUDIER	39
5	Referenser	41
Bilaga 1	Utvärdering av Magnetgatan i Kville.....	43
Bilaga 2	Utvärdering av Bronsåldersgatan i Kannebäck.....	53
Bilaga 3	Utvärdering av Marklandsgatan i Högsbo.	61
Bilaga 4	Utvärdering av Tamburingatan i Västra Frölunda.	68

1 Inledning

1.1 Projektbeskrivning

Detta examensarbete är skrivet på institutionen för Vatten Miljö Teknik, Chalmers Tekniska Högskola med Göteborgs va-verk som uppdragsgivare. Examensarbetet omfattar 20 poäng och sträckte sig mellan 5 september, 2005 till 15 januari, 2006.

1.2 Bakgrund

Vatten- och avloppsverket (fortsatt i texten kommer benämningen va att användas) lägger varje år ca 300 miljoner kronor på drift och underhåll. Sammantaget förvaltar va-verket ca 2500 km avloppsledningar och ca 1700 km vattenledningar. Ledningarna är i många olika sorters material och har en ålder på upptill 130 år samt är nedgrävda under varierande jordförhållanden.

Återanskaffningsvärdet för nuvarande vatten- och avloppsledningar är med en kostnad på ungefär 3500 kr/m $(1\,700\,000\text{ m} + 2\,500\,000\text{ m}) \times 3\,500\text{ kr/m} = 14,7$ miljarder varav vattenledningarna utgör ca 40 procent. En kostnadseffektiv underhållsplanering av vattenledningsnätet är således mycket viktig. En ytterligare faktor är att dagens utbytestakt för vatten- respektive avloppsnätet ligger på perioder om 200 respektive 600 år vilket inte kan ses som en långsiktigt hållbar utveckling.

I takt med de kommunala försörjningssystemens stigande ålder och ökande underhållsbehov lyfts frågor om underhålls- och förnyelsestrategier fram. Man har i Sverige sedan larmrapporterna på 1980-talet om ledningsnätets dåliga status lagt ned en del resurser på att utveckla strategier och modeller för underhållsplanering. Det statistiska underlaget, främst gällande röbröttsfrekvens, har dock haft stora brister för att kunna användas i den utsträckning som krävs för att en effektiv planering skall vara möjlig.¹ Att välja rätt tidpunkt för underhålls- eller förnyelseåtgärder är centralt vid kommunal vatten- och avloppsplanering. Om rörnätets kondition degraderas alltför mycket innebär det höga abonnent-, läckage-, miljö- samt andra samhällskostnader. Att byta ut ledningar innan de är uttjänta medför å andra sidan ett dåligt resursutnyttjande.²

Det är ingen självklarhet att akut läcklagning skulle vara dyrare än planerad renovering. Det gäller att de ledningar som man byter ger framtida reparationskostnader i tillräcklig omfattning. I själva verket kan akut läcklagning vara billigare än planerad renovering. Enligt överslagsberäkningar utförda av Olle Ljunggren på va-verket påvisades att en röbröttsfrekvens, vilken beskriver vattenledningens kondition, på 60 skador per 10 km och år i Göteborgs vattenledningsnät krävs för att det ska vara lönsamt med en planerad renovering. Medelröbröttsfrekvensen för Göteborgs vattenledningsnät ligger i dagsläget på ca 2. En skadefrekvens på cirka 30 skador per 10 km och år kan dock för normalfallet anses ekonomisk om samhällskostnader inkluderas i beräkningen.

Det kan vara mycket svårt att undersöka vattenledningars kondition. Till skillnad från avloppsledningarna har till exempel vattenledningarna små dimensioner, är trycksatta och innehåller ett livsmedel. På grund av redovisade skäl är en invändig inspektion av vattenledningar problematisk och dyr varför röbröttsfrekvensen normalt används trots att den

¹ Stahre, Sundahl och Lindström (1994, s. 1)

² PRIVA 2 (1991 s. 19)

är ett mera indirekt mått på vattenledningarnas kondition. Undersökningar av rörets kondition genom okulär besiktning eller materialprover anses vara relativt otillförlitliga och blir dessutom dyra då ledningarna kan ligga svåråtkomligt i stadsmiljö.³

Vid planering av underhållsstrategier för vattenledningsnäten krävs prognoser om kommande driftsstörningsutveckling i form av rörbrottsfrekvens. Studier av Stahre, Sundahl och Lindström visar att rörbrottsfrekvenser kan variera märkbart mellan vattenledningar av olika material och ålder.

Prioriteringsstrategi för underhåll, förnyelse och förbättring av va-ledningsnät (fortsättningsvis kommer förkortningen PRIVA användas i rapporten) är en publikation utgiven av Svenska Vatten- och Avloppsverksföreningen (sedan 1 januari, 2002, heter föreningen Svenskt Vatten) som syftar till att vara till hjälp i det kommunala underhållsarbetet.

Prioriteringsmodellen PRIVA avser att hjälpa kommunerna med en klassificering av rörnätet och denna angreppsmetod kan anses väl integrerad i den gängse kommunala va-strategin. Prioriteringarna görs genom att bestämma konsekvensledningar och riskledningar allt enligt servicemål, miljömål samt ekonomiska mål beskrivna enligt PRIVA. Därefter kan man bestämma ledningar respektive områden som är extra känsliga för driftsstörningar och ger upphov till de största samhällsekonomiska effekterna. Modellen förespråkar därefter att kommunen sätter in extra insatser för att undersöka riskledningarnas status mer i detalj för att man skall kunna precisera framtida underhållsbehov. Därefter kan årliga så kallade riskkostnader eller underhållskostnader, där även samhällskostnader skall ingå uppskattas, allt enligt arbetsgången som beskrivs nedan. Sedan påtalar man att en lista bör upprättas, i fallande ordning för åtgärder som får till stånd mest effekt till minst kostnad för ledningar eller områden.⁴ Riskkostnaden kan sedan jämföras med en eventuell åtgärds installationskostnad och framtida driftskostnader för att se vilket alternativ som är billigast i ett samhällsekonomiskt perspektiv. Denna metod är även beskriven i VA-FORSK rapporten 1992-10 ”PRISEK” så som nuvärdesmetoden.

Programvaran Care-W är ytterligare ett verktyg som har skapats för att optimera drift och underhållsåtgärder på de europeiska vattenledningsnäten. Programmet är ett EU-projekt som har färdigställts under de senaste åren och är fortfarande under utveckling. Care-W syftar dels till att strukturera och beräkna indikatorer över vattenledningsnätets kondition samt att framställa kort- och långsiktiga ekonomiskt optimerade underhållsstrategier utifrån de mål som ställts på vattenförsörjningen.

1.3 Syfte

Examensarbetet skall utreda och skapa en modell för att komma ett ytterligare steg mot att beräkna optimalt underhåll för vattenledningsnät. I dagens va-verksamhet utgår underhålls- och förnyelseplanering från en strikt budget där prioriteringar måste genomföras med hänsyn till befintliga resurser. För optimalt underhåll, det vill säga underhåll utan budgetrestriktion, sker istället enbart optimala åtgärder vid optimala tidpunkter vilket minimerar den totala samhällsekonomiska kostnaden.

³ Stahre, Sundahl och Lindström (1994, s. 6)

⁴ PRIVA (1987 s. 4, 10-12)

Utifrån modellen kan strategier för att minimera totala samhällsekonomiska kostnaden fastställas varefter erforderlig budget kan bestämmas. Därigenom kan resultaten användas i utbildande syfte för olika aktörer då modellen kan användas för att beräkna eventuella framtida kostnadsbesparingar.

Modellen skall ses som ett stöd till den lite mer erfarenhetsmässiga bedömningen och strategin av underhållsplanering som nyttjas idag. I modellen ska olika samhällskostnader vägas in och utredas noggrant. Detta för att modellen ska bli så rättvisande som möjligt ur ett totalekonomiskt perspektiv, där både rena arbetskostnader samt alla betydande samhällskostnader i samband med underhåll och omläggning skall inkluderas.

Vi skapar i modellen förutsättningar för att undersöka hur stor del av ledningsnätet man skall förnya då man har en ledningssträcka/område med förhöjd skadefrekvens. Modellen utvecklas för att i första hand kunna användas samtidigt som vidare undersökningar för uppskattning av rörbrottsfrekvenser fortgår i takt med att det statistiska underlaget utökas. Det som kommer att undersökas är framförallt vid vilken tidpunkt gjutjärnsledningar kondition är så nedsatt att det är ekonomiskt försvarbart att byta ut dessa mot polyetenledningar (fortsättningsvis kommer förkortningen PE användas i rapporten). Då beräkningsmetoder kan utvecklas ges utrymme för förändringar av samhällskostnader i modellen.

I den färdiga modellen ska projektören kunna lägga in olika områdesspecifika indata och jämföra modellens beräkningsresultat med sin egen erfarenhetsmässiga bedömning. Vid avsaknad av indata ska i många fall modellens schablonvärden kunna användas samt multikriterieanalys (fortsättningsvis kommer förkortningen MCA användas i rapporten).

För att få en god vetskap om vilka kostnader som väger tyngst på resultatet ska även en känslighetsanalys genomföras. Detta för att ta reda på vilka indata som bör undersökas mest noggrant för att få ett rättvist resultat.

1.4 Avgränsningar

Vi beaktar endast att vattenledningarna i ledningsnätet vid underhållsplaneringen. Avloppsledningar, pumpstationer, reservoarer och viss annan utrustning beaktas inte.

Vid beräkningar av ledningsomläggningar kommer röspräckning med PE-ledningar att vara den metod som behandlas i beräkningarna. Anledningen är att röspräckning är den metod som används mest i Göteborg och den kommer enligt vår uppfattning också vara den dominerande metoden i framtiden. PE-ledningar visar upp goda kvaliteter med dess höga driftsäkerhet, låga tillförsel av ämnen härstammande från ledningen och dess förväntat långa tekniska livslängder. Dessa ledningar uppvisar således utmärkta egenskaper för transport av dricksvatten och ser ut att ha en stor framtida marknad.

I rapporten kommer endast gjutjärnsledningars underhållsplanering att undersökas då de utgör den största delen av det befintliga vattenledningsnätet. Dessutom utgör även gjutjärnsrören den äldsta delen av rörnätet och uppvisar den högsta rörbrottsfrekvensen. Därmed är de även de ledningar som för närvarande är i störst renoveringsbehov. Vi kommer även att lägga tyngdpunkten på att analysera ledningar som är lagda fram till och med 1960-talet vilket dessutom är det decennium som de flesta gjutjärnsledningar lades. En inblandning av den lilla andel segjärns- och PVC-ledningar som lades från 1970-talet och framåt påverkar därför inte det totala resultatet nämnvärt. Dessutom är dessa ledningar, tillsammans med de PE-ledningar som lagts efter 1970-talet, förhållandevis nylagda och förväntas uppvisa en god funktion över

en överskådlig framtid med undantag av en del så kallade barnsjukdomar (se Figur 1, Ålder-/materialprofil över Göteborgs vattenledningsnät.).

Skador på matarledningar kommer inte att innefatta kostnader för människor eller industri som blir utan vatten då sådana fall är sällsynta. Detta eftersom det oftast föreligger dubbelmatning på matarledningar vilket medför att risken för driftsstopp i vattenleveransen är mycket liten. Därför studerar vi endast det lokala ledningsnätet där samhällskostnader kan realiseras på ett annat sätt. Servisledningar exkluderas även då ägarförhållanden ställer till problem eftersom va-verket endast äger ledningsdelen fram till förbindelsepunkt vid tomtgräns. En begränsning görs alltså till det lokala huvudnätet där både servisledningar och matarledningar kommer att exkluderas. En ytterliggare aspekt är att matarledningarna ofta är utförda i annat material än gjutjärn och dessutom sällan byts till PE.

Det finns en mängd effekter som ger upphov till kostnader vilka kan anses uppkomma på grund av vattenledningsnätets drift och underhåll. I det efterföljande kommer vi att ta upp de vanligaste effekterna som vi anser härstamma från va-verksamhet och är omnämnda i litteraturen. I denna rapport fördjupar vi oss delvis i samhällskostnaders uppkomst och värdering men använder även befintligt material i den omfattning det finns att tillgå. Samhällskostnader såsom vattenkvalitet och tillgänglighet behandlas efter en områdesspecifik bedömning. Riskkostnader för läckage med sekundärskador på vägar, gasledningar, stensättningar, parkområden med mera behandlas även på detta sätt.

I denna rapport har vi utgått från befintlig rörbrottsstatistik som beskriver vattenledningsnätets kondition. Kompletterande undersökningar kan vara ett hjälpmedel för att bedöma ledningarnas status. Sådana undersökningar kan röra sig om utvändigt inspektion eller rörprover som analyseras. Enligt beskrivningen i bakgrundavsnittet är dock sådana undersökningar relativt otillförlitliga och dyra varför de inte anses vara en kostnadseffektiv metod och därför inte beaktas i vår rapport.

Då stora råvattentillgångar genom Göta älv finns att tillgå i regionen anser vi att ingen restriktion finns för vattenhushållningen. Detta medför att det endast är fråga om rena produktionskostnader som går förlorade när vatten läcker ut från ledningsnätet. Dock kan sekundärt reningskostnader samt miljöpåverkan spåras till detta läckage då onödigt stora bräddvolymmer kan skapas på grund av kapacitetsbrist vid inläckage från vattenledningar.

2 Vattenförsörjning

Dricksvatten är vårt viktigaste livsmedel. Ständig tillgång av dricksvatten är grundläggande för att samhället ska fungera på ett tillfredställande sätt.

2.1 Vattenförsörjningssystem

Cirka 7,8 miljoner människor i de svenska hushållen är anslutna till kommunala vatten- och avloppsnät. Verksamheten är i de flesta kommuner samordnad med avloppshanteringen inom gatukontor, tekniskt kontor eller separat som va-verk i de större kommunerna.⁵

Det dricksvatten som distribueras av de kommunala vattenförsörjningssystemen är en färskvara och räknas som ett livsmedel. Vattnet ska i först hand vara välsmakande och hälsosamt, fritt från sjukdomsalstrande mikroorganismer samt giftiga, illaluktande eller illa smakande ämnen.

Vattnet i vattenledningarna skall även vara klart och färglöst och ha en lämplig kemisk sammansättning för att framför allt klara de tekniska krav som ställs. De krav hushållen ställer på vattenbeskaffenheten gäller främst dess funktionsduglighet för matlagning, disk och tvätt. Industrin kan ibland ha speciella krav på vattenbeskaffenheten, som ett vattenledningsvatten rimligen inte kan uppfylla, varför de själva får skaffa eller producera vatten av annan kvalitet.

Städernas och tätorternas vattenförsörjning sker genom ett system med vattentäcker, vattenverk och distributionsnät fram till fastigheternas installationer.

Vattenverken pumpar ut dricksvattnet till distributionsledningarna via de grövre matarledningarna som har dimensioner på 300 - 1200 mm i Göteborg. Servisledningar och brandposter ansluts till distributionsledningarna som är i storleksordningen 100 - 250 mm i diameter. De rörmaterial som förekommer främst är gråjärn, segjärn och plast. Servisledningarna är ofta tillverkade i plast eller koppar.⁶

För att uppfylla krav på vattentillgång och tryck finns även reservoarer och tryckstegningsstationer anslutna i rörnätet.

2.2 Sårbarhet i vattenförsörjningen

Va-systemens sårbarhet bestäms med utgångspunkt av de tekniska lösningar som gjorts samt av yttre hot.

De kommunala ledningsnäten utformas i huvudsak genom huvudvattenledningar i kombination med ett förgrenings- och cirkulationsnät. Ledningsnätets uppbyggnad har betydelse för leveranssäkerheten vid stora läckor och tillbud. Huvudledningarna kan därför vara dubblerade för att säkerställa dess driftsäkerhet. Cirkulationsnät används bland annat för att minimera störningar för abonnenter i samband med drift- och underhållsåtgärder som i förgreningsnät medför besvärande driftsavbrott. Enskilda abonnenter är i slutändan anslutna via en servisledning från förbindelsepunkten i distributionsnätet.

Leveransavbrott av vatten beror ofta på större läckor eller elavbrott vilket medför stopp av tryckstegringspumpar. Kvalitetsproblem orsakade av t.ex. inläckage av avloppsvatten,

⁵ www.risknet.foi.se

⁶ Va-verkets hemsida

felkonstruerade eller misskötta brunnar med mera kan medföra att vattnet är otjänligt som dricksvatten. Förorening av kemikalier som exempelvis olja är sällsynta.⁷

2.3 Störningar i vattendistributionsnät

Vattenledningar med bristande underhåll kan ge upphov till olika problem. Otäta vattenledningar kan orsaka vattenkvalitetsproblem då föroreningar från läckande avloppsledningar kan tränga in. Denna risk är särskilt stor när vattentrycket sjunker på grund av rörbrott eller elavbrott. Igensatta ledningar samt ledningar dimensionerade för brandvattenbehov kan även få kvalitetsproblem på grund av otillräcklig vattenomsättning vid normal förbrukning. Med tiden uppstår även problem med ventiler som rostar och kan inte användas vid de avstängningar som blir nödvändiga för reparationer av läckor.

Åldern på vattenledningar är dock en relativt dålig indikator på dess kondition. Grundläggningssätt, belastning samt geokemiska förhållanden kring röret kan skapa yttre korrosion och det distribuerade vattnets beskaffenhet inre korrosion.

2.4 Drift, underhåll och förnyelse av vattendistributionsnät

Drift, underhåll och förnyelse av distributionsnätet är en central fråga för att undvika störningar i va-system.

Ledningsnätet är bl. a. utsatt för sättningar och korrosion som genererar rörbrott och läckage. Kostnaden för läckage i dricksvattenledningsnätet motiverar i allmänhet inte en reparation om man ansätter ett strikt företagsekonomiskt synsätt. Läckage kan dock indikera ett allmänt renoveringsbehov i det aktuella området. Kostnadseffektiva renoveringsmetoder för vattenledningar finns i dagsläget inte. Förnyelse av vattenledningar innebär därför i praktiken ofta omläggning. Renoveringsmetoder med infordring (re-lining) med exempelvis plastmaterial är dock under utveckling och kan förutspås en viss framtida användning.

Läcksökning kan därför användas som ett sätt att kartlägga renoveringsbehovet. En dryg tredjedel av de läckor som årligen repareras på huvudledningsnätet benämns dolda läckor som inte "går upp", utan vattnet försvinner i avlopp eller mark. För att kunna reparera de dolda läckorna måste de sökas och lokaliseras. Va-verken arbetar därför kontinuerligt med att söka och lokalisera läckor.⁸

2.5 Miljöproblem orsakade av vattendistribution

Vattenledningar och avloppsledningar inklusive dagvattenledningar ligger normalt nedgrävda i samma rörgrav. Detta kan medföra problem vid inläckage av utläckande dricksvatten på avloppsledningsnätet. Det svenska avloppsnätet är huvudsakligen separerat vilket gör att risken för bräddning av orenat spillvatten minskat påtagligt. Bräddning av orenat spillvatten kan dock uppstå i äldre kombinerade system vid kraftigt regn och när det uppstår störningar i avloppssystemet, exempelvis vid rörbrott eller elavbrott på avloppspumpar.

3 Metod och resultat

Genom litteraturstudier samt kontinuerlig kontakt med handledare på Chalmers, Gilbert Svensson samt handledare Olof Bergstedt och övrig personal på va-verket har nödvändig kunskapsinhämtning för examensarbetet erhållits.

⁷ /www.risknet.foi.se/

⁸ Va-verkets hemsida

För att även få synpunkter från va-verkets driftcentral om hur stora områden på rörnätet man bör förnya och hur arbetet bör utföras genomfördes ett studiebesök. Besöket på driftcentralen inkluderade även en akut driftsåtgärd på vattenledningsnätet. På så sätt fick vi en helhetssyn från respektive perspektiv.

Utifrån rörnätets ålder och rörbrottsstatistik skapades en modell som beskriver hur underhållsbehovet kommer att se ut i framtiden. Nuvärdesmetoden eller Cost-benefit analysen (fortsättningsvis kommer förkortningen CBA användas i rapporten) som den även kallas används för detta ändamål.

Modellen jämför olika underhållsalternativ med det så kallade ”nollalternativet” d.v.s. om man inte utför någon förnyelseåtgärd innan den tekniska livslängden är slut. De olika underhållsalternativ som utvärderas är de som anses ge god kostnadseffektivitet. För att alternativen ska vara kostnadseffektiva kan man utnyttja olika underhållsstrategier såsom schaktsamordning, där man utnyttjar samma schakt flera gånger för att dra ledningar i olika riktningar, även kallad solfjäderborring⁹. Vid solfjäderborring tillkommer även samordningsvinster då etableringskostnadens andel av meterpriset blir mindre i takt med att längre ledningssträckor läggs om.

En grundläggande förutsättning för att skapa möjligheter för en god underhållsplanering av vattenledningsnät är fastställandet av rörbrottsfrekvenser. Som utgångspunkt för fastställandet av rörbrottsfrekvensutveckling har en utvärdering av rörbrott som inträffat mellan åren 1994 till och med 2004 utförts. Dessa årtal är valda på grund av att data för driftsstopp har hämtats ifrån va-verkets GIS-databas (benämns vidare i rapporten SolenX) som innehåller skadestatistiken tidigast ifrån denna period. Kortare tidsrymder än 10 år anses inte ge tillräcklig information om områdets skador och längre tid skulle innebära att vaktssystemets rörbrottsstatistik, som beskriver rörbrott för åren 1985 och framåt, måste användas. Detta system är dock inte uppbyggt på samma sätt som statistiken i SolenX och komparabiliteten mellan de olika systemen är låg.

De metoder vi valt att studera närmare, för att bestämma underhållsstrategier, är CBA och MCA. Gjutjärnsledningars rörbrottsfrekvenser är undersökta för att undvika schablonvärden och få ett mer rättvisande resultat. Gjutjärnsledningar och PE-ledningars tekniska livslängd utvärderas även. Slutligen har några områden med varierande förutsättningar och antal ledningar utvärderats med den skapade CBA-modellen samt med MCA.

3.1 CBA

Grundtanken i CBA är att kunna summera vitt skilda kriterier, inkluderande externaliteter (se nedan) genom en ekonomisk värdering för att sedermera kunna utpeka ett av flera handlingsalternativ som mer samhällsekonomiskt fördelaktigt. Ett samhällsekonomiskt fördelaktigt alternativ syftar till att maximera nyttan av samhällets resurser och därigenom samhällets ekonomiska effektivitet. CBA:n är alltså ett verktyg för att rangordna handlingsalternativ i ett samhällsekonomiskt perspektiv. När ett alternativ kan påvisas vara samhällsekonomiskt gynnsamt kan man naturligtvis se dess tillämpning som beslutsunderlag i komplicerade beslutssituationer.

⁹ Borrås, Den Braver, Lundberg (2005, s. 70)

Externaliteter kan beskrivas som effekter utanför marknaden som därför inte kan tilldelas någon kostnad. Miljökostnader är ofta exempel på externaliteter och i denna CBA är prissättningen av bräddvolymen en sådan.

Den arbetsgång som har använts i cost-benefit analysen är hämtad från Hanley och Spash, *Cost-Benefit Analysis and the Environment* (1993), enligt följande.

1. Definition av projektet
2. Identifiering av projektets effekter/påverkan
3. Identifikation av vilka effekter/påverkan som är ekonomiskt relevanta.
4. Kvantifiering av fysiska flöden av ekonomiskt relevanta effekter/påverkan.
5. Monetär värdering av relevanta effekter bla värderingar av externaliteter.
6. Diskontering
7. Summering till nuvärde samt känslighetsanalys.

De kostnader som använts i nuvärdesanalysen är av varierande tillförlitlighet beroende på kostnadsart. Kostnader som är direkt överförbara i ekonomiska värden har utvärderats, både genom medelvärdesberäkningar men också med olika områdesspecifika kostnader för varje enskilt fall. Dessa kostnadsuppgifter har tagits från va-verkets kalkylmallar, alltså med reella kostnader som grund. De externaliteter som inte direkt kan översättas i ekonomiska värden har uppskattats för att erhålla rimliga värden. Samtliga kostnader med dess värden och källor redovisas nedanstående kapitel.

I nedanstående avsnitt redovisas steg 2 t.o.m. 5 enligt den arbetsgång som är beskriven i CBA, avsnittet ovan.

3.2 Samhällskostnader i samband med drift och underhåll på vattenledningsnätet

Det finns en mängd effekter som kan anses uppkomma på grund av vattenledningsnätets drift och underhåll. I det efterföljande redovisas de vanligaste effekterna, med dess kostnader, som anses härstamma från va-verksamhet.

3.2.1 Trafikanteffekter

Trafikförseningar är en effekt som uppstår på grund av de avstängningar man måste göra i samband med drift- och underhållsarbete. I modellen kan fördröjningen för fordonen bestämmas med hjälp av två metoder beroende på avstängningsanordningens typ. En metod behandlar avstängningar av körfält där trafikljusreglering tillämpas och den andra när endast vägmärkesvagn används för omdirigering av trafiken. I bägge fallen antas att endast ett körfält är helt öppet för trafik. I M/M/1-modellen (se nedan) antas full kapacitet för det öppna körfältet men om man tror att det öppna körfältet störs av arbetet tidvis kan en kapacitetsreducering tillämpas. Simuleringsmetoden för ej ljusreglerade vägarbeten är beskriven närmare i efterföljande kapitel.

Enligt samtal med Jan-Olof Berntsson på trafikkontoret i Göteborg mäts inte trafikflöden på små gator såsom bostadsgator. Med små gator menas trafikflöden vars årsmedelvardagdygnstrafik, ÅMVD, understiger 400-500 fordon. Dessa gator har p.g.a. ovanstående inte något lagrat värde i GIS-databasen och kan därför inte visualiseras. Enligt Jan-Olof Berntsson är kapaciteten för smågator inne i stadsmiljö i Göteborg ca 900 fordon/körfält, timme.

3.2.1.1 Simulering av icke ljusreglerad avstängning

Simuleringsmodellen för uppskattning av fördröjning för bilister vid vägarbeten avser vägar med två körfält. Körfälten går i varsin riktning och ett av dessa är avstängt. Det körfält som inte störs av vägarbetet behandlas som om det har full kapacitet. Vidare tas ingen hänsyn till den förkörsrätt som normalt tillämpas för fordonet som har hinderfri väg. Endast ankomsttiden bestämmer vilket fordon som kan använda körfältet. Detta är förutsatt att det är ledigt d.v.s. först kör först. Om tiden mellan ankomster för två fordon, i samma körriktning, är mindre än passagetiden av avstängningsområdet så antas det efterkommande fordonet hinna följa efter.

Om slumpalsgenereringen, som utgår ifrån en poissonfördelning, skapar en lucka mellan ankommande fordon, i samma körfält, som är mindre än ett värde som kan ställas in (default är 1 sekund) så antas det värdet. Detta görs för att tätheten mellan ankomsterna orimligtvis kan vara hur liten som helst. Även extra tid för att köra den extra sträcka som uppkommer, från det att eventuella köer börjar avvecklas, kan ställas in (default är 1 sekund per framförvarande fordon). Dygnsvariationerna för trafikflödena samt dess riktningfördelning kan manuellt ställas in i modellen. De dygnsvariationer som är default är hämtade ifrån boken Trafiken i samhället¹⁰.

I modellen finns möjligheter att dela upp kötider som skapas, beroende på när va-arbetet utförs på dygnet. Den indelning som är gjord är för arbete på natten, på arbetstid under rusningstrafik och för på arbetstid när inte rusningstrafik föreligger. Medelvärden baseras sig på att trafikavstängningarna i regel fortlöper under fem timmar. Värden för rusning baseras på det tidsintervall som ger störst fördröjning medan natt samt ej rusningstrafik baseras på den med kortast fördröjning. Värden för ovanstående parametrar kan manuellt fyllas i tabell under respektive riktningfördelning varvid ett diagram skapas.

3.2.1.2 M/M/1

Detta avsnitt behandlar trafikljusreglerad avstängning. Modellernas beteckningar nedan anger Ankomst/Betjäning/Antal kanaler. Exempelvis beskriver M/D/1 modellen ankomster (M) som exponentialfördelade. Bokstaven D står för deterministisk och visar att betjäningen anses fortlöpa utan variation i kapaciteten. Slutligen står 1:an för att det är en kanal d v s ett körfält.¹¹

Medelväntetiden i systemet

Ankomstintensitet, $\lambda = [\text{fordon/timma}]$
Betjäningsintensitet, $\mu = [\text{fordon/timma}]$

$$\bar{t} = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

Som går att utläsa ovan är kapaciteten för smågator inne i stadsmiljö i Göteborg ca 900 fordon/körfält.

¹⁰ Holmberg, Hydén (1996, s 149)

¹¹ Mannering, Kilareski, Washburn (2005, s. 156- 159)

3.2.1.3 Värdering av förseningar för trafikanter

Transportmedel	[kr/timme]
Bil (privat)	35
Tjänsteresor bil	190
Tjänsteresor buss och spårvagn	110
Transportkostnader gods	35

Tabell 1, Värdering av tid för gods, privat och tjänsteresor.

Värden från Vägverkets publikation 1999:170.

3.2.1.4 Drivmedelseffekter

Drivmedelskostnad är uppskattad till 3,5 kr/l utgående ifrån Vägverkets publikation 1999:170. Bränsleförbrukning för tomgångskörning är 0,03 l/min enligt Ekerlund och Stuhmann.¹²

3.2.2 Miljöeffekter

Buller och avgaser från maskiner i samband med drift- och underhållsarbete stör, försämrar luftkvalitet och kan orsaka sjukdomsfall i närliggande hushåll. Bräddning för ut närsalter, mikroorganismer och tungmetaller i recipienten.

3.2.2.1 Avgasemissioner

Då trafikköer uppstår vid va-arbeten kommer även avgasutsläpp från trafiken att öka. En uppdelning över andelar emissioner härstammande från diesel- respektive bensindrivna fordon är gjord med andelar på 7,3 respektive 92,7 procent.¹³

De utsläppsparametrar som utvärderats framgår enligt nedan:

[g/km]	Tung trafik	Biltrafik	
		Bensin	Diesel
VOC*	0,3	0,5	0,03
NO _x	6,2	0,45	0,63
SO ₂ **	0,016	0,007	0,007
HC	0,33	1	0,06
Partiklar	0,32	0,01	0,11
CO ₂	0,54	0,25	0,19

Tabell 2, Transportmedels avgasemissioner.

Värden är tagna ifrån Tfk 2005:6,

*Egebäck, K-E red.

**http://www.vv.se/templates/page3___10022.aspx

¹² Ekerlund, Stuhmann (2003)

¹³ Vägverket Publikation 2001:40

Avgas-emissioner	Lokala effekter	Regionala effekter
	[kr/kg]	[kr/kg]
VOC	47	30
NO _x	28	60
SO ₂	234	20
HC	66*	-
Partiklar	7949	-
CO ₂	-	1,5

Tabell 3, Värdering av avgasemissioner.

Värden är tagna ifrån, Vägverkets publikation 1999:170.

* VTI meddelande 869 - 1999

3.2.2.2 Buller

Buller i samband med drift- och underhållsarbete stör arbetet för närliggande arbetsplatser vilket även kan leda till kostnader på grund av arbetssvårigheter och produktionsbortfall. Antal bullerutsatta uppskattas utifrån respektive område och avser de som i hög grad drabbas av buller från rörbrottet respektive omläggningen. Kostnaderna i samband med buller kan antas variera beroende på verksamhet, jämför konferenslokal eller skola med verkstads industri. Bullerkostnaden är tagen från Vägverkets publikation 1999:170 och uppgår till 13890 kr/utsatt,år. En läcka beräknas avge buller under 4 timmar och därmed blir bullerkostnaden = $13890 \times 4 / (24 \times 365)$ kr/utsatt,läcka. Då bullerkostnaden 13890 kr/utsatt,år gäller konstant trafikbrus under en längre tid och läckbuller är buller med relativt hög ljudvolym som pågår under en kort tid uppräknas kostnaden med en faktor 7. Vidare så antas att endast 50 % av de personer som p.g.a. boende eller arbete etc. vistas i det drabbade området, då många inte är hemma under läcklagningstiden. Dessa antaganden kan givetvis ändras i modellen.

För en omläggning gäller samma siffror förutom bullertiden, då en omläggning beräknas avge buller under 3 dagar x 8 timmar.

Med ovanstående siffror blir bullerkostnaderna vid underhåll av vattenledningsnätet följande:

Bullerkostnad vid läcklagning = 44,40 kr/utsatt,läcka

Bullerkostnad vid omläggning = 266,40 kr/utsatt,läcka

3.2.2.3 Bräddning

Om man studerar det kombinerade avloppssystemets funktion vid kraftiga regn kan man se att inläckage av dricksvatten orsakar kapacitetsbrist. Detta leder i sin tur till att en större mängd orenat spillvatten bräddas. Läckage av dricksvatten delas upp i akut ledningsläckage samt fortlöpande dolt bakgrundsläckage. Då områden studeras där avloppssystemet är av annan typ än kombinerat sätts kostnaden för bräddning till noll kronor. Detta eftersom inläckage på dagvattenledningar samt spillvattenledningar inte förorsakar bräddning av spillvatten.

Enligt Gryaabs provotidredovisning Mål 247/99 så kan man utläsa att utläckaget från vattenledningar uppskattas till 0,16 l/s,km.

Recipientens känslighetsgrad	[kr/m ³]
Låg	10
Medel	100
Hög	150

Tabell 4, Prissättning av recipientpåverkan utgående från PRISEK¹⁴.

För att ta hänsyn till bräddvolymernas olika reningsgrad delas den totala bräddvolymen upp i två andelar. Den ena andelen beskriver bräddad volym i ledningsnätet på väg till reningsverket medan den andra andelen är bräddad volym som passerat försedimentering i reningsverket. I modellen används 100 kr/m³ som defaultvärde för den orenade bräddvolymen då recipienten mestadels är Göta älv som är relativt okänslig för bräddutsläpp. För den delvis renade bräddvolymen antas den lägre kostnaden 10 kr/m³ p.g.a. den högre reningsgraden samt att allt bräddvatten går till Göta älv.

De bräddvolymerna som användes i beräkningar är de 3 Mm³ som bräddades på Ryaverket år 2004 samt 4,8 Mm³ som bräddades på nätet under samma år.¹⁵ Med dessa bräddvolymerna blir andelarna 39 respektive 61 procent för renat och orenat bräddvatten.

För att bestämma totala bräddvolymerna som uppkommer per genomsnittlig läcka använder vi oss av sannolikheten för att en tidpunkten för en läcka ska sammanfalla med ett bräddtillfälle.

$$\text{Medelläckage} = 18 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Läcktid} = 15 \text{ timmar}$$

$$\text{Antal läckor per år (inkl. servisläckor)} = 408 \text{ st}$$

$$\text{Antal bräddtillfällen/år} = 20 \text{ st}$$

$$\text{Medelbräddtid} = 2 \text{ timmar}$$

$$\text{Sannolikheten att det bräddar} = \frac{20 \times 2}{365 \times 24} = 0,0046$$

$$\text{Sannolikheten att det läcker} = \frac{408 \times 15}{365 \times 24} = 0,6986$$

$$\text{Sannolikheten att det läcker samtidigt som det bräddar} = \text{Sannolikheten att det bräddar} \times \text{Sannolikheten att det läcker}$$

$$\text{Läckagevolym per medelläcka} = 18 \times 15 = 270 \text{ m}^3$$

$$\text{Bräddad volym per medelläcka från läckage} = 18 \times 15 \left(\frac{20 \times 2}{365 \times 24} \times \frac{408 \times 15}{365 \times 24} \right) = 0,9 \text{ m}^3/\text{läcka},$$

där läckage från upptäckta och reparerade läckor avses.

$$\text{Antal bräddtillfällen per år} = 20 \text{ st}$$

¹⁴ Gustafsson, Svensson (1992)

¹⁵ Va-verkets årsberättelse 2004

Medelbräddtid = 2 timmar

Procentuellt inläckage i avloppsledningsnätet = 60 procent

Sannolikheten att det läcker = 1, p.g.a. att endast mindre ej hittade konstanta läckor avses

$$\text{Sannolikheten att det bräddar} = \frac{20 \times 2}{365 \times 24} = 0,0046$$

Sannolikheten att det läcker samtidigt som det bräddar = Sannolikheten att det bräddar x
Sannolikheten att det läcker = Sannolikheten att det bräddar

$$\text{Inläckage på kombinerade ledningar} = \frac{0,16}{1000} \times \frac{3600 \times 365 \times 24}{1000} = 5,05 \text{ m}^3$$

$$\text{Bräddvolym från läckage per meter vattenledning} = 0,6 \times 5,05 \left(\frac{20 \times 2}{365 \times 24} \right) = 0,9 \text{ m}^3/\text{år, meter,}$$

där läckage från ej upptäckta läckor avses.

3.2.3 Abonnenteffekter

De effekter som ingår i abonnenteffekter är vattenkvalitet och leveranssäkerhet för såväl boende, offentlig sektor samt industri.

3.2.3.1 Leveranssäkerhet

Vattenbrist till följd av läckage och avstängning vid arbete kan ge upphov till stora olägenheter för boende. I modellen antas en kostnad av 150 kr/utsatt, timme. Antalet utsatta abonnenter i samband med avstängning av vatten vid underhållsarbete kan inte sättas lika med antalet folkbokförda i avstängningsområdet. Detta eftersom flertalet av hushållen är tomma under arbetstid då normalt underhållsarbeten utförs. För att kunna korrigera den antagna folkmängden som drabbas kan en procentsats som beskriver antal hemmavarande användas. För offentliga inrättningar måste dock antalet drabbade uppskattas från andra uppgifter.

Vattenbrist kan leda till stora kostnader i form av produktionsbortfall för näringslivet och i modellen kallas denna kostnadsparemet för leveranssäkerhet, industri. Denna är extremt varierande beroende på vilken typ av verksamhet som bedrivs i fastigheterna. I en vanlig butik där vatten endast behövs för sanitära åtgärder blir kostnaden relativt låg medan i en stor industri där vatten är nödvändigt för produktionen kan kostnaden bli betydligt högre. En ansats att uppskatta denna kostnad har skapats genom att relatera kostnaden till hur hög förbrukning den drabbade fastigheten har. Vi har därför skapat en arbetsyta i MapInfo där årsvattenförbrukningen för varje fastighet finns att utläsa. Denna förbrukning delas sedan upp för att beskriva den tid som avstängningen pågår. I modellen antas att varje läcklagning pågår i 4 timmar. Vidare så måste ett pris/m³ sättas som blir den varierande faktorn beroende på vilket område/fastighet som studeras. Ett minimipris är den rörliga vattentaxan då denna motsvarar kundens lägsta betalningsvilja för dricksvatten. I verkligheten är dock ofta betalningsviljan betydligt högre, särskilt då industrier drabbas som får stora produktionsbortfall vid vattenbrist.

Vid omlägningsarbete förser man abonnenterna med vatten med hjälp av så kallad slangning. Då ingen störning kan anses ske, antas ingen samhällskostnad uppstå för någon abonnent.

3.2.3.2 Vattenkvalitet

Vattenkvaliteten kan försämrans då ledningsläckage ger möjligheter till intrång av bakterier och andra föroreningar i ledningsnätet. Kostnader i samband med vattenkvalitet beskrivs dels genom betalningsviljan för att slippa dålig kvalitet på dricksvatten som kan uppstå i samband med läcklagningar och ledningsomläggningar. Ytterligare kostnader är de samhällskostnader som kan härledas till försämrad vattenkvalitet är en försämring av dess tekniska funktion. Exempel på sådana kostnader är förstörd tvätt eller färgat porslin p.g.a. brunt vatten som kan uppstå vid underhållsarbeten i områden med gjutjärnsledningar. Även sjukdomskostnader med alla dess konsekvenskostnader, p.g.a. av ökad bakteriehalt kan uppstå. Genom att studera provtagningar kan dock samband mellan underhållsarbeten på vattenledningar och försämrad vattenkvalitet utredas. Vidare är det svårt att gradera vattenkvaliteten samt bestämma betalningsviljan och samhällskostnaden i samband med denna. I de flesta fall anses dock denna parameter vara tämligen försumbar. På grund av ovanstående anledningar är i modellen vattenkvalitetskostnaden satt till noll men utrymme finns naturligtvis för användares egna spekulationer om kostnadens storlek.

3.2.4 Kostnader för vattenläckage

Läckor på det kommunala ledningsnätet kostar varje år stora summor pengar som givetvis hade kunnat användas på ett bättre sätt. Problematiken rörande läckaget är dock ganska komplex och den procentsats som beskriver detta läckage, som man ofta kommer i kontakt med, kan vara överskattad generellt sett. Denna slutsats kan man bland annat dra utifrån mätsvårigheter av låga vattenflöden hos abonnenter där till exempelvis en droppande kran kan stå och droppa obehindrat utan att flödet kan registreras av vattenmätaren som inte är konstruerad för att mäta så låga flöden. Dessutom kan man säga att mätarna inte mäter för mycket, men däremot för lite, då kommunen inte vill "salta" kundernas räkning utan hellre konstruerar mätarna för att mäta snålt. Detta sammantaget gör det svårt att uppskatta hur stor andel av läckaget som orsakas av läckor på ledningsnätet.

3.2.4.1 Bakgrundsläckage

I ett rörnät finns det alltid ett visst läckage som man normalt inte kan lokalisera. Detta läckage benämns "oundvikliga läckaget" även "bakgrundsläckage". Om man tittar på själva vattenledningsnätet och vad som avgör hur mycket vatten som läcker ut kan man se att det finns en viss korrelation mellan förlust per meter ledning [$l/m, dygn$] då den ökar i takt med ledningsbelastning [$m^3/m, år$] (ledningsbelastningen d.v.s. flödet kan förenklat antas följa ledningsdimensionen) samt anslutningsgraden [$pers/m$].¹⁶ Någon beräkningsgrund för detta med ursprung i Sverige finns med största sannolikhet inte men som mycket annat gällande läckage finns det en norm för detta som tillämpas i de Brittiska länderna och deras verksamhetsområden inom IWA (International Water Association).¹⁷ Benämningen är UARL (Unavoidable Annual Real Losses) och en uppskattning för Göteborg redovisas nedan.

UARL anges i liter per dygn och formeln är $(18 \times km. ledning + 0.8 \times \text{antal servisanslutningar} + 25 \times km \text{ privatledning mellan förbindelsepkt. och mätare}) \times \text{medeltryck i mvp}$.

För Göteborgs del ser siffrorna ut så här $(18 \times 1770 + 0.8 \times 44000 + 25 \times 660) \times 45 = 3760 m^3/dygn = 1.37 Mm^3/år$ av det totala läckaget på ca: 10 - 12 $Mm^3/år$.¹⁸

¹⁶ Hasselkvist, Sundahl (1995, s.12-14, 24-26)

¹⁷ Intervju Tommy Ekblad, Göteborgs Vatten- och Avloppsverk

¹⁸ Intervju Tommy Ekblad, Göteborgs Vatten- och Avloppsverk

3.2.4.2 Läckläckage

Med läckläckage menar vi akuta större läckor och de läckor som hittas av va-verkets läcksökare.

Läckaget räknas ut på följande sätt baserat på läckage från årsredovisning år 2004. Läckaget år 2004 uppgick till 12,7 Mm³ varav 1,37 Mm³/år är så kallat UARL-läckage enligt ovan.

I det totala läckaget ingår också en post som kallas ”ej uppmätt förbrukning”. Detta är sådant vatten som rinner så sakta genom vattenmätarna att det ej mäts. Exempel på ej uppmätt förbrukning är droppande kranar.

Med 43 000 servisanslutningar och antaganden om 10 kranar per anslutning, att 1 av 10 kranar läcker samt att varje droppande kran läcker i genomsnitt 6,4 liter vatten per dygn fås följande:

$$\text{Ej uppmätt förbrukning} = \frac{43000 \times 10 \times 6,4 \times 365}{10 \times 10^9} = 0,1 \text{ Mm}^3/\text{år}$$

Vidare så lagades det 408 läckor (inkl. servisläckor) år 2004 enligt va-verkets årsredovisning. Enligt Tommy Ekblad på Rörnätsservice, va-verket i Göteborg, syntes hälften av dessa läckor i dagen medan den andra hälften fanns genom läcksökning. Antagande har gjorts om ett läckflöde motsvarande 18 m³/h och 15 timmars läcktid för de läckor som syntes i dagen. För läckorna som fanns med läcksökning antas läckflödet 1,9 m³/h och en läcktid på 1 år. Läcktiden ett år sattes eftersom att man kan förenklat anta att antalet läckor funna med läcksökning är årsvis konstant. Med ovanstående antaganden fås följande värde på utläckande vattenmängd från lagade läckor:

$$\text{Utläckt vatten från lagade läckor} = 1,9 \times 204 \times 24 \times 365 + 18 \times 204 \times 15 = 3,5 \text{ Mm}^3/\text{år}$$

I det totala läckaget ingår även många läckor som inte hittas med läcksökningsmetoden. Dessa läckor benämns ”ej hittade läckor”. Ej hittade läckor har med ovanstående antaganden som grund störst andel av det totala läckaget, mer än 50 %, och räknas ut enligt följande:

$$\text{Ej hittade läckor} = \text{Totalt läckage} - \text{Bakgrundsläckage} - \text{Läckläckage} - \text{Ej uppmätt förbrukning} = 12,7 - 1,37 - 3,5 - 0,1 = 7,7 \text{ Mm}^3/\text{år}$$

Vattenbalansen för det totala läckaget ser efter våra antaganden ut enligt nedan:

Läckagetyp	Mm ³ /år
Bakgrundsläckage	1,37
Ej hittade läckor	7,7
"Läckläckage"	3,5
Ej uppmätt förbrukning	0,1
Summa	12,7

Tabell 5, Vattenbalans för läckage på Göteborgs vattenledningsnät.

Läckaget får till följd att en större mängd vatten måste produceras och renas. Gustafsson, Svensson (1992). Marginalkostnaden för produktion av dricksvatten är 0,63 kr/m³ enligt

årsredovisning 2004 och reningskostnaden inklusive fasta kostnader är 1,54 kr/m³ enligt Gryaabs årsredovisning 2004. Reningskostnaden är inklusive fasta kostnader vilket gör att marginalkostnaden blir aningen lägre och är nära 1 kr/m³, vilket antas i modellen.

Kostnaderna för den extra produktionen och reningen delas upp på dels en besparing vid omläggning och dels en kostnad per läcka. Bakgrundsläckage och ej uppmätt förbrukning är oundvikligt läckage och tas ej bort genom omläggning. ”Läckläckage” och ”ej hittade läckor” kan däremot reduceras vid omläggning och besparingen respektive kostnaden beräknas enligt följande:

Besparing vid omläggning:

Vi har gjort antagande om att ”ej hittade läckor” endast uppstår på gjutjärnsledningar. Läckvolymen för ”ej hittade läckor” divideras därför med gjutjärnsledningarnas totala längd (758 294 m) och multipliceras därefter med produktions- samt reningskostnaden för vatten. Resultatet blir då den årliga besparing som fås vid omläggning av 1 m gjutjärnsledning. Faktorn 0,6 i vattenreningskostnadsbesparing vid omläggning beskriver ett antagande om att endast 60 % av det utläckande vattnet från vattenledningen går till avloppsledningen.

$$\text{Dricksvattenberedningsbesparing vid omläggning} = \frac{7,7 \times 10^6 \times 0,63}{758294} = 6,40 \text{ kr/m, år}$$

$$\text{Avloppsreningskostnadsbesparing vid omläggning} = \frac{7,7 \times 10^6 \times 0,6 \times 1}{758294} = 6,10 \text{ kr/m, år}$$

Kostnad per läcka för ”läckläckage”:

”Läckläckage” motsvarar den volym vatten som läckt ut på det totala antalet lagade läckor. För att beräkna en kostnad för detta läckage divideras ”läckläckage” med antalet läckor per år och multipliceras därefter med produktions- och reningskostnaden för vatten.

$$\text{Dricksvattenberedningskostnad} = \frac{3,5 \times 10^6 \times 0,63}{408} = 5404 \text{ kr/läcka}$$

$$\text{Avloppsreningskostnad} = \frac{3,5 \times 10^6 \times 1}{408} = 8578 \text{ kr/läcka}$$

3.2.5 Övriga effekter

De samhällskostnader som beaktas under övriga effekter är olyckor, tillgänglighet och riskkostnad för läckage.

3.2.5.1 Olyckor

Samhällskostnaden för olyckor är en riskkostnad som baseras på statistik från Vägverkets publikation 1999:170. Statistiken gäller skador på vägarbetare i Göteborg men även värderingar på de olika skadetyperna. Ett antagande görs om att 0,7 % av det totala antalet vägarbetare i Göteborg jobbar på va-verket med underhåll av vattenledningsnätet. Utifrån dessa siffror räknas en riskkostnad per år ut som därefter divideras med antal läckor per år för att få en riskkostnad per läcka.

Typ av skadefall	Antal skadefall	Värdering av skadefall	Risikkostnad/år	Risikkostnad/läcka
Dödade	0,4	14 300 000 kr	38 133 kr	94 kr
Svårt skadade	2,6	2 600 000 kr	45 067 kr	111 kr
Lindrigt skadade	8,4	150 000 kr	8 400 kr	21 kr

Tabell 6, Uppskattningar av risikkostnader för läcklagning inklusive beräkningsgrunder.

Risikkostnaderna per läcka summeras och antagande görs om att risikkostnad per omläggning är lika stor som risikkostnad per läcka. Följaktligen:

$$\text{Olycksrisikkostnad/läcka} = \text{Olycksrisikkostnad/omläggning} = 225 \text{ kr.}$$

Det finns också annan statistik från Vägverket som beskriver olycksstatistiken för hela Sverige. Ett antagande görs om att 0,2 promille av det totala antalet vägarbetare i Sverige jobbar på va-verket i Göteborg med underhåll av vattenledningsnätet. Siffran för lindrigt skadade framgår dock inte i statistiken och är därför antagen.

Typ av skadefall	Antal skadefall	Värdering av skadefall	Risikkostnad/år	Risikkostnad/läcka
Dödade	4	14 300 000 kr	11 440 kr	28 kr
Svårt skadade	21	2 600 000 kr	10 920 kr	27 kr
Lindrigt skadade	100	150 000 kr	3 000 kr	7 kr

Tabell 7, Uppskattningar av risikkostnader för läcklagning inklusive beräkningsgrunder.

Även här summeras risikkostnaderna per läcka och ett alternativ till ovanstående olycksrisikkostnad fås.

$$\text{Olycksrisikkostnad/läcka} = \text{Olycksrisikkostnad/omläggning} = 62 \text{ kr.}$$

I modellen kan man välja vilken risikkostnad som ska räknas på eller en helt egen siffra. 225 kr per läcka är dock förvald.

3.2.5.2 Tillgänglighet

Tillgänglighet till och från fastigheter och verksamheter kan minska vid drift- och underhållsarbeten på vattenledningsnätet till följd av avstängningar orsakade av arbetet. Samhällskostnader tillgänglighet uppskattas enligt PRISEK¹⁹ och är följande;

Verksamheter	Värdering per butik, företag
Hela gatan uppgrävd	1000 - 5000 kr/månad
Halva gatan uppgrävd	0 - 2000 kr/månad
Punktvisa uppgrävningar	0

Tabell 8, Tillgänglighetsvärdering.

3.2.5.3 Risikkostnad för läckage

Risikkostnader för läckage innebär sekundärskador på anläggningar som vägar, gasledningar och stensättningar samt rekreationsområden med mera som orsakas av vattenläckor. Denna

¹⁹ Gustafsson, Svensson (1992)

riskkostnad är mycket osäker och varierande och bedöms därför helt områdesspecifikt. Då kostnad för återställning av vägbana ingår i kalkyler för omläggningar och läcklagningar är det endast övriga sekundärskador som skall beaktas.

3.3 Rörbrottsfrekvens

Rörbrottsfrekvensen är en viktig faktor att ta hänsyn till vid underhållsplanering. Det är också en osäker faktor då ledningens skick utgår från en mängd olika parametrar. En annan omständighet att ta hänsyn till vid rörbrottsfrekvensanalys är att gjutjärnsledningar har visat en negativ trend gällande rörbrottsfrekvens om man tittar på denna och jämför ledningar lagda under olika decennium. Man kan se i statistiken att det i dagsläget är färre rörbrott på ledningar lagda vid 1900-talets början jämfört med dem som är lagda senare in på 1900-talet.²⁰ Man kan alltså inte använda åldern som ett mått på ledningarnas kondition och säga att en ledning som är x antal år äldre än en annan idag uppför sig som den äldre gjorde för x antal år sedan. Det finns många andra faktorer som bestämmer hur en lednings hållfasthet påverkas negativt och hur olika rörbrott uppstår.

De faktorer som kan påverka rörbrottsfrekvensen är enligt Reuterswärd Wengström bland annat följande;²¹

Miljöfaktorer	Rördata
plats	diameter
jordart	rörmaterial
tryckzon	läggningsdatum
flöde	tryck
inre korrosion	godstjocklek
yttre korrosion	fogtyp

Tabell 9, Faktorer som påverkar rörbrottsfrekvensen.

3.3.1 Metod för rörbrottsfrekvensberäkning

På grund av ovanstående beskrivna förhållande kommer normalvärden uppskattas och användas separat för gjutjärnsledningar från olika decennium. En inriktning på 60-talet och tidigare årtionden blir naturlig då stora delar av ledningsnätet lades under dessa år (se Figur 1, Ålder-/materialprofil över Göteborgs vattenledningsnät.) och kommer att bli de mest utslagsgivande i en ekonomisk utvärdering för underhållsstrategier under de närmsta åren. För att räkna fram en tillförlitlig rörbrottsfrekvensutveckling används de rörbrott som finns i SolenX och som har uppkommit mellan åren 1995-2005.

3.3.1.1 Utsortering av data ur SolenX

Rörbrotten under perioden summeras separat för de rör som har lagts mellan åren 1960-1969. Vidare, för att kunna verifiera 60-tals rörens statistiska säkerhet, summeras på samma sätt de rörbrott som finns på ledningar som är tio respektive 20 år äldre. På detta sätt kan en rörbrottsfrekvensökning utvärderas utifrån olika rörbrottsfrekvensintervall, se Tabell 10 nedan. För att plocka ut de rör som är lagda under respektive årtionde och dessutom skapa en enkel och effektiv beräkningsmodell används MapInfo. I MapInfo plockas även den rördimension ut som antas vara mest representativ för ledningsbeståndet, 100-200 mm. I denna studie av rörbrottsfrekvens utgör den studerade andelen rör 1/7 av det totala antalet rör

²⁰ Stahre, Sundahl och Lindström (1994, s. 8)

²¹ Reuterswärd Wengström (1993.s. 5)

enligt den uppdelning av rörnätet som är gjord i databasen. Det är ca 5000 rör som är lagda mellan åren 1960-1969 jämfört med det totala antalet som är ca 35000.

Först sorteras alla 60-tals ledningar med läckor under perioden 1995-2005 ut och därefter tas alla ledningar med en längd mindre än 20 meter, det vill säga 3 %, bort. Detta görs för att ledningar med en så kort längd inte anses vara representativa för resultatet då de kommer att få extremt höga rörbrottsfrekvenser med endast en eller ett fåtal läckor. Därefter sorteras ledningarna efter hur hög rörbrottsfrekvens de har i olika intervall enligt nedanstående tabell. Stora avvikande årsvisa variationer av rörbrottsfrekvensen, p.g.a. exempelvis stränga vintrar, tryckförändringar etc., utjämnas för att inte enskilda årsvariationer skall påverka resultatet påtagligt och därmed ge ett missvisande resultat. Denna företeelse syns tydligt i Tabell 11 då negativa frekvensutvecklingar fås för ledningar lagda på 50-talet. Utjämnings av stora avvikande årsvisa variationer måste därigenom utföras för att den studerade tidsperioden endast sträcker sig över tio år. Det tillvägagångssätt som används är att fördela ut år med höga frekvenser på efterkommande år med låga. Detta är rimligt med tanke på att rörbrott som skulle ha kommit först efter några år vid normala förhållanden kommer tidigare vid extrema förhållanden.

Intervall	Rörbrottsfrekvens [1/(10km,år)]
1	2-5
2	5-11
3	11-20
4	20-40
5	40-

Tabell 10, Intervalluppdelning av rörbrottsfrekvenser.

Rörbrottsfrekvenserna är uppbyggda på statistik där historiska värden används för prognos om kommande rörbrottsutveckling.

Nedanstående diagram uppvisar rörbrottsfrekvenser som utarbetats, enligt ovanstående avsnitt, ifrån SolenX:s statistiska underlag.

Rörbrottsfrekvensintervall	40-talet	Justerad	50-talet	Justerad	60-talet	Justerad
2 - 5	0,2	0,1	-0,3	0,05	0,1	0
5 - 11	0,4	0,2	-0,2	0,15	0	0,1
11 - 20	1,1	0,8	0,5	0,65	0,4	0,5
20 - 40	0,8	1,3	1,7	1,3	1,3	1,3

Tabell 11, Resultat ifrån utvärdering av rörbrottsdata, rörbrottsfrekvensökning i antal rörbrott/10km, år.

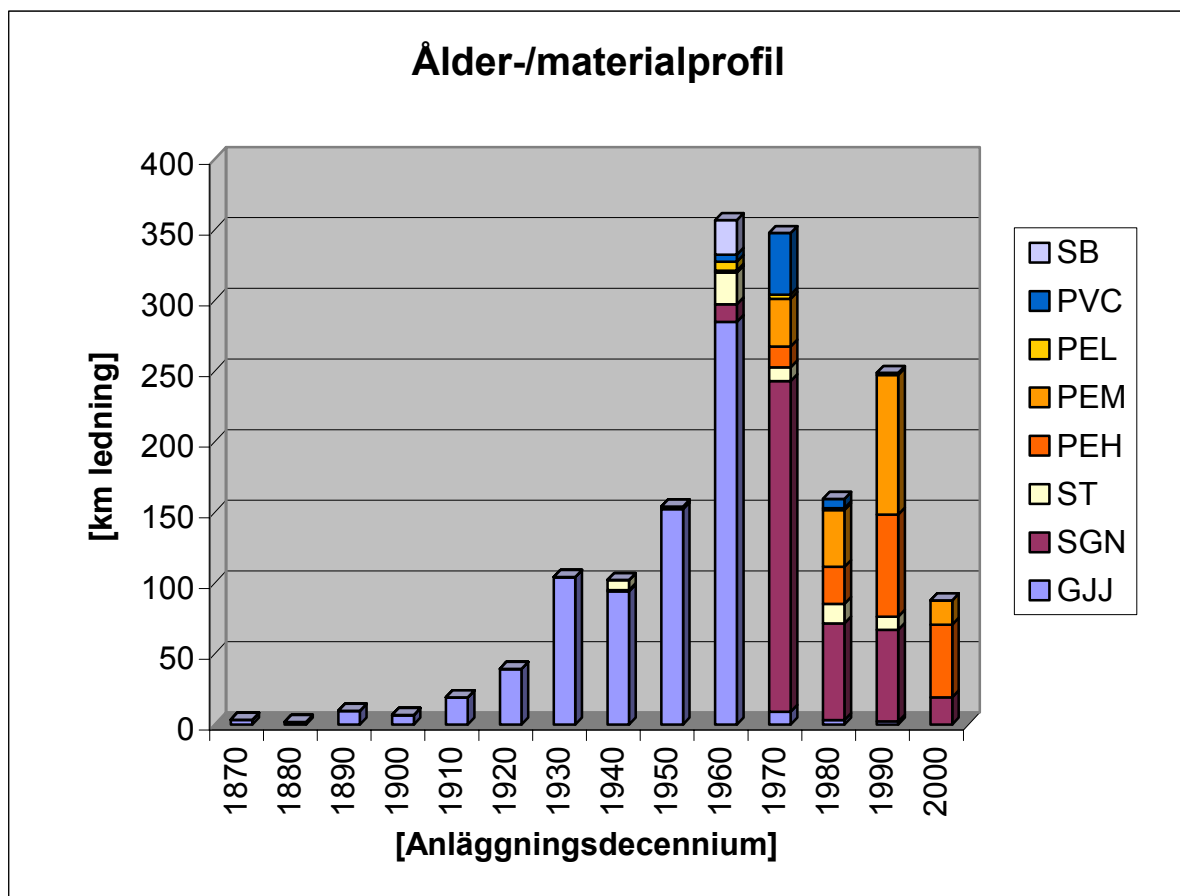
3.4 Teknisk livslängd

I CBA använder man sig av restvärden som beskriver det återstående värdet av objekt vid kalkylperiodens slut för det studerade alternativet. I detta fall är det PE-ledningars återstående värde som kvantifieras. För att kunna beräkna restvärdet måste en teknisk livslängd bestämmas. När den tekniska livslängden är fastställd kan restvärdet för PE-ledningen uppskattas genom att dividera anläggningskostnaden med tekniska livslängden. Då erhålls den årliga värdeminskningen för PE-ledningen. I modellen har den tekniska livslängden antagits till 125 år.

Samma resonemang angående tekniska livslängder som förts ovan kan även tillämpas på gjutjärnsledningar. Då många äldre gjutjärnsledningar med hög rörbrottsfrekvens har bytts och därmed de rör som ligger i goda förhållanden ligger kvar, kan nyare rör uppvisa en högre rörbrottsfrekvens än äldre. Detta beror också på att äldre rör kan ha en bättre materialkvalitet med avseende på korrosion, en större godstjocklek samt övriga faktorer som påverkar rörbrottsfrekvensen, se Tabell 9.

3.4.1 Ålder-/materialprofil

Nedanstående ålder-/materialprofil kan jämföras med förväntade teknisk livslängder för gjutjärnsledningar och ur detta material kan framtida kostnadsintensiva perioder för drift- och underhållsåtgärder bestämmas.



Figur 1, Ålder-/materialprofil över Göteborgs vattenledningsnät.

3.5 MCA

Grundtanken i en multikriterieanalys är, liksom i CBA, att kunna summera vitt skilda kriterier. Men till skillnad från CBA är sker en kvalitativ värdering för att bedöma handlingsalternativ utifrån de utvärderingskriterier man valt. När ett alternativ påvisas gynnsamt kan, liksom i CBA, resultatet användas som beslutsunderlag i komplicerade beslutssituationer. Inriktning på kompromiss mellan intressen/intressenter är tydlig i MCA istället för att, som i CBA, finna en optimal lösning. Fokus ligger på problemformulering och process i MCA.

CBA resultat kan bli väldigt osäkra p.g.a. svårigheter i den monetära värderingen vid komplexa beslutssituationer där flera intressen/intressenter och stora osäkerheter behöver beaktas. Exempel på osäkerheter kan vara vad olika beslut ger upphov till i framtiden.

En enligt oss tydlig tillämpning av MCA finns vid sådana beslutssituationer då man inte endast kan använda sig av resultatet ifrån en CBA eller andra utvärderingsverktyg p.g.a. av dess osäkerheter i värderingen.

MCA kan även användas konsekutivt d.v.s. resultatet ifrån andra utvärderingsverktyg blir indata till nästa. Fördelar genom att integrera data från ett antal andra utvärderingsmetoder (exempelvis CBA) kan exempelvis vara att ett mer aggregerat resultat uppnås. En egen strategi som vi anser gångbar är att svårvärderbara poster i CBA lyfts ur modellen och redovisas i MCA:n istället för en mer kvalitativ bedömning. På så sätt döljs inte effekter som kan vara komplicerade att värdera monetärt i ett aggregerat CBA resultat. Vi anser även att man endast bör redovisa effekter som är viktiga för slutresultatet. Detta för att fokusera på viktiga effekter.

MCA resultat kan också användas kompletterande tillsammans med andra utvärderingsverktyg, såsom CBA, som använder samma indata men ger olika resultat p.g.a. av att de undersöker med hjälp av olika dimensioner exempelvis kvantitativt (ex monetärt) eller kvalitativt (ex rangordning).

Den arbetsgång som kommer att användas i multikriterieanalysen är hämtad från Vatn, Multicriteria analysis – a short introduction (2004), enligt följande.

1. Definiera och strukturera problemet/beslutet
2. Definiera de olika alternativen d.v.s. de möjliga lösningarna. Med andra ord, generera handlingsalternativ som skall utvärderas.
3. Definiera (oberoende) utvärderingskriterier
4. Karaktärisera alternativen genom att poängsätta handlingsalternativen med avseende på respektive kriterium.
5. Vikta kriterierna.
6. Eventuell aggregering om så önskas samt val av metod för detta
7. Utvärdering av resultat, inkluderande känslighetsanalys, samt slutligen förslag eller val av bästa kompromiss.

Både MCA och CBA metoderna väger ihop i grunden ojämförbara storheter. För att göra detta måste på något sätt människors värderingar tas in i analysen. Brukarnas betalningsvilja d.v.s. marknaden används till detta syfte i CBA-analysen. För MCA kan man välja olika alternativ för att värdera (sätta poäng), man kan t.ex. använda en folkgrupp, de som utför analysen, eller beslutfattarnas egna värderingar.

Några viktiga skillnader mellan CBA och MCA som utvärderingsverktyg finns uppräknade nedan.

	CBA	MCA
Mål	Optimal lösning	God kompromiss
Kriterier	Pengar	Olika enheter
Fokus	Resultat	Processen
Metod	En	Flera

Tabell 12, Skillnader mellan CBA och MCA.

Sammanfattningsvis kan man fastslå att i en MCA utformar, bearbetar och omvärderar medan man i CBA använder en klar arbetsgång med givna regler.

Viktning är ett moment som kan ingå i MCA, dock finns för- och nackdelar med ett viktningförfarande. En fördel med viktning är att man får ett mer eller helt aggregerat och mindre komplext underlag för beslutsfattande. Nackdelen är dock att en förenkling av resultaten, där en osäkerhet i viktningen p.g.a. kunskap och syfte, har gjorts, samt att en djupare förståelse blir svårare att få i takt med aggregeringen. Å andra sidan kan man tydliggöra hur man tänkte genom att bifoga viktningen och inte endast det aggregerade resultatet. Det kan vara svårt att dokumentera i ord vilken betydelse man gav olika effekter. Att skalan inte kan anses matematiskt korrekt kan man se sekundärt så länge transparens finns i MCA: n som mer är en är kompromiss där det t.o.m. är tillåtet att styra in på vissa resultat. Viktningen möjliggör även en känslighetsanalys som kan utvärdera effekterna som viktningen får. Man kan fatta beslut utan att vikta.

I bilaga 1 visas ett förslag på hur en MCA-matris kan byggas upp.

3.6 Utvärdering av områden

En utvärdering av olika områden i Göteborg med sina speciella egenskaper redovisas nedan. I nedanstående figurer som visar beräkningsunderlagen som är hämtade ur va-verkets GIS-databas visas ett antal parametrar. Rören är numrerade på samma sätt som indata är inlagda i beräkningsmodellen. Rörens lägningsår samt dimension visas i anslutning till rören. Om gatan är trafikerad i större omfattning visas även ÅMVD för den aktuella gatan. Utöver dessa parametrar visas boende per fastighet samt fastighetens årliga vattenförbrukning. Brandposter är visualiserade som blå ringar och ventiler som blå mot vattenledningen vinkelräta streck. Serviser åskådliggörs genom vinkelräta streck utifrån vattenledning mot fastighet och har vanligtvis en ventil ansluten. Rörbrott som är åtgärdade men där ledningen inte har bytts därefter visas som röda ifyllda ringar och som gröna där rören senare har bytts. Klagomål från brukare kan ses som gröna stjärnor.

Beräkningsmodellen jämför sju olika omlägningsalternativ utgående från tre studerade rör eller ledningssträckor. Dessa omlägningsalternativ beskrivs nedan.

Omlägningsalternativ	1	2	3	4	5	6	7
Omlagda rör nr.	1	2	3	1+2	1+3	2+3	1+2+3

Tabell 13, Beskrivning av inkluderade rör för respektive omlägningsalternativ.

För varje område redovisas i tabellform, vilket omlägningsalternativ som är det mest ekonomiskt fördelaktiga, ur två perspektiv. För att läsa ut resultatet kan följande beskrivning av Tabell 14 och Tabell 15 användas.

Den första tabellen beskriver vilket omlägningsalternativ som man sparar mest pengar på genom att subtrahera kostnaden för samordningsalternativet från enskild omläggning. Kolumnerna ”skillnad” och % -skillnad är den vinst eller förlust som samordnad omläggning medför, skillnad = summan av besparing vid enskild omläggning minus besparing för samordnad omläggning för respektive omlägningsalternativ.

Om skillnaden är negativ medför det en vinst då samordning tillämpas medan en positiv skillnad betyder att enskild omläggning är billigast. Detta kan också utläsas i kolumn ”Bästa omlägningsstrategi”. Påpekas bör att tabellen inte tar hänsyn till budgetrestriktioner utan beskriver ”Bästa alternativ” som det alternativ man sparar mest pengar på, men det kan också vara det alternativ som har högst omlägningskostnader.

Den andra tabellen gör rangordning av olika omlägningsalternativ möjlig, både för det enskilda området men också för andra områden. Det första värdet som kan utläsas är kapitalvärdeskvot och innebär insparad krona/satsad krona. Kapitalvärdeskvot är alltså en bättre siffra att använda sig av vid beaktande av lönsamhet vilket blir speciellt viktigt då budgetrestriktioner föreligger. Det blir därför möjligt att jämföra och rangordna investeringsalternativ med olika stor grundinvestering. Vilket område är mest lönsamt att åtgärda? En högre siffra motsvarar en större besparing. I formeln $(b-c)/c$ är b = kostnader för framtida läcklagning (alltså det man sparar in vid omläggning) och c = omlägningskostnad.

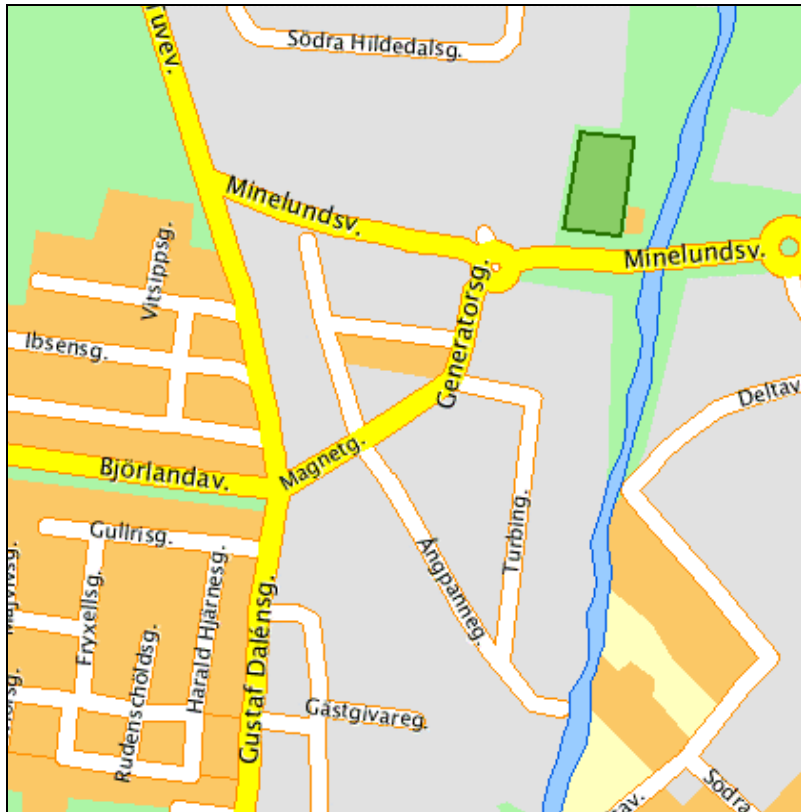
Magnetgatan har också utvärderats mer noggrant med fler nyckeltal än övriga områden. Dessa nyckeltal är första årets avkastning, pay backmetoden, och internränta. Första årets avkastning är hur stor besparing av läcklagingskostnader som kan göras första året efter omläggning av området dividerat med omlägningskostnaden. Pay backmetoden eller återbetalningstiden beskriver hur lång tid det tar att tjäna in eller spara in det investerade beloppet. Internränta beskriver räntan som investeringen ger på det satsade kapitalet.²²

Fullständiga indata och beräkningsresultat redovisas separat för respektive område i bilagor.

3.6.1 Magnetgatan

Magnetgatan som övergår till Generatorsgatan är starkt trafikerad och ligger i ett område med ett antal 60-talsledningar med förhöjd rörbrottsfrekvens. Områdets bebyggelse är blandad men med en betoning på företags- och industrifastigheter vilket speciellt gäller Turbingatan som är lågtrafikerad.

²² Olsson, Skärvad (1997, s.185-188)



Figur 2, Översiktskarta, Magnetgatan.



Figur 3, Beräkningsunderlag, sammanställt av områdesspecifika parametrar, Magnetgatan.

Oml. alt.	Skillnad	% - skillnad	Bästa omläggingsstrategi	Rangordning omläggingsstrategi
4	-118864	10,1 %	Samordning av omläggning	
5	-91987	11,2 %	Samordning av omläggning	
6	45928	9,9 %	Enskild omläggning	
7	-179654	13,8 %	Samordning av omläggning	Bästa alternativ!

Tabell 14, Besparing för respektive omläggingsalternativ, Magnetgatan.

Oml. alt.	(b-c)/c	Optimalt år	Första årets avkastning	Pay back	Internränta
1	1,27	2005	4,1%	30 år	9,4 %
2	1,22	2005	4,9%	25 år	9,9 %
3	0,35	2034	2,6%	-	7,2 %
4	1,76	2005	5,6%	20 år	11,8 %
5	0,99	2005	3,8%	32 år	8,4 %
6	0,57	2009	5,0%	57 år	7,1 %
7	1,27	2005	4,6%	45 år	9,7 %

Tabell 15, Nyckeltal, Magnetgatan.

Som kan utläsas ur Tabell 14 ger omläggingsalternativ 7 störst besparing jämfört med enskild omläggning. Enligt Tabell 15 ger dock Omläggingsalternativ 4 en högre insparad krona/satsad krona och blir därmed mest prioriterad då budgetrestriktioner finns. Man kan även utläsa att alternativ 4 har högst internränta och största procentuella värde för första årets avkastning samt den kortaste pay-back perioden, vilket innebär att det är det bästa omläggingsalternativet.

3.6.2 Bronsåldersgatan

Bronsåldersgatan är en genomfartsgata mot Näsetvägen och är belägen i ett villaområde med ett antal 60-talsledningar med förhöjd rörbrottsfrekvens. Bronsgjutaregatan som mestadels omgärdas av radhus ansluter till Bronsåldersgatan och är avsevärt mindre trafikerad.



Figur 4, Översiktskarta, Bronsåldersgatan.



Figur 5, Beräkningsunderlag, sammanställt av områdesspecifika parametrar, Bronsåldersgatan.

Oml. alt.	Skillnad	% - skillnad	Bästa omläggingsstrategi	Rangordning omläggingsstrategi
4	-29109	10,8 %	Samordning av omläggning	
5	-100619	10,7 %	Samordning av omläggning	Bästa alternativ!
6	37373	5,9 %	Enskild omläggning	
7	-1322	0,2 %	Samordning av omläggning	

Tabell 16, Besparing för respektive omläggingsalternativ, Bronsåldersgatan.

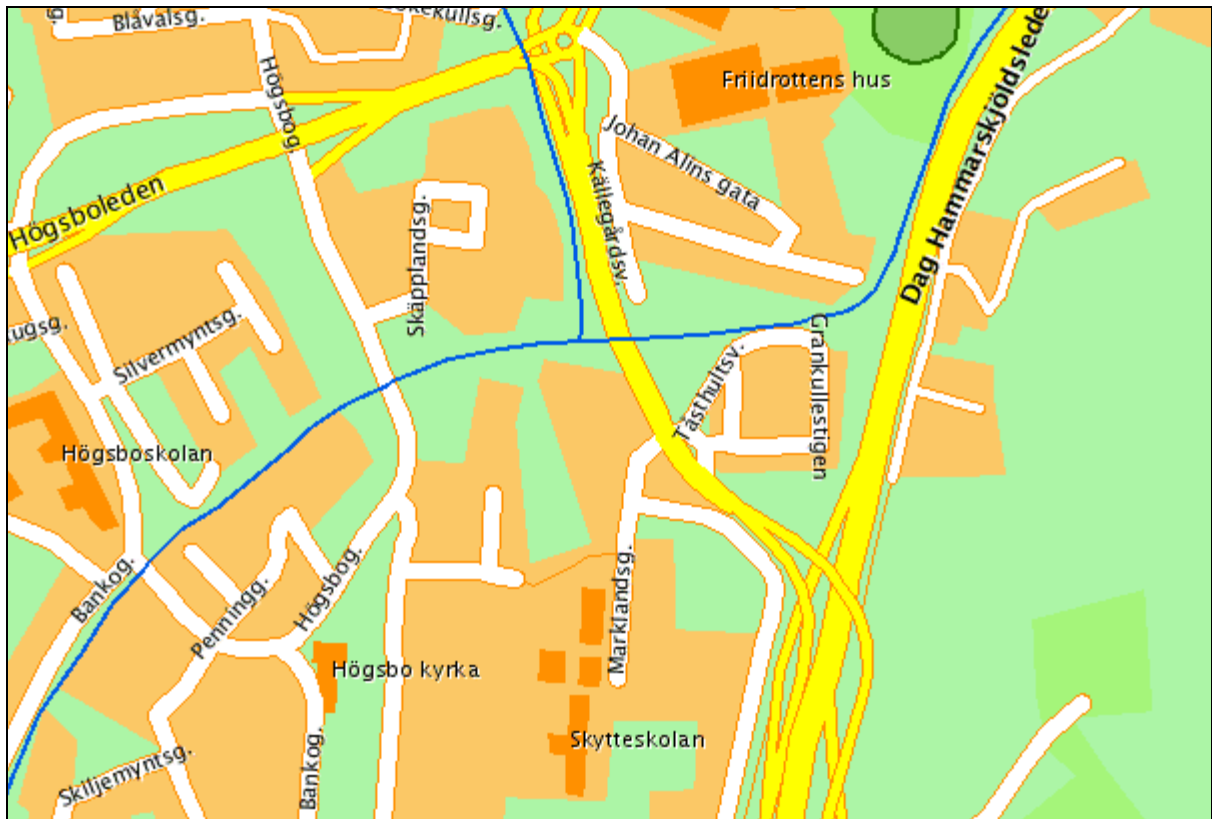
Oml. alt.	(b-c)/c
1	0,92
2	0,19
3	1,45
4	0,75
5	1,24
6	1,02
7	0,98

Tabell 17, Insparad krona/satsad krona för respektive omläggingsalternativ, Bronsåldersgatan.

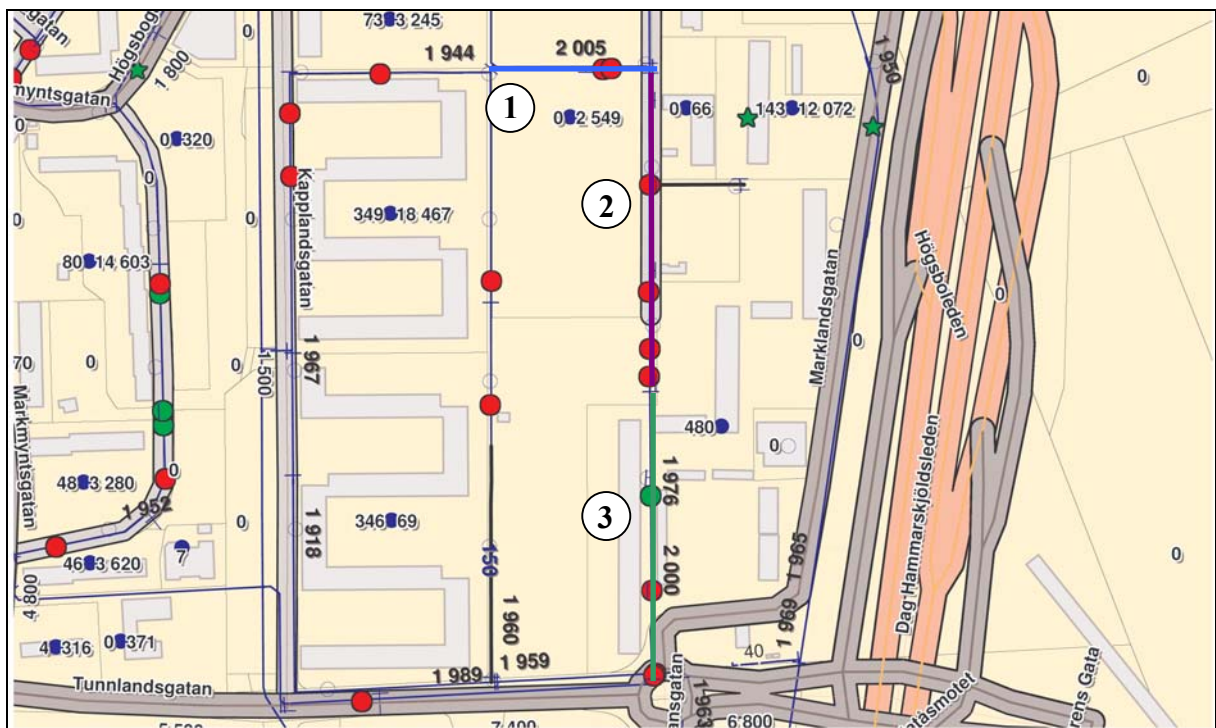
Som kan utläsas ur Tabell 16 ger omläggingsalternativ 5 störst besparing jämfört med enskild omläggning. Enligt Tabell 17 ger dock Omläggingsalternativ 3 en högre insparad krona/satsad krona och blir därmed mest prioriterad då budgetrestriktioner finns.

3.6.3 Marklandsgatan

Marklandsgatan ligger i ett svagt trafikerat område med ett antal 60-talsledningar med förhöjd rörbrottsfrekvens. Området har mestadels större flerbostadshus och innefattar en skola. Ledning nummer tre är som synes i nedanstående figur omlagd men dock relativt nyligen varför dess rörbrottsfrekvens inte antas påverkas samt att den slopade ledningen används i beräkningarna.



Figur 6, Översiktskarta, Marklandsgatan.



Figur 7, Beräkningsunderlag, sammanställt av områdesspecifika parametrar, Marklandsgatan.

Oml. alt.	Skillnad	%-skillnad	Bästa omlägningsstrategi	Rangordning omlägningsstrategi
4	-92610	3,8 %	Samordning av omläggning	
5	-18415	1,1 %	Samordning av omläggning	
6	-78746	2,7 %	Samordning av omläggning	
7	-225711	6,2 %	Samordning av omläggning	Bästa alternativ!

Tabell 18, Besparing för respektive omlägningsalternativ, Marklandsgatan.

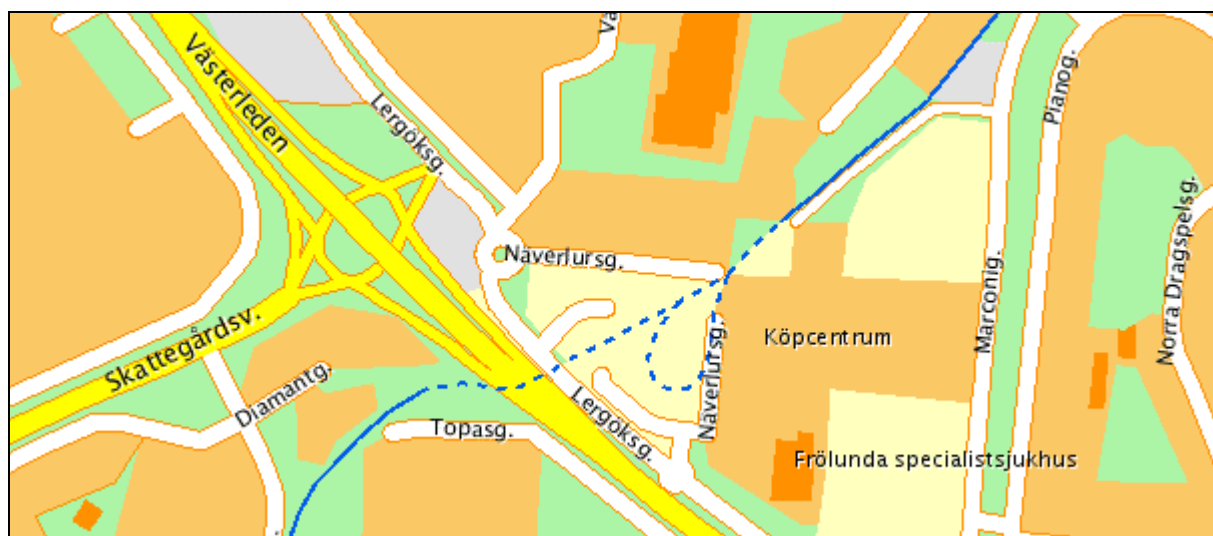
Oml. alt.	(b-c)/c
1	2,04
2	3,22
3	2,81
4	3,46
5	2,60
6	3,58
7	4,07

Tabell 19, Insparad krona/satsad krona för respektive omlägningsalternativ, Marklandsgatan.

Som kan utläsas ur Tabell 18 ger omlägningsalternativ 7 störst besparing jämfört med enskild omläggning. Enligt Tabell 19 ger också omlägningsalternativ 7 en högre insparad krona/satsad krona och blir därmed mest prioriterad då budgetrestriktioner finns.

3.6.4 Tamburingatan

Tamburingatan som övergår till Generatorsgatan är starkt trafikerad och ligger i ett område med ett antal 60-talsledningarna med förhöjd rörbrottsfrekvens. Områdets bebyggelse är blandad men med en betoning på företags- och industrifastigheter.



Figur 8, Översiktskarta, Tamburingatan.



Figur 9, Beräkningsunderlag, sammanställt av områdesspecifika parametrar, Tamburingatan.

Största besparing vid optimalt omlägningsår	$(b-c)/c$
-1629311	1,78

Tabell 20, Största besparing vid optimalt omlägningsår samt insparad krona/satsad krona, Tamburingatan.

Största besparing vid optimalt omlägningsår är skillnaden mellan omlägningskostnad och framtida läcklagning för det aktuella röret. Insparad krona/satsad krona är 1,78.

4 Diskussion och slutsatser

4.1 CBA

CBA är i sitt ursprung tänkt att jämföra alternativ mot ett jämförelseår. I denna tillämpning av CBA är också en jämförelse mellan olika jämförelseår möjlig. Av praktiska skäl är ett slutår för kalkylperioden fastställt och detta gör att kalkylperioden inte är konstant för olika jämförelseår. Detta kan i ett kortsiktigt perspektiv anses vara en korrekt förenkling trots att kalkylperioden inte är konstant utan i själva verket blir kortare i takt med att fler jämförelseår utvärderas.

4.1.1 Effekters värdering

Modellens svar baseras på samhällskostnader samt övrig indata. Svarets kvalitet kommer därigenom att vara starkt beroende av hur väl man lyckas bestämma dessa. I detta avsnitt belyser vi de kostnader som uppkommer i samband med underhållsarbete och reder ut vilka som är viktigast för slutresultatet. Vi pekar även på de parametrar som är känsligast för resultatet och därmed är viktigast att noggrant bestämma. De viktigaste parametrarna som har mest inverkan för resultatet i CBA kommer om möjlighet medges att utvärderas i det efterföljande avsnittet känslighetsanalys.

Enligt den analys vi utfört anser vi att bräddning på grund av inläckage inte kommer att inverka mycket på det totala resultatet vid den värdering som är gjord. Olyckskostnaden är även den i flesta fall relativt låg men bör givetvis förändras efter rådande trafikmängder, trafikantslag och andra trafikförhållanden.

En annan fråga som uppstår i samband med värderingen av effekter är i vilken utsträckning läcklagning kan anses försämra vattenkvalitet. Vidare är kostnaden för denna försämring av vattenkvaliteten svår att uppskatta. Vi anser att denna kostnad är låg.

4.1.1.1 Känslighetsanalys

Restidseffekter, transportkostnader av gods, drivmedelseffekter samt avgasemissioner är alla effekter som är beroende av fördröjningen som skapas för trafikanterna vid vägarbetet. Därför är det viktigt att bestämma denna fördröjning så väl som möjligt. De parametrar som styr denna fördröjning är riktningsfördelning, dygnsfördelningen av trafiken samt andra parametrar, såsom tid att passera schakt, kapacitet, etc., som bestämmer hur trafikfördröjningsmodellerna skall räkna. Exempel på riktningsfördelningens inverkan på resultatet kan utläsas i bilagor.

Dessutom kan fördröjningen variera kraftigt beroende på varaktighet för avstängningen och den tid på dygnet åtgärden utförs. Exempel på denna variation syns tydligt i bilagor, där fördröjningen blir uppemot tre gånger så stor för en 5-timmars avstängning som tidvis pågår under rusningstid jämfört med en avstängning som pågår mellan morgon- och eftermiddagsrusningen i trafiken. Vid avstängning nattetid blir fördröjningen i stort sett försumbar trots att denna gata är relativt trafikintensiv. Riktningsfördelningen har ingen märkbar inverkan på detta förhållande, se bilagor.

Man kan generellt säga att fördröjningen och därmed ovanstående samhällskostnader blir helt beroende av trafikmängd. Höga trafikflöden inverkar alltså kraftigt på fördröjningen och resultatet. För låga trafikflöden gäller omvända förhållanden.

Kostnader för vattenläckage ifrån vattenledningar kan variera kraftigt. Detta är beroende på hur stor andel bakgrundsläckaget och ej uppmätta läckaget utgör av det totala läckaget. Om man antar att bakgrundsläckaget, ej uppmätt läckage samt läckläckage är obefintligt erhålls en besparing på 10 kr/m för vattenproduktion respektive vattenrening jämfört med vår uppskattning på 6 kr/m. Om man däremot antar att allt vatten rinner ut vid läckläckage fås en medelläckkostnad på 51 000 kr. Enligt vår uppskattning fås en medelläckkostnad på 14 000 kr. Volymen vatten som rinner ut på en medelläcka är således mycket viktig att uppskatta då denna kostnad varierar mycket och är hög i förhållande till andra samhällskostnader. För att förbättra uppskattningarna av samhällskostnaderna i modellen kan förändringar av modellens antaganden göras. Dessa förändringar syftar i första hand till områdesspecifika uppskattningar av ledningarnas kondition och därigenom dess vattenläckage. Även avloppsledningarnas inläckage, som är uttryckt i procent i modellen, av utläckt vatten ifrån vattenledningar kan variera kraftigt för olika områden.

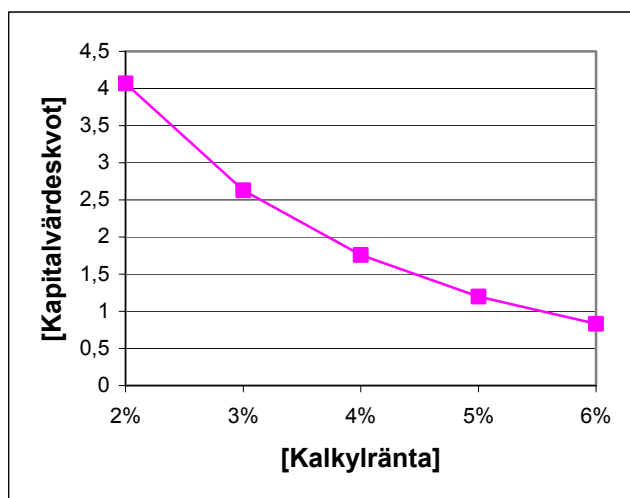
Läckkostnader är en av de största och mest viktiga posterna att värdera korrekt då den i förhållande till de enskilda samhällskostnaderna är stor. Exempelvis så skulle en ökning av läckkostnaden med tio procent bidra till en ökning av kapitalvärdeskvoten för Magnetgatan från 1,76 till 1,87 d.v.s. en förändring på 6,2 procent. Denna kostnad är således viktig att uppskatta så korrekt som möjligt genom att ta hänsyn till de lokala förutsättningar som råder vid det studerade området.

4.1.2 Kalkylränta

Kalkylräntan styr på så sätt att om man räknar med en hög kalkylränta så kommer kostnader eller besparingar i framtiden att bli små och få en mindre innebörd för beräkningarna. Om man tvärtom räknar med en låg kalkylränta kommer kostnader och besparingar som ligger i framtiden att få en avgörande roll för beräkningen.

4.1.2.1 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys har utförts för Magnetgatan för att belysa hur kalkylresultat förändras vid ändringar av realräntan. Om man jämför kapitalvärdeskvoten vid förändring av kalkylräntan från fyra till två respektive 5 procent fås följande.



Figur 10, Kapitalvärdeskvotens förändring med kalkylräntan, Magnetgatan.

Som kan utläsas i ovanstående diagram så är kapitalvärdeskvoten mycket känslig för förändringar av kalkylräntan vid låga kalkylräntor.

4.2 Rörbrottsfrekvenser och dess utveckling

Utvärdering och analys av resultat från utsorteringen av rör från 60-talet samt framställning av rörbrottsfrekvenser utfördes och redovisas nedan.

Rörbrottsfrekvensen för enskilda ledningar på vattenledningsnätet har förändrats genom åren och uppvisar inte alltid en progressiv tillväxt, då kortare tidsperspektiv studeras.

Orsaker till årsvisa fluktuationerna av rörbrotten i Göteborg kan, vilket framkommit efter samtal med Tommy Ekblad på rörnätsservice vatten på Göteborgs va-verk, bero av i första hand svåra vintrar med de tjälskador de förorsakar ledningsnätet. Andra orsaker till direkta förändringar av rörbrottsfrekvenser är förändringar av trycket på ledningsnätet. Dessa förändringar kan framkallas av driftförändringar av exempelvis ledningsnätets indelning av hög- och lågzoner. Om exempelvis en lågzon omklassificeras och inordnas i en högzon kan trycket komma att höjas markant och en stegring av rörbrottsfrekvensen, speciellt under den första tiden, är att vänta. Omvända förhållanden gäller givetvis vid en förändring av en högzon till lågzon, vilken dock inte är vanlig. Underhållsarbete på något av de två vattenverken i Göteborg leder också till driftförändringar och kan föranleda tryckstegringar på vattenledningsnätet. Flödet förändras även vid tryckhöjningar under underhållsarbeten och kan därigenom utsätta vattenledningarna för extra påfrestning. Denna påverkan kan dock anses försumbar under den relativt korta tid arbetet pågår.

Detta leder i förlängningen till att en jämförelse av rörbrottsfrekvenser under en kortare tidsperiod kan vara problematisk att använda för att förutspå framtida rörbrottsfrekvenser och dess utveckling.

Andra problem som framkommer när en framtida rörbrottsfrekvens för vattenledningar skall framställas är att en läcka inte alltid är en läcka. Grunden till detta påstående ligger i att driftstörningscentralens metoder och resurser för att finna läckor har förändrats genom åren. Arbetskraften har varierat liksom metodernas effektivitet att finna läckor. Enligt Tommy Ekblad så har man alltsedan början av millenniet hittat 30 procent mer läckor, vilket kan bero av utökad arbetskraft och automatiska loggar på ledningsnätet, som registrerar potentiella läckor, som förvärvats under perioden.

4.2.1 Känslighetsanalys

Rörbrottsfrekvensen och dess ökning är en av den svåraste och mest viktiga variabeln att värdera korrekt i en CBA som denna. Exempelvis så skulle en ökning av rörbrottsfrekvensökningen från 1,3 till 2,0 rörbrott/10 km,år, för beräkningsexemplet Magnetgatan, reducera nuvärdet för år 2005 med 25 procent. Denna parameter är således viktig att uppskatta så korrekt som möjligt.

4.3 Resultat från utvärderade områden

För att få en fullständig utvärdering av de områden som studerats jämförs och sammanställs resultaten för de olika områdesberäkningarna i efterföljande text. Först är resultaten för områdena sammanställda i tabeller enligt nedan.

	Oml. alt.	Skillnad	%-skillnad	Bästa omläggingsstrategi
Magnetgatan	7	-179654	13,8%	Samordning av omläggning
Bronsåldersgatan	5	-100619	10,7%	Samordning av omläggning
Marklandsgatan	7	-225711	6,2%	Samordning av omläggning
Tamburingatan	1	-	-	Samordning av omläggning

Tabell 21, Omläggingsalternativ med störst besparing för varje område.

Oml. alt.	Magnetgatan	Bronsåldersgatan	Marklandsgatan	Tamburingatan
1	1,27	0,92	2,04	1,78
2	1,22	0,19	3,22	-
3	0,35	1,45	2,81	-
4	1,76	0,75	3,46	-
5	0,99	1,24	2,60	-
6	0,57	1,02	3,58	-
7	1,27	0,98	4,07	-

Tabell 22, Kapitalvärdeskvot för respektive omläggingsalternativ och omläggingsområde.

För att besparingen ska bli störst ska omläggning av områden ske enligt Tabell 21. För Magnetgatan, Marklandsgatan och Tamburingatan innebär detta att samtliga rör i respektive område ska läggas om medan för Bronsåldersgatan endast rör 2 och 3. Vidare ges, enligt bilaga 2, störst besparing om rör 1, Bronsåldersgatan, läggs om först runt år 2020-2025.

Hela detta resonemang som Tabell 21 förespråkar gäller dock endast då budgeten tillåter stora omläggingskostnader. Då budgeten inte är tillräcklig kan istället Tabell 22 användas. Denna tabell framställer nyckeltalet kapitalvärdeskvot som också kan beskrivas som ”insparad krona/satsad krona”. Kapitalvärdeskvoten kan alltså användas för att jämföra olika områdens och omläggingsalternativs lönsamhet eller besparing. Nu kan de olika områdena rangordnas, Tabell 23, för att ge maximal besparing/satsad krona.

Område/Gata	Omläggingsalternativ	Kapitalvärdeskvot
Marklandsgatan	7	4,07
Tamburingatan	1	1,78
Magnetgatan	4	1,76
Bronsåldersgatan	3	1,45
Bronsåldersgatan	1	0,92
Magnetgatan	3	0,35
Bronsåldersgatan	2	0,19

Tabell 23, Kapitalvärdeskvoter rangordnade i fallande ordning för mest lönsamma alternativ.

Marklandsgatan har en betydligt högre kapitalvärdeskvot än resterande områden. Den bör därför prioriteras högst av dessa områden. Anledningen till den stora besparingen som kan göras här beror delvis på den höga rörbrottsfrekvensen som rören i området uppvisar, 9,9 – 19,6 rörbrott/10 km,år. En ytterligare anledning är områdets relativt stora känslighet för buller. Detta eftersom det finns ett antal stora flerbostadshus i området men också en skola som ligger nära de studerade rören. Om antagande görs om att antalet bullerutsatta sjunker till nästan noll fås en kapitalvärdeskvot på 3,73. En annan anledning till den höga kapitalvärdeskvoten är det stora antalet som blir utan vatten vid en vattenavstängning i

samband med en läcka. Om detta antal reduceras på samma sätt som för antalet bullerutsatta fås en kapitalvärdeskvot på 2,66. Med antagande om en kraftig reduktion av både bullerutsatta och antalet som blir utan vatten fås en kapitalvärdeskvot på 2,19. Av detta kan utläsas att parametrarna antal bullerutsatta samt antal drabbade vid en vattenavstängning ger relativt kraftiga utslag på slutresultatet. En noggrann bedömning bör alltså göras av dessa samhällskostnader vid utvärdering av områden.

I listan kommer därefter Tamburingatan (omläggningsalternativ 1) och Magnetgatan, omläggingsalternativ 4. Dessa områden får nästan samma slutresultat. För Tamburingatan kan samma resonemang användas som för Marklandsgatan, ett stort antal bullerutsatta och drabbade vid vattenavstängningar. Magnetgatan har dock mycket små kostnader för dessa parametrar, p.g.a. att få personer vistas i området, men får istället stora kostnader för trafikförseningar och avgasutsläpp i samband med trafikavstängningar. Området har även höga rörbrottsfrekvenser. Magnetgatans tredje rör, som ligger i anslutning till Turbingatan, har dock låga rörbrottsfrekvenser och trafikflöden. Detta rör prioriteras därför lågt och även om samordningsvinster kan göras här så kan utläsas att dessa får relativt liten inverkan på resultatet.

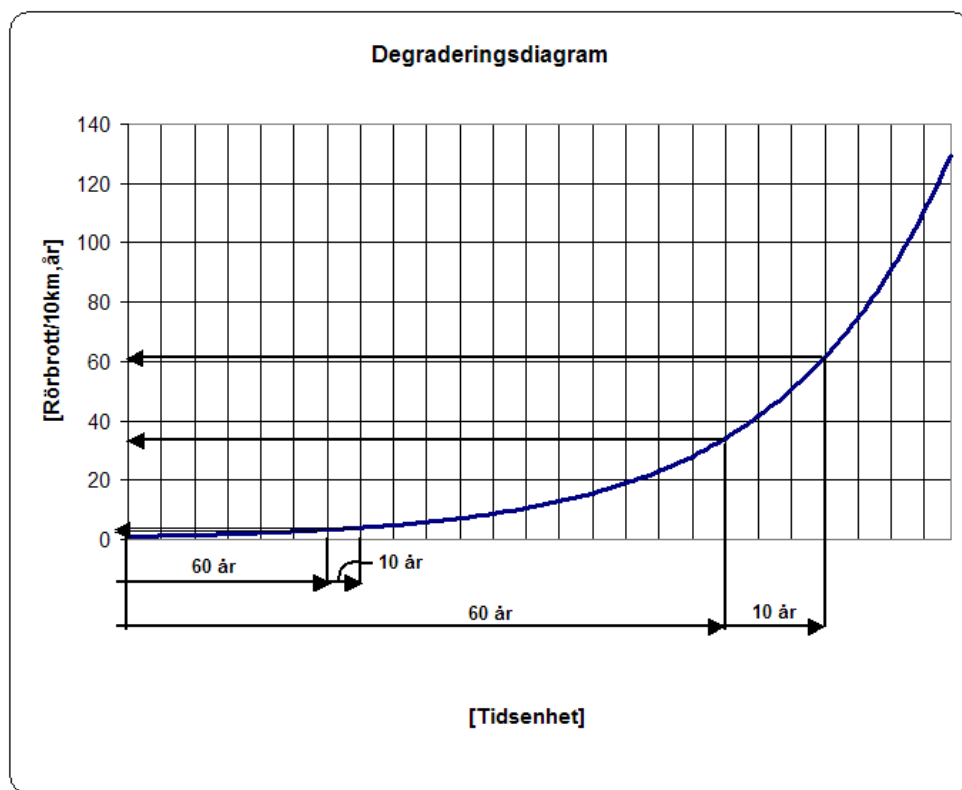
Bronsåldersgatans tredje rör, som ligger i anslutning till Bronsgjutaregatan, får en kapitalvärdeskvot 1,45 som kan jämföras med rör 1 och 2 samma område som har kvoterna 0,92 respektive 0,19. Även här beror skillnaden på det större antal drabbade främst vid leveransavbrott. Detta då avstängningsområdet för rör 3 försörjer många radhus med ett stort antal boende.

En viktig slutsats som gjorts är att de samordningsvinster vid omläggningar som beräkningsmodellen tar hänsyn till inte får någon större inverkan på slutresultatet. En egen reflektion är dock att fler samordningsvinster kan finnas vid en noggrannare och mer omfattande undersökning av kostnaderna i samband med omläggningar än de som har gjorts fram till idag.

Vidare så påvisar modellens resultat att omläggning bör ske i högre grad än vad som görs idag. Slutsatsen av detta är att en större budget för omläggning av vattenledningar behövs, för att minska den totala samhällsekonomiska kostnaden vid drift- och underhållsarbete på vattenledningsnätet.

4.4 Teknisk livslängd

Lokala förhållanden för till exempel jorden och yttre belastning av spänning samt korrosion kan beaktas genom synsättet att degraderingen följer en kurva där tidsperspektivet förskjuts för att stämma med de lokala förhållandena, se bild nedan.



Figur 11, Degraderingsdiagram.

Lågt pH i vattnet är en starkt bidragande orsak till den typ av korrosion som leder till förhöjda metallhalter i vattenledningar. Alkalinitet beskriver vattnets buffrande förmåga mot försurning. Hög alkalinitet minskar korrosionen på järnledningar, speciellt i kombination med lågt pH. Korrosion av järnrör, vilket medför höga kostnader för samhället, kan förhindras genom att vattnet behandlas med kalciumkarbonat och koldioxid, varvid alkaliniteten höjs. Värt att noteras är att denna åtgärd medför att kopparkorrosionen ökar.²³ Detta har observerats i Göteborg efter det att alkaliniteten höjts för att minska problem med rött vatten och missfärgningar på grund av järnkorrosion.

4.5 Utvärdering av modellen

Eftersom PE-vattenledningar uppvisar en så låg rörbrottsfrekvens (ca 10 procent av frekvensen på gjutjärn²⁴) visar vår åtgärdsanalys att det i dagsläget kan vara ekonomiskt försvarbart ur ett långsiktigt perspektiv att byta ut delar av det befintliga ledningsnätet. Detta förhållande gäller för områden med hög frekvens abonnenter per ledningssträcka eller där speciellt viktiga verksamheter är belägna. Detta gäller speciellt för områden där annan infrastruktur är dragen vars funktion kan bli temporärt nedsatt på grund av driftstörningar. Man kan se det som ett resultat av att samhällskostnader i samband med driftstörningar kan bli mycket stora i sådana områden.

Om omläggning kan påvisas vara det bästa alternativet för en vattenledning återstår dock en fråga ytterligare som är om någon uppgradering eller någon annan förändring bör utföras. Uppgraderingen kan i första hand vara en ökning av ledningsdimensionen för att säkerställa

²³ Livsmedelsverket (Internet källa)

²⁴ Stahre, Sundahl och Lindström (1994, s. 12)

leverenssäkerheten. Detta givetvis om statistik visar att abonnenter kan komma att bli utan vatten i sådan omfattning att detta är ekonomiskt försvarbart.

Leverenssäkerheten har dock ett motsatsförhållande med kvalitetssäkerheten då transporttiden för vattnet blir längre när strömningshastigheten för ett konstant flöde minskar i en grövre ledning. Denna extra transporttid orsakar kvalitetsförsämring på grund av ökade järnhalter i vattnet som i sin tur ökar turbiditeten.²⁵

En reflektion rörande motsatsförhållandet mellan leverenssäkerhet och vattenkvalitet är att eftersom i stort sett alla vattenledningar byts ut mot polyetenledningar, som inte bidrar med något järn till vattnet, att vattenkvaliteten inte kommer att försämrans om man skulle prioritera leverenssäkerheten och utöka ledningsdimensioner. En ytterliggare positiv påföljd av en ökad ledningsdimension är minskade vattenhastigheter som förorsakar mindre invändigt slitage och således en längre livslängd.

4.6 Övriga funderingar

Att dra va-ledningar långt ut till få användare får enligt PRIVA-modellen ett dåligt prioriterat underhåll då den kommer långt ned på listan över prioriterade ledningar. För sådana områden bör överväganden om brunnsborrning med eventuella kommunala bidrag övervägas då detta kan vara ett bättre alternativ samhällsekonomiskt. Bakgrunden till detta påstående är den höga anläggningskostnaden för va-ledningar samt den låga service PRIVA-strategin kommer att erbjuda få långväga anslutna abonnenter. Kunden kommer att få ett lågprioriterat römnät med eventuell framtida undermålig vattenkvalitet, leverenssäkerhet samt att miljön kan komma att skadas. Miljöskadorna kommer att härröra från ökade bräddvolymen och läckande avloppsledningar. Detta medför sammantaget att eventuella stordriftsfördelar försvinner. För sådana områden kan metoden att använda olika riktvärden för leveranssäkerhet, vattenkvalitet med mera anses som något förenklad. I själva verket kommer de för det första inte alltid följas samt i vissa fall bli orimligt höga, om man ser till kostnaden per abonnent, om de nu skulle efterföljas. Åtminstone bör ett ekonomiska övervägande avgöra hur långt dessa kvalitetsstrategier för nöjda abonnenter bör drivas innan andra lösningar övervägs. För de abonnenter som inte samhällsekonomiskt faller inom ramen för kommunala försörjningssystem kan det bli någon form av fördelningspolitik om personen inte till samma kostnad uppnår samma kvalitet på sin nya va-försörjning. Det skulle dock kanske inte vara önskvärt.

4.7 Förslag till fortsatta studier

Trenden i kostnadsutvecklingen för omlägningskostnader är ökande kostnader till följd av ökade krav på återställning och större restriktioner för arbeten. Kostnadsutvecklingen i framtiden kan även antas att minska och eventuella effektiviseringar av arbetsmetoder och maskinpark. Denna osäkerhet gör att det är viktigt att utreda denna fråga samt att försöka att utreda olika scenariers påverkan på underhållsplaneringen.

De rörbrottsfrekvensökningar som har beräknats för olika rörbrottsfrekvensintervall är relativt grovt indelad. En noggrannare undersökning kan göras för att få en exaktare indelning med fler brytpunkter i rörbrottsfrekvensökningen.

En tanke vi har är att eventuellt större reparationer eller förnyelseåtgärder, utan projektering, skulle kunna vara ekonomiskt försvarbara vid läcklagning.

²⁵ Bergström, Zagerholm (1995, s.23)

Eventuella rationaliseringsvinster till följd av samordning av underhållsarbete, i första hand inom va-förvaltningen med avloppsledningsnätet, bör implementeras i modellen. Detta eftersom avloppsledningar och vattenledningar vanligtvis ligger i samma rörgrav. Även eventuella samordningsvinster genom samverkan med externa intressenter som driver andra kabel- eller rörnät bör även undersökas för att användas i samma syfte. I dagsläget är detta främst aktuellt vid nyläggning av va-nät. Detta p.g.a. att underhållsbehovet på infrastrukturerna oftast är lokalt och därför sällan sammanfaller och medger samordningsvinster.

5 Referenser

Litteraturlista

Egebäck K-E, Ahlvik P och Westerhom R. (1997). Emissionsfaktorer för fordon drivna med fossila respektive alternativa bränslen. KFB, Box 5706, 114 87 Stockholm

Hanley Nick, Spash Clive L. (1993). Cost-Benefit Analysis and the Environment. Edward Elgar Publishing Limited, Aldershot, UK.

Holmberg Bengt, Hydén Christer (1996). Trafiken i samhället. Studentlitteratur, Lund.

Mannering, Kilareski, Washburn (2005). Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis, Third Edition. Malloy Inc.

Olsson Jan, Skärvad Per-Hugo (1997). Företagsekonomi 99. Daleke Grafiska AB, Malmö.

Vatn Arild (2004). Multicriteria analysis – a short introduction. Kursmaterial specialskrivet för studenter i institutionell ekonomi på Norges Landbrugshøgskole (NLH).

Rapporter

Bergström Rolf, Zagerholm Bengt. ”Kvalitetssäkerhet och leverenssäkerhet i distributionssystem för dricksvatten.” VA-FORSK rapport 1995-15.

Hasselkvist Åse, Sundahl Ann-Christin. ”Utvärdering av VAVs läckstatistik.” VA-FORSK rapport 1995-10.

Stahre Peter, Sundahl Ann-Christin och Lindström Viveka. ”Va-ledningars kondition.” VA-FORSK rapport 1994-01.

Söderholm Jan, ”Det kommunala underhållsberget.” i Drift, underhåll, förnyelse.

Peter Stahre red. PRIVA (1987 s. 10-12)

Reuterswärd Wengström Teresia (1993). Drinking Water Pipe Breakage Records. Vasastadens bokbinderi AB

Gustafsson Bertil, Svensson Gilbert (1992). VA-FORSK rapporten 1992-10 ”PRISEK

Vägverket Publikation 2001:40, Bensin eller dieseldriven personbil, vad är bäst för miljön?

Tfk 2005:6, Regionala skillnader i emissioner från vägfordon med avseende på ålder och körsträcka.

VTI meddelande 869 - 1999, Miljöeffekter av 30km/h i tätort.

Sofia Ekerlund, Ellinor Stuhmann (2003). Hammarby Sjöstad Logistik Center Samordnad distribution på en stor byggarbetsplats. Gatu- och fastighetskontoret, Stockholms stad.

Elektroniska källor

Livsmedelsverket, http://www.slv.se/templates/SLV_Page____9434.aspx

Intervjuer

Ekblad Tommy, Göteborgs Vatten- och Avloppsverk

Berntsson Jan-Olof, Trafikkontoret, Göteborg

Bilaga 1 Utvärdering av Magnetgatan i Kville.

Objektnamn: Magnetgatan

Rör nr.	SW member	Material	Gatunamn
1	15470	Gjutjärn	Magnetgatan
2	15465, 15466	Gjutjärn	Generatorsgatan
3	15469	Gjutjärn	Turbingatan

Läckor registrerade mellan 1995 -	2005
Förväntad teknisk livslängd, PEH [år]	125

Årlig ökning i rörbrottsfrekvens [rörbrott/10km,år]

Intervall /Rör	1	2	3	1940	1950	1960
2 - 5	0	0	0	0,1	0,05	0
5 - 11	0,1	0,1	0,1	0,2	0,15	0,1
11 - 20	0,5	0,5	0,5	0,8	0,65	0,5
20 - 40	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

Låneränta	5,5%
Inflation	1,5%
Kalkylränta/realränta	4,0%

Omläggningsalternativ	1	2	3	4	5	6	7
Omlagda rör	Rör nr. 1	2	3	1+2	1+3	2+3	1+2+3

Rörlängd	m	115	52	344
Läggingsår	år	1969	-	1960
Rördiameter [mm]	mm	150	150	150
Antal rörbrott	st	4	3	2
Rörbrottsfrekvens [antal rörbrott/10km,år]		31,6	52,4	5,3

Trafikantkostnader

Årsmedelvardagsdygnstrafik, ÅMVD

Bil (privat)

Tjänsteresor bil

Tjänsteresor buss och spårvagn

Andel tungtrafik

Beräknad fördröjning vid omläggning [fordonstimmar]

Beräknad fördröjning vid läcklagning [fordonstimmar]

	15600	15600	500	Siffror gällande rörkombination			
fordon	15600	15600	500	40%	40%	40%	40%
%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
fh	627,5	627,5	0	941,25	627,5	627,5	941,25
fh	6,8	6,8	0				

Bränsleförbrukning vid tomgångskörning 0,03 l/min

Drivmedelseffekter 3,5 kr/l (bensin, diesel)

Befolkning som är bullerutsatta i hög grad

Befolkning/ avstängningsområde

Vattenförbrukning för ind. / avstängningsområde

st	10	10	5	10	12	12	12
st	1	1	1				
m ³ /år	3800	143	3800				

Arbetskostnad läcklagning [kr/läcka]

kr	27000	27000	27000
----	-------	-------	-------

Dimension:

	160	160	160	å pris					
Trafikföringsplan	st	3	3	1	1	1	1	5 500 kr	
Spräckning	m	115	52	344	167	459	396	511	300 kr
Material inkl svetsning	PEH	25 kr/kg	kg/m	6,75	6,75	6,75			
Startschakt	st	1	1	1	1	2	2	2	21 750 kr
Änd- och extra schakt	st	1	2	2	3	3	4	5	18 250 kr
Omkoppling vattenservis	st	10	1	10	11	10	11	11	18 500 kr
Omkoppling avloppsservis	st				0	0	0	0	19 250 kr
Omläggning servis utöver 2 m	m				0	0	0	0	1 550 kr
Överpumpning avlopp	gång								3 250 kr
Inkoppling vatten	st	2	3	3	4	5	6	6	5 750 kr
Inkoppling avlopp	st				0	0	0	0	6 500 kr
Omkoppling/byte brandpost	st	1	1	2	2	3	3	4	33 000 kr
Byte avstängningsventil 110-200	st	1,5	2,25	1,5	3	2,25	3	4,5	11 500 kr
Byte avstängningsventil 225-355	st								27 500 kr
Byte avstängningsventil 400-500	st								44 000 kr
Punktreparation avlopp	st				0	0	0	0	18 750 kr
Tätning brunn m m	st				0	0	0	0	7 000 kr
Värmslingor, plattor, spårväg e.d	kr								

Div 5% (kan ev ökas runt 10 % vid osäkra förhållanden)

%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
	375014	203438	536025	475420	663239	676856	807352
%	12,0%	12,0%	12,0%	11,4%	11,4%	11,4%	10,8%
	420016	227850	600348	529618	738848	754018	894788

Arbetsledning/mätning 12,0% med 5,0%
reduktion av arbetsledningskostnad vid samordning

Byggekostnad

Slangning första fastighet

Slangning andra fastighet -

Provtryckning

ATV-filmning

Nedlagda utredningskostnader

Projektering

st	1	1	1	1	1	1	1	1300 kr
st	9	0	9	10	10	10	10	460 kr
gång	1	1	1	2	2	2	3	5500 kr
m				0	0	0	0	35 kr
kr	5000	5000	5000	10000	10000	10000	15000	
kr	5000	5000	5000	10000	10000	10000	15000	
	20940	16800	20940	36900	36900	36900	52400	kr
Summa	440956	244650	621288	566518	775748	790918	947188	kr

Samordningsvinster vid omläggning: (Insparede timmar)

Etablering:

Avveckling

Projektering

timmar				3	3	3	6	1 250 kr
timmar				3	3	3	6	1 250 kr
timmar				20	20	20	40	400 kr

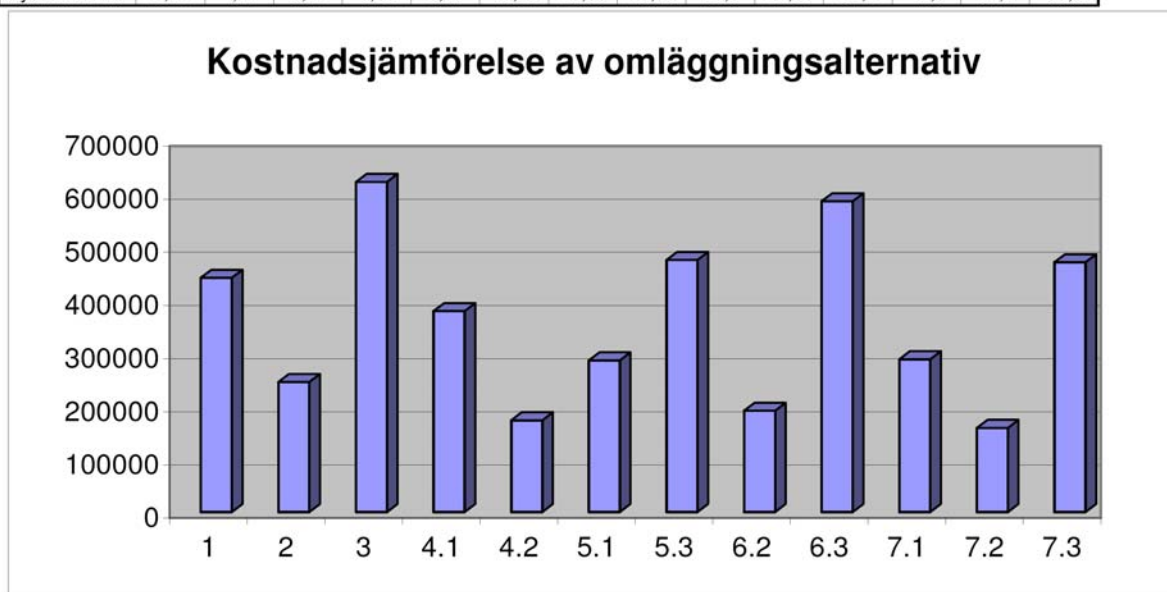
Besparing 0 0 0 15500 15500 15500 31000 kr

Total omläggningskostnad 440956 244650 621288 551018 760248 775418 916188 kr

Total omläggningskostnad/meter 3834 4705 1806 3300 1656 1958 1793 kr

PEH-ledning vikt kg/m

Dimension	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500
Tryckkl. PN 10	3,18	4,12	5,17	6,75	8,51	10,50	13,30	16,40	20,6	25,80	32,6	42,0	50,2	65,6



Figur 12, Beräkningsunderlag, sammanställt av områdesspecifika parametrar, Magnetgatan.

Samhällskostnader vid underhållsarbete va

Läcklagning

	Omlägningsalternativ			
	1	2	3	
Trafikantkostnader				
Restidseffekter	779	779	0	kr/rörbrott
Transportkostnader gods	12	12	0	kr/rörbrott
Fordonskostnader	X	X	X	kr/rörbrott
Drivmedelseffekter	43	43	0	kr/rörbrott
	833	833	0	kr/rörbrott
Miljöeffekter				
Avgasemissioner	232	232	0	kr/rörbrott
Buller	222	222	111	kr/rörbrott
Bräddning p g a inläckage	56	56	56	kr/rörbrott
	510	510	167	kr/rörbrott
Abonnenteffekter				
Leverenssäkerhet				
- Boende, offentlig sektor, företag	75	75	75	kr/rörbrott
- Industri	174	7	174	kr/rörbrott
Vattenkvalitet				
- Boende, offentlig sektor, företag	X	X	X	kr/rörbrott
- Industri	X	X	X	kr/rörbrott
	249	82	249	kr/rörbrott
Kostnader för vattenläckage				
Extra produktion p g a vattenläckage	5383	5383	5383	kr/rörbrott
Extra vattenrening p g a vattenläckage	8545	8545	8545	kr/rörbrott
	13928	13928	13928	kr/rörbrott
Övriga effekter				
Olyckor	143	143	143	kr/rörbrott
Tillgänglighet	0	0	0	kr/rörbrott
Risikostnad för läckage	X	X	X	kr/rörbrott
	143	143	143	kr/rörbrott
Total summa	15663	15496	14487	kr/rörbrott

Omläggning

	Omlägningsalternativ							
	1	2	3	4	5	6	7	
Trafikantkostnader								
Restidseffekter	71849	71849	0	107773	71849	71849	107773	kr/omläggning*
Transportkostnader gods	1098	1098	0	1647	1098	1098	1647	kr/omläggning
Fordonskostnader	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
Drivmedelseffekter	3953	3953	0	5930	3953	3953	5930	kr/omläggning
	76900	76900	0	115350	76900	76900	115350	kr/omläggning
Miljöeffekter								
Avgasemissioner	21374	21374	0	32061	21374	21374	32061	kr/omläggning
Buller	1332	1332	666	1332	1598	1598	1598	kr/omläggning
Bräddning p g a inläckage	-104	-47	-311	-151	-414	-357	-461	kr/omläggning
	1228	1285	355	1181	1184	1241	1137	kr/omläggning
Abonnenteffekter								
Leverenssäkerhet								
- Boende, offentlig sektor, företag	0	0	0	0	0	0	0	kr/omläggning
- Industri	0	0	0	0	0	0	0	kr/omläggning
Vattenkvalitet								
- Boende, offentlig sektor, företag	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
- Industri	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
	0	0	0	0	0	0	0	kr/omläggning
Kostnader för vattenläckage								
Extra produktion p g a vattenläckage	-740	-335	-2213	-1074	-2953	-2548	-3287	kr/omläggning
Extra vattenrening p g a vattenläckage	-705	-319	-2108	-1023	-2812	-2426	-3131	kr/omläggning
	-1444	-653	-4321	-2098	-5765	-4974	-6418	kr/omläggning
Övriga effekter								
Olyckor	717	717	717	1003	1003	1003	1290	kr/omläggning
Tillgänglighet	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
Risikostnad för läckage	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
	717	717	717	1003	1003	1003	1290	kr/omläggning
Total summa	77400	78249	-3249	115437	73322	74170	111359	kr/omläggning
	inkl besparingar							

Figur 13, Samhällskostnader, sammanställt av områdesspecifika parametrar, Magnetgatan.

Tidsåtgång för att passera avstängt körfält **10 sek**
 Tidsåtgång per extra körsträcka (billängder) för körfordon **1 sek/billängd**
 Tidsåtgång för köavveckling (vid köstart) **1 sek/framförvarande bil**

ÅMVD = **15600** fordon/dygn Riktningfördelning

Krf 1 Krf 2
10% **90%**

$\lambda_1 = 65$ fordon/timma = 0 fordon/sek
 $\lambda_2 = 585$ fordon/timma = 0 fordon/sek

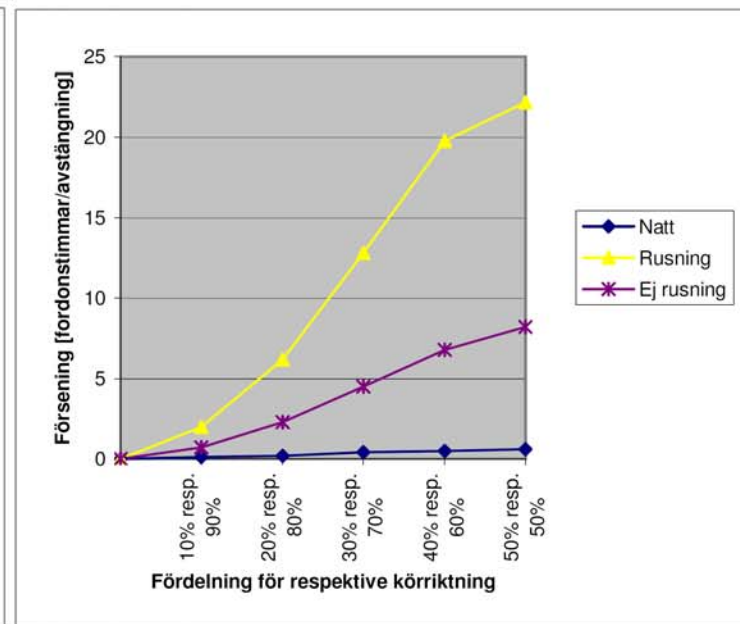
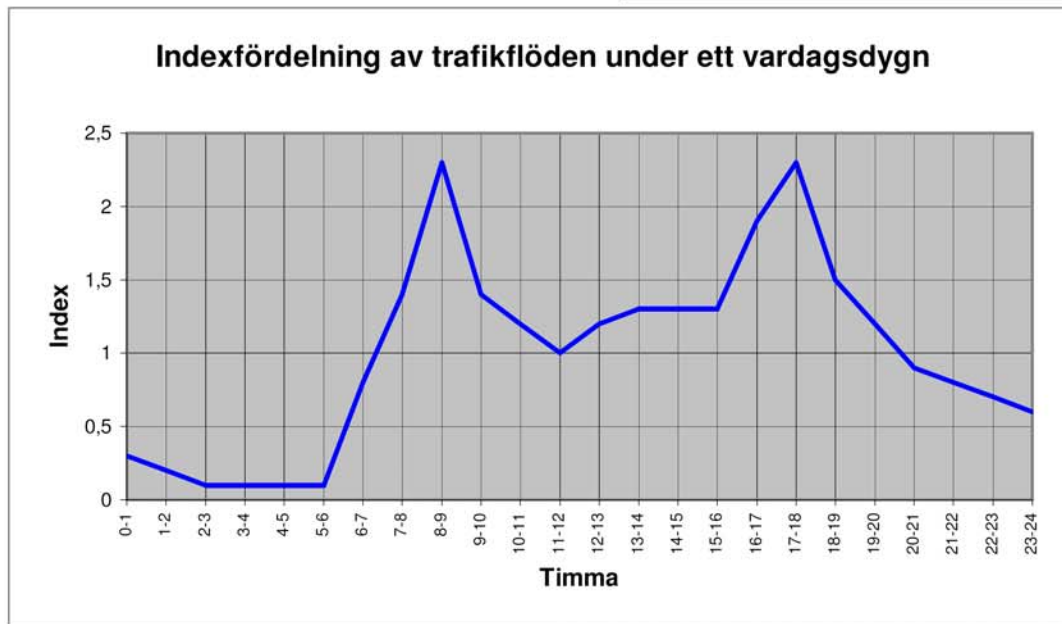
Medelvärde av antal fordon per timma
 Medelvärde av antal fordon per timma

Riktningfördelning		Total försening		
Krf 1	Krf 2	Natt	Rusning	Ej rusning
10%	90%	0,1	2	0,7
20%	80%	0,2	6,2	2,3
30%	70%	0,4	12,8	4,5
40%	60%	0,5	19,8	6,8
50%	50%	0,6	22,2	8,2

Medel över index 1

Timma	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
Index	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8	1,4	2,3	1,4	1,2	1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,9	2,3	1,5	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6
Trafikflöde körfält 1	19,5	13	999	6,5	6,5	6,5	52	91	150	91	78	65	78	84,5	84,5	84,5	124	150	97,5	78	58,5	52	45,5	39
Trafikflöde körfält 2	176	117	58,5	58,5	58,5	58,5	468	819	1346	819	702	585	702	761	761	761	1112	1346	878	702	527	468	410	351
Försening	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	1,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	1,0	0,3	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Summering 5-timmar framåt	0,0	0,0	0,1	0,3	1,2	1,4	1,5	1,6	1,5	0,7	0,7	0,7	1,1	2,0	2,0	2,0	1,9	1,5	0,6	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1

Total försening **4,3** fordonstimmar/dygn



Figur 14, Resultat från trafiksimulering, Magnetgatan.

Tidsåtgång för att passera avstängt körfält **15 sek**
 Tidsåtgång per extra körsträcka (billängder) för körfordon **1 sek/billängd**
 Tidsåtgång för köavveckling (vid köstart) **1 sek/framförvarande bil**

ÅMVD = **15600** fordon/dygn Riktningfördelning

Krf 1 Krf 2
40% **60%**

$\lambda_1 =$ 260 fordon/timma = 0 fordon/sek
 $\lambda_2 =$ 390 fordon/timma = 0 fordon/sek

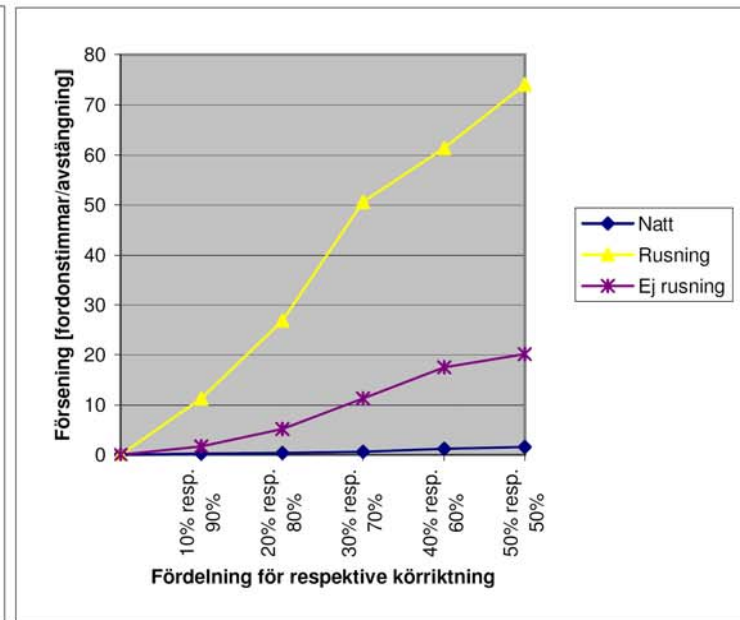
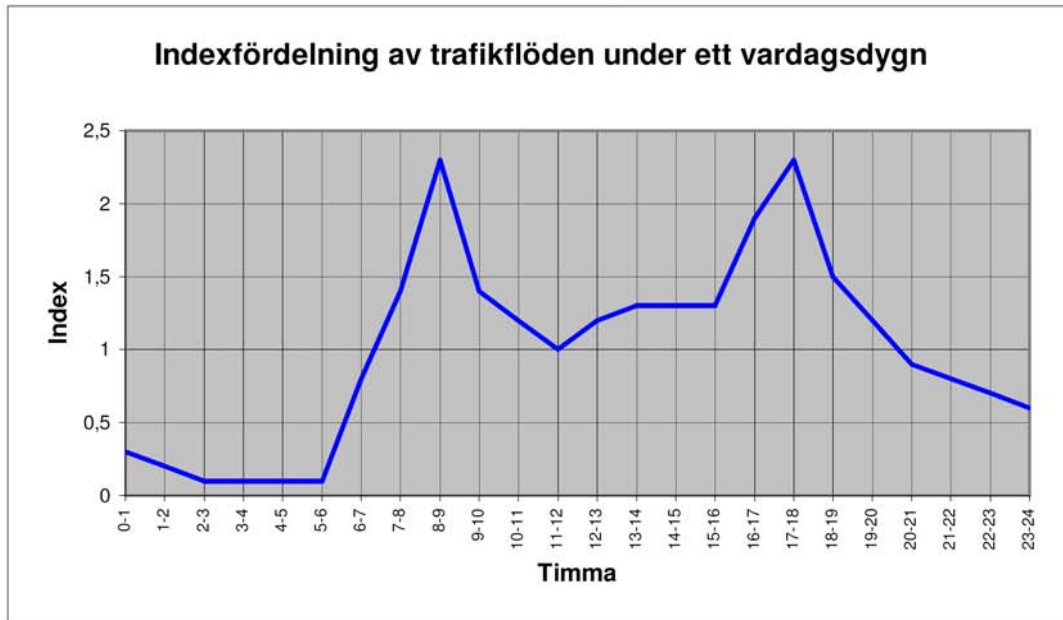
Medelvärde av antal fordon per timma
 Medelvärde av antal fordon per timma

Riktningfördelning		Total försening		
Krf 1	Krf 2	Natt	Rusning	Ej rusning
10%	90%	0,2	11,3	1,7
20%	80%	0,3	26,9	5,1
30%	70%	0,6	50,6	11,3
40%	60%	1,2	61,4	17,5
50%	50%	1,5	74,1	20,2

Medel över index 1

Timma	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
Index	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8	1,4	2,3	1,4	1,2	1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,9	2,3	1,5	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6
Trafikflöde körfält 1	78	52	999	26	26	26	208	364	598	364	312	260	312	338	338	338	494	598	390	312	234	208	182	156
Trafikflöde körfält 2	117	78	39	39	39	39	312	546	897	546	468	390	468	507	507	507	741	897	585	468	351	312	273	234
Försening	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	6,2	29,8	6,2	3,2	2,2	3,2	4,4	4,4	4,4	15,3	29,8	7,5	3,2	1,7	1,2	0,8	0,6
Summering 5-timmar framåt	0,2	0,1	1,2	7,4	37,2	43,3	46,5	47,5	44,6	19,2	17,5	18,7	31,8	58,4	61,4	60,2	57,5	43,3	14,4	7,5	4,4	2,8	1,6	0,8

Total försening 125,5 fordonstimmar/dygn



Figur 15, Resultat från trafiksimulering, Magnetgatan.

Tidsåtgång för att passera avstängt körfält **15 sek**
 Tidsåtgång per extra körsträcka (billängder) för körfordon **1 sek/billängd**
 Tidsåtgång för köavveckling (vid köstart) **1 sek/framförvarande bil**

ÅMVD = **500 fordon/dygn** Riktningfördelning

Krf 1 **50%** Krf 2 **50%**

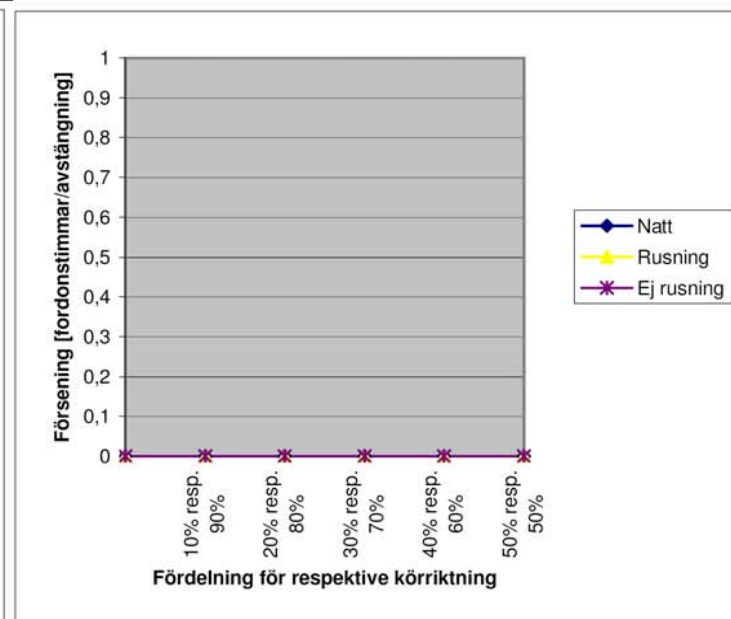
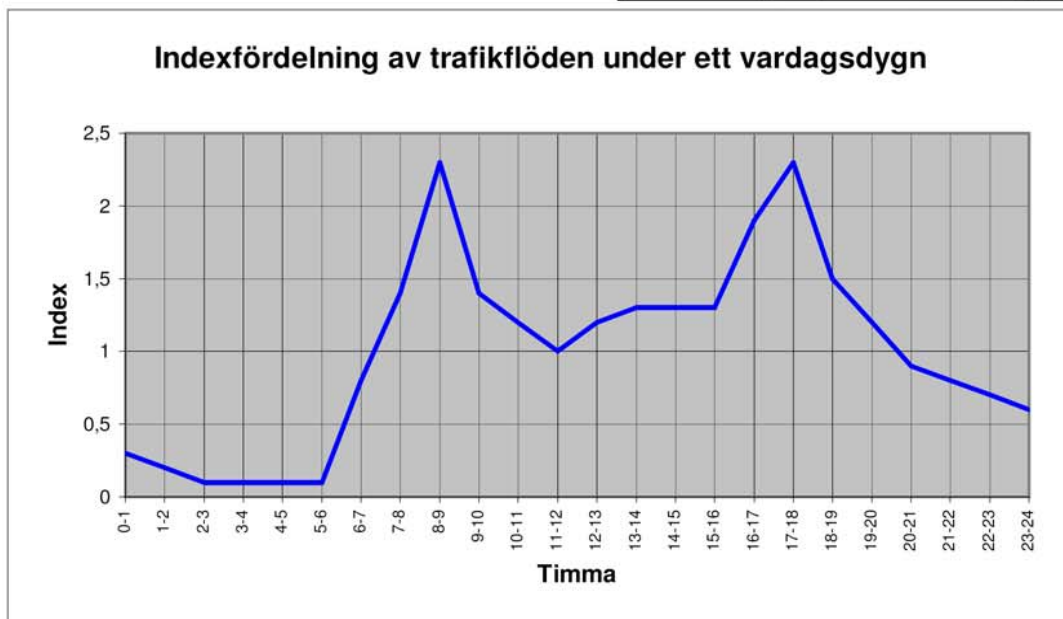
$\lambda_1 = 10$ fordon/timma = **0** fordon/sek Medelvärde av antal fordon per timma
 $\lambda_2 = 10$ fordon/timma = **0** fordon/sek Medelvärde av antal fordon per timma

Riktningfördelning		Total försening		
Krf 1	Krf 2	Natt	Rusning	Ej rusning
10%	90%	0	0	0
20%	80%	0	0	0
30%	70%	0	0	0
40%	60%	0	0	0
50%	50%	0	0	0

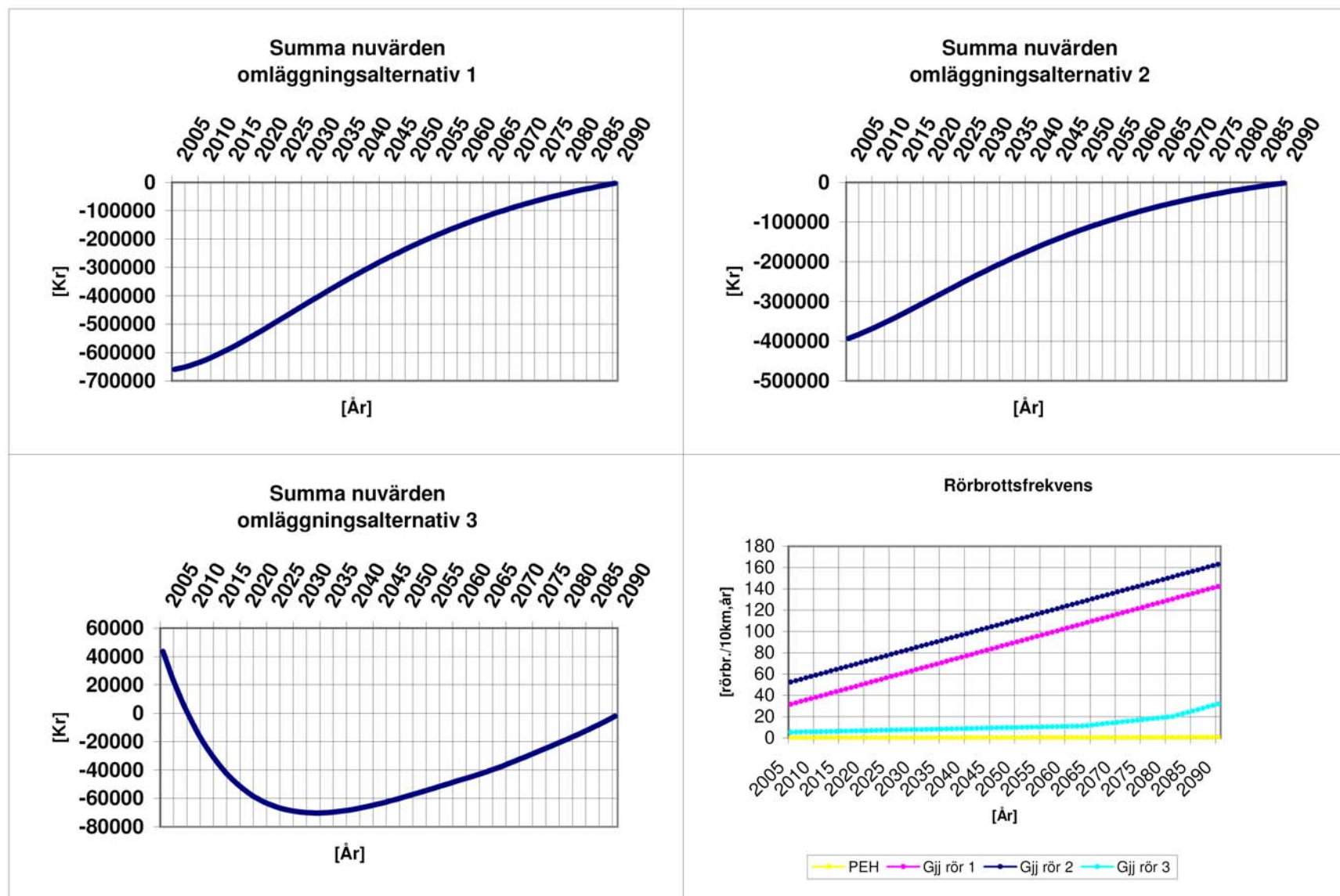
Medel över index **1**

Timma	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
Index	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8	1,4	2,3	1,4	1,2	1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,9	2,3	1,5	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6
Trafikflöde körfält 1	3,13	2,08	999	1,04	1,04	1,04	8,33	14,6	24	14,6	12,5	10,4	12,5	13,5	13,5	13,5	19,8	24	15,6	12,5	9,38	8,33	7,29	6,25
Trafikflöde körfält 2	3,13	2,08	1,04	1,04	1,04	1,04	8,33	14,6	24	14,6	12,5	10,4	12,5	13,5	13,5	13,5	19,8	24	15,6	12,5	9,38	8,33	7,29	6,25
Försening	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summering 5-timmar framåt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

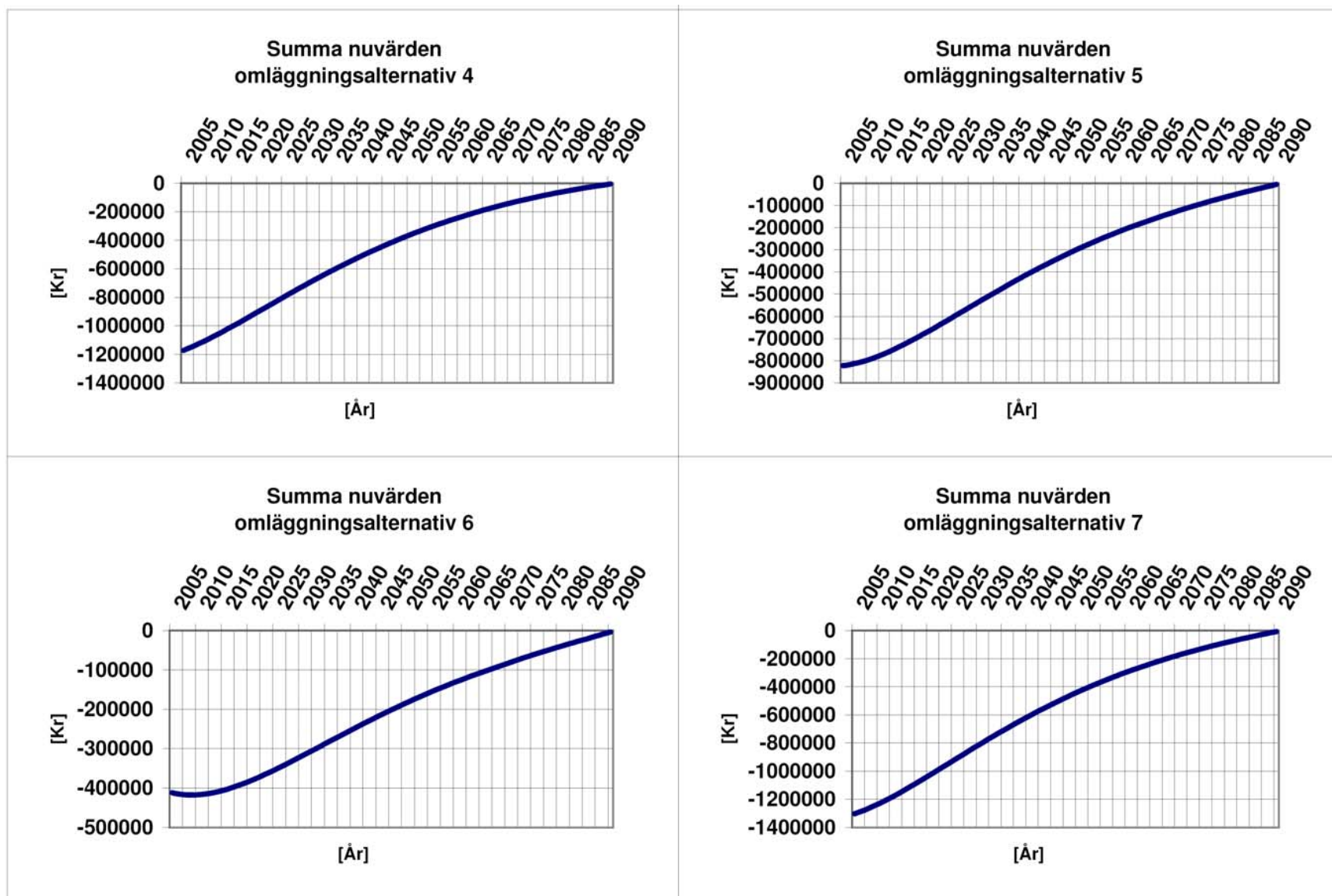
Total försening **0,1** fordonstimmar/dygn



Figur 16, Resultat från trafiksimulering, Magnetgatan.



Figur 17, Resultat för olika omlägningsalternativ, Magnetgatan.



Figur 18, Resultat för olika omlägningsalternativ, Magnetgatan.

Största besparing vid optimalt omlägningsår								
Omlägningsalternativ	1	2	3	4	5	6	7	
	-659600	-393137	-70312	-1171601	-821899	-417521	-1302704	
Största besparing (vid enskild projektering och omläggning)								
Omlägningsalternativ	1	2	3	4	5	6	7	
Rör 1	1989	-659600	-	-	-659600	-659600	-	-659600
Rör 2	1995	-	-393137	-	-393137	-	-393137	-393137
Rör 3	2000	-	-	-70312	-	-70312	-70312	-70312
Summa		-659600	-393137	-70312	-1052738	-729912	-463449	-1123049

Oml. alt.	Skillnad	%-skillnad	Bästa omlägningsstrategi	Rangordning omlägningsstrategi
4	-118864	10,1%	Samordning av omläggning	Bästa alternativ!
5	-91987	11,2%	Samordning av omläggning	
6	45928	9,9%	Enskild omläggning	
7	-179654	13,8%	Samordning av omläggning	

Den skillnad som är mest negativ anger den billigaste omlägningsstrategin

Figur 19, Resultatsammanställning, Magnetgatan

Multikriterieanalys av underhållsalternativ för vattenledningsnätet

Område: Kville, Magnetgatan, Generatorsgatan och Turbingatan

Underhållsalternativ	Rör	Beskrivning
1	1	Magnetgatan
4	1+2	Magnetgatan + Generatorsgatan
7	1+2+3	Magnetgatan + Generatorsgatan + Turbingatan

Kategori	Kriterium	Underhållsalternativ 1		Underhållsalternativ 4		Underhållsalternativ 7		Vikt
		Poäng	Fakta	Poäng	Fakta	Poäng	Fakta	
Ekonomi	- CBA (Kapitalvärdeskvot)	6	1,27	7	1,76	6	1,27	9
	- Tidpunkt*	9	0	9	0	9	0	1
Miljö	- Vattenkvalitet	6	a.d. = få till många	5	a.d. = få till många	4	a.d. = få till många	1
Övriga effekter	- Tillgänglighet**	8	a.d. = Fåtal	6	a.d. = Fåtal	5	a.d. = Fåtal	1
	- Intressenters acceptans		-		-		-	
	- Riskkostnad för läckage	8	Låg	7	Låg	6	Låg	1
	-							
	Summa	85		90		78		

* Kostnad för att underhållsätgårdens optimala tidpunkt inte sammanfaller med omläggingsdatum

** Avser begränsning av framkomlighet till handel, industri, park, torg etc.

*** Framtida underhållskostnader för samhället p g a läckages åverkan.

Eventuellt kan man inkludera en eller flera samhällskostnader i CBA resultat men även understryka dess relevans och osäkerhet genom att ta med samhällskostnaden ytterligare en gång i MCA:n.

Figur 20, Förslag på MCA-matris för Magnetgatan i Kville, Göteborg.

Bilaga 2 Utvärdering av Bronsåldersgatan i Kannebäck.

Objektnamn: Bronsåldersgatan Kannebäck

Rör nr.	SW member	Material	Gatunamn
1	33781, 24078, 24084	Gjutjärn	Bronsåldersgatan
2	24085, 24087	Gjutjärn	Bronsåldersgatan
3	33769, 24072	Gjutjärn	Bronsgjutaregatan

Läckor registrerade mellan 1995 -	2005
Förväntad teknisk livslängd, PEH [år]	125

Årlig ökning i rörbrottsfrekvens [rörbrott/10km,år]

Intervall /Rör	1	2	3	1940	1950	1960
2 - 5	0	0,05	0	0,1	0,05	0
5 - 11	0,1	0,1	0,1	0,2	0,15	0,1
11 - 20	0,5	0,5	0,5	0,8	0,65	0,5
20 - 40	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

Låneränta	5,5%
Inflation	1,5%
Kalkylränta/realränta	4,0%

Omläggningsalternativ	1	2	3	4	5	6	7
Omlagda rör	Rör nr. 1	2	3	1+2	1+3	2+3	1+2+3

Rörlängd	m	215	217	167
Läggningssår	år	1963	1963	1964
Rördiameter [mm]	mm	200	200	100
Antal rörbrott	st	2	1	2
Rörbrottsfrekvens [antal rörbrott/10km,år]		8,5	4,2	10,9

Trafikantkostnader

Årsmedelvardagsdygnstrafik, ÅMVD

Bil (privat)

Tjänsteresor bil

Tjänsteresor buss och spårvagn

Andel tungtrafik

Beräknad fördröjning vid omläggning [fordonstimmar]

Beräknad fördröjning vid läcklagning [fordonstimmar]

fordon	2100	2100	500	Siffror gällande rörkombination			
%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
%	5%	5%	0%	5%	4%	4%	4%
%	5%	5%	10%	5%	6%	6%	6%
fh	4,5	4,5	0	6,75	4,5	4,5	6,75
fh	0,2	0,2	0				

Bränsleförbrukning vid tomgångskörning 0,03 l/min

Drivmedelseffekter 3,5 kr/l (bensin, diesel)

Befolkning som är bullerutsatta i hög grad

Befolkning/ avstängningsområde

Vattenförbrukning för ind. / avstängningsområde

st	85	105	160	133	207	193	240
st	42	42	122				
m ³ /år	0	0	0				

Arbetskostnad läcklagning [kr/läcka]

kr	27000	27000	27000
----	-------	-------	-------

Dimension:

Trafikföringsplan

Spräckning

Material inkl svetsning

Startschakt

Änd- och extra schakt

Omkoppling vattenservis

Omkoppling avloppsservis

Omläggning servis utöver 2 m

Överpumpning avlopp

Inkoppling vatten

Inkoppling avlopp

Omkoppling/byte brandpost

Byte avstängningsventil 110-200

Byte avstängningsventil 225-355

Byte avstängningsventil 400-500

Punktreparation avlopp

Tätning brunn m m

Värmslingor, plattor, spårväg e.d

	mm	200	200	110	å pris			
st	1	1	1	1	1	1	1	5 500 kr
m	215	217	167	432	382	384	599	300 kr
PEH 25 kr/kg	kg/m	10,5	10,5	3,18				
st	1	1	1	1	2	2	2	21 750 kr
st	3	2	3	3	3	4	5	18 250 kr
st	2	7	7	9	10	14	11	18 500 kr
st				0	0	0	0	19 250 kr
m				0	0	0	0	1 550 kr
gång								3 250 kr
st	4	3	4	4	5	5	6	5 750 kr
st				0	0	0	0	6 500 kr
st	2	2	1	4	3	3	5	33 000 kr
st	6,75	2,25	2,25	8,25	8,25	8,25	9,75	11 500 kr
st								27 500 kr
st								44 000 kr
st				0	0	0	0	18 750 kr
st				0	0	0	0	7 000 kr
kr								

Div 5% (kan ev ökas runt 10 % vid osäkra förhållanden)

%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
---	------	------	------	------	------	------	------

Arbetsledning/mätning 12,0% med 5,0%

reduktion av arbetsledningskostnad vid samordning

%	12,0%	12,0%	12,0%	11,4%	11,4%	11,4%	10,8%
---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Byggkostnad

Slangning första fastighet
 Slangning andra fastighet -
 Provtryckning
 ATV-filmning
 Nedlagda utredningskostnader
 Projektering

st	1	1	1	1	1	1	1	1300 kr
st	8	8	6	8	15	15	15	460 kr
gång	1	1	1	2	2	2	3	5500 kr
m				0	0	0	0	35 kr
kr	5000	5000	5000	10000	10000	10000	15000	
kr	5000	5000	5000	10000	10000	10000	15000	
	20480	20480	19560	35980	39200	39200	54700	kr
Summa	498598	519619	475040	792191	777719	893666	1300675	kr

Samordningsvinster vid omläggning: (Insparede timmar)

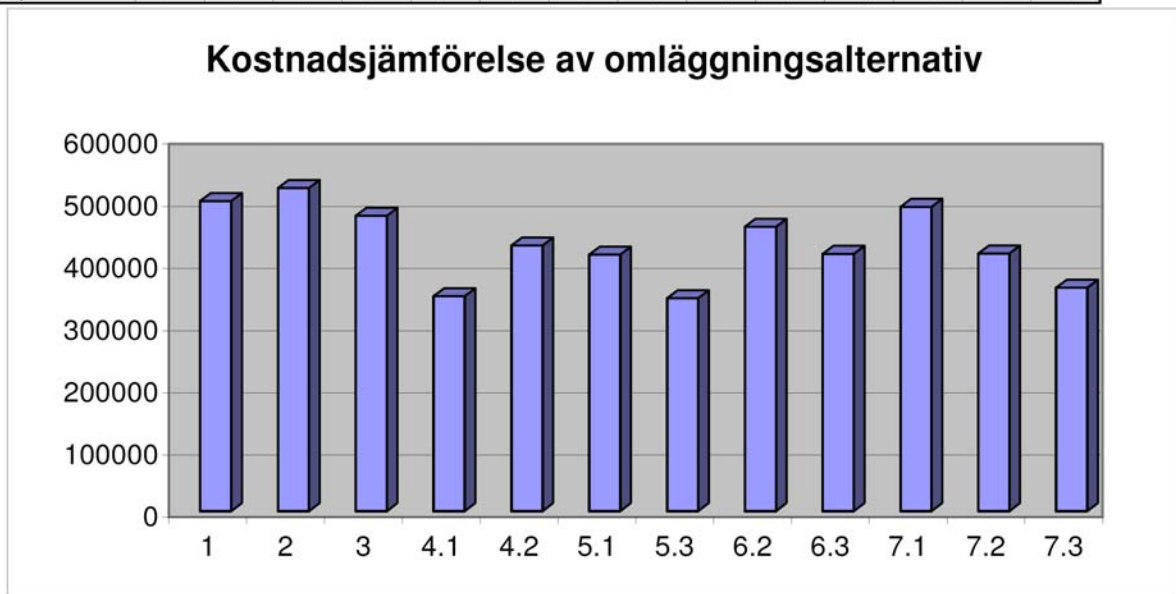
Etablering:
 Avveckling
 Projektering

timmar				3	3	3	6	1 250 kr
timmar				3	3	3	6	1 250 kr
timmar				20	20	20	40	400 kr

Besparing	0	0	0	15500	15500	15500	31000	kr
Total omläggingskostnad	498598	519619	475040	776691	762219	878166	1269675	kr
Total omläggingskostnad/meter	2319	2395	2845	1798	1995	2287	2120	kr

PEH-ledning vikt kg/m

Dimension	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500
Tryckkl. PN 10	3,18	4,12	5,17	6,75	8,51	10,50	13,30	16,40	20,6	25,80	32,6	42,0	50,2	65,6



Figur 21, Beräkningsunderlag, sammanställt av områdesspecifika parametrar, Bronsåldersgatan.

Samhällskostnader vid underhållsarbete va

Läcklagning

	Omlägningsalternativ			
	1	2	3	
Trafikantkostnader				
Restidseffekter	23	23	0	kr/rörbrott
Transportkostnader gods	0	0	0	kr/rörbrott
Fordonskostnader	X	X	X	kr/rörbrott
Drivmedelseffekter	1	1	0	kr/rörbrott
	25	25	0	kr/rörbrott
Miljöeffekter				
Avgasemmissioner	7	7	0	kr/rörbrott
Buller	1887	2331	3552	kr/rörbrott
Bräddning p g a inläckage	56	56	56	kr/rörbrott
	1950	2394	3608	kr/rörbrott
Abonnenteffekter				
Leverenssäkerhet				
- Boende, offentlig sektor, företag	3150	3150	9150	kr/rörbrott
- Industri	0	0	0	kr/rörbrott
Vattenkvalitet				
- Boende, offentlig sektor, företag	X	X	X	kr/rörbrott
- Industri	X	X	X	kr/rörbrott
	3150	3150	9150	kr/rörbrott
Kostnader för vattenläckage				
Extra produktion p g a vattenläckage	5383	5383	5383	kr/rörbrott
Extra vattenrening p g a vattenläckage	8545	8545	8545	kr/rörbrott
	13928	13928	13928	kr/rörbrott
Övriga effekter				
Olyckor	143	143	143	kr/rörbrott
Tillgänglighet	0	0	0	kr/rörbrott
Risikkostnad för läckage	X	X	X	kr/rörbrott
	143	143	143	kr/rörbrott
Total summa	19195	19639	26829	kr/rörbrott

Omläggning

	Omlägningsalternativ							
	1	2	3	4	5	6	7	
Trafikantkostnader								
Restidseffekter	515	515	0	773	510	510	769	kr/omläggning*
Transportkostnader gods	8	8	0	12	9	9	13	kr/omläggning
Fordonskostnader	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
Drivmedelseffekter	28	28	0	43	28	28	43	kr/omläggning
	551	551	0	827	548	548	825	kr/omläggning
Miljöeffekter								
Avgasemmissioner	153	153	0	230	153	153	230	kr/omläggning
Buller	11321	13985	21311	17715	27571	25706	31966	kr/omläggning
Bräddning p g a inläckage	-194	-196	-151	-390	-345	-347	-541	kr/omläggning
	11127	13789	21160	17325	27226	25359	31425	kr/omläggning
Abonnenteffekter								
Leverenssäkerhet								
- Boende, offentlig sektor, företag	0	0	0	0	0	0	0	kr/omläggning
- Industri	0	0	0	0	0	0	0	kr/omläggning
Vattenkvalitet								
- Boende, offentlig sektor, företag	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
- Industri	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
	0	0	0	0	0	0	0	kr/omläggning
Kostnader för vattenläckage								
Extra produktion p g a vattenläckage	-1383	-1396	-1074	-2779	-2458	-2470	-3854	kr/omläggning
Extra vattenrening p g a vattenläckage	-1317	-1330	-1023	-2647	-2340	-2353	-3670	kr/omläggning
	-2700	-2726	-2098	-5426	-4798	-4823	-7524	kr/omläggning
Övriga effekter								
Olyckor	717	717	717	1003	1003	1003	1290	kr/omläggning
Tillgänglighet	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
Risikkostnad för läckage	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
	717	717	717	1003	1003	1003	1290	kr/omläggning
Total summa	9695	12332	19779	13729	23979	22088	26016	kr/omläggning
	inkl besparingar							

Figur 22, Samhällskostnader, sammanställt av områdesspecifika parametrar, Bronsåldersgatan.

Tidsåtgång för att passera avstängt körfält
 Tidsåtgång per extra körsträcka (billängder) för körfordon
 Tidsåtgång för köavveckling (vid köstart)

10 sek
 1 sek/billängd
 1 sek/framförvarande bil

ÅMVD = 2100 fordon/dygn Riktningfördelning

Krf 1 50%
 Krf 2 50%

$\lambda_1 = 44$ fordon/timma = 0 fordon/sek
 $\lambda_2 = 44$ fordon/timma = 0 fordon/sek

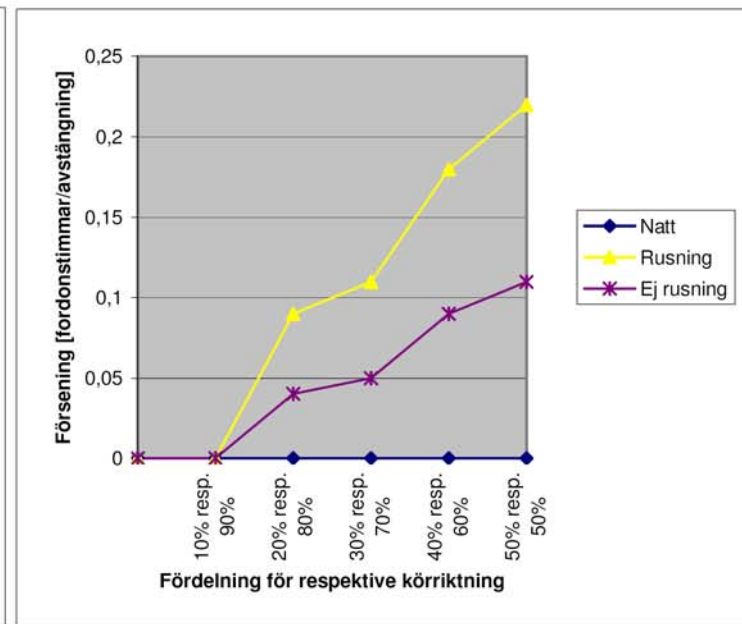
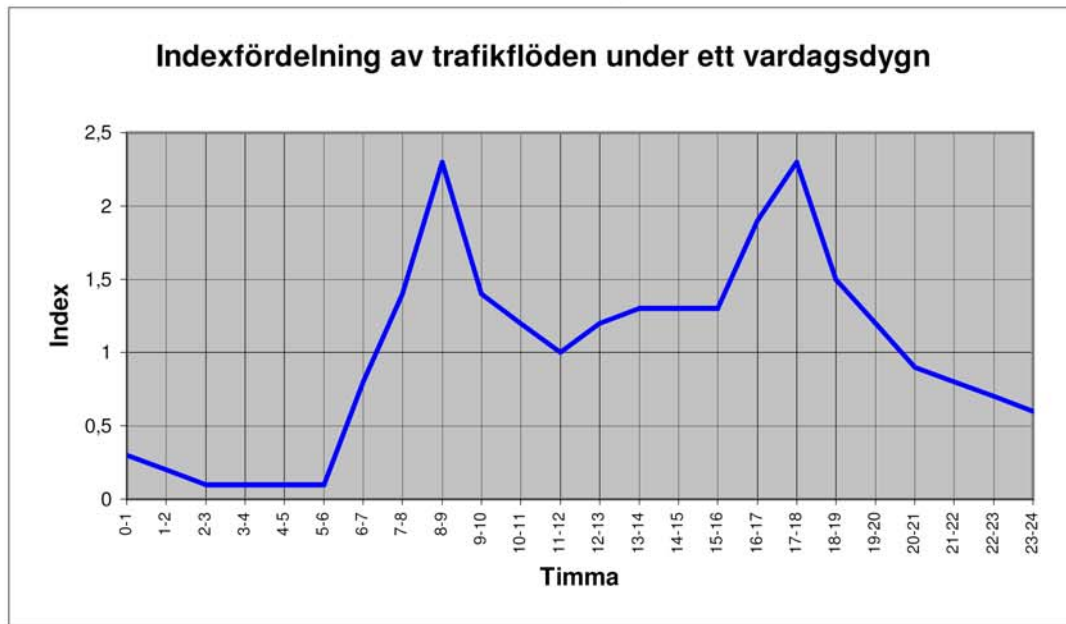
Medelvärde av antal fordon per timma
 Medelvärde av antal fordon per timma

Riktningfördelning		Total försening		
Krf 1	Krf 2	Natt	Rusning	Ej rusning
10%	90%	0	0	0
20%	80%	0	0,09	0,04
30%	70%	0	0,11	0,05
40%	60%	0	0,18	0,09
50%	50%	0	0,22	0,11

Medel över index 1

Timma	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	
Index	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8	1,4	2,3	1,4	1,2	1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,9	2,3	1,5	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	
Trafikflöde körfält 1	13,1	8,75	999	4,38	4,38	4,38	35	61,3	101	61,3	52,5	43,8	52,5	56,9	56,9	56,9	83,1	101	65,6	52,5	39,4	35	30,6	26,3	fordon/timma
Trafikflöde körfält 2	13,1	8,75	4,38	4,38	4,38	4,38	35	61,3	101	61,3	52,5	43,8	52,5	56,9	56,9	56,9	83,1	101	65,6	52,5	39,4	35	30,6	26,3	fordon/timma
Försening	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	fordonstimmar/timme
Summering 5-timmar framåt	0,00	0,00	0,01	0,04	0,12	0,15	0,17	0,18	0,17	0,12	0,11	0,12	0,16	0,22	0,22	0,22	0,21	0,16	0,09	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01	fordonstimmar

Total försening 0,5 fordonstimmar/dygn



Figur 23, Resultat från trafiksimulering, Bronsåldersgatan.

Tidsåtgång för att passera avstängt körfält **15 sek**
 Tidsåtgång per extra körsträcka (billängder) för körfordon **1 sek/billängd**
 Tidsåtgång för köavveckling (vid köstart) **1 sek/framförvarande bil**

ÅMVD = **2100 fordon/dygn** Riktningfördelning

Krf 1 **50%** Krf 2 **50%**

$\lambda_1 = 44$ fordon/timma = **0** fordon/sek
 $\lambda_2 = 44$ fordon/timma = **0** fordon/sek

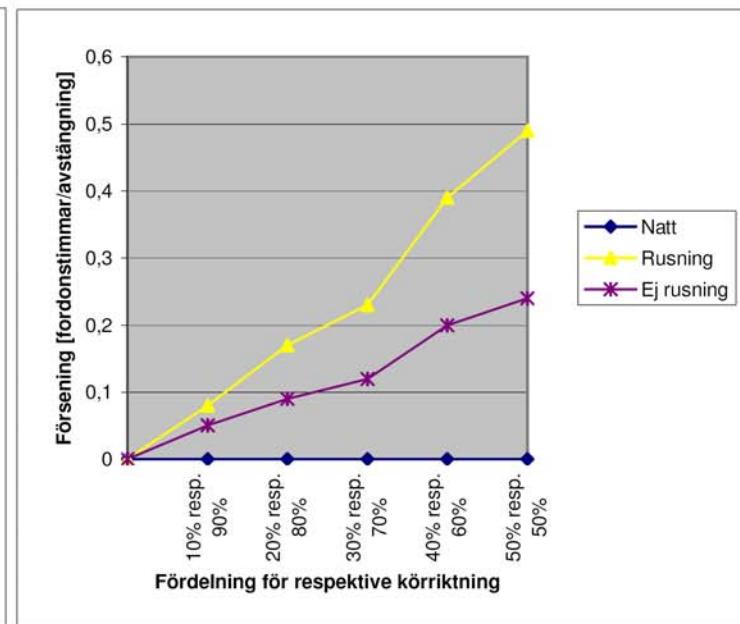
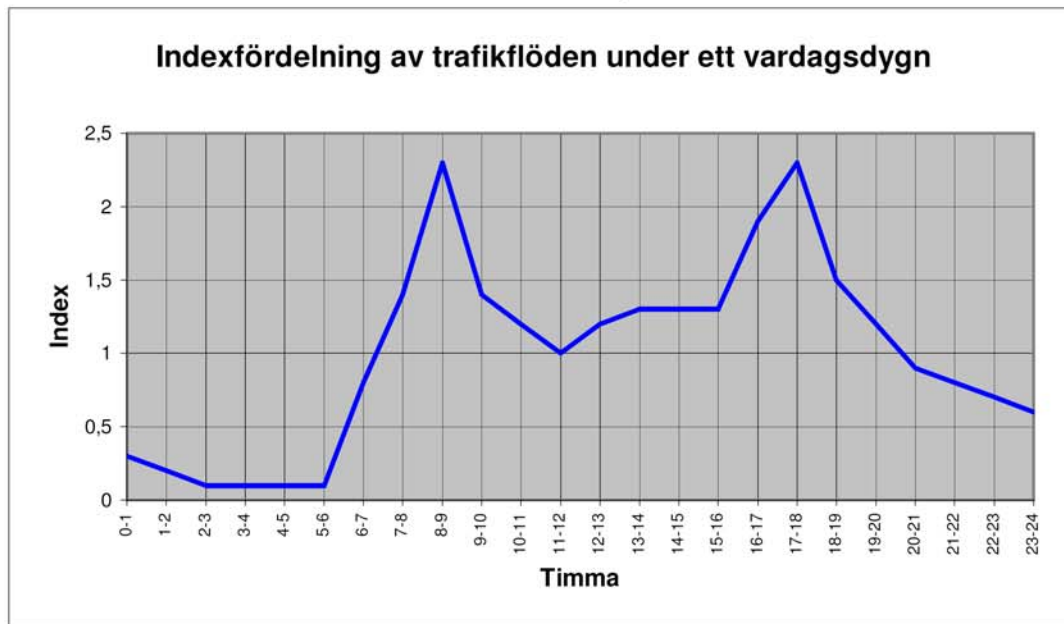
Medelvärde av antal fordon per timma
 Medelvärde av antal fordon per timma

Riktningfördelning		Total försening		
Krf 1	Krf 2	Natt	Rusning	Ej rusning
10%	90%	0	0,08	0,05
20%	80%	0	0,17	0,09
30%	70%	0	0,23	0,12
40%	60%	0	0,39	0,2
50%	50%	0	0,49	0,24

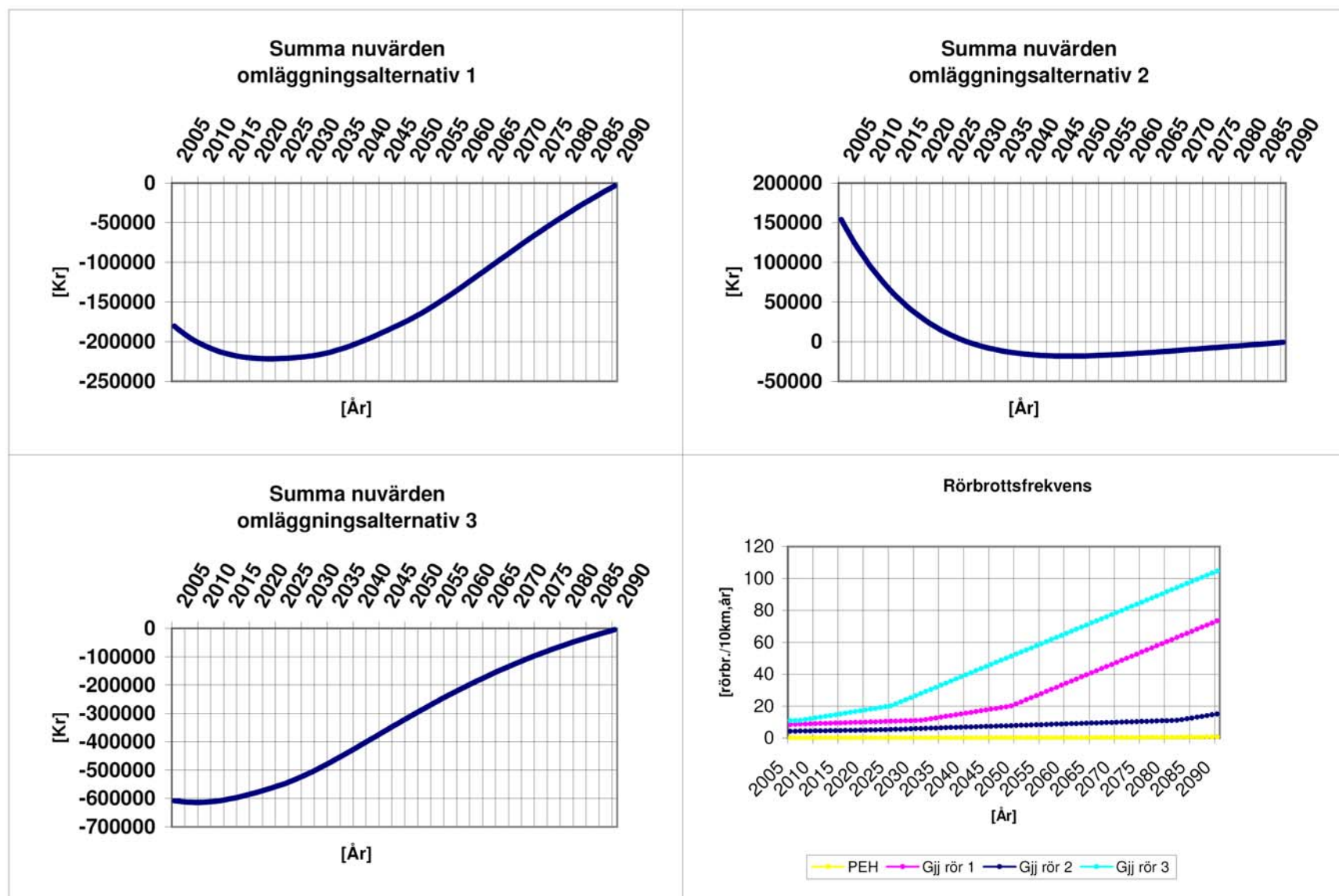
Medel över index **1**

Timma	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
Index	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8	1,4	2,3	1,4	1,2	1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,9	2,3	1,5	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6
Trafikflöde körfält 1	13,1	8,75	999	4,38	4,38	4,38	35	61,3	101	61,3	52,5	43,8	52,5	56,9	56,9	56,9	83,1	101	65,6	52,5	39,4	35	30,6	26,3
Trafikflöde körfält 2	13,1	8,75	4,38	4,38	4,38	4,38	35	61,3	101	61,3	52,5	43,8	52,5	56,9	56,9	56,9	83,1	101	65,6	52,5	39,4	35	30,6	26,3
Försening	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Summering 5-timmar framåt	0,01	0,00	0,02	0,09	0,26	0,33	0,38	0,39	0,37	0,25	0,24	0,25	0,34	0,47	0,49	0,48	0,45	0,35	0,19	0,13	0,08	0,06	0,03	0,02

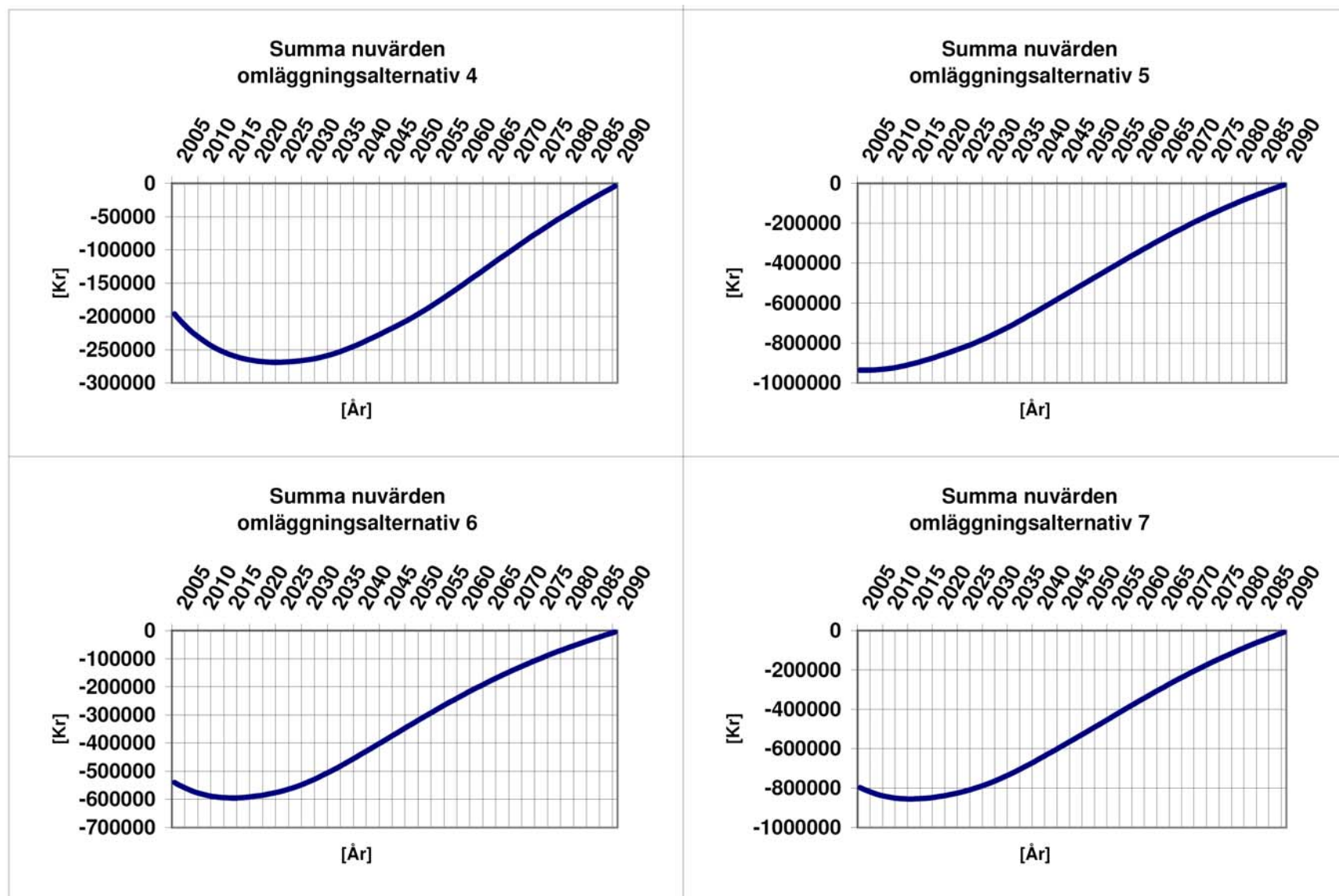
Total försening **1,1 fordonstimmar/dygn**



Figur 24, Resultat från trafiksimulering, Bronsåldersgatan.



Figur 25, Resultat för olika omlägningsalternativ, Bronsåldersgatan.



Figur 26, Resultat för olika omlägningsalternativ, Bronsåldersgatan.

Största besparing vid optimalt omlägningsår							
Omlägningsalternativ	1	2	3	4	5	6	7
	-221699	-18201	-613977	-269009	-936295	-594806	-855199
Största besparing (vid enskild projektering och omläggning)							
Omlägningsalternativ	1	2	3	4	5	6	7
Rör 1	1989	-221699	-	-	-221699	-	-221699
Rör 2	1995	-	-18201	-	-18201	-	-18201
Rör 3	2000	-	-	-613977	-	-613977	-613977
Summa		-221699	-18201	-613977	-239900	-835676	-632179

Oml. alt.	Skillnad	%-skillnad	Bästa omlägningsstrategi	Rangordning omlägningsstrategi
4	-29109	10,8%	Samordning av omläggning	Bästa alternativ!
5	-100619	10,7%	Samordning av omläggning	
6	37373	5,9%	Enskild omläggning	
7	-1322	0,2%	Samordning av omläggning	

Den skillnad som är mest negativ anger den billigaste omlägningsstrategin

Figur 27, Resultatsammanställning, Bronsåldersgatan.

Bilaga 3 Utvärdering av Marklandsgatan i Högsbo.

Objektnamn: Marklandsgatan

Rör nr.	SW member	Material	Gatunamn
1	64254	Gjutjärn	Marklandsgatan
2	64257, 64246	Gjutjärn	Marklandsgatan
3	30227	Gjutjärn	Marklandsgatan

Läckor registrerade mellan 1995 -	2005
Förväntad teknisk livslängd, PEH [år]	125

Årlig ökning i rörbrottsfrekvens [rörbrott/10km,år]

Intervall /Rör	1	2	3	1940	1950	1960
2 - 5	0	0	0	0,1	0,05	0
5 - 11	0,1	0,1	0,1	0,2	0,15	0,1
11 - 20	0,5	0,5	0,5	0,8	0,65	0,5
20 - 40	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3

Låneränta	5,5%
Inflation	1,5%
Kalkylränta/realränta	4,0%

Omläggningsalternativ	1	2	3	4	5	6	7
Omlagda rör	Rör nr. 1	2	3	1+2	1+3	2+3	1+2+3

Rörlängd	m	93	196	183
Läggningår	år	1960	1960	1960
Rördiameter [mm]	mm	180	250	225
Antal rörbrott	st	2	4	2
Rörbrottsfrekvens [antal rörbrott/10km,år]		19,6	18,6	9,9

Trafikantkostnader

Årsmedelvardagsdygnstrafik, ÅMVD

Bil (privat)

Tjänsteresor bil

Tjänsteresor buss och spårvagn

Andel tungtrafik

Beräknad fördröjning vid omläggning [fordonstimmar]

Beräknad fördröjning vid läcklagning [fordonstimmar]

fordon	500	500	500	Siffror gällande rörkombination			
%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
fh	0	0	0	0	0	0	0
fh	0	0	0	0	0	0	0

Bränsleförbrukning vid tomgångskörning 0,03 l/min

Drivmedelseffekter 3,5 kr/l (bensin, diesel)

Befolkning som är bullerutsatta i hög grad

Befolkning/ avstängningsområde

Vattenförbrukning för ind. / avstängningsområde

st	290	383	240	533	525	383	533
st	50	143	480				
m ³ /år	0	0	0				

Arbetskostnad läcklagning [kr/läcka]

kr	27000	27000	27000
----	-------	-------	-------

Dimension:

Trafikföringsplan

Spräckning

Material inkl svetsning

Startschakt

Änd- och extra schakt

Omkoppling vattenservis

Omkoppling avloppsservis

Omläggning servis utöver 2 m

Överpumpning avlopp

Inkoppling vatten

Inkoppling avlopp

Omkoppling/byte brandpost

Byte avstängningsventil 110-200

Byte avstängningsventil 225-355

Byte avstängningsventil 400-500

Punktreparation avlopp

Tätning brunn m m

Värmeslingor, plattor, spånväg e.d

	mm	180	250	225	å pris				
Trafikföringsplan	st	1	1	1	1	1	1	1	5 500 kr
Spräckning	m	93	196	183	289	276	379	472	300 kr
Material inkl svetsning	PEH 25 kr/kg	kg/m	8,51	16,4	13,3				
Startschakt	st	1	1	1	1	2	1	2	21 750 kr
Änd- och extra schakt	st	1	2	1	3	2	3	3	18 250 kr
Omkoppling vattenservis	st	1	3	2	4	3	5	6	18 500 kr
Omkoppling avloppsservis	st				0	0	0	0	19 250 kr
Omläggning servis utöver 2 m	m				0	0	0	0	1 550 kr
Överpumpning avlopp	gång								3 250 kr
Inkoppling vatten	st	2	3	2	4	4	4	5	5 750 kr
Inkoppling avlopp	st				0	0	0	0	6 500 kr
Omkoppling/byte brandpost	st	1	2	2	3	3	4	5	33 000 kr
Byte avstängningsventil 110-200	st	1,5	0,75		1,5	1,5	0,75	1,5	11 500 kr
Byte avstängningsventil 225-355	st	1,5	3	1,5	3	3	3,75	3,75	27 500 kr
Byte avstängningsventil 400-500	st								44 000 kr
Punktreparation avlopp	st				0	0	0	0	18 750 kr
Tätning brunn m m	st				0	0	0	0	7 000 kr
Värmeslingor, plattor, spånväg e.d	kr								

Div 5% (kan ev ökas runt 10 % vid osäkra förhållanden)

%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
	225420	413830	309837	552231	529482	667361	735544

Arbetsledning/mätning 12,0% med 5,0%
reduktion av arbetsledningskostnad vid samordning

%	12,0%	12,0%	12,0%	11,4%	11,4%	11,4%	10,8%
	252470	463490	347018	615186	589843	743441	815203

Byggekostnad

Slangning första fastighet
 Slangning andra fastighet -
 Provtryckning
 ATV-filmning
 Nedlagda utredningskostnader
 Projektering

st	1	1	1	1	1	1	1	1300 kr
st	0	2	1	3	2	4	5	460 kr
gång	1	1	1	2	2	2	3	5500 kr
m				0	0	0	0	35 kr
kr	5000	5000	5000	10000	10000	10000	15000	
kr	5000	5000	5000	10000	10000	10000	15000	
	16800	17720	17260	33680	33220	34140	50100	kr
Summa	269270	481210	364278	648866	623063	777581	865303	kr

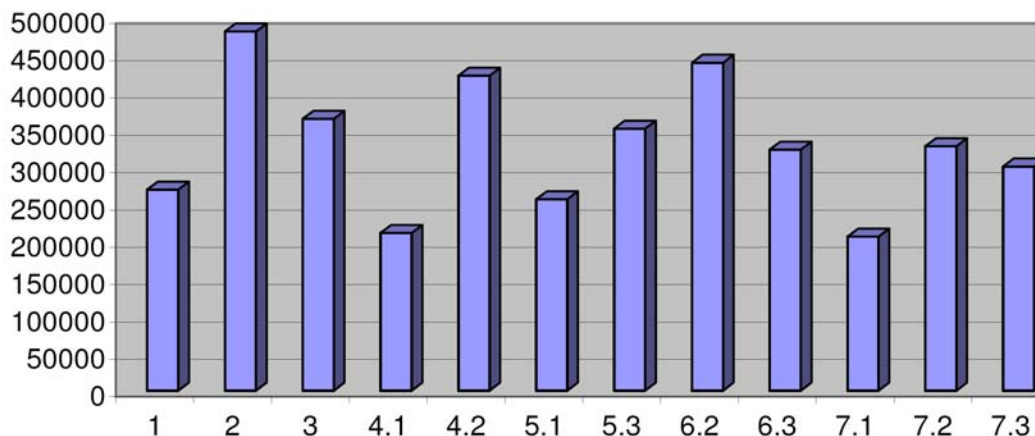
Samordningsvinster vid omläggning: (Insparede timmar)

Etablering:
 Avveckling
 Projektering

timmar				3	3	3	6	1 250 kr
timmar				3	3	3	6	1 250 kr
timmar				20	20	20	40	400 kr
Besparing	0	0	0	15500	15500	15500	31000	kr
Total omläggingskostnad	269270	481210	364278	633366	607563	762081	834303	kr
Total omläggingskostnad/meter	2895	2455	1991	2192	2201	2011	1768	kr

PEH-ledning vikt kg/m

Dimension	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500
Tryckkl. PN 10	3,18	4,12	5,17	6,75	8,51	10,50	13,30	16,40	20,6	25,80	32,6	42,0	50,2	65,6

Kostnadsjämförelse av omläggingsalternativ

Figur 28, Beräkningsunderlag, sammanställt av områdesspecifika parametrar, Marklandsgatan.

Samhällskostnader vid underhållsarbete va

Läcklagning

	Omlägningsalternativ			
	1	2	3	
Trafikantkostnader				
Restidseffekter	0	0	0	kr/rörbrott
Transportkostnader gods	0	0	0	kr/rörbrott
Fordonskostnader	X	X	X	kr/rörbrott
Drivmedelseffekter	0	0	0	kr/rörbrott
	0	0	0	kr/rörbrott
Miljöeffekter				
Avgasemissioner	0	0	0	kr/rörbrott
Buller	6438	8502	5328	kr/rörbrott
Bräddning p g a inläckage	56	56	56	kr/rörbrott
	6494	8558	5384	kr/rörbrott
Abonnenteffekter				
Leverenssäkerhet				
- Boende, offentlig sektor, företag	3750	10725	36000	kr/rörbrott
- Industri	0	0	0	kr/rörbrott
Vattenkvalitet				
- Boende, offentlig sektor, företag	X	X	X	kr/rörbrott
- Industri	X	X	X	kr/rörbrott
	3750	10725	36000	kr/rörbrott
Kostnader för vattenläckage				
Extra produktion p g a vattenläckage	5383	5383	5383	kr/rörbrott
Extra vattenrening p g a vattenläckage	8545	8545	8545	kr/rörbrott
	13928	13928	13928	kr/rörbrott
Övriga effekter				
Olyckor	143	143	143	kr/rörbrott
Tillgänglighet	0	0	0	kr/rörbrott
Riskkostnad för läckage	X	X	X	kr/rörbrott
	143	143	143	kr/rörbrott
Total summa	24315	33354	55455	kr/rörbrott

Omläggning

	Omlägningsalternativ							
	1	2	3	4	5	6	7	
Trafikantkostnader								
Restidseffekter	0	0	0	0	0	0	0	kr/omläggning*
Transportkostnader gods	0	0	0	0	0	0	0	kr/omläggning
Fordonskostnader	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
Drivmedelseffekter	0	0	0	0	0	0	0	kr/omläggning
	0	0	0	0	0	0	0	kr/omläggning
Miljöeffekter								
Avgasemissioner	0	0	0	0	0	0	0	kr/omläggning
Buller	38626	51012	31966	70991	69926	51012	70991	kr/omläggning
Bräddning p g a inläckage	-84	-177	-165	-261	-249	-342	-426	kr/omläggning
	38542	50836	31801	70730	69677	50670	70565	kr/omläggning
Abonnenteffekter								
Leverenssäkerhet								
- Boende, offentlig sektor, företag	0	0	0	0	0	0	0	kr/omläggning
- Industri	0	0	0	0	0	0	0	kr/omläggning
Vattenkvalitet								
- Boende, offentlig sektor, företag	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
- Industri	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
	0	0	0	0	0	0	0	kr/omläggning
Kostnader för vattenläckage								
Extra produktion p g a vattenläckage	-598	-1261	-1177	-1859	-1776	-2438	-3037	kr/omläggning
Extra vattenrening p g a vattenläckage	-570	-1201	-1121	-1771	-1691	-2322	-2892	kr/omläggning
	-1168	-2462	-2299	-3630	-3467	-4760	-5928	kr/omläggning
Övriga effekter								
Olyckor	717	717	717	1003	1003	1003	1290	kr/omläggning
Tillgänglighet	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
Riskkostnad för läckage	X	X	X	X	X	X	X	kr/omläggning
	717	717	717	1003	1003	1003	1290	kr/omläggning
Total summa	38090	49090	30219	68104	67213	46913	65927	kr/omläggning
	inkl besparingar							

Figur 29, Samhällskostnader, sammanställt av områdesspecifika parametrar, Marklandsgatan.

Tidsåtgång för att passera avstängt körfält **10 sek**
 Tidsåtgång per extra körsträcka (billängder) för körfordon **1 sek/billängd**
 Tidsåtgång för köavveckling (vid köstart) **1 sek/framförvarande bil**

ÅMVD = **500 fordon/dygn** Riktningfördelning

Krf 1 Krf 2
50% **50%**

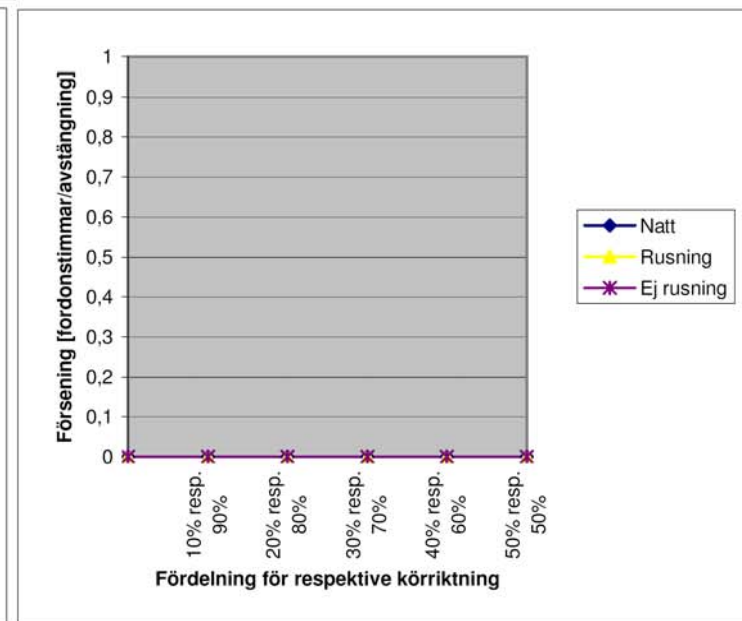
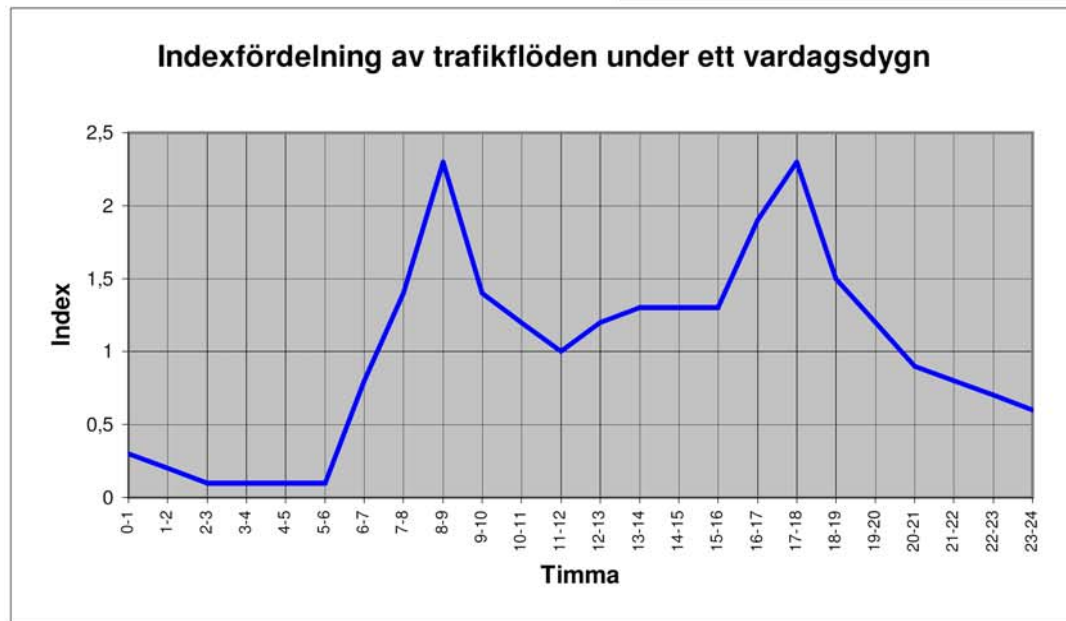
$\lambda_1 =$ 10 fordon/timme = 0 fordon/sek Medelvärde av antal fordon per timma
 $\lambda_2 =$ 10 fordon/timme = 0 fordon/sek Medelvärde av antal fordon per timma

Riktningfördelning		Total försening		
Krf 1	Krf 2	Natt	Rusning	Ej rusning
10%	90%	0	0	0
20%	80%	0	0	0
30%	70%	0	0	0
40%	60%	0	0	0
50%	50%	0	0	0

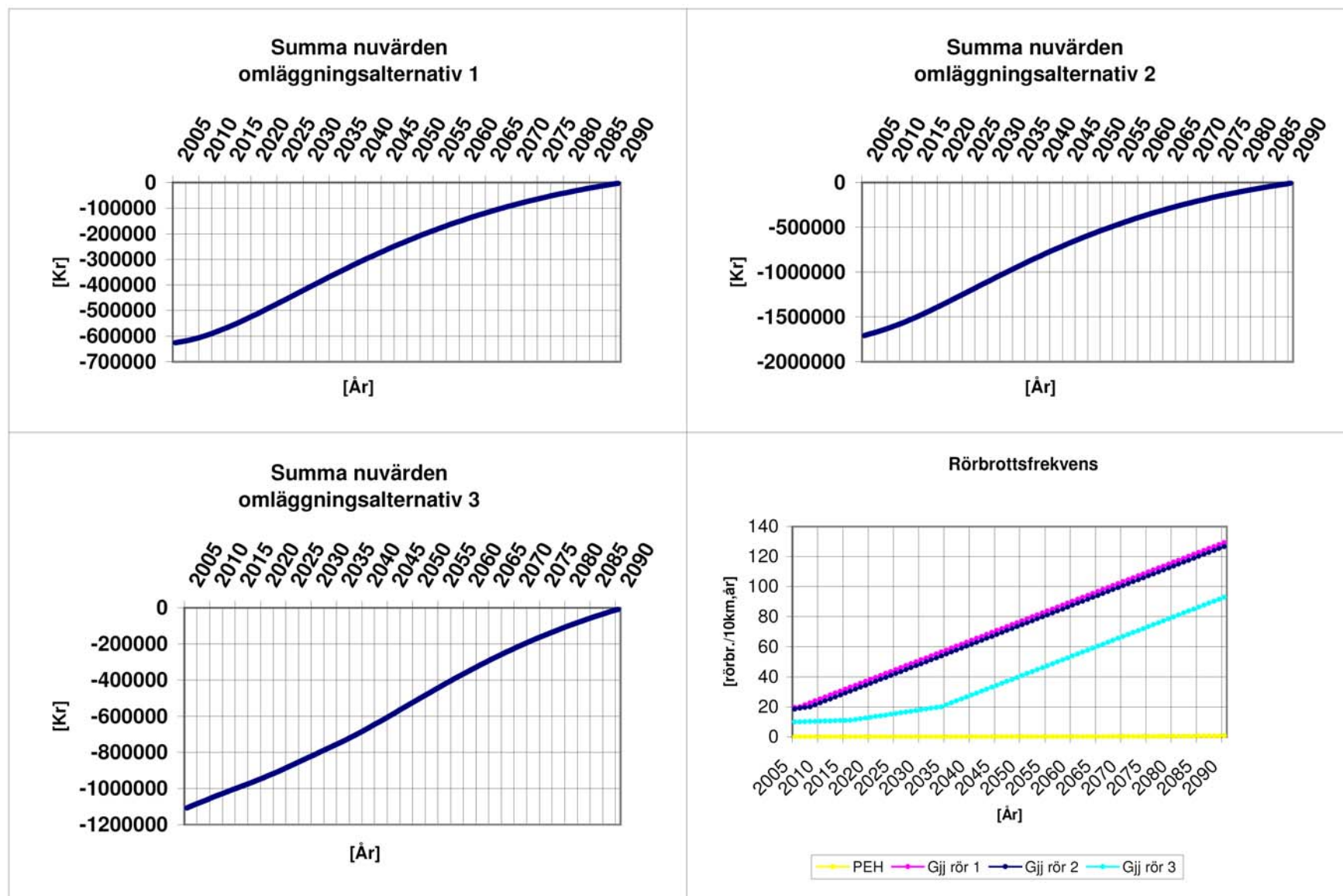
Medel över index 1

Timma	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	
Index	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8	1,4	2,3	1,4	1,2	1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,9	2,3	1,5	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	
Trafikflöde körfält 1	3,13	2,08	999	1,04	1,04	1,04	8,33	14,6	24	14,6	12,5	10,4	12,5	13,5	13,5	13,5	19,8	24	15,6	12,5	9,38	8,33	7,29	6,25	fordon/timme
Trafikflöde körfält 2	3,13	2,08	1,04	1,04	1,04	1,04	8,33	14,6	24	14,6	12,5	10,4	12,5	13,5	13,5	13,5	19,8	24	15,6	12,5	9,38	8,33	7,29	6,25	fordon/timme
Försening	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	fordonstimmar/timme
Summering 5-timmar framåt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	fordonstimmar

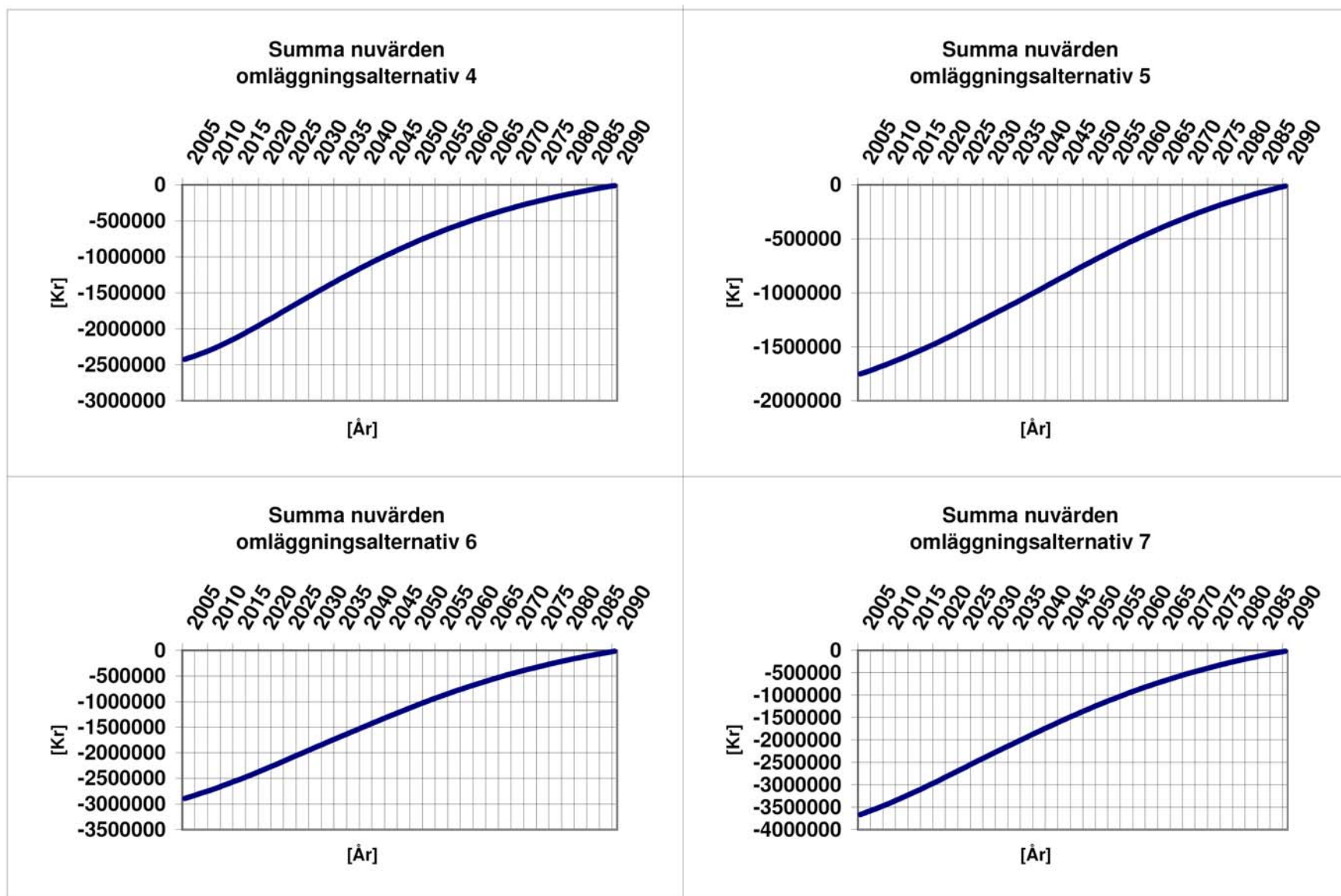
Total försening 0,0 fordonstimmar/dygn



Figur 30, Resultat från trafiksimulering, Marklandsgatan.



Figur 31, Resultat för olika omlägningsalternativ, Marklandsgatan.



Figur 32, Resultat för olika omlägningsalternativ, Marklandsgatan.

Största besparing vid optimalt omlägningsår							
Omlägningsalternativ	1	2	3	4	5	6	7
	-625560	-1706549	-1107909	-2424718	-1751884	-2893204	-3665728
Största besparing (vid enskild projektering och omläggning)							
Omlägningsalternativ	1	2	3	4	5	6	7
Rör 1	-625560	-	-	-625560	-625560	-	-625560
Rör 2	-	-1706549	-	-1706549	-	-1706549	-1706549
Rör 3	-	-	-1107909	-	-1107909	-1107909	-1107909
Summa	-625560	-1706549	-1107909	-2332108	-1733469	-2814458	-3440018

Oml. alt.	Skillnad	%-skillnad	Bästa omlägningsstrategi	Rangordning omlägningsstrategi
4	-92610	3,8%	Samordning av omläggning	Bästa alternativ!
5	-18415	1,1%	Samordning av omläggning	
6	-78746	2,7%	Samordning av omläggning	
7	-225711	6,2%	Samordning av omläggning	

Den skillnad som är mest negativ anger den billigaste omlägningsstrategin

Figur 33, Resultatsammanställning, Marklandsgatan.

Bilaga 4 Utvärdering av Tamburingatan i Västra Frölunda.

Objektnamn: Tamburingatan

Rör nr.	SW member	Material	Gatunamn
1	51281, 24409, 24394, 42965	Gjutjärn	Tamburingatan
2			
3			

Läckor registrerade mellan 1995 -	2005
Förväntad teknisk livslängd, PEH [år]	125

Årlig ökning i rörbrottsfrekvens [rörbrott/10km,år]

Intervall /Rör	1	2	3	1940	1950	1960
2 - 5	0			0,1	0,05	0
5 - 11	0,1			0,2	0,15	0,1
11 - 20	0,5			0,8	0,65	0,5
20 - 40	1,3			1,3	1,3	1,3

Läneränta	5,5%
Inflation	1,5%
Kalkylränta/realränta	4,0%

Omläggningsalternativ	1	2	3	4	5	6	7
Omlagda rör	Rör nr. 1	2	3	1+2	1+3	2+3	1+2+3

Rörlängd	m	352		
Läggningssår	år	1962		
Rördiameter [mm]	mm	200		
Antal rörbrott	st	2		
Rörbrottsfrekvens [antal rörbrott/10km,år]		5,2		

Trafikantkostnader

Årsmedlevar dagsdygnstrafik, ÅMVD

Bil (privat)

Tjänsteresor bil

Tjänsteresor buss och spårvagn

Andel tungtrafik

Beräknad fördröjning vid omläggning [fordonstimmar]

Beräknad fördröjning vid läcklagning [fordonstimmar]

fordon	500	Siffror gällande rörkombination			
%	40%	40%	40%	#####	40%
%	50%	50%	50%	#####	50%
%	5%	5%	5%	#####	5%
%	5%	5%	5%	#####	5%
fh	0				
fh	0				

Bränsleförbrukning vid tomgångskörning

0,03 l/min

Drivmedelseffekter

3,5 kr/l (bensin, diesel)

Befolkning som är bullerutsatta i hög grad

Befolkning/ avstängningsområde

Vattenförbrukning för ind. / avstängningsområde

st	1908				
st	1292				
m ³ /år	0				

Arbetskostnad läcklagning [kr/läcka]

kr	27000				
----	-------	--	--	--	--

Dimension:

Trafikföringsplan

Spräckning

Material inkl svetsning

Startschakt

Änd- och extra schakt

Omkoppling vattenservis

Omkoppling avloppsservis

Omläggning servis utöver 2 m

Överpumpning avlopp

Inkoppling vatten

Inkoppling avlopp

Omkoppling/byte brandpost

Byte avstängningsventil 110-200

Byte avstängningsventil 225-355

Byte avstängningsventil 400-500

Punktreparation avlopp

Tätning brunn m m

Värmeslingor, plattor, spårväg e.d

		å pris
mm	200	
st	1	5 500 kr
m	352	300 kr
kg/m	10,5	
st	1	21 750 kr
st	7	18 250 kr
st		18 500 kr
st		19 250 kr
m		1 550 kr
gång		3 250 kr
st	8	5 750 kr
st		6 500 kr
st	2	33 000 kr
st	7,5	11 500 kr
st		27 500 kr
st		44 000 kr
st		18 750 kr
st		7 000 kr
kr		

Div 5% (kan ev ökas runt 10 % vid osäkra förhållanden)

%	5,0%				
---	------	--	--	--	--

Arbetsledning/mätning 12,0% med 5,0%
reduktion av arbetsledningskostnad vid samordning

%	12,0%				
---	-------	--	--	--	--

Byggekostnad

Slangning första fastighet
 Slangning andra fastighet -
 Provtryckning
 ATV-filmning
 Nedlagda utredningskostnader
 Projektering

st	1																	1300 kr
st	1																	460 kr
gång	1																	5500 kr
m																		35 kr
kr	5000																	
kr	5000																	
																		17260 kr
Summa																		665530 kr

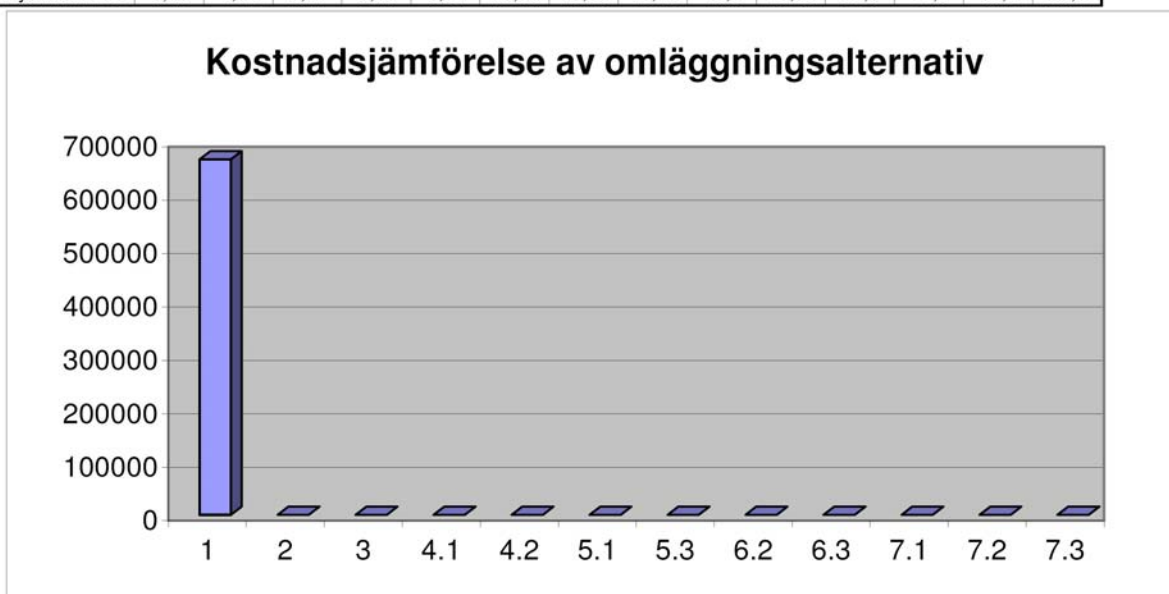
Samordningsvinster vid omläggning: (Insparede timmar)

Etablering:
 Avveckling
 Projektering

timmar																		1 250 kr
timmar																		1 250 kr
timmar																		400 kr

Besparing	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kr
Total omläggingskostnad	665530	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	kr
Total omläggingskostnad/meter	1891	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	kr

PEH-ledning vikt kg/m														
Dimension	110	125	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	450	500
Tryckkl. PN 10	3,18	4,12	5,17	6,75	8,51	10,50	13,30	16,40	20,6	25,80	32,6	42,0	50,2	65,6



Figur 34, Beräkningsunderlag, sammanställt av områdesspecifika parametrar, Tamburingatan.

Samhällskostnader vid underhållsarbete va

Läcklagning

	Omläggningsalternativ	
	1	
Trafikantkostnader		
Restidseffekter	0	kr/rörbrott
Transportkostnader gods	0	kr/rörbrott
Fordonskostnader	X	kr/rörbrott
Drivmedelseffekter	0	kr/rörbrott
	0	kr/rörbrott
Miljöeffekter		
Avgasemmissioner	0	kr/rörbrott
Buller	42355	kr/rörbrott
Bräddning p g a inläckage	56	kr/rörbrott
	42411	kr/rörbrott
Abbonenteffekter		
Leverenssäkerhet		
- Boende, offentlig sektor, företag	96900	kr/rörbrott
- Industri	0	kr/rörbrott
Vattenkvalitet		
- Boende, offentlig sektor, företag	X	kr/rörbrott
- Industri	X	kr/rörbrott
	96900	kr/rörbrott
Kostnader för vattenläckage		
Extra produktion p g a vattenläckage	5383	kr/rörbrott
Extra vattenrening p g a vattenläckage	8545	kr/rörbrott
	13928	kr/rörbrott
Övriga effekter		
Olyckor	143	kr/rörbrott
Tillgänglighet	0	kr/rörbrott
Riskkostnad för läckage	X	kr/rörbrott
	143	kr/rörbrott
Total summa	153382	kr/rörbrott

Omläggning

	Omläggningsalternativ	
	1	
Trafikantkostnader		
Restidseffekter	0	kr/omläggning*
Transportkostnader gods	0	kr/omläggning
Fordonskostnader	X	kr/omläggning
Drivmedelseffekter	0	kr/omläggning
	0	kr/omläggning
Miljöeffekter		
Avgasemmissioner	0	kr/omläggning
Buller	254130	kr/omläggning
Bräddning p g a inläckage	-318	kr/omläggning
	253812	kr/omläggning
Abbonenteffekter		
Leverenssäkerhet		
- Boende, offentlig sektor, företag	0	kr/omläggning
- Industri	0	kr/omläggning
Vattenkvalitet		
- Boende, offentlig sektor, företag	X	kr/omläggning
- Industri	X	kr/omläggning
	0	kr/omläggning
Kostnader för vattenläckage		
Extra produktion p g a vattenläckage	-2265	kr/omläggning
Extra vattenrening p g a vattenläckage	-2157	kr/omläggning
	-4421	kr/omläggning
Övriga effekter		
Olyckor	717	kr/omläggning
Tillgänglighet	X	kr/omläggning
Riskkostnad för läckage	X	kr/omläggning
	717	kr/omläggning
Total summa	250108	kr/omläggning
	inkl besparingar	

Figur 35, Samhällskostnader, sammanställt av områdesspecifika parametrar, Tamburingatan.

Tidsåtgång för att passera avstängt körfält **10 sek**
 Tidsåtgång per extra körsträcka (billängder) för körfordon **1 sek/billängd**
 Tidsåtgång för köavveckling (vid köstart) **1 sek/framförvarande bil**

ÅMVD = **500 fordon/dygn** Riktningfördelning

Krf 1 Krf 2
50% **50%**

$\lambda_1 =$ 10 fordon/timme = 0 fordon/sek
 $\lambda_2 =$ 10 fordon/timme = 0 fordon/sek

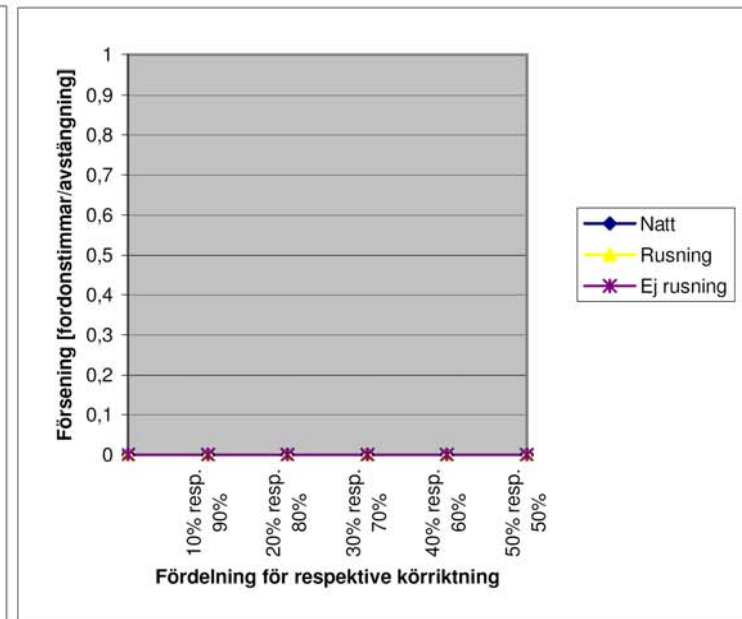
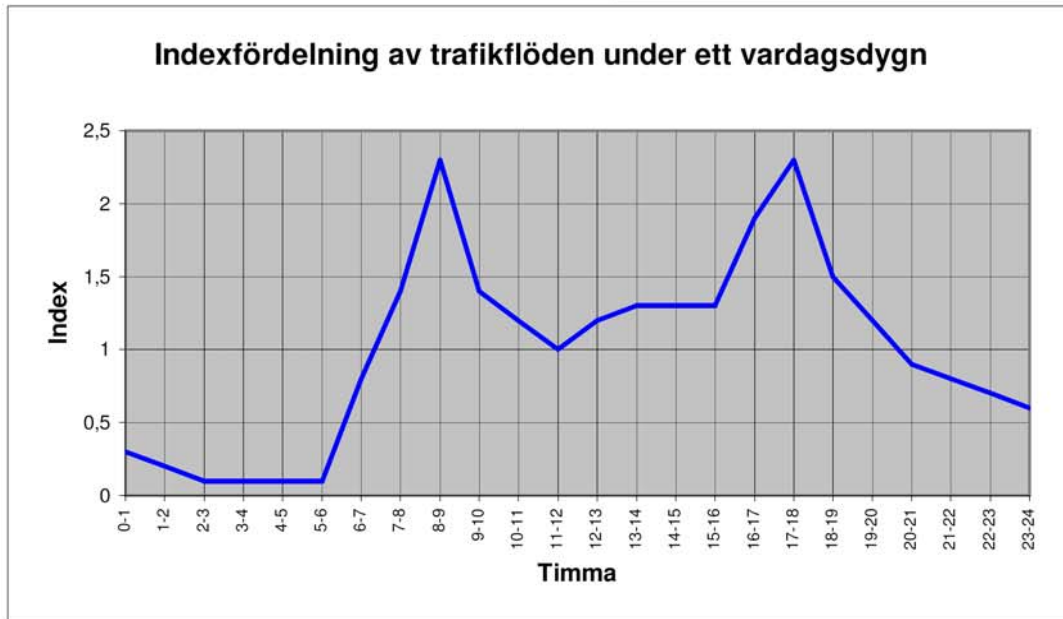
Medelvärde av antal fordon per timma
 Medelvärde av antal fordon per timma

Riktningfördelning		Total försening		
Krf 1	Krf 2	Natt	Rusning	Ej rusning
10%	90%	0	0	0
20%	80%	0	0	0
30%	70%	0	0	0
40%	60%	0	0	0
50%	50%	0	0	0

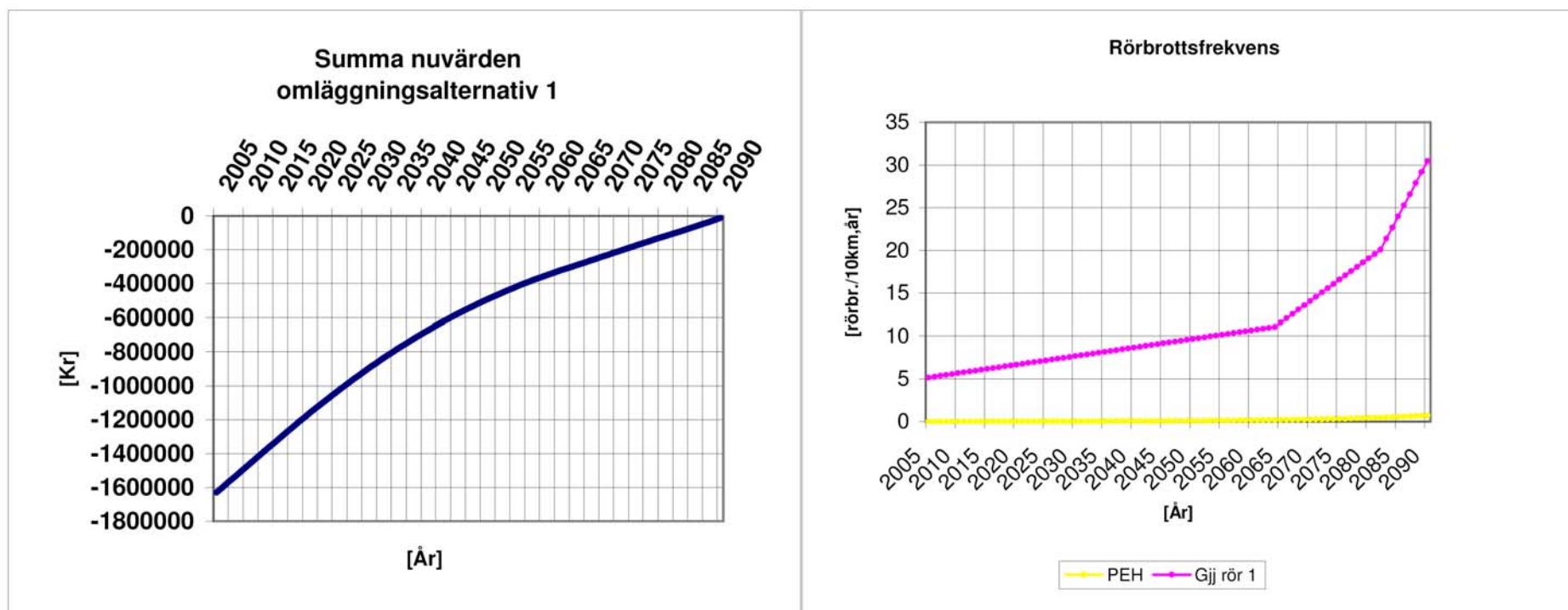
Medel över index 1

Timma	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	
Index	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8	1,4	2,3	1,4	1,2	1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,9	2,3	1,5	1,2	0,9	0,8	0,7	0,6	
Trafikflöde körfält 1	3,13	2,08	999	1,04	1,04	1,04	8,33	14,6	24	14,6	12,5	10,4	12,5	13,5	13,5	13,5	19,8	24	15,6	12,5	9,38	8,33	7,29	6,25	fordon/timme
Trafikflöde körfält 2	3,13	2,08	1,04	1,04	1,04	1,04	8,33	14,6	24	14,6	12,5	10,4	12,5	13,5	13,5	13,5	19,8	24	15,6	12,5	9,38	8,33	7,29	6,25	fordon/timme
Försening	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	fordonstimmar/timme
Summering 5-timmar framåt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	fordonstimmar

Total försening 0,0 fordonstimmar/dygn



Figur 36, Resultat från trafiksimulering, Tamburingatan.



Figur 37, Resultat för olika omlägningsalternativ, Tamburingatan.

Största besparing vid optimalt omlägningsår
-1629311

Figur 38, Resultatsammanställning, Tamburingatan.